

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**Кораблебудівний навчально науковий інститут
Кафедра теорії та проєктування суден**

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

др-техн. наук, професор

 В.О. Некрасов

« 22 » / 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
на тему:

Проектування балкеру вантажопідйомністю 55800 тонн

Виконав:

студентка 4111 групи

 Тимошенко Анастасія Вікторівна
(підпис)

Керівник роботи:

кандидат техн. наук, старший викладач

 Ястреба О.П.
(підпис)
(посада, науковий ступень вчене звання)

Миколаїв – 2026 р

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально науковий інститут

Кафедра теорії та проектування суден
Спеціальність 135 Суднобудування
Освітня програма Кораблі та океанотехніка

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 к.т.н., ст.. викл. Ястреба О. П.

«12»022026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
щодо здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Тимошенко Анастасії Вікторівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи** Проектування балкеру вантажопідйомністю 55800 тонн
Керівник роботи Ястреба О. П.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора № від « » 2026 року

2. **Термін подання роботи:** 20.05.2026 р.

3. **Вихідні дані по роботі:**

3.1 Вантаж Пшениця, $\mu_v = 714 \text{ кг/м}^3$

3.2 Швидкість 14,0 вузлів

3.3 Дальність плавання 15500 миль

3.4 Інші початкові дані визначення головних елементів судна, що отримані за допомогою використання методу перерахунку з прототипу:

Головні розміри та характеристики	Одиниці виміру	Рішення задачі перерахунку з прототипу
Довжина по ватерлінії	м	220,90
Ширина	м	32,20
Осадка	м	12,20
Висота борту	м	18,85
Коефіцієнт загальної повноти		0,826
Об'ємна водотоннажність	м ³	82500
Потужність головного двигуна	кВт	11370
Швидкість	вузли	14,3
Водотоннажність порожнем	т	14613
Маса вантажу	т	56395
Маса палива та мастила	т	2196
Дедвейт	т	58932,09
Водотоннажність повна	т	73545,9

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить бути розробленим):**

4.1. Вибір методу проєктування судна

- 4.1.1. Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів
- 4.1.2. Аналіз методів проєктування балкера
- 4.1.3. Склад технічного (попереднього) проєкту балкера

4.2. Визначення морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності

- 4.2.1. Формування теоретичної поверхні балкера
- 4.2.2. Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення), забезпечення вимог класифікаційного товариства до вантажної марки балкера
- 4.2.3. Розрахунок стійкості балкера при великих кутах нахилу, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його остійності
- 4.2.4. Розрахунок ходовості балкера, забезпечення вимог класифікаційного товариства до міцності гребного вала та гребного гвинта балкера.
- 4.2.5. Конструктивний мідель-шпангоут та загальна міцність судна

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата			
		Завдання видано		Завдання прийнято	
4.1	Кротов О.І., професор	12.02.2026			
4.2	Пащенко Ю.М., доцент	12.02.2026			
4.3	Шарун Г.В., ст. викладач	12.02.2026			
4.4	Проф. Коростильов Л. І.	12.02.2026			

7. Дата видачі завдання 12.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проєктування	Тривалість етапів проєкту (роботи)	Примітка
4.1.	Вибір методу проєктування судна		
4.1.1.	Огляд основних тенденцій у розвитку флоту балкерів	17.03.2026	
4.1.2.	Аналіз методів проєктування балкера	24.03.2026	
4.1.3.	Склад технічного(попереднього) проєкту балкера	05.03.2026	
4.2.	Дослідження морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності		
4.2.1.	Формування теоретичної поверхні балкера	07.04.2026	
4.2.2.	Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення)	22.04.2026	
4.2.3.	Розрахунок стійкості при великих кутах нахилу	05.05.2026	
4.2.4.	Розрахунок ходовості балкера	17.05.2026	
4.3	Конструктивного мідель-шпангоута та загальна міцність судна		
4.3.1	Загальні відомості про судно	01.06.2026	
4.3.2	Розрахунок еквівалентного бруса та перевірка загальної міцності	08.06.2026	
	Пояснювальна записка	14.06.2026	
	Презентація	25.06.2026	

Студентка Тимошенко Анастасія Вікторівна
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи Ястреба Олексій Петрович
(підпис) (ПІБ)

Зміст

Анотація.....	6
Вступ.....	8
1. Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів.....	10
1.1 Загальний огляд.....	10
1.2 Огляд наявних статистичних даних щодо елементів балкерів	11
1.3 Аналіз методів проєктування балкера	12
1.4 Склад технічного проєкту балкера	14
2. Визначення морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності	17
2.1 Формування теоретичної поверхні балкера	17
2.2 Розрахунок статички (елементів теоретичного креслення), забезпечення вимог класифікаційного товариства до вантажної марки балкера	19
2.3 Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат ЦМ	21
2.4. Удиферентування судна-проєкту	23
2.5. Розрахунок амплітуди хитавиці	25
2.6. Розрахунок кренувального моменту від тиску вітру(а) і перекидального моменту (b)	26
2.7. Розрахунок аварійної остійності	28
2.8. Розрахунок ходовості балкара, забезпечення вимог класифікаційного товариства до міцності гребного вала та гребного гвинта балкара	30
2.8.1. Розрахунок буксиру вальних опору і потужності.....	30
2.8.2. Розрахунок характеристик рушія та вибір двигуна	32
3. Набір корпусу за Правилами Регістра.....	37
3.1. Головні розміри судна.....	37
3.2. Архітектурно-конструктивний тип судна.....	38

3.3. Вибір системи набору перекрить корпусу судна.....	38
3.4. Вибір шпациї	38
3.5. Навантаження, викликані вантажем, що перевозиться.....	39
3.6. Визначення згинальних моментів.....	42
3.7. Розрахунок еквівалентного бруса і перевірка загальної поздовжньої міцності.....	45
4 Перевірка міцності зовнішньої обшивки днища корпусу судна.....	48
4.1. Розрахункова схема пластини днища.....	48
4.2 Розрахункове навантаження.....	49
4.3 Визначення напружень у небезпечних точках поля пластини.....	50
4.4 Перевірка умов міцності та висновки.....	51
Висновки.....	52
Список літератури.....	53
Додатки.....	54

Анотація

Тема роботи – проєкт балкару вантажопідйомністю 55800 т призначеного для перевезення навалювальних вантажів, класу DNV α 1A1 та експлуатаційною швидкістю 14,0 вуз. Робота має чотири основні розділи: ОПС (основи проектування суден), ТК (теорія корабля), ККК (конструкція корпусу корабля) та БМК (будівельна механіка корабля).

