

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Кораблебудівний навчально-науковий інститут

(повне найменування інституту, назва факультет)

Кафедра теорії та проектування суден

(повна назва кафедри)

"Допущений до захисту"
Завідувач кафедри
В.О. Некрасов
"20" 06 2025р.

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

Бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему «Проект балкера вантажопідйомністю 57500т»

Виконав: студент 4курсу, групи 4111

спеціальності 135

«Суднобудування»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Теселько С.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Ястреба О.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Михайлов Б.М.

(прізвище та ініціали)

Миколаїв 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

Кафедра _____ теорії та проектування суден
Ступінь вищої освіти _____ бакалавр
Спеціальність _____ 135 “Суднобудування”
Освітньо-професійна програма “Кораблі та океанотехніка”

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант ОП «Кораблі та океанотехніка»
Ястреба к.т.н, Ястреба О.П.
“ ” _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ групи 4111

Теселько Сергію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект балкера вантажопідйомністю 57500 т
- Керівник роботи Ястреба О.П., к.т.н., старший викладач кафедри ТПС НУК,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ” _____ 2025 року № _____
2. Строк подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи:
 - 3.1. Вантажопідйомність (вантажомісткість) _____ 57500 т
 - 3.2. Вид вантажу (питома вага вантажу) _____ 1.40 /м3/т
 - 3.3. Швидкість експлуатаційна _____ 14,5 вуз
 - 3.4. Клас судна за Правилами класифікаційного товариства _____
 - 3.5. Дальність та район плавання _____ 15500 миль
 - 3.6. Додаткові вимоги _____ МОД, екіпаж – 31 чол.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - 4.1. Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.
 - 4.2. Побудова теоретичного креслення.
 - 4.3. Розрахунок елементів плавучості та початкової остійності.
 - 4.4. Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн.
 - 4.5. Обчислення координат центру мас та удиферентування судна (100 % вантажу, 100 % запасів).
 - 4.6. Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна.
 - 4.7. Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства.
 - 4.8. Перевірка загальної або місцевої міцності в'язей корпусу судна.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 - 5.1. Теоретичне креслення.
 - 5.2. Гідростатичні криві.
 - 5.3. Діаграми остійності неушкодженого судна.
 - 5.4. Креслення загального розташування: боковий вид та план верхньої палуби.
 - 5.5. Конструктивний мідель-шпангоут.
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
		Завдання видав		Завдання прийняв	
Проектування судна	Астахова А.О., ст.викладач				
Теорія корабля	Пашенко Ю.М., к.т.н., доцент				
Конструкція корпусу	Шарун Г.В., ст. викладач				
Будівельна механіка корабля	Коростильов Л.О., д.т.н., професор				

4. Дата видачі завдання 5 лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент Теселько. С.С. _____

Керівник роботи Ястреба О.П. _____

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Анотація	4
Вступ	6
Розділ 1. Визначення основних елементів	
і характеристик судна-проекту	7
1.1 Розрахунок основних характеристик судна у першому наближенні.....	8
1.2 Розрахунок буксирувальної потужності судна-проекта та вибір двигуна.....	11
1.3 Визначення головних елементів судна-прое\екту у другому наближенні.....	13
1.4 Побудова теоретичного креслення судна-проекта та визначення елементів зануреного об'єму і початкової остійності.....	17
1.5 Побудова креслення загального розташування.....	17
1.6 Обчислення місткості вантажних приміщень, цистерн, розрахунок статей завантаження та визначення координат центра мас.....	18
1.7 Удиферентування судна-проекту	21
Розділ 2. Перевірка морехідних якостей судна.....	25
2.1 Побудова теоретичного креслення судна-проекта та визначення елементів зануреного об'єму і початкової остійності	26
2.2 Розрахунок гідростатичних кривих	27
2.3 Перевірка вимог Правил Регістру судноплавства України до остійності судна.....	33
Розділ 3. Розрахунок конструктивного мідель-шпангоута корпусу.....	38
3.1 Головні розміри.....	39
3.2 Архітектурно-конструктивний тип судна.....	40
3.3 Вибір системи набору перекриттів корпусу судна	40
3.4 Вибір марки сталі для корпусу.....	40
3.5 Вибір шпації.....	41
3.6 Креслення обводів мідель шпангоута.....	41
3.7 Врахування зносу та корозії.....	42
3.8 Визначення згинальних моментів.....	43
3.9 Визначення розрахункових навантажень	46
Розділ 4. Розрахунок еквівалентного бруса ті перевірка загальної поздовжньої міцності.....	56
Висновки	60
Перелік літератури	61
Додаток.....	62

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Анотація

Темою дипломної роботи є проект балкера вантажопідйомністю 57500 т з експлуатаційною швидкістю 14,5 вузлів. Робота складається з 4 розділів: розділ з основ проєктування судна, розділ з теорії корабля, розділ з конструкції корпусу корабля та розділ будівельної механіки корабля.

У розділі з основ проєктування судна виконано розрахунок головних розмірів судна та їх відношень у двох наближеннях, розраховані коефіцієнти форми корпусу, виконано розрахунок ходовості судна та підібрано двигун необхідної потужності з каталогу. Виконано розрахунок навантаження мас, визначено положення координат центру ваги вантажних трюмів та зроблено удиферентування судна.

У розділі теорії корабля за допомогою програмного комплексу Maxsurf створено 3D модель корпусу судна, розраховано теоретичне креслення та побудовано гідростатичні криві. Здійснено розрахунок та побудовано діаграму статичної остійності. Виконано перевірку остійності за вимогами Регістру судноплавства.

В розділі конструкції корпусу обрано систему набору перекриттів корпусу, розраховано навантаження, які діють на корпус та розраховано напруження.

Виконано перевірку місцевої міцності елементів конструкції судна. Перевірена міцність зовнішньої обшивки днища.

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

Ключові слова: судно, балкер, водотоннажність, проект, конструкція, міцність.

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

The topic of the diploma thesis is the design of a bulk carrier with a carrying capacity of 57,500 tons, with an operating speed of 14.5 knots. The work consists of 4 sections: a section on the basics of ship design, a section on ship theory, a section on ship hull construction and a section on ship structural mechanics.

In the section on the basics of ship design, the main dimensions of the ship and their ratios in two approximations were calculated, the hull shape coefficients were calculated, the ship's speed was calculated and the engine of the required power from the catalog was selected. The mass load was calculated, the position of the coordinates of the center of gravity of the cargo holds was determined and the ship was differentiated.

In the section on ship theory, a 3D model of the ship's hull was created using the Maxsurf software complex, a theoretical drawing was calculated and hydrostatic curves were constructed. A static stability diagram was calculated and constructed. A stability check was performed according to the requirements of the Register of Shipping.

In the hull design section, a system for selecting hull slabs was selected, the loads acting on the hull were calculated, and the stresses were calculated. A local strength check of the vessel's structural elements was performed. The strength of the outer bottom plating was checked.

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

Keywords: vessel, bulk carrier, displacement, design, structure, strength.

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Балкери – це судна, призначені для перевезення навалочних та насипних вантажів. Основним вантажем для перевезення балкерами є сировина для металургії – руда, коксівне вугілля, кам'яне вугілля, цемент. Також балкери можуть перевозити і зерно.

Обсяг морських перевезень навалочних та насипних вантажів складає приблизно 30% від загального обсягу. Останнім часом темпи збільшення обсягів перевезення навалочних вантажів становить 2-3% на рік і складає ~ 3 млрд.т. Основними імпортерами руди і коксівного вугілля є країни Азії (приблизно 50% світового об'єму перевезень), а також Європейські країни. Головними експортерами є країни Південної Америки та Австралія. Найбільша кількість балкерів на сьогоднішній день будується в Кореї, Китаї та Японії. Власниками суден є Панама, Греція, Ліберія, Малайзія. З промислових стран балкерами володіють Норвегія, Японія, Німеччина.

За конструктивними особливостями балкери бувають без розвантажувального обладнання, які використовують берегове завантажувально-розвантажувальне господарство, саморозвантажувальні, які використовують власну транспортну стрічку, та балкери з розвантажувальним обладнанням на борту у вигляді кранів. Комбіновані балкери (нафторудовози) можуть перевозити одночасно і сиру нафту і руду.

Універсальні балкери призначені для перевезення різних насипних вантажів становлять приблизно 80% усього флоту балкерів. Спеціалізовані балкери перевозять один тип вантажу. До їх складу відносять цементовози, зерновози.

Збільшення розмірів Панамського каналу призвело до можливості будувати балкери більших розмірів. На сьогоднішній день експлуатуються балкери з довжиною до 420 м, шириною 55 і осадкою до 18 метрів з вантажопідйомністю більше 300 тис.тонн.

Побудова балкерів є перспективним напрямом розвитку сучасних морських перевезень, тому завдання на проектування балкера є актуальним

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДРБ.135.4111.08.ПЗ.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Крук Д.С.						7	19
Консульт.	Астахова А.О.					НУК		
Керівник	Ястреба О.П.							
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.							

1 Визначення основних характеристик судна-проекту

1.1 Розрахунок елементів судна-проекту у першому наближенні

1.1.1 Розрахунок водотоннажності прототипу

Для того, щоб визначити водотоннажність прототипу необхідно скласти рівняння мас :

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

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

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

$$\bar{\Delta} = 10964 + 2833 + 910 + 2196 + 341 - 94 + 56395 = 73545 ,$$

У першому наближенні характеристики проекту розраховуємо за коефіцієнтом використання (утилізації). Його визначають за прототипом:

$$\bar{\eta}_B = \frac{\bar{P}_B}{\bar{\Delta}} = \frac{56395}{73545} = 0,767,$$

де $\bar{P}_B$ – вантажопідйомність судна, обраного за прототип, т;

$\bar{\Delta}$ – водотоннажність судна - прототипу, т.

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

$$\bar{\eta}_B^{kop} = \bar{\eta}_B - \left(\bar{a}_{EY} \left(\frac{v_e}{\bar{v}_e} \right)^3 + \bar{a}_\Pi \left(\frac{v_e}{\bar{v}_e} \right)^2 \frac{R}{\bar{R}} \right) + \bar{a}_{EY} + \bar{a}_\Pi,$$

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

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{a}_{\text{ЕУ}} = \frac{\bar{P}_{\text{ЕУ}}}{\bar{\Delta}} = \frac{910}{73545} = 0,0124;$$

$$\bar{a}_{\text{П}} = \frac{2196}{73545} = 0,0298;$$

$$\bar{\eta}_{\text{В}}^{\text{кор}} = 0,767 - \left(0,0124 \left(\frac{14,5}{14,3} \right)^3 + 0,0298 \left(\frac{14,5}{14,3} \right)^2 \frac{15500}{15000} \right) + 0,0124 + 0,0298 = 0,765.$$

Для того, щоб врахувати масштабний ефект судна необхідно використати наступну формулу:

$$\eta_0 = \bar{\eta}_{\text{В}}^{\text{кор}} \left(\frac{P_{\text{В}}}{\bar{P}_{\text{В}}} \right)^{0,25} = 0,765 \left(\frac{57500}{56395} \right)^{0,25} = 0,768,$$

де $P_{\text{В}}$ – вантажопідйомність судна-проекта.

Після використання відкоригованого коефіцієнта утилізації можна отримати уточнене значення водотоннажності:

$$\bar{\Delta}_1 = \frac{P_{\text{В}}}{\eta_0} = \frac{57500}{0,768} = 74869 \text{ т.}$$

1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу проекту

Після того, як було отримано значення водотоннажності, можна розрахувати головні розміри проекту судна. Для початку визначаються наступні характеристики форми корпусу:

- відносна довжина у першому наближенні l визначимо як:

$$l = \frac{\bar{L}}{\sqrt[3]{\frac{\bar{\Delta}}{\rho}}} = \frac{217,3}{\sqrt[3]{\frac{73545}{1,025}}} = 5,42;$$

- очікувана довжина судна-проекта між перпендикулярами:

$$L_0 = l \cdot \sqrt[3]{\frac{\bar{\Delta}_1}{\rho}} = 5,42 \cdot \sqrt[3]{\frac{74869}{1,025}} = 218,26 \text{ м};$$

- число Фруда:

проекту
$$Fr = \frac{0,514 \cdot v_e}{\sqrt{gL_0}} = \frac{0,514 \cdot 14,5}{\sqrt{9,8 \cdot 218,26}} = 0,161;$$

прототипу
$$Fr = \frac{0,514 \cdot \bar{v}_e}{\sqrt{g\bar{L}}} = \frac{0,514 \cdot 14,3}{\sqrt{9,81 \cdot 217,3}} = 0,159.$$

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У табл. 1.1.1 проводимо розрахунок коефіцієнтів повноти судна-проекту. Вибір коефіцієнтів виконуємо порівнюючи числа Фруда судна-проекту і прототипа.

Таблиця 1.1.1 - Вибір значень коефіцієнтів повноти судна-проект в порівнянні їх з судном-прототипом

Коефіцієнт	Формула	Проект	Прототип	Прийнято
загальної повноти	$C_b = 1,1 - 1,68Fr$	0,82	0,83	0,82
повноти площі мідель-шпангоута	$C_m = 0,977 + 0,085(C_b - 0,6)$	0,995	0,996	0,995
поздовжньої повноти	$C_p = \frac{C_b}{C_m}$	0,82	0,83	0,82
повноти площі ватерлінії	$C_w = \sqrt{C_b} - 0,025$	0,88	0,886	0,88

Наступні характеристики у 1-му наближенні можна прийняти за даними прототипа.

–відношення ширини судна до осадки:

$$\left(\frac{B}{d}\right)_1 = \frac{\bar{B}}{\bar{d}} = \frac{32,2}{12,2} = 2,639;$$

–відношення висоти борту судна до осадки:

$$\left(\frac{D}{d}\right)_1 = \left(\frac{\bar{D}}{\bar{d}}\right) = \frac{18,85}{12,2} = 1,54;$$

– визначення відношення довжини судна до ширини:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_1 = \left(\frac{\bar{L}}{\bar{B}}\right) = \left(\frac{217,3}{32,2}\right) = 6,75.$$

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.3 Розрахунок головних розмірів судна-проекта. Для визначення головних розмірів судна проекта необхідно скористуватись рівнянням плавучості:

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

де $k_{вч}=1,01$ – коефіцієнт, що враховує частини корпусу, які виступають за обводи. Використовуючи співвідношення головних розмірів можна записати рівняння наступним чином:

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

Таблиця 1.1.2. – Головні розміри судна-проекта першому наближенні

Ширина судна, м	$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1(B/d)_1}{k_{вч} \rho C_b (L/B)_1}}$	31,43
Довжина судна, м	$L_1 = \left(\frac{L}{B}\right)_1 B_1$	218,26
Осадка судна, м	$d_1 = \frac{B_1}{\left(\frac{B}{d}\right)_1}$	11,9
Висота борту, м	$D_1 = d_1 \left(\frac{D}{d}\right)_1$	18,34

1.2 Розрахунок буксирувальної потужності судна-проекта та вибір головного двигуна

Для визначення потужності головного двигуна використовуємо програмний комплекс Maxsurf Resistance. Результати розрахунку представлені на рис. 1.2.1. та в табл. 1.2.1.