У розділі ОПС виконано розрахунок навантаження мас, визначено водотоннажності, головних розмірів судна методом послідовних наближень та коефіцієнтами повноти. Потужність головного двигуна визначено із застосуванням програмного комплексу Maxsurf Resistance, після чого за каталогом підібрано головну енергетичну установку відповідної потужності. На основі 3D-моделі, створеної у програмі Maxsurf Modeler Advanced, отримано проєкції теоретичного креслення та сформовано комплект проєктної документації, включаючи загальне розташування, виконане в середовищі AutoCAD. Визначено місткість відсіків і цистерн, координати центра ваги та виконано перевірку диференту судна.

У розділі теорії корабля за допомогою програмного комплексу Maxsurf Stability Advanced побудовано гідростатичні криві, криві форми, пантокарени та діаграму статичної остійності та аварійної остійності.

У розділі конструкції корпусу корабля обрано систему набору корпусних перекриттів, а також виконано перевірку загальної міцності судна та міцності зовнішньої обшивки днища.

Спроектоване судно виконано відповідно до технічного завдання та відповідає вимогам Міжнародної Морської Організації.

Ключові слова: балкер, водотоннажність, міцність, конструкція.

Abstract

The subject of the work is the design of a bulk carrier with a carrying capacity of 55,800 tons, designed for the transportation of bulk cargo, class DNV α 1A1 and an

					24.ДР.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

operating speed of 14.0 knots. The work has four main sections: DSD (Department of Ship Design), DST (Department of Ship Theory), SHD (Ship Hull Design) and SSM (Ship Structural Mechanics).

In the DSD section, the calculation of mass loading was performed, the water displacement, main dimensions of the ship were determined by the method of successive approximations and completeness factors. The power of the main engine was determined using the Maxsurf Resistance software complex, after which the main power plant of the corresponding power was selected from the catalog. Based on the 3D model created in the Maxsurf Modeler Advanced program, projections of the theoretical drawing were obtained and a set of design documentation was formed, including the general layout, made in the AutoCAD environment. The capacity of compartments and tanks, the coordinates of the center of gravity and the trim of the vessel were determined.

In the Department of Ship Theory section, hydrostatic curves, shape curves, pantokarens and a diagram of static stability and emergency stability were constructed using the Maxsurf Stability Advanced software package.

In the Ship Hull Design section, a system for selecting hull slabs was selected, and the overall strength of the vessel and the strength of the outer bottom plating were also checked.

The designed vessel was completed in accordance with the technical specifications and complies the requirements of the International Maritime Organization.

Keywords: bulk carrier, displacement, structure, strength.

					24.ДР.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Кафедрою теорії та проектування суден було видано завдання на проектування балкару.

Балкар або навалочник – це спеціалізоване тип судна призначений для перевезення насипних вантажів.

У межах дипломної роботи методом послідовних наближень (за прототипом) необхідно визначити водотоннажність судна, головні розміри, коефіцієнти повноти та потужність головного двигуна. Також передбачається проектування обводів корпусу та виконання розрахунку диференту судна.

Слід побудувати теоретичне креслення та креслення загального розташування, а також виконати перевірку плавучості й остійності судна.

Відповідно до вимог Правил класифікаційного товариства необхідно спроектувати конструктивний мідель-шпангоут судна. Після визначення розмірів елементів набору виконується розрахунок загальної поздовжньої міцності корпусу.

Згідно з вимогами Міжнародної Морської Організації виконується перевірка міцності зовнішньої обшивки днища.

Спроектоване судно має повністю відповідати чинним Міжнародної Морської Організації.

					24.ДР.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ						
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
					Розділ І Вибір методу проектування судна			Літ	Аркуш	Аркушів	
Студентка	Тимошенко А..В.							у		1	
Консультан	Кротов О.І.							НУК імені адм. Макарова			
Керівник	Ястреба О. П.										
Зав.кафедри	Некрасов В.О.										

1. Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів

1.1 Загальний огляд

Сучасні балкери є важливою складовою світової транспортної системи та забезпечують перевезення значних обсягів навалювальних вантажів, таких як зерно, вугілля, залізна руда та інші сипучі матеріали. Завдяки високій вантажомісткості та економічності вони відіграють важливу роль у міжнародній торгівлі та глобальній логістиці.

У сучасних умовах розвиток світового флоту балкерів спрямований на підвищення ефективності перевезень, безпеки експлуатації та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Основні тенденції розвитку:

- Збільшення розмірів і вантажопідйомності суден. Будівництво великих балкерів дозволяє знизити транспортні витрати на одиницю вантажу та підвищити економічну ефективність перевезень.

- Впровадження сучасних технологій для підвищення ефективності перевезень. Судноплавні компанії постійно вдосконалюють конструкцію та технічне оснащення балкерів, застосовуючи новітні технологічні рішення. Це дозволяє підвищити ефективність експлуатації суден, зменшити витрату пального та обсяги викидів вуглекислого газу в атмосферу.

- Посилення екологічних вимог. Міжнародні екологічні стандарти стають більш жорсткими, тому компанії впроваджують системи очищення вихлопних газів та використовують альтернативні види палива для зменшення викидів шкідливих речовин.

- Використання цифрових технологій та автоматизація. Сучасні балкери оснащують автоматизованими системами контролю технічного стану обладнання, програмами оптимізації маршрутів та системами моніторингу.

- Розвиток альтернативних видів палива. Одним із перспективних напрямків є впровадження зрідженого природного газу (LNG), а також метанолу та аміаку, що сприяє зниженню викидів парникових газів і відповідає сучасним екологічним вимогам.

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вплив глобальних економічних та політичних факторів. Геополітичні зміни, коливання цін на паливо, зміни торговельних маршрутів та інші світові зміни безпосередньо впливають на розвиток балкерного флоту та вимогам до нових суден.

Отже, сучасний розвиток світового флоту балкерів характеризується збільшенням розмірів суден, підвищенням їхньої економічності, впровадженням цифрових технологій та приділяти увагу до екологічної безпеки, що забезпечує ефективне функціонування морських перевезень.