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

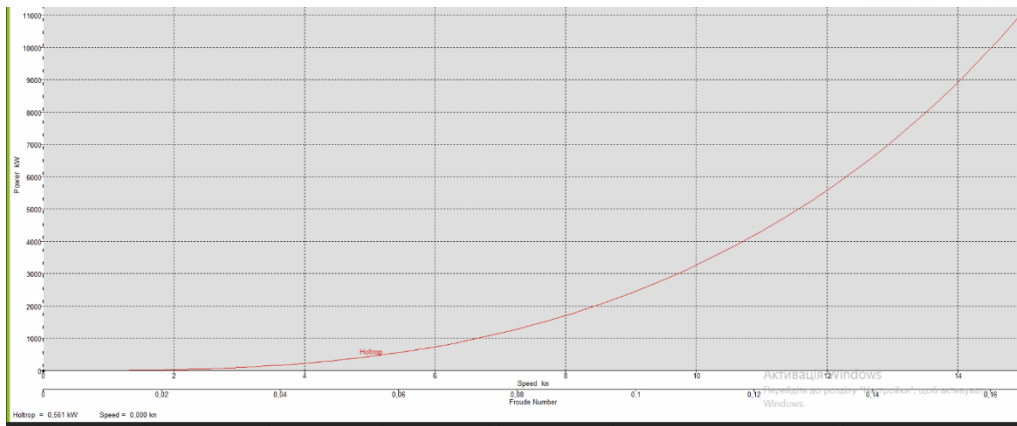


Рис. 1.2.1. Залежність буксирувального опору від швидкості ходу

Таблиця 1.2.1 – Результати розрахунків потужності головного двигуна судна-проекта

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	5,000	0,055	0,127	101,2	433,964
2	5,250	0,058	0,133	111,1	500,227
3	5,500	0,061	0,140	121,5	572,817
4	5,750	0,063	0,146	132,3	652,008
5	6,000	0,066	0,152	143,5	738,070
6	6,250	0,069	0,159	155,1	831,271
7	6,500	0,072	0,165	167,2	931,880
8	6,750	0,074	0,171	179,7	1040,160
9	7,000	0,077	0,178	192,7	1156,376
10	7,250	0,080	0,184	206,0	1280,791
11	7,500	0,083	0,190	219,8	1413,666
12	7,750	0,085	0,197	234,1	1555,265
13	8,000	0,088	0,203	248,7	1705,850
14	8,250	0,091	0,209	263,8	1865,689
15	8,500	0,094	0,216	279,2	2035,050
16	8,750	0,097	0,222	295,1	2214,209
17	9,000	0,099	0,229	311,5	2403,449
18	9,250	0,102	0,235	328,2	2603,060
19	9,500	0,105	0,241	345,4	2813,347
20	9,750	0,108	0,248	363,0	3034,627
21	10,000	0,110	0,254	381,1	3267,236
22	10,250	0,113	0,260	399,6	3511,528
23	10,500	0,116	0,267	418,5	3767,884
24	10,750	0,119	0,273	438,0	4036,709
25	11,000	0,121	0,279	457,9	4318,441
26	11,250	0,124	0,286	478,3	4613,552
27	11,500	0,127	0,292	499,2	4922,550
28	11,750	0,130	0,298	520,7	5245,988
29	12,000	0,132	0,305	542,8	5584,461
30	12,250	0,135	0,311	565,4	5938,617
31	12,500	0,138	0,317	588,7	6309,152
32	12,750	0,141	0,324	612,6	6696,822
33	13,000	0,143	0,330	637,2	7102,440
34	13,250	0,146	0,336	662,5	7526,883
35	13,500	0,149	0,343	688,6	7971,090
36	13,750	0,152	0,349	715,6	8436,073
37	14,000	0,154	0,355	743,3	8922,910
38	14,250	0,157	0,362	772,0	9432,752
39	14,500	0,160	0,368	801,7	9966,827
40	14,750	0,163	0,375	832,3	10526,43
41	15,000	0,165	0,381	864,1	11112,95

Буксирувальна потужність для швидкості на випробуваннях: $v_g=15$ вузлів складає $N_g=11112,95$ кВт. Буксирувальна потужність для експлуатаційної швидкості $v_e=14,5$ вузлів дорівнює $N_e = 9966,83$ кВт.

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

Таблиця 1.2.2 – Характеристики головного двигуна судна-проекта

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№ з/п	Марка	P_{SN} , кВт	n , об/хв	g_e , г/(кВт·год)	L , мм	B , мм	H , мм	G , т
1	11S42MC	11275	136	174	10813	2740	8125	247

1.3 Визначення характеристик судна- проекту у другому наближенні

1.3.1 Розрахунок водотоннажності. Для розрахунку водотоннажності у другому наближенні використовується рівняння мас у функції головних розмірів.. Маса корпусу в цьому рівнянні визначається залежністю $P_K = q_K C_b^n L B D$, а маса обладнання $P_o = q_o (L B D)^{2/3}$. Для визначення маси енергетичної установки та палива використовується значення потужності, яке взято з каталогу. Формули для маси забезпечення $P_{заб}$, запасу водотоннажності $P_{зв}$, мають невеликі значення у навантаженні мас, залишаються незмінними $P_{заб} = a_c \Delta$; $P_{зв} = a_{зв} \Delta$.

Для виключення невідомих в рівнянні та приведення його до такого вигляду, щоб його можна було б вирішити відносно Δ , застосовуються наступні формули:

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

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

Враховуючи виконані перетворення рівняння мас буде мати наступний вид:

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

Таблиця 1.3.1– Визначення проміжних коефіцієнтів

Назва величини	Формула	Значення
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу прототипу	$\bar{C}_b^n = \bar{C}_b \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) + 1,05 \bar{C}_w \left(1 - \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) \right)$	0,865

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу проекту	$C_b^n = C_b \left(\frac{d_1}{D_1} \right) + 1,05 C_w \left(1 - \left(\frac{d_1}{D_1} \right) \right)$	0,863
Вимірник маси корпусу прототипу	$q_K = \frac{\bar{P}_K}{\bar{C}_b^n \bar{L} \bar{B} \bar{D}}$	0,096
Вимірник маси обладнання	$q_{OB} = \frac{\bar{P}_{OB}}{(\bar{L} \bar{B} \bar{D})^{2/3}}$	1,223
Коефіцієнт морського запасу	$k_{мз}$	1,2
Коефіцієнт збільшення запасу палива	$k_{доп}$	1,15
Коефіцієнти для вирішення рівняння мас	$n = 1 - 0,966 q_K \frac{D}{d} \frac{C_b^n}{C_b} - a_{зв} - a_B$	0,85
	$m = q_{OB} \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{1}{C_b \gamma} \right)^{2/3} + q_3$	1,824
	$A = q_{EY} N_{EY}^e + q_{П} k_{мз} k_{доп} N_{EY}^e \frac{R}{v_E} + P_B$	70315
Рівняння мас у функції головних розмірів	$\Delta - \frac{m}{n} \Delta^{2/3} - \frac{A}{n} = 0$	0

Для рішення рівняння рівняння та отримання водотоннажності у другому наближенні необхідно використати метод підбору параметрів у програмі Excel:

$$\Delta_2 = 75134 \text{ т.}$$

Знаючи величину водотоннажності у другому наближенні можна отримати маси статей навантаження судна-проекту в табл. 1.3.2.

Таблиця 1.3.2. – Розрахунок мас статей навантаження

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Назва статі навантаження	Формула	Значення
Маса корпусу, т	$P_K = q_K \Delta \left(\frac{C_b^n D}{C_b d} \frac{1}{k_{\text{вч}} \rho} \right)$	11206
Маса обладнання, т	$P_{\text{Об}} = q_{\text{Об}} \Delta^{\frac{2}{3}} \left(\frac{D}{d} \frac{1}{C_b k_{\text{вч}} \rho} \right)^{2/3}$	2899
Маса енергетичної установки, т	$P_{\text{ЕУ}} = q_{\text{ЕУ}} N_{\text{ЕУ}}^6$	787,91
Маса забезпечення, т	$P_3 = q_3 \Delta_2^{2/3}$	348,5
Маса запасу водотоннажності, т	$P_{3\text{В}} = a_{3\text{В}} \Delta_2$	223
Маса палива, т	$P_{\Pi} = q_{\Pi} N_{\text{ЕУ}}^6 \frac{R}{v_e} k_{\text{мз}} k_{\text{доод}}$	2170,82
Маса баласту, т	$P_{\text{Б}} = a_{\text{Б}} \Delta_2$	0
Маса вантажу, т	$P_{\text{В}}$	57500
Водотоннажність, т	$\Delta_2 = P_K + P_{\text{Об}} + P_{\text{ЕУ}} + P_{\Pi} + P_3 + P_{3\text{В}} + P_{\text{Б}} + P_{\text{В}}$	75134

1.3.2 Уточнення головних розмірів судна-проекта виконується , враховуючи вимоги до місткості, початкової остійності та плавності хитавиці.

Головні розміри судна-проекта отримуються по їх відношенням. У другому наближенні уточнюються відношення з урахуванням до різних якостей судна.

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

$$D/d = \left[\frac{1,08 \eta_{\text{в}}}{L_m / L \gamma_{\text{в}}} + \eta_{\text{с}} \right] \frac{C_b}{C_m} \kappa_e$$

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{BMC}} = \left[\frac{1,08\eta_B}{L_m/L_0} \cdot \frac{1}{\gamma_6} + \eta_6 \right] \frac{\delta}{\delta_m} \kappa_e = \left[\frac{1,08 \cdot 0,764}{213/218} \cdot \frac{1}{1,4} + 0,42 \right] \frac{0,82}{0,851} = 1,55$$

Приймаємо відношення висоти борта до осадки $\left(\frac{D}{d}\right)_2 = 1,56$

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

$$\frac{B}{d} = \frac{\frac{h}{B} + \sqrt{\left(\frac{h}{B}\right)^2 + \frac{k_p}{3} \frac{C_w^2}{C_b} \left(\zeta_g \frac{D}{d} - \frac{1}{2} \left(\frac{C_w}{C_b} \right)^{0,5} \right)}}{\frac{k_p}{6} \frac{C_w^2}{C_b}} = \frac{0,11 + \sqrt{(0,11)^2 + \frac{1,030}{3} \frac{0,993^2}{0,855} \left(0,57 \cdot 1,68 - \frac{1}{2} \left(\frac{0,993}{0,855} \right)^{0,5} \right)}}{\frac{1,030}{6} \frac{0,993^2}{0,855}} = 2,84$$

Для вибору значення B/d його треба порівняти з B/d прототипу.

Приймаємо $\left(\frac{B}{d}\right)_2 = 2,84$.

- Визначення відношення довжини до ширини з умови забезпечення ходовості:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_2 = \sqrt{I^3 \cdot C_b \cdot \left(\frac{B}{d}\right)_2 \cdot k_{вч} \cdot \rho} = \sqrt{5,42^3 \cdot 0,82 \cdot 2,84 \cdot 1,01 \cdot 1,025} = 6,55$$

Приймаємо $\left(\frac{L}{B}\right)_2 = 6,55$.

1.3.3 Розрахунок головних розмірів проекту

Для визначення головних розмірів проекту будемо використовувати рівняння плавучості:

$$\Delta_2 = k_{в\rho} C_b L_2 B_2 d_2$$

де $k_{в} = 1,01$ — коефіцієнт, який враховує виступаючі частини корпусу,

Використовуємо відношення головних розмірів, запишемо рівняння у вигляді:

$$\Delta = k_{в\rho} C_b (L/B)_2 B_2^3 (d/B)_2.$$

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3.3 – Розрахунок головних розмірів у другому наближенні

Ширина судна (м)	$B_2 = \sqrt[3]{\frac{D_2(B/d)_2}{k_B \rho_B C_b (L/B)_2}}$	33,8
Довжина судна (м)	$L_2 = \left(\frac{L}{B}\right)_2 B_2$	221,8
Осадка судна (м)	$d_2 = \frac{B_2}{\left(\frac{B}{d}\right)_2}$	11,9
Висота борта (м)	$D_2 = d_2 \left(\frac{D}{d}\right)_2$	18,56

1.4 Побудова теоретичного креслення судна-проекта та визначення елементів зануреного об'єму і початкової остійності

Для побудування теоретичного креслення і розрахунку характеристик початкової остійності застосовуємо програмний комплекс Maxsurf.

3D модель корпусу і теоретичне креслення будуємо в програмі Maxsurf Modeler і AutoCAD за допомогою афінного перетворення поверхні прототипу.

Вихідні дані:

- кількість батоксів – 3 (I.. III);
- кількість ватерліній – 7 (0..7);
- кількість шпангоутів – 21 (0, 0.5, 1, 2, 3..17, 18, 19, 19.5, 20);
- теоретична шпация $\Delta L = L/20 = 10,98\text{м}$.

За отриманими даними побудовано теоретичне креслення (24.ДРБ.135.4111.24.06.01), креслення загального розташування (24.ДРБ.135.4111.24.06.04) та гідростатичні криві (24.ДРБ.135.4111.24.06.02).

1.5 Побудова креслення загального розташування

Креслення загального розташування виконується у тому ж масштабі, що й теоретичне креслення в програмі AutoCAD.

На проекції «Вид збоку/Повздовжній переріз» розташовуємо поперечні перебірки трюмів, друге дно, надбудову, щогли, леєра, палубні суднові

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристрої, навігаційні та ходові вогні, трапи, ілюмінатори, габарити головного двигуна, осі валопроводу, руль, гвинт.

На проекції «Верхня палуба», поперечні водонепроникні перебірки. В носовій та кормовій кінцівках розташовуємо якірно-швартовний пристрій.

1.6 Визначення місткості вантажних трюмів, цистерн, розрахунок статей завантаження, визначення координат центрів мас.

Після розрахунку головних розмірів та коефіцієнтів форми корпусу проєкта необхідно перевірити його вантажомісткість. Ця перевірка є остаточною і виконується за допомогою комплексу Maxsurf Stability Enterprise. Довжина судна знаходиться в межах 200-230 м і кормове розташування машинного відділення, то кількість водонепроникних перебірок приймаємо рівною 10 .

Фактичну шпацию визначаємо за формулою:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 221.6 + 0,48 = 0,919 \text{ мм.}$$

Приймаємо $a_0 = 750 \text{ мм.}$

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

Поперечні перебірки поділяють корпус судна на відсіки представлені у табл.1.6.1.

Таблиця 1.6.1 – Відсіки судна

Шпация	Відсік	Довжина
0-22	Ахтерпік	$L_{axm}=22 \cdot 0,6=13,2 \text{ м}$
22-59	МВ	$L_{mv}=37 \cdot 0,75=27,9 \text{ м}$
59-64	Відстійний танк	$L_{танкб}=5 \cdot 0,75=3,75 \text{ м}$

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

64-95	Трюм №7	$L_{\text{танк}7} = 31 \cdot 0,75 = 23,25 \text{ м}$
95-126	Трюм №6	$L_{\text{танк}6} = 31 \cdot 0,75 = 23,25 \text{ м}$
126-157	Трюм №5	$L_{\text{танк}5} = 31 \cdot 0,75 = 23,25 \text{ м}$
157-188	Трюм №4	$L_{\text{танк}4} = 31 \cdot 0,75 = 23,25 \text{ м}$
188-219	Трюм №3	$L_{\text{танк}3} = 31 \cdot 0,75 = 23,25 \text{ м}$
219-250	Трюм №2	$L_{\text{танк}2} = 31 \cdot 0,75 = 23,25 \text{ м}$
250-281	Трюм №1	$L_{\text{танк}1} = 31 \cdot 0,75 = 23,25 \text{ м}$
281-301	Форпик	$L_{\text{фор}} = 20 \cdot 0,6 = 12,0 \text{ м}$
Сума		$L = 219,6 \text{ м}$

Висота другого дна визначається за формулою:

$$h_{\text{дд}} = L - 40/0,57 + 40B + 3500d/L = 221,8/0,57 + 40 \cdot 33,8 + 3500 \cdot 11,9/221,8 = 1,658 \text{ м.}$$

Приймаємо $h_{\text{до}} = 2 \text{ м.}$

Ширину подвійного борту визначаємо за формулою:

$$b_{\text{пб}} = 0,5 + \frac{DW}{20000} = 0,5 + \frac{59893}{20000} = 3,494 \text{ м.}$$

Приймаємо $b_{\text{пб}} = 5,0 \text{ м.}$

Положення центра масс визначається розрахунком з використанням Maxsurf Loadcase. Координати розділів: корпус, обладнання, запас водотоннажності, енергетична установка і постачання визначаються перерахунком з розмірів судна прототипу пропорційно довжині і висоті борту за наступними залежностями:

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

Координати центрів мас вантажу, палива приймаються за Loadcase.

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Таблиця 1.6.2 – Таблиця ємності

№ п/п	Назва приміщення	Теоретичний об'єм, м ³	Перехідний коефіцієнт k (Завантажен ня, %)	Об'єм під вантаж, м ³	Координати центра ваги, м	
					X	z
1.	Трюм №1	7264,810	0,98	7119,514	-22,40	1,307
2.	Трюм №2	9070,293	0,99	8979,590	-44,89	1,269
3.	Трюм №3	8815,658	0,99	8727,502	-66,98	1,280
4.	Трюм №4	8815,516	0,99	8727,361	-88,77	1,280
5.	Трюм №5	8839,656	0,99	8751,260	-110,6	1,280
6.	Трюм №6	8839,242	0,982	8656,568	-132,4	1,346
7.	Трюм №7	8839,371	0,98	8662,584	-154,2	1,363
8.	Відстійний танк (Slop tank) для ТНК	1484,618	0	0	-189,3	9,5
9.	Σ об'єм під вантаж	53077,1		52015,6		
10.	Цистерна №1 ЛБ	687,485	0	0	-21,31	9,51
11.	Цистерна №1 ПБ	687,485	0	0	-21,31	9,51
12.	Цистерна №2 ЛБ	1690,484	0	0	-45,37	9,51
13.	Цистерна №2 ПБ	1690,484	0	0	-45,37	9,51

14.	Цистерна №3 ЛБ	1672,240	0	0	-66,98	9,51
15.	Цистерна №3 ПБ	1672,240	0	0	-66,98	9,51
16.	Цистерна №4 ЛБ	1672,039	0	0	-88,77	9,51
17.	Цистерна №4 ПБ	1672,039	0	0	-88,77	9,51
18.	Цистерна №5 ЛБ	1676,0443	0	0	-110,5	9,51
19.	Цистерна №5 ПБ	1676,0443	0	0	-110,5	9,51
20.	Цистерна №6 ЛБ	1671,726	0	0	-132,4	9,51
21.	Цистерна №6 ПБ	1671,726	0	0	-132,4	9,51
22.	Цистерна №7 ЛБ	1674,925	0	0	-153,8	9,51
23.	Цистерна №7 ПБ	1674,925	0	0	-153,8	9,51

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24.	Цистерна відстійного танка ЛБ для ТНК	219,894	0	0	-187,7	8,91
25.	Цистерна відстійного танка ПБ для ТНК	219,894	0	0	-187,7	8,91
26.	Форпик	3138,046	0	0	-9,346	11,5
27.	Ахтерпик	3757,391	0	0	-219,4	0,000
28.	Σ об'єм під баласт	15403,152	0	0	0	0
29.	Цистерна 2-го дна №1	1145,906	0	0	-20,90	11,5
30.	Цистерна №2	1577,007	0	0	-45,33	11,5
31.	Цистерна №3	1588,961	0	0	-66,98	11,5
32.	Цистерна №4	1588,920	0	0	-85,41	11,5
33.	Цистерна №5	1593,230	0	0	-120,4	11,5
34.	Цистерна №6	1589,471	0	0	-132,4	10,6
35.	Цистерна №7	1526,219	0,865	1320,17	-153,9	10,6
36.	Цистерна відстійного танка	78,811	0	0	-189,5	11,5
37.	Цистерна МВ	333,214	0,98	326,55	-202,6	10,4
38.	Σ об'єм під паливо	2125,36		2195,219	-84,69	1,005

Перевірка:

$$W_B = P_B / \gamma_B = 57500 / 0,71 = 80500,0 .$$

Похибка:

$$\varepsilon = \frac{57500 - 56360}{57500} \cdot 100\% = 1,98\% < 5\% .$$

$$W_{\Pi} = P_{\Pi} / \gamma_{\Pi} = 2125 / 0,9443 = 2251,1 .$$

Проект судна повністю вміщує в собі увесь вантаж, паливо.

1.7 Удиферентування проекту судна

В розрахунках приймається, що вантаж та паливо розміщуються симетрично відносно діаметральної площини і тому крен судна відсутній.

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Для удиферентування судна використовується програма Maxsurf Stability Enterprise. Розглянемо І стан навантаження: 100% вантажу, 100% запасів, 0% баласту.

Таблиця 1.7.2 – Розрахунок водотоннажності судна-проекту

№	Назва	Маса P, т	Плечі, м		Моменти, т.м	
			$x_i = \frac{\bar{x}_i}{L} \cdot L$	$z_i = \frac{\bar{z}_i}{H} \cdot H$	$P_i \cdot x_i$	$P_i \cdot z_i$
1	Водотоннажність порожнем (Σпор.)	14883,5	-118,06	10,52	-2188124	194977,6
2	Вантаж	57500	98,67	11,45	6764815,2	785012
3	Постачання	293,4	-104,4	16,16	-34378,92	5321,488
4	Паливо	2125	-202,6	12,99	-613952,9	39364,50
	Σ	75134	43,4	88,7	3928359,3	8024675
	Водотоннажність повна	75134	108,5	10,6	36950336	8533,36

Удиферентування проекту виконується у середовищі Maxsurf Stability для повного вантажу: І стан навантаження 100% вантажу, 100% запасів, 0 % баласту. На рис 1.1 представлена візуалізація посадки судна, а у табл. 1.12 – параметри посадки. За допомогою Loadcase перевіряємо посадку судна (табл.1.7.3).

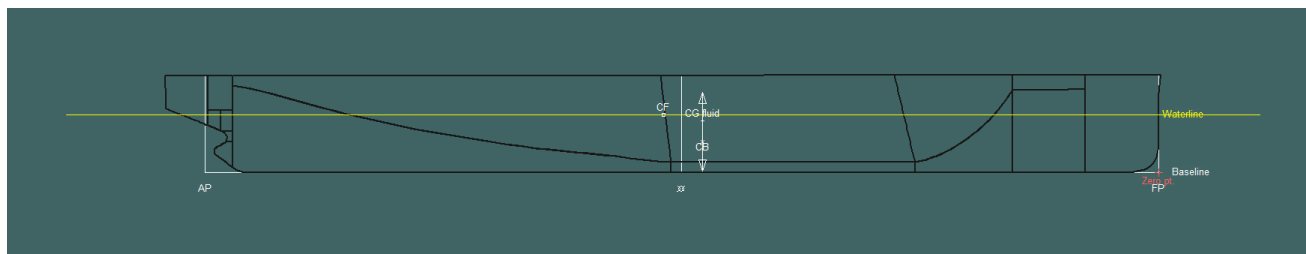


Рисунок 1.7.1 – Удиферентоване судно-проект у повному вантажі

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.7.3 – Посадка судна

1	Draft Amidships m	11,898
2	Displacement t	75170
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	11,890
5	Draft at AP m	11,907
6	Draft at LCF m	11,898
7	Trim (+ve by stern) m	0,017
8	WL Length m	221,800
9	Beam max extents on WL m	33,906
10	Wetted Area m ²	11555,595
11	Waterpl. Area m ²	6919,992
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,825
13	Block coeff. (Cb)	0,820
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,998
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,920
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-102,649
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-111,219
18	KB m	6,220
19	KG fluid m	11,000
20	BMt m	8,154
21	BML m	340,917
22	GMt corrected m	3,374
23	GML m	336,137
24	KMt m	14,374
25	KML m	347,137
26	Immersion (TPc) tonne/cm	70,930
27	MTc tonne.m	1157,667
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	4425,675
29	Max deck inclination deg	0,0044
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0,0044

В результаті отримуємо диферент 0,0044 м на корму.

Згідно даним табл.1.7.3 розрахункова посадка має такі характеристики:

$T_n = 11,89$ – осадка носом, м;

$T_k = 11,907$ – осадка кормою, м;

$\Delta T = 0,0044$ – диферент, м;

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для удиферентування судна необхідно виконання наступних умов:

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

- $\Delta T \leq (0,006...0,008)L = 0,008 \cdot 221,8 = 1,33$ м – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води: $0,592 < 1,33$, умова задовольняє;

- $T_n \geq \frac{L}{40} = \frac{221,8}{40} = 7,379$ м – умова відсутності слемінгу: $11,8 > 7,379$, умова задовольняє;

- $T_k \geq d_{\text{зв}} - d_{\text{зв}} = 8,008$ м – умова забезпечення нормальної роботи гвинта і керованості: $11,9 > 8,008$ – умова задовольняє.

- $T_k \geq T_n$ – умова забезпечення морехідних якостей: $11,907 > 11,89$ – умова задовольняє.

Висновок:

Таким чином $X_c = -110,9$ м, $X_g = -111,23$ м

Отже, проект у повному вантажу удиферентовано.

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДР.135.4111. 24. ПЗ.02				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
					Перевірка морехідних якостей судна		Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Теселько С..								
Консульт.	Ястреба О.П.						НУК		
Керівник	Ястреба О.П.								
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.								

2. Перевірка морехідних якостей

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

2.1.1. Побудова 3D моделі та теоретичного креслення

Для того, щоб побудувати теоретичне креслення і виконати розрахунки елементів початкової остійності використовується програмний комплекс Maxsurf.

3D модель корпусу судна і теоретичне креслення будемо будувати в середовищах Maxsurf Modeler і AutoCAD за допомогою афінного перетворення поверхні прототипу.

Після отримання поверхні виконується експорт проекцій з програми Maxsurf Stability Advanced у середовище AutoCAD. В цій програмі виконується редагування, оформлення у масштабі 1:200 відповідно до ЄСКД.

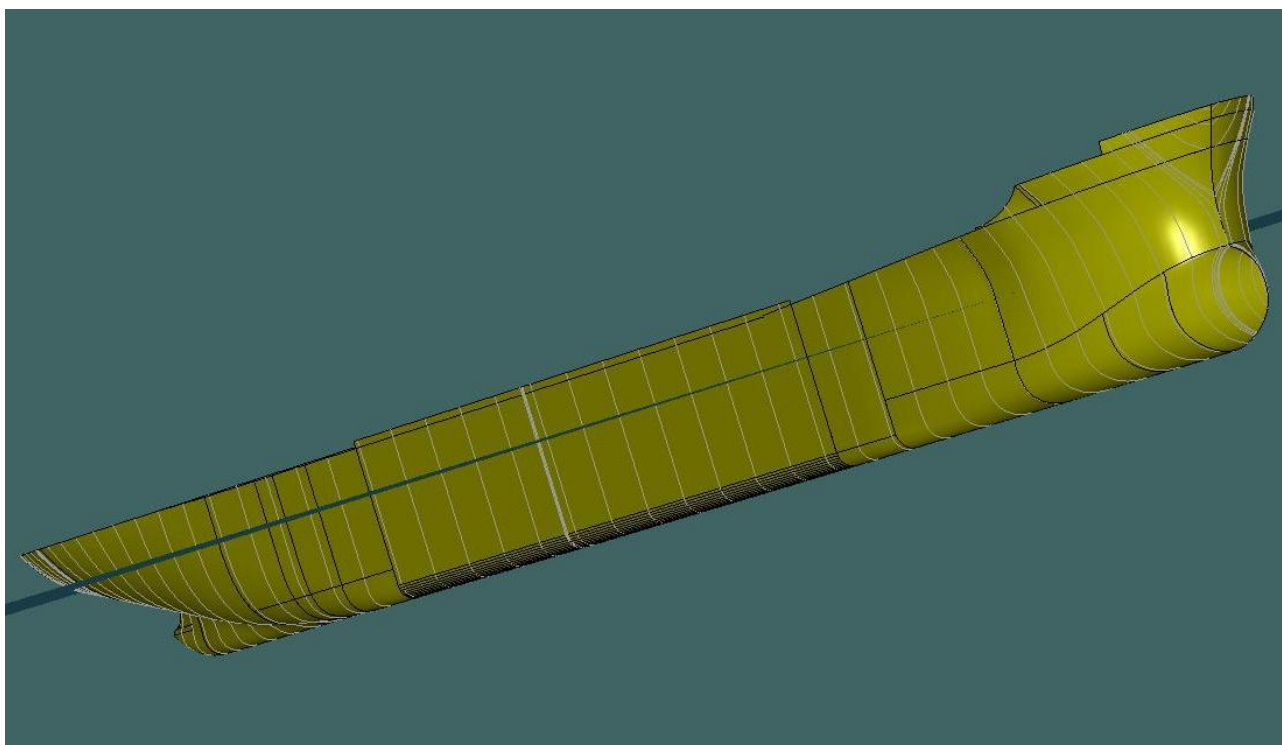


Рис. 2.1.1 Тривимірна модель балкера, виконана у Maxsurf Stability Advanced

На Рис.2.1.2 зображено теоретичне креслення балкера

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Розрахунок гідростатичних кривих

Усі характеристики плавучості та початкової остійності судна у посадці прямо і на рівний киль можуть бути представлені у вигляді сукупності кривих, яка називається діаграмою плавучості та початкової остійності або кривими елементів теоретичного креслення.

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

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

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

Абсциса центру ваги площі ватерлінії:

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

Об'ємна водотоннажність:

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

Абсциса центру величини:

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

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Апліката центру величини:

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

Поздовжній момент інерції площі ватерлінії:

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

Поперечний момент інерції площі ватерлінії:

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

Поздовжній метацентричний радіус:

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

Поперечний метацентричний радіус:

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

Коефіцієнт повноти площі ватерлінії:

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

Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоуту:

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

Коефіцієнт загальної повноти:

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Розрахунок виконується за допомогою програми «Maxsurf».