1.2. Огляд наявних статичних даних щодо основних елементів балкерів

До основних елементів і характеристик судна належать його головні розміри та коефіцієнти форм корпусу: довжина – L , ширина – B , осадка d (або T), висота борту – D , C_b – коефіцієнт загальної повноти, C_m – коефіцієнт повноти мідель-шпангоута, C_{wp} – коефіцієнт повноти площі ватерлінії та C_p – коефіцієнт повздовжньої повноти. В табл. 1.2.1. наведено основні статичні дані для проектування балкеру.

Таблиця 1.2.1. – Статичні дані щодо основних елементів судна

Параметр	Позначення	Тип судна		
		Судна для перевезення генеральних вантажів	Балкери	
Дедвейт, тис. т	DWT	від 5 до 15	від 20 до 50	від 50 до 200
Коефіцієнт утилізації водотоннажності за дедвейтом, %	DWT/ Δ	65...80	74...85	80...87
Коефіцієнт загальної повноти	C_b (або δ)	0,65...0,73	0,72...0,86	
Коефіцієнт повздовжньої повноти	C_p (або ϕ)	0,66...0,74	0,79...0,84	
Коефіцієнт повноти мідельшпангоута	C_m (або β)	0,97...0,995	0,990...0,997	
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії	C_{wp} (або α)	0,80...0,86	0,88...0,92	
Відношення	L/B	4,8...8,5	5,0...7,1	
Відношення	B/T	2,1...2,3	2,1...3,2	
Відношення	L/H		10,5...12,8	
Період крену, с		8...12	12...20	

1.3. Аналіз методів проєктування балкерів

Проєктування суден виконується у науково-дослідних установах, загальних конструкторських бюро, а також у конструкторських підрозділах суднобудівних підприємств (верфей). Незалежно від організації, процес проєктування зазвичай включає в себе три основні етапи: концептуальний, технічний та робочий. Основна відмінність між етапами полягає не лише у рівні деталізації проєкту, а й у застосованих методах проєктування та обсязі доступної інформації про судно.

Таблиця 1.3.1. – Структура рівнів розбиття судових робіт і відповідні методи оцінювання витрат

№	Етапи проєктування (Результат)	Етапи проєктування при укладенні контракту на будівництво судна верф'ю	Рівні структури розбиття судна - SWBS	Рівні інформації	Наближення з оцінки витрат	Співвідношення для оцінки витрат – CER
1	Концептуальне проєктування (Аван-проєкт або ескізний проєкт)	Концептуальний проєкт	1-й розряд ESWBS	Характеристики судна	Параметричне	Емпіричні CER (ECER)
2	Технічне проєктування (Клас-проєкт)	Попередній проєкт	2-й розряд SWBS/ ESWBS	Характеристики судна та систем	Параметричне	Емпіричні CER та прямі CER
3	Робоче проєктування (Робочий проєкт)	Контрактний проєкт	3-й розряд SWBS	Характеристики судна систем, підсистем та деталей	Прямий аналіз	Прямі CER

Як видно з табл. 1.3.1., формування інформації про судно може відбуватися у двох напрямках: «знизу-вгору» - від окремих деталей до узагальнених характеристик, або «зверху-вниз» - від загальних параметрів до детальної структури.

При підході «знизу-вгору» дані, отримані з детальних креслень і відомостей про маси та вартість окремих елементів, послідовно узагальнюється у більш укрупнені розділи масового навантаження.

Зворотній підхід «зверху-вниз» передбачає поступову деталізацію інформації – від загальних характеристик судна до його окремих систем, підсистем та конструктивних елементів.

Для суднобудівних верфей структура розподілу робіт стандартизована і регламентується системами SWBS (Ship Work Breakdown System – Системою розбиття суднових робіт) або ESWBS (Expanded Ship Work Breakdown System - Розширеною системою розбиття суднових робіт), які базуються на розбитті маси судна на функціональні складові. Під час будівництва різних типів суден суднобудівні верфи накопичують статичні дані щодо розподілу мас, які надалі використовуються на етапах проєктування.

Окрім цього, на підприємствах формується база даних, щодо вартості окремих елементів та укрупнених розділів, що становить систему оцінки вартості робіт та матеріалів CER (Cost Estimate Relations).

На ранніх стадіях проєктування, коли детальна інформація про судно відсутня, застосовуються укрупнені розділи систем ESWBS та дані про розділи системи оцінки відповідної вартості ECER (Empirical Cost Estimate Relations), отримані на основі статистики побудованих суден.

У випадках наявності добре відпрацьованого судна-прототипу можуть використовуватися його параметри як база для перерахунку характеристик майбутнього судна-проєкту. Такий спосіб дозволяє визначити головні розміри та структуру масового навантаження судна на основі прототипу на концептуальному етапі.

Останнім часом значна увага приділяється визначенню емпіричних залежностей SBWS та CER через зростання вартості матеріалів і комплектуючих, що використовуються при суднобудуванні. Це зумовлює необхідність більш точного підходу до проєктування вже на концептуальному етапі. Такий підхід реалізується шляхом розв’язання оптимізаційних задач вибору основних елементів судна з урахуванням ефективності та надійності експлуатації.

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4. Склад технічного проєкту балкера

На етапі концептуального проєктування визначаються головні розміри судна та його масове навантаження. Технічне проєктування базується на цих даних і передбачає створення архітектурно-конструктивної 3D-моделі судна та перевірку його основних експлуатаційних характеристик на відповідність вимогам класифікаційних товариств.

Основні властивості судна, що аналізується на цьому етапі, включають в себе основні елементи судна – головні розміри (L, B, d, D) коефіцієнти повноти (C_b , C_m , C_{wp}), швидкість ходу та параметри енергетичної установки.

До інженерних характеристик відносять міцність та місткість судна, а до навігаційних – плавучість, остійність, непотоплюваність, ходовість, керованість і морехідність. Ці параметри мають бути розраховані та перевірені в технічному проєкті.

- Місткість вважається забезпеченою за умови достатності об'ємів і площ для розміщення вантажу та обладнання: $V_c \geq |V_c|$; $A_c \geq |A_c|$.

- Міцність корпусу перевіряється за умовою: $\sigma_c \leq |\sigma_c|$.

- Плавучість визначається рівністю між вагою судна та силою підтримки води: $\sum_{i=1}^I gW_{i00} = \rho g L B d C_B$.

- Непотоплюваність оцінюється за відповідними критеріями поділу корпусу на відсіки та аварійної остійності. Остійність забезпечується виконанням нормативних вимог до діаграми остійності, включаючи критерій погоди та мінімальні значення метацентричної висоти.

- Ходовість визначається балансом між буксиру вальною потужністю та ефективною потужністю енергетичної установки з урахуванням ККД пропульсивного комплексу: $EHP = \eta N_E$.

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- Керованість оцінюється через обмеження на діаметр циркуляції судна, а морехідність через допустимі значення переміщень, швидкостей і прискорень під дією хвиль.

Таким чином, технічний проєкт балкера включає розробку 3D-моделі, теоретичного креслення та кривих елементів теоретичного креслення, креслення конструктивного мідель-шпангоуту, плану місткості та навантаження, розрахунки плавучості, остійності (непошкодженого та пошкодженого судна), ходовості, загальної міцності та креслення загального розташування.

Мінімальний склад проєкту повинен забезпечувати виконання вимог класифікаційних товариств щодо вантажної марки, остійності та міцності корпусу, гвинта і валопроводу.

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ.02						
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
					Технічне проєктування балкера вантажопідйомністю 55800 тонн			Літ	Аркуш	Аркушів	
Студентка	Тимошенко А.В.							у		1	
Консультан	Пащенко Ю.М.							НУК імені адм. Макарова			
Керівник	Ястреба О. П.										
Зав.кафедри	Некрасов В.О.										

2. Визначення інженерних та морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до надійності його експлуатації

2.1 Формування теоретичної поверхні балкера

Для побудови теоретичної поверхні корпусу балкера із знайденими значеннями основних елементів, які відповідають оптимізаційній задачі, виконано лінійне (Surfaces/Size Surfaces) та параметричне (Data/Parametric Transformation) перетворення 3D-моделі судна-прототипу в програмному забезпеченні Maxsurf Modeler Advanced. Отримана 3D-модель судна-проекту представлена на рис. 2.1.1. Також в таблиці 2.1.1. представлено порівняння головних елементів судна-прототипу та судна-проекту.

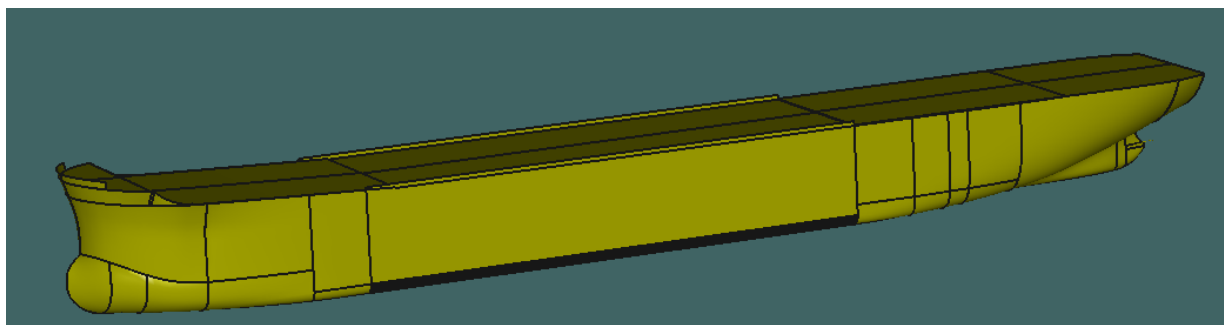


Рис. 2.1.1. – Створена 3D-модель судна-проекту

Табл. 2.1.1. Порівняння судна-прототипу та судна-проекту

Параметр	Позначення	Прототип	Проект
Водотоннажність повна, т	Δ	73545,9	74128
Довжина між перпендикулярами, м	L_{pp}	217,3	215,7
Ширина, м	B	32,2	31,98
Осадка, м	d	12,2	12,07
Висота борту, м	D	18,85	18,7
Коефіцієнт загальної повноти	CB або δ	0,826	0,857

3D модель і теоретичне креслення будують в середовищах Maxsurf Modeler і AutoCAD. На рисунку 2.1.2 представлено проєкції теоретичного креслення отримані в програмному забезпеченні Maxsurf Modeler Advanced.

- кількість батоксів – 3;
- кількість ватерліній – 8;

- кількість шпангоутів – 21;
- теоретична шпация $\Delta L = L/20 = 10,785\text{м}$.

За отриманими даними побудовано теоретичне креслення та креслення загального розташування.

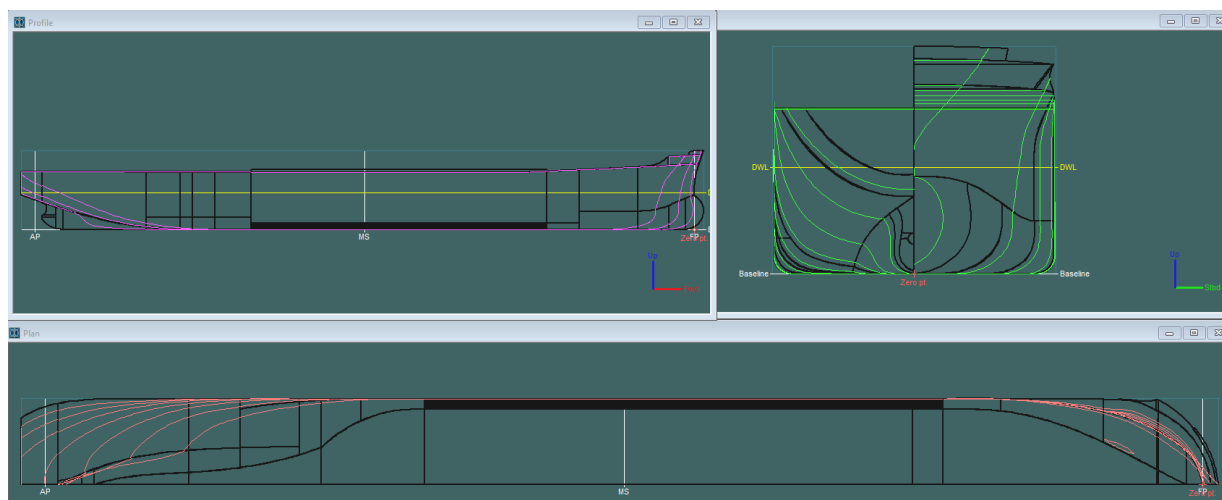


Рис. 2.1.2 – Проекції ТК (бік, корпус, напівсирота)

Ділі було здійснено розрахунок гідростатичних параметрів корпусу (Data/Calculate Hydrostatics). Результати розрахунку приведені нижче в табл. 2.1.2.