Hydrostatics – Балкер Fixed Trim = 0 m (+ve by stern) Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Draft Amidships m	0,000	2,500	5,000	7,500	10,000	12,500	15,000	17,500
Displacement t	0,0299	12223	25853	40064	54862	70226	85965	102030
Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	0,000	2,500	5,000	7,500	10,000	12,500	15,000	17,500
Draft at AP m	0,000	2,500	5,000	7,500	10,000	12,500	15,000	17,500
Draft at LCF m	0,000	2,500	5,000	7,500	10,000	12,500	15,000	17,500
Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
WL Length m	6,223	208,064	209,135	208,368	213,750	215,097	215,272	215,917
Beam max extents on WL m	13,487	30,748	30,680	30,657	30,676	30,677	30,637	30,597
Wetted Area m ²	7,691	5709,569	6885,000	8054,455	9263,337	10425,865	11552,226	15198,875
Waterpl. Area m ²	7,679	5169,554	5439,013	5654,670	5892,815	6077,369	6205,580	3839,238
Prismatic coeff. (Cp)	0,880	0,768	0,797	0,822	0,822	0,836	0,851	0,863
Block coeff. (Cb)	0,050	0,744	0,785	0,815	0,816	0,830	0,847	0,861
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,057	0,978	0,991	0,994	0,997	0,998	0,999	0,999
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,091	0,808	0,848	0,885	0,899	0,921	0,941	0,581
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-19,059	-94,714	-96,012	-97,462	-99,245	-101,093	-102,614	-103,767
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-19,059	-96,040	-98,390	-101,919	-106,135	-108,760	-109,854	-116,854
KB m	-0,011	1,303	2,598	3,896	5,208	6,531	7,854	9,176
KG m	9,080	9,080	9,080	9,080	9,080	9,080	9,080	9,080
BMt m	10777,887	29,600	15,080	10,201	7,779	6,328	5,383	2,797
BML m	658,244	1097,185	591,526	426,289	351,784	300,034	258,858	211,988
GMt m	10768,796	21,823	8,599	5,018	3,907	3,780	4,157	2,893
GML m	649,153	1089,408	585,045	421,106	347,912	297,485	257,631	212,084
KMt m	10777,876	30,903	17,679	14,098	12,987	12,860	13,237	11,973
KML m	658,233	1098,488	594,125	430,186	356,992	306,565	266,711	221,164
Immersion (TPc) tonne/cm	0,079	52,988	55,750	57,960	60,401	62,293	63,607	39,352
MTc tonne.m	0,001	641,118	728,214	812,283	918,985	1005,839	1066,312	1041,837
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	5,615	4655,402	3879,664	3508,631	3740,767	4632,249	6236,098	5151,726

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Max deck inclination deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

На Рис.2.2.1 зображено гідростатичні криві.

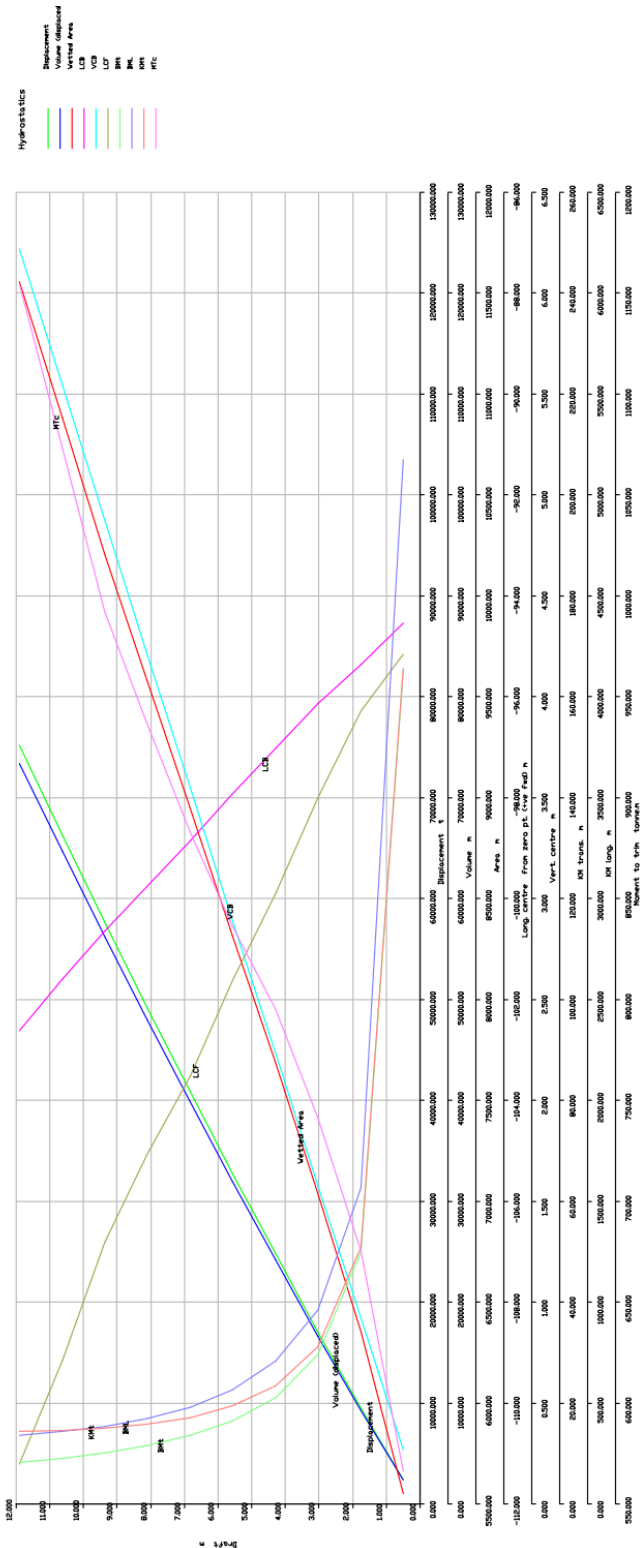


Рис.2.2.1 Гідростатичні криві.

На Рис. 2.2.2 Зображено залежність коефіцієнтів форми корпусу від осадки

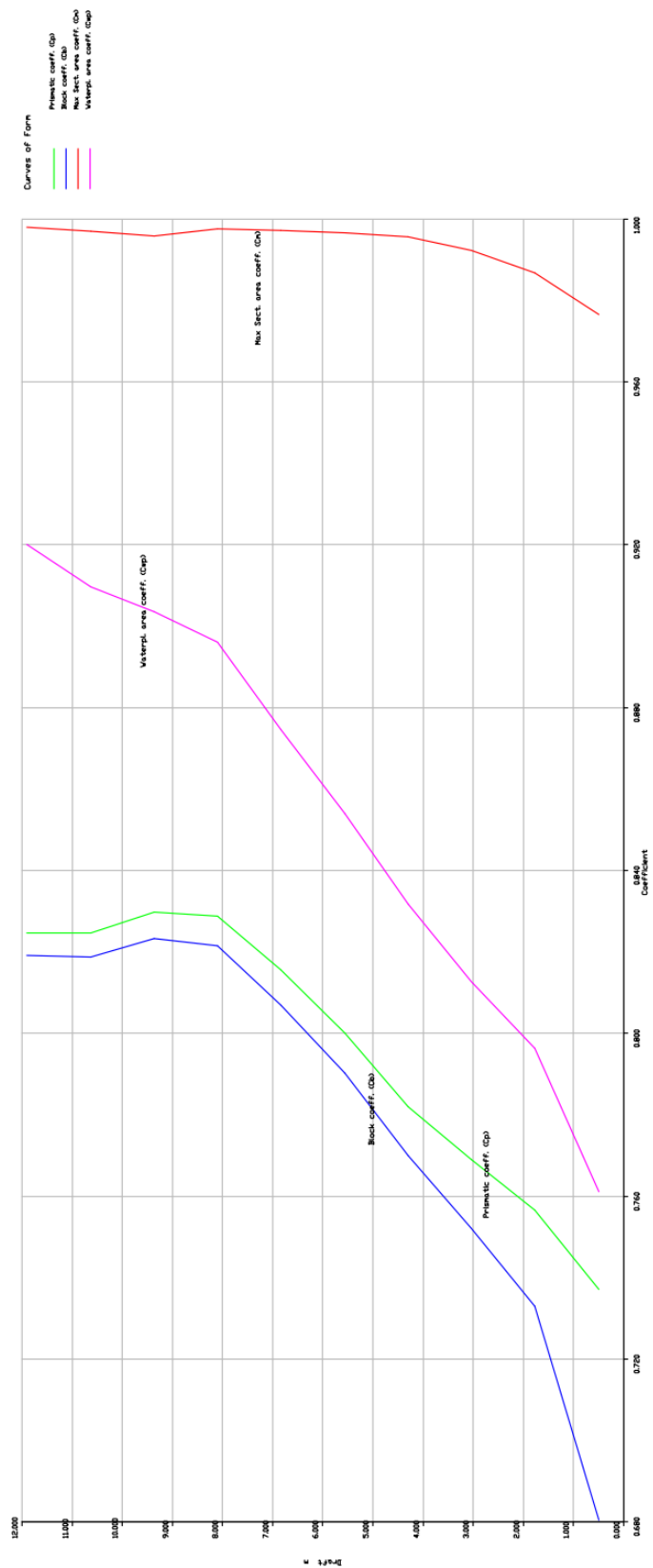


Рис. 2.2.2 З залежність коефіцієнтів форми корпусу від осадки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.3 Перевірка вимог Правил Регістру судноплавства України до остійності судна

2.3.1 Розрахунок амплітуди хитавиці

Плече статичної остійності визначається за допомогою Maxsurf Stability. За даними креслення загального розташування необхідно виміряти площу парусності надводної частини корпусу та надбудови. Також необхідно заміряти аплікату центру парусності .

Амплітуда хитавиці знаходиться за формулою:

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

де k – коефіцієнт, що враховує вплив скулових кілів, (приймаємо) $k = 1$;

X_1 – безрозмірний множник, який визначається в залежності від відношення ширини до осадки B/d , (приймаємо) $X_1 = 0,92$;

X_2 – безрозмірний множник, який визначається в залежності від коефіцієнта

загальної повноти C_b , (приймаємо) $X_2 = 1$;

$r = 0,73 + 0,6(z_g - d)/d$ – параметр, не повинен братися більше 1;

s – безрозмірний множник, який залежить від району плавання судна і періоду хитавиці, який розраховується за формулою:

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

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

h – виправлена метацентрична висота;

L_{wl} – довжина судна по ватерлінії.

$$K = 1 \quad X_1 = 0,92 \quad \left(\text{т.к. } \frac{B}{d} = \frac{33,8}{11,9} = 2,84 \right)$$

Таблиця 2.1.5.1-1 Множник X_1

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

$$X_2 = 1 \quad (\text{т.к. } C_b = 0,791)$$

Таблиця 2.1.5.1-2 Множник X_2

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

$$r = 0,73 + 0,6(z_g - d) / d = 0,73 + 0,6(9,867 - 11,44) / 11,44 = 0,672.$$

$$c = 0,373 + 0,023B / d - 0,043L_{wl} / 100 = 0,373 + 0,023 \cdot 33,8 / 11,9 - 0,043 \cdot 221,3 / 100 = 0,343.$$

$$T = 2cB / \sqrt{h} = 2 \cdot 0,343 \cdot 33,8 / \sqrt{3,73} = 12c.$$

$$S = 0,0693.$$

Таблиця 2.1.5.1-3 Множник S

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

$$\theta_1 = 109 \cdot 0,915 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,672 \cdot 0,0693} = 21,5^\circ$$

2.3.2 Розрахунок кренувального моменту від тиску вітру(a) і перекидального моменту (b):

$$A_v = \sum S_i = 1278,1 \text{ м}^2 \text{ — площа парусності.}$$

$$Z_B = \frac{\sum S_i z_i}{\sum S_i} = \frac{24665,7}{1278,1} = 5,63 \text{ м}$$

$$Z_v = Z_B + \frac{d}{2} = 5,63 + \frac{11,44}{2} = 11,35 \text{ м — плече парусності, яке приймається рівним виміряній по вертикалі відстані від центра площі парусності } A_v, \text{ до центра площі проекції підводної частини корпусу на ДП.}$$

Тому тиск вітру $P_v = 504 \text{ Па}$, $\Delta = 57193 \text{ т}$ — водотоннажність,

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$g = 9,81 \frac{m}{c^2}$ – прискорення вільного падіння.

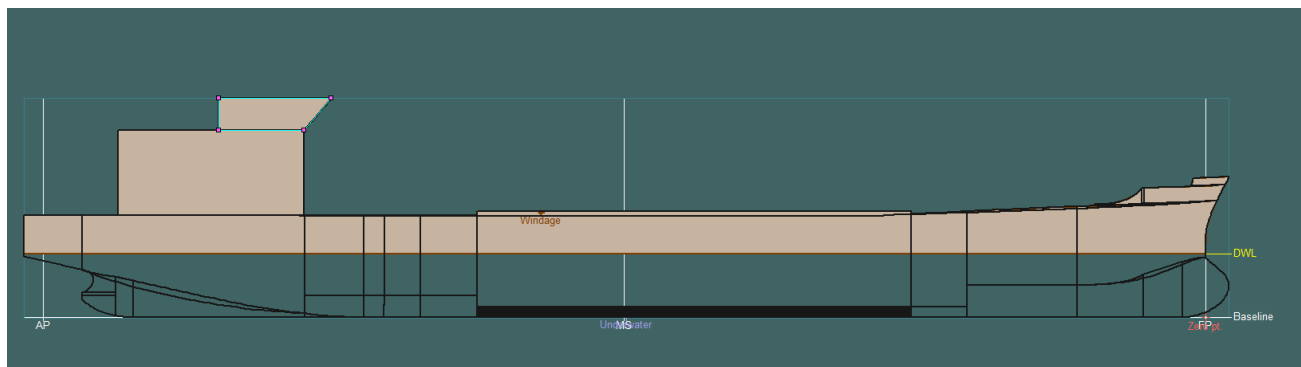


Рисунок 2.3.2 – Схема визначення площі парусності

$$l_{w1} = \frac{P_v \cdot A \cdot Z_v}{1000 \cdot g \cdot D} = \frac{504 \cdot 1578,1 \cdot 20,995}{1000 \cdot 9,81 \cdot 57193} = 0,0354 \text{ м}$$

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1} = 1,5 \cdot 0,0354 = 0,0531 \text{ м}$$

2.3.3 Розрахунок критерія погоди

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

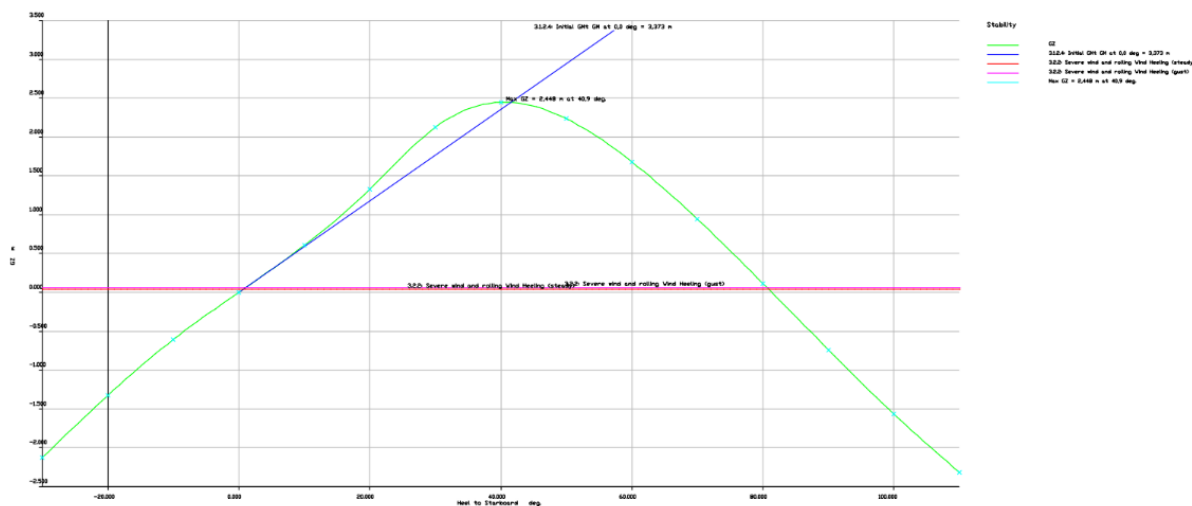


Рис. 2.3.3 – Діаграма статичної остійності

$$K = \frac{b}{a} = \frac{12,0795}{2,7456} = 4,39 \geq 1$$

Також у Maxsurf Stability було розраховано пантокарени . На Рис.2.3.4. зображено їх розрахунок, а на Рис.2.3.5 – криві плеч остійності форми (пантокарени).