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	74086	t
2	Volume (displaced)	72278,671	m³
3	Draft Amidships	12,070	m
4	Immersed depth	12,078	m
5	WL Length	220,220	m
6	Beam max extents o	31,971	m
7	Wetted Area	11039,001	m²
8	Max sect. area	383,195	m²
9	Waterpl. Area	6530,961	m²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,857	
11	Block coeff. (Cb)	0,850	
12	Max Sect. area coeff	0,997	
13	Waterpl. area coeff.	0,928	
14	LCB length	-103,713	from z
15	LCF length	-110,396	from z
16	LCB %	-47,095	from z
17	LCF %	-50,130	from z
18	KB	6,266	m
19	KG fluid	0,000	m
20	BMT	7,081	m
21	BML	323,000	m
22	GMt corrected	13,347	m
23	GML	329,265	m
24	KMt	13,347	m
25	KML	329,265	m
26	Immersion (TPc)	66,942	tonne/c
27	MTc	1130,915	tonne.
28	RM at 1deg = GMt.Di	17257,200	tonne.

Табл. 2.1.2. – Результати розрахунку гідростатики

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

На проекції «Вид збоку/Повздовжній переріз» розташовуємо поперечні перебірки, друге дно, розміщуємо надбудову, мачти, крани, леєрну огорожу, судові пристрої, навігаційні та ходові вогні, усі двері, трапи, ілюмінатори, габаритні обриси головного двигуна, осі валопроводу, рушій.

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

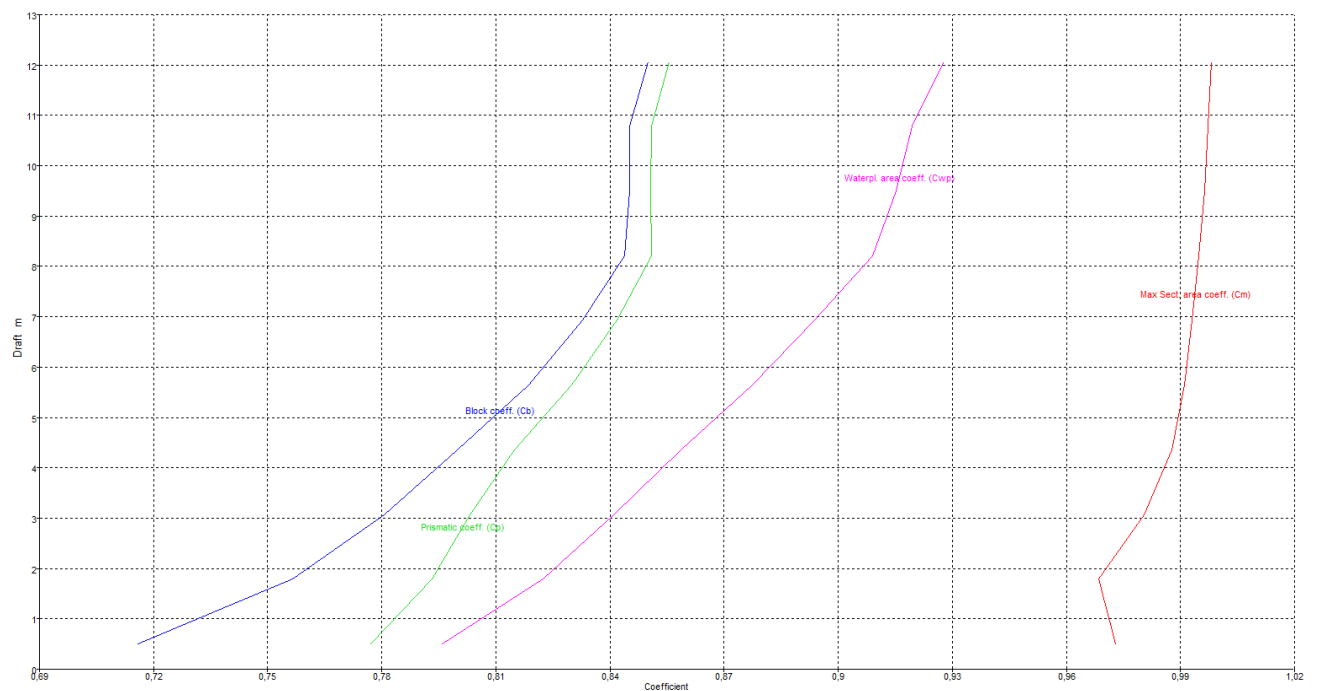
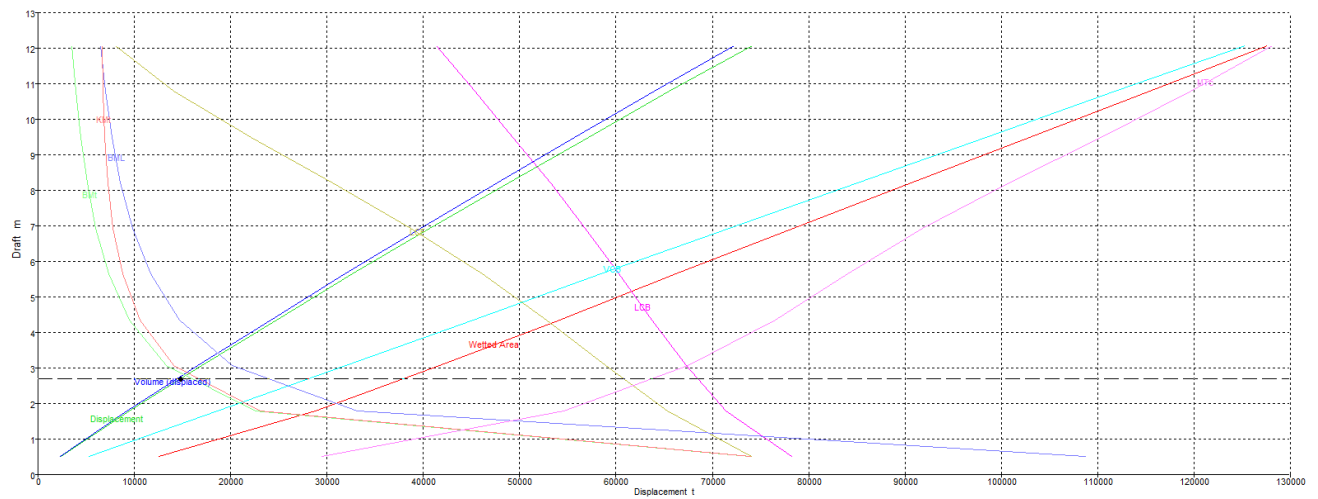
2.2 Розрахунки статики (елементів теоретичного креслення), забезпечення вимог класифікаційного товариства до вантажної марки балкера

Криві елементів теоретичного креслення є графічним відображення основних характеристик судна та їх зміни залежно від осадки. Для їх побудови використовуємо програмний комплекс Maxsurf Stability Advanced. Після завантаження моделі судна задається діапазон осадок та обираємо режим розрахунку Upright Hydrostatics. Результати розрахунку представлені на рис.

2.2.1.

	Draft Amidships m	0,500	1,786	3,071	4,357	5,642	6,928	8,213	9,499	10,784	12,070
1	Displacement t	2374	9475	16679	23936	31248	38606	46040	53574	61216	68967
2	Volume (displaced) m³	2316,26	9244,28	16272,1	23352,1	30485,7	37663,9	44917,0	52267,7	59722,5	67284,6
3	WL Length m	208,395	212,861	215,209	216,009	215,194	214,760	214,853	217,164	219,336	220,220
4	Wetted Area m²	5126,03	5938,49	6585,87	7206,37	7811,57	8418,44	9032,82	9646,12	10269,4	10882,4
5	Prismatic coeff. (Cp)	0,777	0,793	0,788	0,788	0,794	0,799	0,802	0,798	0,795	0,796
6	Block coeff. (Cb)	0,716	0,757	0,766	0,774	0,784	0,791	0,796	0,793	0,789	0,791
7	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,973	0,969	0,980	0,988	0,991	0,993	0,995	0,996	0,997	0,998
8	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,796	0,822	0,793	0,800	0,808	0,817	0,827	0,830	0,833	0,840
9	LCB from zero pt. (+ve fwd)	-96,345	-97,712	-96,785	-96,229	-95,969	-95,906	-96,039	-96,345	-96,782	-97,304
10	VCB m	0,265	0,930	1,577	2,225	2,874	3,524	4,178	4,836	5,498	6,165
11	LCF from zero pt. (+ve fwd)	-97,192	-98,928	-94,883	-95,027	-95,323	-96,148	-97,497	-99,102	-100,72	-101,98
12	BMt m	147,708	45,180	26,406	18,747	14,505	11,828	10,004	8,682	7,683	6,905
13	BML m	5436,96	1656,34	896,857	648,743	510,150	428,840	379,464	346,038	320,554	298,571
14	KMt m	147,973	46,110	27,982	20,972	17,379	15,352	14,182	13,518	13,182	13,069
15	MTc tonne.m	597,137	722,716	685,380	708,976	725,718	752,235	793,099	841,505	891,081	935,755

Рис.2.2.1 – Результати розрахунку в табличному виді



Значення висоти борту повинно відповідати вимогам «Правил про вантатажну марку морських суден». Відповідно до цих вимог для баркеру типу В довжиною $L=215,7$ м мінімальний надводний борт становить:

$$F_{\min} = (D - d)_{\min} = 3,5 \text{ M}$$

Для проєктованого судна фактичний надводний борт становить:

$$D-d = 18,7 - 12,07 = 6,63 \text{ m}$$

Оскільки отримане значення перевищує мінімально допустиме ($6,63 > 3,5\text{м}$), проєкт відповідає вимогам Правил про вантажну марку.

Максимальна допустима осадка судна: $d_{\max} = D - (D - d)_{\min} = 18,7 - 3,5 = 15,4 \text{ м}$

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ.02	Арк.
						20
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат ЦМ

Після визначення головних розмірів і коефіцієнтів повноти судна потрібно перевірити його вантажомісткість. Ця перевірка є остаточною і виконується з достатньою для цього точністю за допомогою комплексу Maxsurf Stability Enterprise.

Фактичну шпацию визначаємо за формулою:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 215,7 + 0,48 = 0,912 \text{ м.}$$

Приймаємо $a_0 = 800 \text{ мм.}$

Згідно з вимогами Правил Регістру, у форпіку та ахтерпіку шпация приймається $a_{\text{ф}} = a_{\text{ахт}} = 600 \text{ мм.}$ Перехідна шпация між форпіковою перебіркою та перерізом $0,2L$ від носового перпендикуляру приймається $a_{\text{п}} = 700 \text{ мм.}$ Таким чином поперечні перебірки поділяють корпус судна на відсіки представлені у табл.2.3.1

Таблиця 2.3.1 – Відсіки судна

Шпация	Відсік	Довжина
265-285	Ахтерпик	$L_{\text{ахт}} = 21 \cdot 0,6 = 12,6 \text{ м}$
234-265	МВ	$L_{\text{МВ}} = 30 \cdot 0,8 = 24 \text{ м}$
203-234	Трюм №7	$L_{\text{ТР7}} = 31 \cdot 0,8 = 24,8 \text{ м}$
172-203	Трюм №6	$L_{\text{ТР6}} = 31 \cdot 0,8 = 24,8 \text{ м}$
141-172	Трюм №5	$L_{\text{ТР5}} = 31 \cdot 0,8 = 24,8 \text{ м}$
110-141	Трюм №4	$L_{\text{ТР4}} = 31 \cdot 0,8 = 24,8 \text{ м}$
79-110	Трюм №3	$L_{\text{ТР3}} = 31 \cdot 0,8 = 24,8 \text{ м}$
45-79	Трюм №2	$L_{\text{ТР2}} = 19 \cdot 0,7 + 15 \cdot 0,8 = 25,3 \text{ м}$
17-45	Трюм №1	$L_{\text{ТР1}} = 28 \cdot 0,7 = 19,6 \text{ м}$
0-17	Форпик	$L_{\text{ТР7}} = 17 \cdot 0,6 = 10,2 \text{ м}$
Сума		$L = 215,7 \text{ м}$

На рис. 2.3.2 представлено побудову цистерн та приміщень в табличному виді. А на рис. 2.3.1 зображено 3D-модель з трюмами.