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

		-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
	Heel to Starboard deg															
1	GZ m	-2,125	-1,328	-0,606	0,000	0,606	1,328	2,125	2,447	2,234	1,679	0,943	0,116	-0,739	-1,568	-2,317
2	Area under GZ curve from zero heel m.rad	0,5197	0,2190	0,0519	0,0000	0,0520	0,2183	0,5223	0,9300	1,3449	1,6900	1,9207	2,0139	1,9596	1,7574	1,4176
3	Displacement t	75168	75169	75169	75176	75163	75169	75169	75169	75169	75169	75169	75173	75165	75169	75169
4	Draft at FP m	12,243	12,012	11,924	11,891	11,923	12,013	12,242	13,005	14,142	15,892	19,201	28,658	n/a	8,088	-1,323
5	Draft at AP m	11,271	11,580	11,825	11,908	11,825	11,579	11,273	11,376	11,710	12,262	13,376	16,934	n/a	-2,651	-6,314
6	Wetted Area m²2	12157,	11550,	11548,	11556,	11548,	11550,	12158,	12654,	12795,	12907,	12997,	13061,	13070,	13126,	13169,
7	Waterpl. Area m²2	6920,3	7275,9	7002,1	6920,0	7002,0	7275,9	6920,3	6039,6	5187,4	4635,0	4342,5	4193,2	4170,1	4259,9	4455,5
8	Prismatic coeff. (Cp)	0,826	0,824	0,824	0,825	0,824	0,824	0,826	0,835	0,838	0,838	0,838	0,840	0,846	0,851	0,852
9	Block coeff. (Cb)	0,522	0,557	0,670	0,820	0,670	0,557	0,522	0,543	0,561	0,569	0,591	0,632	0,677	0,594	0,533
10	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-102,6	-102,6	-102,6	-102,6	-102,6	-102,6	-102,6	-102,6	-102,6	-102,5	-102,5	-102,5	-102,5	-102,5	-102,6
11	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-107,5	-109,9	-110,7	-111,2	-110,7	-109,9	-107,5	-105,0	-103,9	-103,2	-103,8	-104,5	-105,0	-105,4	-105,3
12	KB m	7,469	6,757	6,346	6,220	6,346	6,757	7,469	8,198	8,774	9,219	9,593	9,935	10,261	10,592	10,943
13	KG fluid m	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000
14	BMT m	8,690	9,762	8,526	8,153	8,526	9,762	8,689	5,971	3,743	2,666	2,159	1,923	1,865	1,965	2,237
15	GMt corrected m	3,386	4,764	3,693	3,373	3,694	4,764	3,385	0,260	-2,383	-3,806	-4,544	-4,872	-4,877	-4,574	-3,962
16	Righting moment (trans.) tonne m	-15974	-99787	-45574	0,000	45572	99787	15974	18396	16792	12624	70847	8741,3	-55532	-11783	-17418
17	Max deck inclination deg	30,000	20,000	10,000	0,0045	10,000	20,000	30,000	40,001	50,001	60,001	70,000	80,000	90,000	99,999	109,99
18	Trim angle (+ve by stern) deg	-0,255	-0,113	-0,025	0,0045	-0,025	-0,113	-0,254	-0,427	-0,638	-0,953	-1,529	-3,074	-90,00	-2,816	-1,310

Рис.2.3.4 Розрахунок плеч остійності форми

					24.ДР.135.4111.24.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

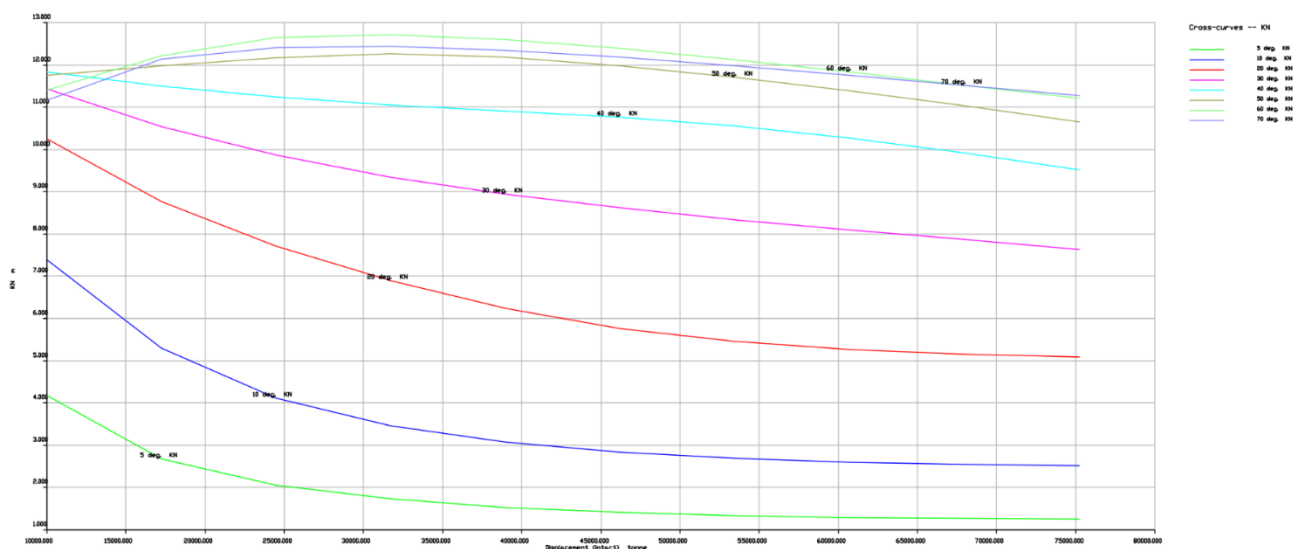


Рис.2.3.5 Плечі остійності форми

Відповідність вимогам Правил Регістру судноплавства до остійності перевіряється у Maxsurf Stability у вкладці Criteria:

Таблиця 2.3.3 – Порівняння отриманих критеріїв з вимогами правил Регістра судноплавства

Критерій	Дійсне значення	Вимога Регістру
K	3,59	$K \geq 1$
$l_{\max}$, м	2,448	$l_{\max} \geq 0,2$
$\theta_{\max}$, град	40,9	$\theta_{\max} \geq 25$
$\theta_{\text{зак}}$, град	83	$\theta_{\text{зак}} \geq 60$
h , м	3,73	$h \geq 0,15$
S_{30} , м·рад	0,5223	$S_{30} \geq 0,055$
S_{40} , м·рад	0,93	$S_{40} \geq 0,09$
$3,59 S_{30-40}$, м·рад	0,4077	$S_{30-40} \geq 0,03$

Висновок: Спроектоване судно відповідає всім вимогам Регістру України

					24.ДРБ.135.4111. 24. ПЗ.03						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Розрахунок конструктивного мидель- шпангоута корпусу			Літ.	Арк.	Аркушів	
Студент	Теселько С..										
Консульт.	Шарун Г.В..							НУК			
Керівник	Ястреба О.П.										
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.										

3. Набір конструктивного мідель-шпангоута корпусу

У даному розділі визначаються розміри в'язей корпусу навалочного судна за «Правилами класифікації та побудови морських суден»

3.1 Головні розміри судна

Таблиця 3.1

№	Величини	Позначення	Розмірність	Дані
1	Довжина між перпендикулярами	L	м	218,6
2	Ширина судна на міделе	B	м	33,8
3	Висота борту	D	м	18,56
4	Осадка судна по літню ГВЛ	d	м	11,9
5	Коефіцієнт загальної повноти	C_g	-	0,82
6	Швидкість судна	V_C	вуз	14,5

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

– відношення довжини судна до висоти борту: $\frac{L}{D} \leq 18$, $\frac{218,6}{18,65} = 11,72 \leq 18$;

– відношення ширини судна до висоти борту: $\frac{B}{D} \leq 2,5$, $\frac{33,8}{18,65} = 1,81 \leq 2,5$;

– відношення осадки судна до висоти борту: $0,55 \leq \frac{d}{D} \leq 0,8$,

$$0,55 \leq \frac{11,9}{18,65} = 0,63 \leq 0,8;$$

– коефіцієнт загальної повноти $C_g \geq 0,6$; $0,82 > 0,6$.

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

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Архитектурно-конструктивный тип судна

Судно однопалубне, з кормовим розташуванням машинного відділення та жилої надбудови, з подвійним дном, з подвійними бортами, з бортовими підпалубними та скуловими цистернами. Має 9 поперечних перебірок. З транцевою кормою, бульбовидною носовою кінцівкою, з носовим баком.

Подвійне дно набране за поздовжньою системою. Кут нахилу стінок бортових цистерн до ОП 45°.

Палуба та ділянки бортів в районі бортових підпалубних цистерн та нахиленні стінки підпалубних цистерн набрані за поздовжньою системою. Кут нахилу стінок підпалубних цистерн до ОП 30°.

3.3. Вибір системи набору перекрить корпусу судна

Система набору корпусу судна змішана, тобто днищові і палубні перекриття набирається за повздовжньою системою набору, а бортові перекриття за поперечною. Кінцеві частини корпусу судна набираються за поперечною системою набору, яка дозволяє краще сприймати поперечні навантаження з боку моря.

3.4. Вибір марки сталі для корпусу судна

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

Таблиця 3.2.Характеристики сталей

№	Марка сталі	R_{EH} , МПа	Коефіцієнт використання механічних властивостей, з	Нижня межа температури, °С.	Відносне подовження, %.
1	10ХСНД	390	0,68	-40	16
2	10Г2С1Д	355	0,72	-60	16

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За розрахункові характеристики міцності матеріалу в Правилах взяті нормативні межі плинності за нормальними σ_n і дотичними τ_n напруженнями:

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

3.5 Вибір шпациї

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

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

де $L = 218,6$ – довжина судна між перпендикулярами, м.

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 218,6 + 0,48 = 0,8954 \text{ м.}$$

Приймаємо: $a_0 = 845$ мм - поперечна шпация;

$a_0 = 900$ мм - поздовжня шпация.

3.6. Креслення обводів мідель-шпангоуту

Підйому лінії днища немає.

Радіус закруглення скули:

$$R = \sqrt{\frac{B \cdot t}{0,86}} = \sqrt{\frac{33,8 \cdot 108}{0,86}} = 1,966 \text{ м,}$$

де $B = 33,8$ – ширина судна, м.

Приймаю: $R = 2$ м

Висота другого дна розраховується за формулою:

$$h_{II} = \frac{L - 40}{570} + 0,04 \cdot B + 3,5 \cdot \frac{d}{L} = \frac{218,6 - 40}{570} + 0,04 \cdot 33,8 + 3,5 \cdot \frac{12}{207,7} = 1,728 \text{ м.}$$

Приймаємо: $h_{II} = 2$ м.

Ширина горизонтального кіля розраховується за формулою:

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

Маємо:

$$b_k = 800 + 5 \cdot L = 800 + 5 \cdot 218,3 = 1892, \text{ мм.}$$

Приймаю: $b_k = 2,0$ м.

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розбивка судна за шпаціями

Таблиця 3.3

Шпація	Відсік	Довжина
0-22	Ахтерпik	$L_{axm}=22 \cdot 0,6=13,2$ м
22-59	МВ	$L_{mv}=37 \cdot 0,75=27,9$ м
59-64	Відстійний танк	$L_{танк6}=5 \cdot 0,75=3,75$ м
64-95	Трюм №7	$L_{танк7}=31 \cdot 0,75 = 23,25$ м
95-126	Трюм №6	$L_{танк6}= 31 \cdot 0,75 = 23,25$ м
126-157	Трюм №5	$L_{танк5}= 31 \cdot 0,75 = 23,25$ м
157-188	Трюм №4	$L_{танк4}= 31 \cdot 0,75 = 23,25$ м
188-219	Трюм №3	$L_{танк3}= 31 \cdot 0,75 = 23,25$ м
219-250	Трюм №2	$L_{танк2} = 31 \cdot 0,75 = 23,25$ м
250-281	Трюм №1	$L_{танк1}= 31 \cdot 0,75 = 23,25$ м
281-301	Форпik	$L_{фор}= 20 \cdot 0,6 = 12,0$ м
Сума		$L = 218,6$ м

3.7. Врахування зносу та корозії

Врахування зносу та корозії на розміри в'язей корпусу побудоване на нормуванні міцності до середини строку служби конструкції. Потрібна товщина S , мм, для листових конструкцій визначається за формулою:

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

де S' – товщина листа, яка відповідає середині строку служби конструкції, мм;
 ΔS – запас на знос та корозію, мм; T – середньорічне зменшення товщини в'язі,

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мм/рік, внаслідок зносу та корозії (табл. № 6.4.); $T=24$ – період служби конструкції, роки.

Таблиця 3.4

Елементи конструкції корпусу	I , мм/рік	ΔS , мм
Настил верхньої палуби	0,15	1,80
Зовнішня обшивка борту	0,19	2,28
Зовнішня обшивка днища	0,20	2,40
Горизонтальний кіль	0,20	2,40
Настил другого дна	0,30	3,60
Настил скулової цистерни	0,30	3,60
Обшивка поперечних перебірок	0,18	2,16
Поздовжні підпалубні балки	0,15	1,80
Поздовжні підпалубні балки в баластному відсіку	0,20	2,40
Карлінгс	0,13	1,56
Рамний бімс	0,13	1,56
Основні, рамні шпангоути	0,13	1,56
Вертикальний кіль	0,20	2,40
Флори	0,20	2,40
Поздовжні балки другого дна, днища	0,20	2,40
Днищеві стрингери	0,20	2,40

3.8. Визначення згинальних моментів

Розрахункова висота хвилі визначається за формулою:

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

де $L = 218,6$ м - довжина судна між перпендикулярами.

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} = 10,75 - \left(\frac{300 - 218,6}{100} \right)^{3/2} = 9,86 \text{ м,}$$

Згинальний момент на тихій воді визначається за формулою:

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

де C_w – розрахункова висота хвилі, м; $B=33,8$ – ширина судна, м; $L=218,6$ м – довжина судна між перпендикулярами; $C_b=0,82$ – коефіцієнт загальної повноти.

$$M_{sw} = \pm 76 C_w B L^2 (C_b + 0,7) 10^{-3} = 76 \cdot 9,86 \cdot 33,8 \cdot 218,6^2 \cdot (0,82 + 0,7) 10^{-3} = 1,51 \cdot 10^6$$

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

$$M_w = 190 C_w B L^2 C_b \cdot 10^{-3} = 190 \cdot 9,86 \cdot 33,8 \cdot 218,6^2 \cdot 0,82 \cdot 10^{-3} = 2,05 \cdot 10^6$$

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

$$M_w = -110 C_w B L^2 (C_b + 0,7) 10^{-3} = -110 \cdot 9,86 \cdot 30,8 \cdot 218,6^2 \cdot (0,826 - 0,7) 10^{-3} = -2,19 \cdot 10^6$$

Сумарний згинальний момент:

- При прогині

$$M_{\Sigma 1} = |M_w + M_{sw}| = |-2,19 \cdot 10^6 - 1,51 \cdot 10^6| = -3,7 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

- При перегині

$$M_{\Sigma 2} = |M_w + M_{sw}| = |2,05 \cdot 10^6 + 1,51 \cdot 10^6| = 3,56 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

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

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

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

Визначимо допустимі напруження:

$$\sigma_{кор} = \frac{175}{0,68} = 257,4 \text{ МПа}, \quad W_{кор} = \frac{M_{\Sigma 1}}{\sigma_{кор}} \cdot 10^{-3} = \frac{3,7 \cdot 10^6}{257,4} \cdot 10^{-3} = 14,38, \text{ м}^3$$

Момент опору корпусу судна:

$$W_{min} = C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot \eta = 9,86 \cdot 33,8 \cdot 218,6^2 \cdot (0,82 + 0,7) \cdot 0,68 = 13,60 \text{ м}^3$$

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент інерції поперечного перетину корпусу в середній частині судна повинен бути не менш ніж

$$I_{нотр} = 3 \cdot C_W \cdot B \cdot L^3 \cdot (C_b + 0,7) = 3 \cdot 9,86 \cdot 33,8 \cdot 218,7^3 \cdot (0,826 + 0,7) = 124,56 \text{ м}^4$$

Відстань нейтральної вісі від основної площини (ОП)

$$e = 0,4 \cdot D' = 0,4 \cdot 18,7 = 7,48 \text{ м},$$

де $D' = D + h_{ком} = 17,5 + 1,2 = 18,7$ – висота борту судна-проекта з урахуванням висоти комінгса люка.

Максимальні діючі напруги в днищі і на палубі розрахуємо за формулою:

$$I_0 = W_d \cdot (D' - e) = 14,38 \cdot (18,7 - 7,48) = 161,34 \text{ м}^4,$$

$$\text{-для днища: } \sigma_{дн} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot Z_{дн}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{3,56 \cdot 10^6 \cdot 7,48}{161,34} \cdot 10^{-3} = 165,04 \text{ МПа},$$

-для верхньої палуби:

$$\sigma_{ВП} = \frac{M_{\Sigma 1} \cdot (D - Z_{дн})}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{3,7 \cdot 10^6 \cdot (17,5 - 7,48)}{161,34} \cdot 10^{-3} = 229,78 \text{ МПа}$$

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

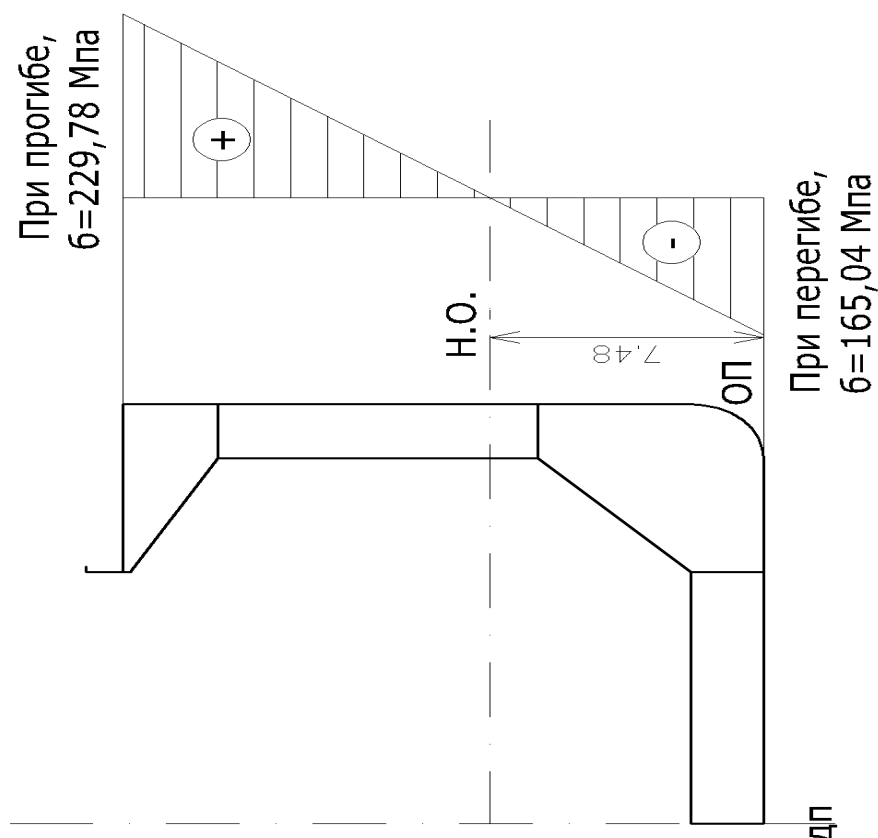


Рисунок 6.1 – Схема напруг, діючих в днищі та палубі

3.9 Визначення розрахункових навантажень

3.9.1. Зовнішні навантаження на корпус судна

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

Розрахунковий статичний тиск визначається за формулою:

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

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

при $Z_i=d=12 \text{ м}$. $P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 12 = 120,66 \text{ кПа}$.

Хвильовий тиск для точок прикладання навантаження на рівні ГВЛ

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

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

де $V_0=14,3$ – специфікаційна швидкість судна, вузли; $k_x=0,8$ – для поперечних перерізів у ніс від міделя; $x_1=0,3L=62,31$ – відстань розглядуваного поперечного перерізу від кормового перпендикуляра, м. Маємо:

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L} \right) = 0,5 \left(1 - 2 \frac{62,31}{207,7} \right) = 0,2 \quad \text{Приймаю } a_x = 0,267.$$

$$a_v = \frac{0,8V_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{L}} + 1,5 = \frac{0,8 \cdot 14,3 \left(\frac{207,7}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{207,7}} + 1,5 = 1,982$$

$a_v \cdot a_x = 1,985 \cdot 0,267 = 0,53$. Результат множення $a_v \cdot a_x$ необхідно брати не менше 0,6, тому приймаємо $a_v \cdot a_x = 0,6$.

$$P_{w0} = \rho \cdot g \cdot \frac{C_w}{2} \cdot a_v \cdot a_x = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{9,86}{2} \cdot 0,6 = 29,74 \text{ кПа.}$$

– Для точок прикладання навантаження нижче ватерлінії

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

$$\text{При } Z_i = d = 12 \text{ м: } P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot C_w \cdot \frac{Z_i}{d} = 29,74 - 1,5 \cdot 9,86 \cdot \frac{12}{12} = 14,95 \text{ кПа.}$$

– Для точок прикладання навантаження вище ватерлінії

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

$$\text{При } Z_i = D - d = 17,5 - 12 = 5,5 \text{ м:}$$

$$P_w = P_{w0} - 7,5 \cdot a_x \cdot Z_i = 29,74 - 7,5 \cdot 0,267 \cdot 5,5 = 18,72 \text{ кПа.}$$

$$P_w \geq P_{\min}, \quad P_{\min} = 0,03 \cdot L + 5 = 0,03 \cdot 207,7 + 5 = 11,23 \text{ кПа.}$$

Тиск на днищеву обшивку судна визначимо за формулою:

$$P = P_{st} + P_w = 120,66 + 14,95 = 135,61 \text{ кПа.}$$

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

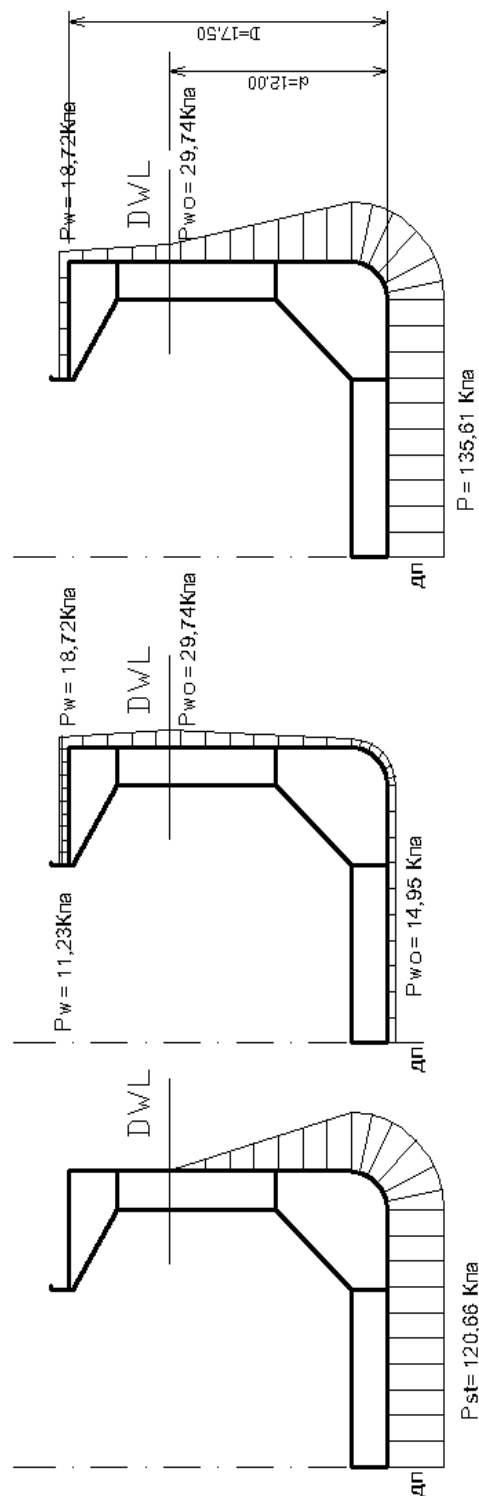


Рисунок 6.2 – Схема навантажень, діючих на корпус судна

3.9.2 Розрахунковий тиск від вантажу

Розрахункове прискорення у вертикальному напрямі визначимо за формулою:

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

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де a_{cz} – проекція прискорення центра ваги судна на вертикальну вісь у розглядуваній точці, м/с²; a_{kz}, a_{bz} – проекції прискорень на вертикальну вісь у розглядуваній точці відповідно від кильової і бортової хитавиці, м/с².

$$a_{cz} = 0,2 \left(\frac{100}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot g = 0,2 \left(\frac{100}{207,7} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 9,81 = 1,53 \text{ м/с}^2,$$

T_k – періоди кильової хитавиці, с:

$$T_k = \frac{0,8\sqrt{L}}{1 + 0,4 \frac{V_0}{L} \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)} = \frac{0,8\sqrt{207,7}}{1 + 0,4 \frac{14,3}{207,7} \left(\frac{207,7}{10^3} + 0,4 \right)} = 11,40 \text{ с},$$

де $V_0 = 14,3$ вуз – специфікаційна швидкість судна;

$$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,23}{1 + 207,7 \cdot 10^{-2}} = 0,074 \text{ рад} – \text{розрахунковий кут диференту}$$

$$a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_k} \right)^2 \cdot \psi \cdot x_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{11,40} \right)^2 \cdot 0,074 \cdot 9,485 = 0,212 \text{ м/с}^2,$$

$x_0 = 9,485$ м – відстань розглядуваної точки від поперечної площини, що проходить через центр ваги судна;

$h = 0,07 \cdot B = 0,07 \cdot 30,8 = 2,156$ м – метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна

T_b – періоди бортової хитавиці:

$$T_b = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}} = \frac{0,8 \cdot 30,8}{\sqrt{2,156}} = 16,78 \text{ с}$$

Де $c = 0,8$ – числовий коефіцієнт

Розрахунковий тиск на настил другого дна від вантажу

Розглянемо т. №1

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 207,7 \cdot 10^{-2}} = 0,294 \text{ рад} – \text{розрахункові кути крену}$$

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a_{\phi z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\phi}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{16,78} \right)^2 \cdot 0,294 \cdot 9,24 = 0,375 \text{ м/с}^2$$

$y_0=9,24$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\phi z}^2} = \sqrt{1,53^2 + 0,212^2 + 0,4 \cdot 0,375^2} = 1,56 \text{ м/с}^2,$$

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

$$\alpha = 0^\circ$$

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

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_{\phi} = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 0,937 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{1,56}{9,81} \right) \cdot (15,5) = 165,13 \text{ кПа.}$$

Випробувальний напір на друге дно визначимо за формулою:

$$P_{\phi un} = 7,5 \cdot h_{II.T}, \text{ кПа.}$$

Де $h_{II.T}=D-h_{II}+\Delta z=17,5-2+1,5=17$ м – відстань від настилу внутрішнього дна до верху повітряної трубки.

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

$$\text{Маємо: } P_{\phi un} = 7,5 \cdot 17 = 127,5 \text{ кПа.}$$

Тиск баласту:

$$P = 0,75 \rho \cdot g (z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 (15,5 + 1,5) = 128,20 \text{ кПа,}$$

де $z_i=17,5-2=15,5$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до другого дна

Тиск аварійного затоплювання:

$$P_{a.з} = 10,5(d-h) = 10,5(12-2) = 105 \text{ кПа}$$

Приймаю розрахунковий тиск на друге дно $P=128,20$ кПа

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$\theta = \frac{0,6}{1+0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1+0,5 \cdot 207,7 \cdot 10^{-2}} = 0,294 \text{ рад} - \text{розрахункові кути крену}$$

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\theta}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{16,78} \right)^2 \cdot 0,294 \cdot 9,24 = 0,45 \text{ м/с}^2$$

$y_0=9,24$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\theta z}^2} = \sqrt{1,53^2 + 0,212^2 + 0,4 \cdot 0,375^2} = 1,56 \text{ м/с}^2,$$

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

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

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_{\theta} = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 0,937 \cdot 9,81 \cdot 0,667 \cdot \left(1 + \frac{1,56}{9,81} \right) \cdot (17,5 - 2) = 110,14 \text{ кПа.}$$

Приймаю розрахунковий тиск на похилий лист скулової цистерни в т. №1
 $P=110,14$ кПа

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

$$\theta = \frac{0,6}{1+0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1+0,5 \cdot 207,7 \cdot 10^{-2}} = 0,294 \text{ рад} - \text{розрахункові кути крену}$$

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\theta}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{16,78} \right)^2 \cdot 0,294 \cdot 9,24 = 0,45 \text{ м/с}^2$$

$y_0=13,304$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\theta z}^2} = \sqrt{1,53^2 + 0,212^2 + 0,4 \cdot 0,375^2} = 1,56 \text{ м/с}^2,$$

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

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

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_{\epsilon} = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 0,937 \cdot 9,81 \cdot 0,667 \cdot \left(1 + \frac{1,57}{9,81} \right) \cdot 11,34 = 80,65 \text{ кПа.}$$

де $z_i = 11,34$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до точки з'єднання нахилоного листа бортової цистерни з шпангоутом.

Приймаю розрахунковий тиск від вантажу на похилий лист скулової цистерни в т. № 2 $P = 80,65$ кПа

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

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 207,7 \cdot 10^{-2}} = 0,294 \text{ рад} - \text{розрахункові кути крену}$$

$$a_{\sigma z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\sigma}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{16,78} \right)^2 \cdot 0,294 \cdot 9,24 = 0,45 \text{ м/с}^2$$

$y_0 = 13,304$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{\sigma z}^2 + a_{\kappa z}^2 + 0,4 \cdot a_{\sigma z}^2} = \sqrt{1,53^2 + 0,212^2 + 0,4 \cdot 0,375^2} = 1,56 \text{ м/с}^2,$$

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

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

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_{\epsilon} = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 0,937 \cdot 9,81 \cdot 0,333 \cdot \left(1 + \frac{1,56}{9,81} \right) \cdot 2,6 = 134,51 \text{ кПа.}$$

де $z_i = 2,6$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до точки з'єднання нахилоного листа бортової цистерни з шпангоутом.