	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m	A.Port m	A.Stbd. m	A.Top m	A.Bott. m	Formed
1	Forepeak	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-10,2	2,944	-11,4	11,4	26,7	11	-18	18	ДІПТО	ДІПТО	Yes
2	Forepeak	Linked Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-10,2	2,944	-11,4	11,4	11	0	-18	18	ДІПТО	ДІПТО	Yes
3	Hold 1	Tank	100	100	0,714		none	-29,8	-10,2	-14,1	14,1	26,7	2	-14,5	14,5	ДІПТО	ДІПТО	Yes
4	Hold 2	Tank	100	100	0,714		none	-55,1	-29,8	-14,5	14,5	26,7	2	-14,6	14,6	ДІПТО	ДІПТО	Yes
5	Hold 3	Tank	100	100	0,714		none	-79,9	-55,1	-14,6	14,6	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
6	Hold 4	Tank	100	100	0,714		none	-104,7	-79,9	-14,6	14,6	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
7	Hold 5	Tank	100	100	0,714		none	-129,5	-104,7	-14,6	14,6	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
8	Hold 6	Tank	100	100	0,714		none	-154,3	-129,5	-14,6	14,6	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
9	Hold 7	Tank	100	100	0,714		none	-179,1	-154,3	-14,6	14,6	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
10	Engine Room	Compartment	85	85			none	-203,1	-179,1	-17	17	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
11	Aftpeak	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-220,22	-203,1	-17	17	26,7	8,8	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
12	Aftpeak	Linked Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-220,22	-203,1	-17	17	8,8	0	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
13	DB Hold 1	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	-29,8	-10,2	-16	16	2	0	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
14	DB Hold 2	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	-55,1	-29,8	-16	16	2	0	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
15	DB Hold 3	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	-79,9	-55,1	-16	16	2	0	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
16	DB Hold 4	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	-104,7	-79,9	-16	16	2	0	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
17	DB Hold 5	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	-129,5	-104,7	-16	16	2	0	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
18	DB Hold 6	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	-154,3	-129,5	-16	16	2	0	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
19	DB Hold 7	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	-179,1	-154,3	-16	16	2	0	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
20	DB Engine Room	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	-203,1	-179,1	-17	17	2	0	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
21	DS Hold 1 P	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-29,8	-10,2	-16,8	-14,1	26,7	2	-17	-14,5	ДІПТО	ДІПТО	Yes
22	DS Hold 1 S	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-29,8	-10,2	14,1	16,8	26,7	2	14,5	17	ДІПТО	ДІПТО	Yes
23	DS Hold 2 P	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-55,1	-29,8	-16,8	-14,5	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
24	DS Hold 2 S	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-55,1	-29,8	14,5	16,8	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
25	DS Hold 3 P	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-79,9	-55,1	-16,8	-14,5	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
26	DS Hold 3 S	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-79,9	-55,1	14,5	16,8	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
27	DS Hold 4 P	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-104,7	-79,9	-16,8	-14,5	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
28	DS Hold 4 S	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-104,7	-79,9	14,5	16,8	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
29	DS Hold 5 P	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-129,5	-104,7	-16,8	-14,5	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
30	DS Hold 5 S	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-129,5	-104,7	14,5	16,8	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
31	DS Hold 6 P	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-154,3	-129,5	-16,8	-14,5	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
32	DS Hold 6 S	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-154,3	-129,5	14,5	16,8	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
33	DS Hold 7 P	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-179,1	-154,3	-16,8	-14,5	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes
34	DS Hold 7 S	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-179,1	-154,3	14,5	16,8	26,7	2	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	ДІПТО	Yes

Рис.2.3.2 Таблиця трюмів та приміщень.

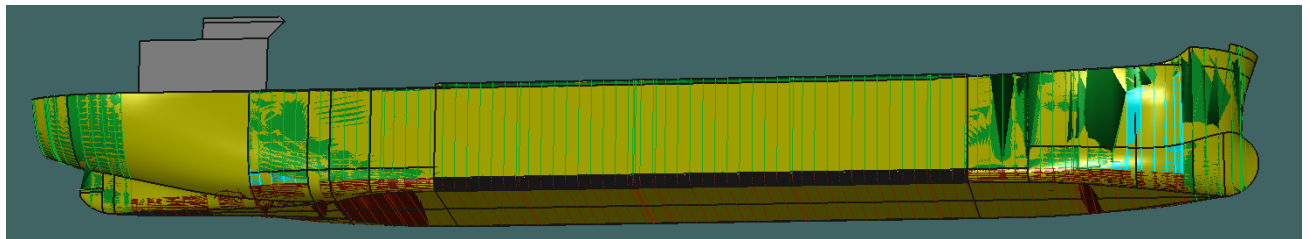


Рис.2.3.1 - 3D-модель.

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

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

Координати центрів мас вантажу і палива приймаються за Loadcase.