Приймаю розрахунковий тиск від вантажу на борт в т. № 2 $P = 134,51$ кПа

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

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 207,7 \cdot 10^{-2}} = 0,294 \text{ рад} - \text{розрахункові кути крену}$$

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a_{\phi z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\phi}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{16,78} \right)^2 \cdot 0,294 \cdot 9,24 = 0,45 \text{ м/с}^2$$

$y_0=13,304$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\phi z}^2} = \sqrt{1,53^2 + 0,212^2 + 0,4 \cdot 0,375^2} = 1,56 \text{ м/с}^2,$$

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

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

$$P_{\phi} = \rho_B \cdot g \cdot k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 0,937 \cdot 9,81 \cdot 0,333 \cdot \left(1 + \frac{1,56}{9,81} \right) \cdot 2,6 = 9,2 \text{ кПа},$$

де $z_i=2,6$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до точки з'єднання нахиленого листа підпалубної цистерни з бортом.

Приймаю розрахунковий тиск від вантажу на борт в т. №3 $P=9,2$ кПа

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

$$P_{\text{вип}} = 7,5 \cdot h_{П.Т}, \text{ кПа.}$$

Де $h_{П.Т}=z_i+\Delta z=2,6+1,5=1,1$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від точки з'єднання нахиленого листа підпалубної цистерни з бортом до верху повітряної трубки.

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

$$\text{Маємо: } P_{\text{вип}} = 7,5 \cdot 1,1 = 8,25 \text{ кПа.}$$

Тиск баласту:

$$P = 0,75 \rho \cdot g (z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 (2,6 + 1,5) = 30,91 \text{ кПа},$$

де $z_i=2,6$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до точки з'єднання нахиленого листа підпалубної цистерни до борту.

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаю розрахунковий тиск на обшивку похилої стінки підпалубної цистерни в т. № 3 $P=30,91$ кПа

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

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

Де $h_{\text{п.т}}=z_i+\Delta z=0,2+1,5=1,7$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від точки з'єднання нахиленого листа підпалубної цистерни з карлінгсом до верху повітряної трубки.

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

$$\text{Маємо: } P_{\text{вип}} = 7,5 \cdot 1,7 = 12,75 \text{ кПа.}$$

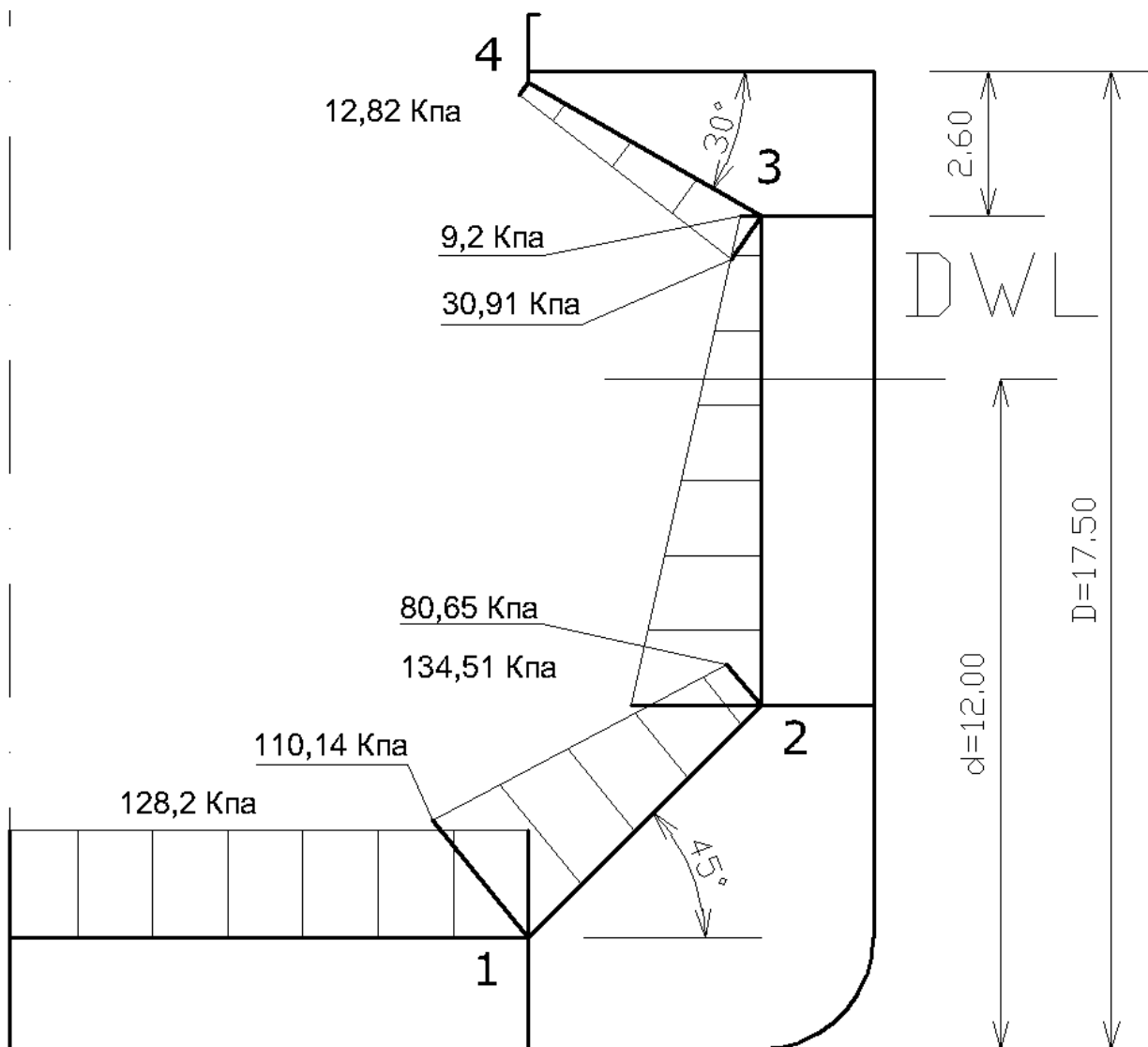
Тиск баласту:

$$P = 0,75 \rho \cdot g (z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 (0,2 + 1,5) = 12,82 \text{ кПа,}$$

де $z_i=0,2$ м – відстань виміряна в діаметральній площині, від ВП до точки з'єднання нахиленого листа підпалубної цистерни з карлінгсом.

Приймаю розрахунковий тиск на обшивку похилої стінки підпалубної цистерни в т. № 4 $P=12,82$ кПа

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



ДП

Рисунок 3.3 – Схема навантажень, що діють на корпус судна з боку вантажу

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.4			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
		..			Розрахунок еквівалентного бруса і перевірка загальної поздовжньої міцності	Літ.	Арк.	Акрушів
Студент	Теселько							
Консульт.	Коростильов Л.І							
Керівник	Ястреба О.П.							
Зав.Кафедр.	Некрасов							

4. Розрахунок еквівалентного бруса і перевірка загальної поздовжньої міцності

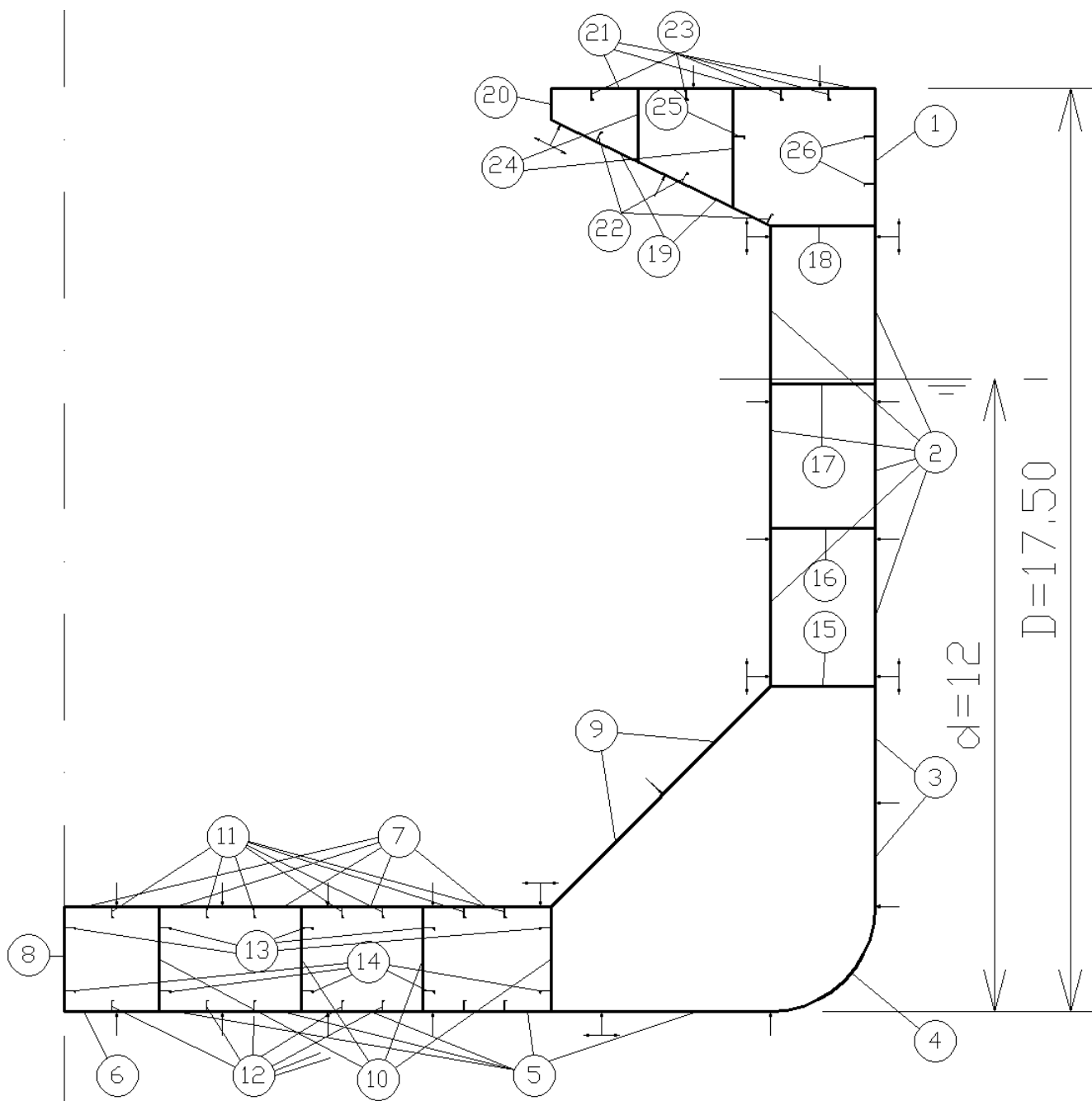


Рис 4.1 – Схема еквівалентного бруса

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1

№	Найменування в'язей		Розмір в'язей	Площа в'язи $F, \text{см}^2$	Відстань ЦТ в'язи від вісі порівняння $z, \text{м}$	Статичний момент площі відносно вісі 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 в'язи від нейтральної вісі, $e, \text{м}$
1	2		1	2	3	4	5	6	7
1	Ширстрек		2800 × 25	700	16.1	11270	181447	457	8.67
2	Пояси перемінних ватерліній		8338 × 20	1668	10.53	17560	184905	9661	3.10
3	Надскуловий пояс		4360 × 18	785	4.18	3280	13712	1243	-3.25
4	Скуловий пояс		3141 × 18	565	0.58	328	190	465	-6.85
5	Пояси наружної обшивки днища		12400 × 18	2232	0.009	20	0.181	—	-7.42
6	Горизонтальний кіль		1000 × 20	200	0.01	2	0.020	—	-7.42
7	Настил другого дна		9040 × 20	1808	1.99	3598	7160	—	-5.44
8	Вертикальний кіль		2000 × 19	380	1	85	170	57	-6.43
9	Лист нахилої стінки другого дна		6283 × 14	880	4.08	3589	14643	2894	-3.35
10	Днищевой стрингер (4 шт.)	4	2000 × 14	1120	1	1120	1120	93	-6.43
11	Ребро жорсткості другого дна (7 шт.)	7	20a	191.8	1.876	360	675	0.0	-5.56
12	Ребро жорсткості днищеве (7 шт.)	7	186	180.6	0.128	23	3	0	-7.30
13	Ребро жорсткості стрингера (5 шт.)	5	186	129	1.6	206	330	—	-5.83
14	Ребро жорсткості стрингера (5 шт.)	5	186	129	0.4	52	21	—	-7.03
15	Стрингери платформи другого борту		2000 × 14	280	6.16	1725	10625	—	-1.27
16	Стрингери платформи другого борту		2000 × 14	280	9.16	2565	23494	—	1.73

17	Стрингери платформи другого борту		2000 × 14	280	11.9	3332	39651	—	4.47
18	Стрингера платформи другого борту		2000 × 14	280	14.9	4172	62163	—	7.47
19	Нахилний лист підпалубної цистерни		4616 × 25	1154	15.9	18349	291743	—	8.47
20	Лист підпалубної цистерни		1000 × 25	250	17.2	4300	73960	21	9.77
21	Лист верхньої палуби		5100 × 25	1275	17.3	22058	381595	—	9.87
22	Балки Р.Ж. цистерни (3шт.)	3	206	94	15.8	1488	23516	—	8.37
23	Балки основного Р.Ж. палуби (4шт.)	4	206	126	17.38	2183	37939	0	9.95
24	Поздовжній лист коридору		3664 × 22	806	16.56	13349	221054	902	9.13
25	Балки підпалубної цистерни (1шт.)	1	186	26	16.6	428	7109	—	9.17
26	Балки набору ширясти (2шт.)	2	206	63	16.15	1014	16380	—	8.72
	СУМА			15671		116455	1609397		

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

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

$$I = 148,80$$

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

$$W_d^\phi = I/(D-e) = 148,80/(17,5-7,43) = 14,78 \cdot 10^6 \text{ (см}^3\text{)}$$

$$W_{\text{треб}} = 14,38 \text{ (м}^3\text{)}$$

$$I_{\text{min}} = 124,6 \text{ (м}^4\text{)}$$

$$W_b^\phi > W_{\text{треб}}$$

$$W_d^\phi > W_{\text{треб}}$$

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

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.04				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Висновки

Згідно з завдання, отриманого на дипломну роботу, спроектовано балкер вантажопід'омністю 57500 тонн для перевезення навалочних вантажів та зерна.

У дипломній роботі було визначено значення водотоннажності, обрано форму корпусу, головні розміри судна в двох наближеннях, виконано розрахунки ходовості та за їх результатами обрано головний двигун по каталогу.

За допомогою даних судна – прототипу було розроблено тривимірну модель корпусу судна у програмі Maxsurf Modeler, в програмному комплексі AutoCad розроблено теоретичне креслення корпусу судна, створено креслення загального розташування судна. В комплексі Maxsurf Stability виконані розрахунки кривих елементів зануреного об'єму та побудовано їх креслення. Виконано визначення положення центрів ваги трюмів судна та зроблено удиферентування судна у повному вантажі з повними запасами.

Виконано розрахунки по теорії корабля: елементи плавучості і початкової остійності, остійності на великих кутах крену, розрахована та побудована діаграма статичної остійності, виконано розрахунок критерію погоди, розраховано та побудовано діаграму плеч остійності форми для різних кутів крена (пантокарени). Виконано порівняння отриманих результатів розрахунків з вимогами правил Регістру до діаграми статичної остійності судна.

Відповідно до «Правил класифікації та побудови суден» Регістру судноплавства України, спроектований конструктивний мідель-шпангоут корпусу судна. Виконано перевірку загальної та місцевої міцності пластин днища корпусу судна.

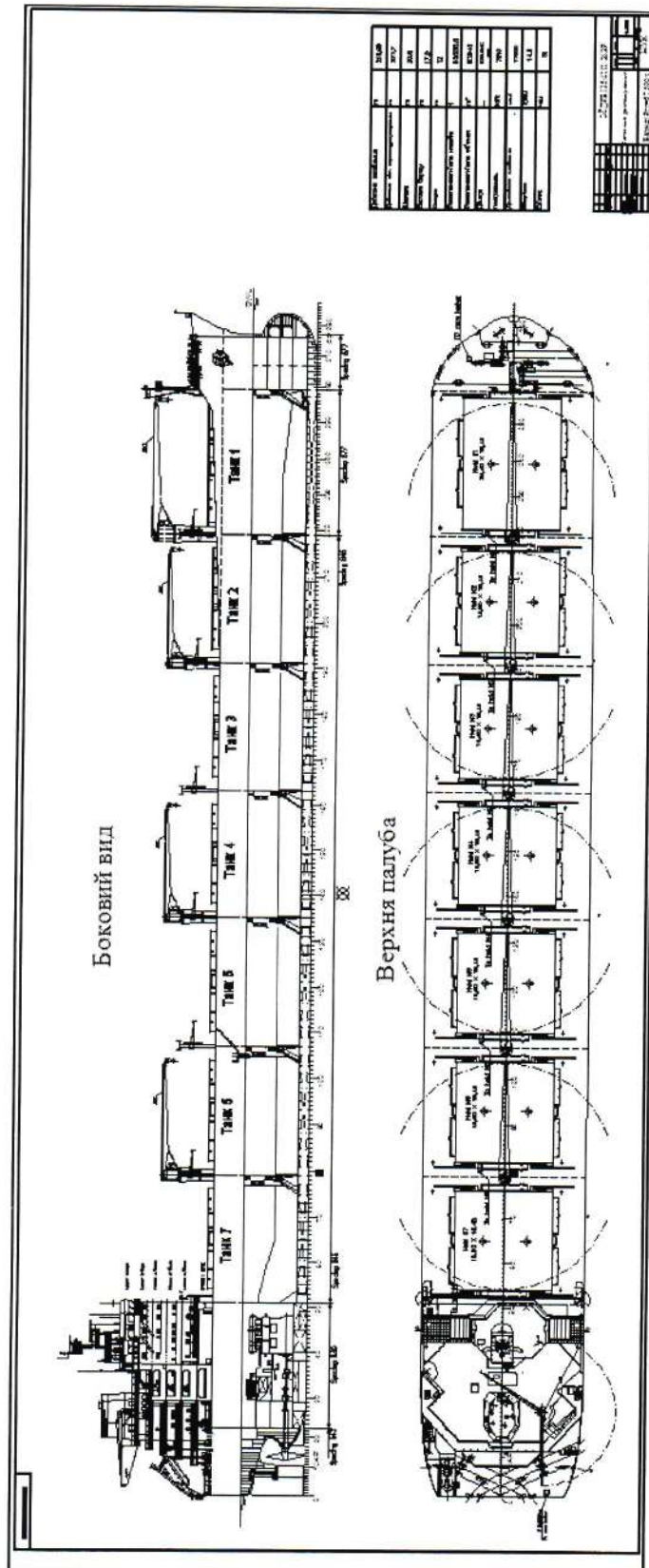
Згідно отриманих результатів розрахунків можна зроблено висновок, що проєктоване судно відповідає виданому завданню та задовольняє вимогам правил Регістра судноплавства України до остійності.

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список літератури

1. Бондаренко О.В., Кротов О.І., Сорокін В.І. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Основи проектування суден». – Миколаїв: НУК, 2005. – 48 с.
2. Бондаренко О.В., Кротов О.І., Матвеев Л.О. Методичні вказівки до виконання дипломних проектів студентами спеціальності "Кораблі та океанотехніка". – Миколаїв: НУК, 2005. – 52 с.
3. Проектування морських транспортних суден: Навчальний посібник/ О.І. Кротов, В.І. Голиков, О.Ю. Єганов, О.В. Бондаренко – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 156 с.
4. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. – К., 2017. – Т.1., Т.2., Т.3. – 362 с.
5. Особливості проектування морських транспортних суден: Навчальний посібник. Частина 1/ О.В. Бондаренко, О.І. Кротов, Л.О.Матвеев, С.О.Прокудін – Миколаїв: УДМТУ, 2004. – 73 с.
6. Кротов О.І., Ільїн С.Ф., Клева Я.А. Курсове і дипломне проектування транспортних суден: Ч.1. Методика і загальні вимоги. Методичні вказівки. – Миколаїв: НУК, 2009. – 52 с.
7. Матвеев В. Г., Кузнецов А. І., Мартинець Б. М., Михайлов Б. М. Узлов О. М., Цибенко М. О., Шарун Г. В. Проектування конструктивного мідель-шпангоута суховантажних суден. Методичні вказівки до виконання курсового проекту. – Миколаїв: УДМТУ, 2001. – 58 с.

					24.ДРБ.135.4111.24.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



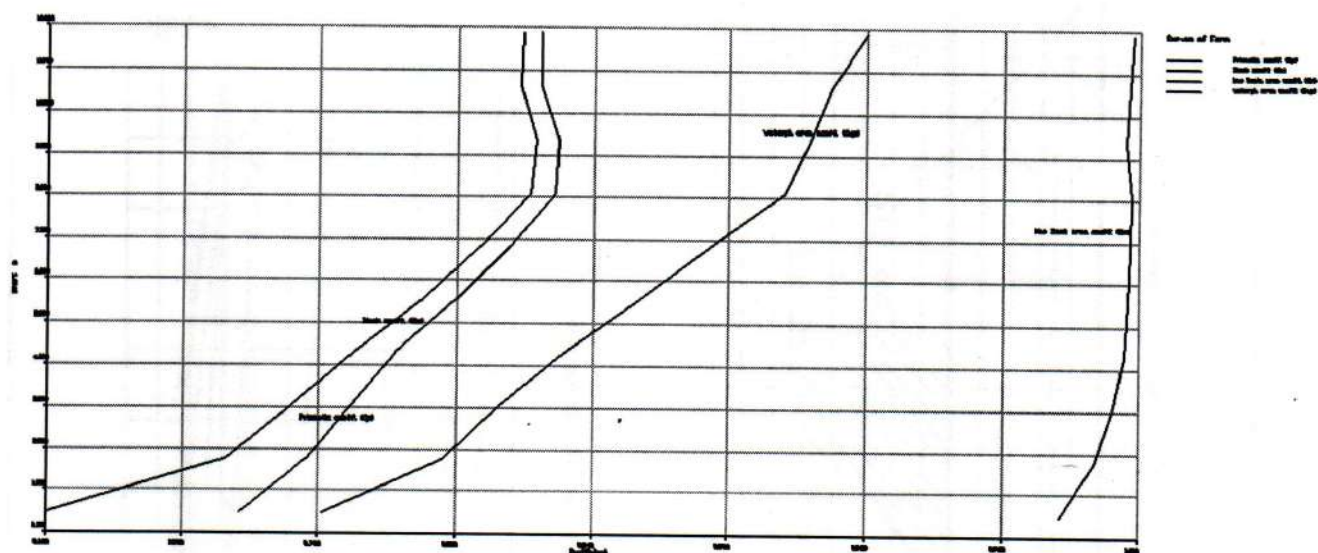
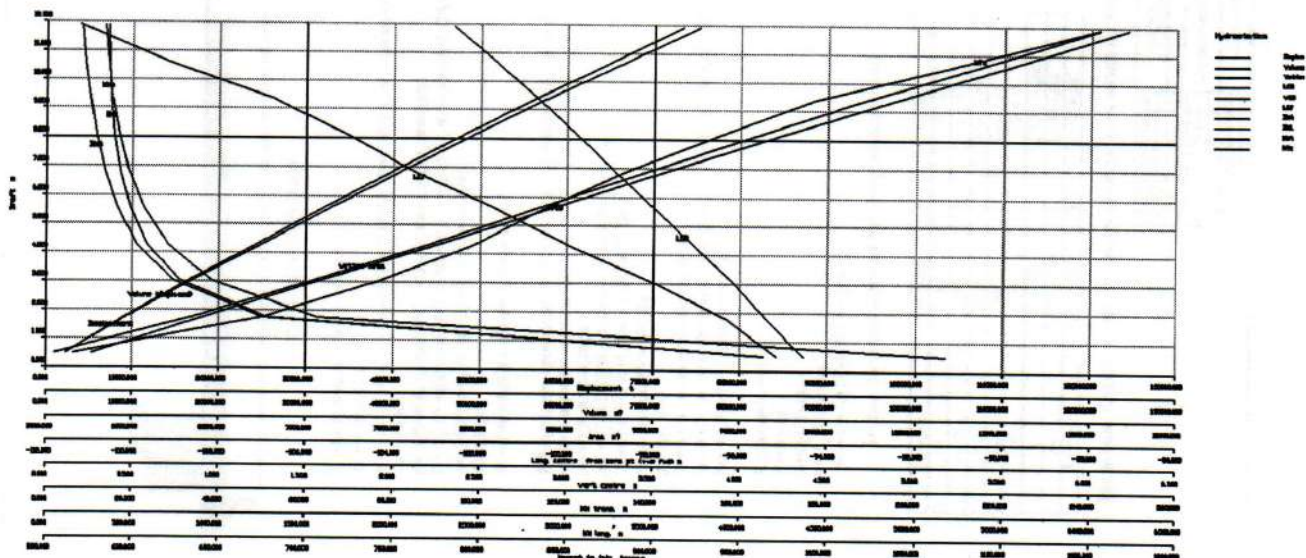
24.ДРБ.135.4111. 24. ЗР

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Студент	Теселько С.С.			
Консульт.	Астахова А.О.			
Керівник	Ястреба О.П.			
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.			

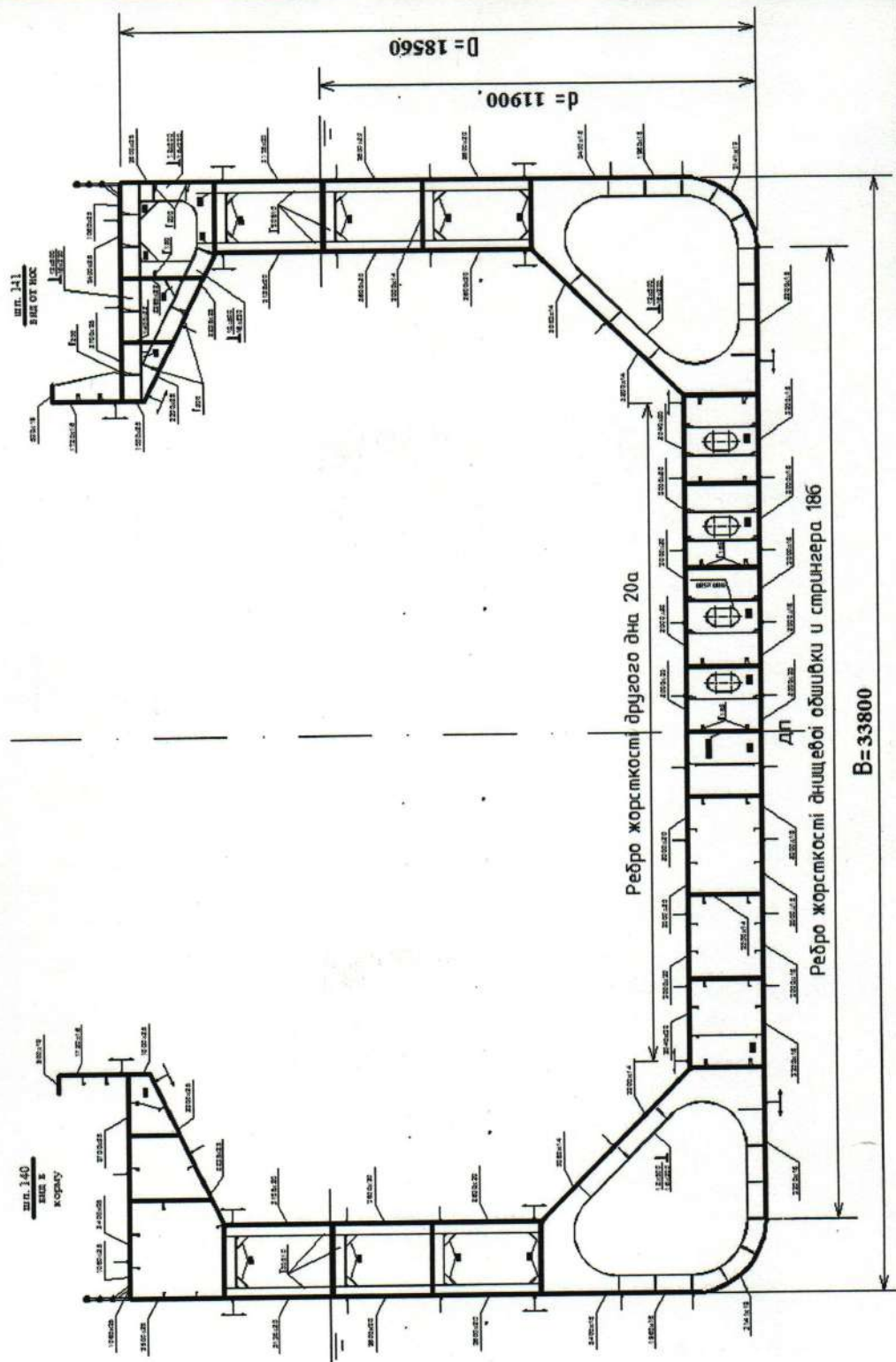
Загальне розташування

Балкер Рв=57500 т

Лім.			Маса	Масштаб
				1:200
Арк.			Аркуші	
НУК ім.адм. Макарова				



					24.ДРБ.135.4111. 24. ГК		
					Гідростатичні криві		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лім.	Маса	Масштаб
Студент	Теселько С.С.						
Консульт.	ПашенкоЮ.М.				Арк.	Аркушів	
Керівник	Ястреба О.П.				Балкер Рв=57500 т		
Зав. кафедри	Некрасов В.О.				НУК ім.адм. Макарова		



24. ДРБ.135.4111.24. МШ	
Конструктивний	мідель-шпангоут
Масштаб	1:50
Балкер Рв=57500 т	НУК

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Студент		Теселько С.С.		
Консульт.		Шарун Г.В..		
Керівник		Ястреба О.П.		
Зав. кафедр.		Некрасов В.О.		

24.ДРБ.135.4111. 24. МШ

Конструктивний
мідель шпангоут

Балкер Рв=57500 т

Лім.	Маса	Масштаб
		1:50
Арк.	Аркуші	

НУК ім.адм. Макарова