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

Таблиця 2.3.3 – Таблиця місткості

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Hull	1	11034,000	11034,000			-111,630	0,000	10,440	0,000	User Specifi
2	Engine	1	844,000	844,000			-193,250	0,000	9,790	0,000	User Specifi
3	Equipment	1	2817,000	2817,000			-139,930	0,000	17,810	0,000	User Specifi
4	Margin	1	741,000	741,000			-122,670	0,000	11,800	0,000	User Specifi
5	Total Lightsh			15436,000			-121,787	0,000	11,815	0,000	
6	Hold 1	83,73%	7042,828	5897,116	9863,905	8259,266	-20,340	0,000	9,791	0,000	User Specifi
7	Hold 2	95%	9086,807	8632,466	12726,620	12090,289	-42,464	0,000	10,211	0,000	User Specifi
8	Hold 3	95%	8615,719	8184,933	12066,834	11463,492	-67,500	0,000	9,915	0,000	User Specifi
9	Hold 4	95%	8615,719	8184,933	12066,834	11463,492	-92,300	0,000	9,915	0,000	User Specifi
10	Hold 5	95%	8615,719	8184,933	12066,833	11463,491	-117,100	0,000	9,915	0,000	User Specifi
11	Hold 6	95%	8645,397	8213,127	12108,400	11502,980	-141,900	0,000	9,942	0,000	User Specifi
12	Hold 7	98%	8676,014	8502,494	12151,281	11908,255	-166,682	0,000	10,253	0,000	User Specifi
13	Total Cargo	94,1%	59298,204	55800,002	83050,707	78151,265	-95,620	0,000	10,003	0,000	
14	DB Hold 1	0%	769,126	0,000	915,626	0,000	-15,820	0,000	0,000	0,000	Maximum
15	DB Hold 2	0%	1290,430	0,000	1536,226	0,000	-44,036	0,000	0,019	0,000	Maximum
16	DB Hold 3	0%	1279,508	0,000	1523,224	0,000	-67,504	0,000	0,019	0,000	Maximum
17	DB Hold 4	0%	1279,508	0,000	1523,224	0,000	-92,304	0,000	0,019	0,000	Maximum
18	DB Hold 5	0%	1279,508	0,000	1523,224	0,000	-117,104	0,000	0,019	0,000	Maximum
19	DB Hold 6	90,81%	1277,443	1159,982	1520,765	1380,931	-141,880	0,000	0,935	56048,882	Maximum
20	DB Hold 7	98%	1035,379	1014,672	1232,594	1207,942	-165,577	0,000	1,061	0,000	Maximum
21	DB Engine Roo	98%	381,991	374,351	454,751	445,656	-188,978	0,000	1,112	0,000	Maximum
22	Total Fuel	29,66%	8592,893	2549,005	10229,635	3034,529	-158,230	0,000	1,011	56048,882	
23	Forepeak	0%	4117,911	0,000	4017,474	0,000	-9,576	0,000	0,019	0,000	Maximum
24	Aftpeak	0%	4387,898	0,000	4280,876	0,000	-204,319	0,000	0,019	0,000	Maximum
25	DS Hold 1 P	0%	118,691	0,000	115,796	0,000	-28,223	-14,675	2,000	0,000	Maximum
26	DS Hold 1 S	0%	118,691	0,000	115,796	0,000	-28,223	14,675	2,000	0,000	Maximum
27	DS Hold 2 P	0%	611,332	0,000	596,422	0,000	-43,428	-15,184	2,000	0,000	Maximum
28	DS Hold 2 S	0%	611,332	0,000	596,422	0,000	-43,428	15,184	2,000	0,000	Maximum
29	DS Hold 3 P	0%	607,919	0,000	593,092	0,000	-67,500	-15,218	2,000	0,000	Maximum
30	DS Hold 3 S	0%	607,919	0,000	593,092	0,000	-67,500	15,218	2,000	0,000	Maximum
31	DS Hold 4 P	0%	607,919	0,000	593,092	0,000	-92,300	-15,218	2,000	0,000	Maximum
32	DS Hold 4 S	0%	607,919	0,000	593,092	0,000	-92,300	15,218	2,000	0,000	Maximum
33	DS Hold 5 P	0%	607,919	0,000	593,092	0,000	-117,100	-15,218	2,000	0,000	Maximum
34	DS Hold 5 S	0%	607,919	0,000	593,092	0,000	-117,100	15,218	2,000	0,000	Maximum
35	DS Hold 6 P	0%	610,162	0,000	595,280	0,000	-141,816	-15,212	2,000	0,000	Maximum
36	DS Hold 6 S	0%	610,162	0,000	595,280	0,000	-141,816	15,212	2,000	0,000	Maximum
37	DS Hold 7 P	0%	551,341	0,000	537,894	0,000	-159,092	-14,976	2,000	0,000	Maximum
38	DS Hold 7 S	0%	551,341	0,000	537,894	0,000	-159,092	14,976	2,000	0,000	Maximum
39	Total Ballast	0%	15936,377	0,000	15547,685	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
40	Supply	1	343,000	343,000			-203,900	0,000	16,670	0,000	User Specifi
41	Total Supply			343,000			-203,900	0,000	16,670	0,000	
42	Total Loadca			74128,007	108828,027	81185,795	-103,723	0,000	10,102	56048,882	
43	FS correction								0,756		
44	VCG fluid								10,858		

2.4 Удиферентування судна-проекту

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

На рис. 2.4.1 наведено візуалізацію посадки судна, а в табл. 2.4.1 її параметри. За допомогою Loadcase здійснюється перевірка посадки судна (табл. 2.4.1).

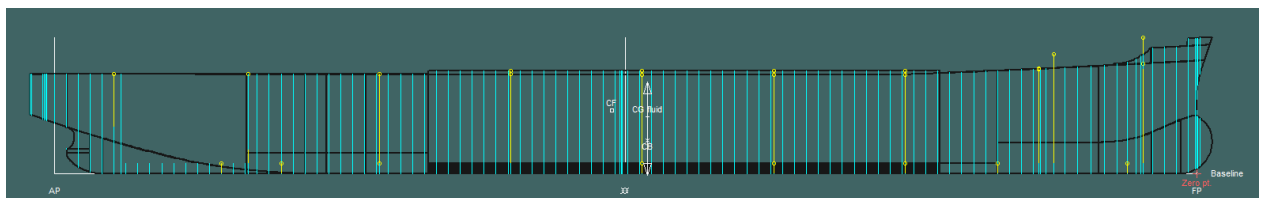


Рисунок 2.4.1 – Удиферентоване судно-проект у повному вантажі

1	Draft Amidships m	12,073
2	Displacement t	74127
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	12,073
5	Draft at AP m	12,073
6	Draft at LCF m	12,073
7	Trim (+ve by stern) m	0,000
8	WL Length m	220,220
9	Beam max extents on	31,976
10	Wetted Area m ²	10883,6
11	Waterpl. Area m ²	6533,74
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,856
13	Block coeff. (Cb)	0,850
14	Max Sect. area coeff. (C)	0,998
15	Waterpl. area coeff. (C)	0,928
16	LCB from zero pt. (+ve)	-103,73
17	LCF from zero pt. (+ve)	-110,39
18	KB m	6,267
19	KG fluid m	10,858
20	BMT m	7,083
21	BML m	323,137
22	GMt corrected m	2,492
23	GML m	318,546
24	KMT m	13,350
25	KML m	329,404
26	Immersion (TPC) tonne/	66,971
27	MTc tonne.m	1094,71
28	RM at 1deg = GMt.Disp.	3223,82
29	Max deck inclination de	0,0000
30	Trim angle (+ve by ster	0,0000

Таблиця 2.4.1 – Посадка судна.

В результаті отримуємо що дифферент відсутній. Отже $X_C = -103,73$;
 $X_g = -103,73$.

Згідно з даними табл. 1.7.2, розрахунковий стан характеризується такими параметрами: $T_H = 12,07\text{м}$ – осадка носом; $T_K = 12,07\text{м}$ – осадка кормою; $\Delta T = 0,0\text{м}$ – дифферент.

Для удиферентування необхідно забезпечити виконання таких умов:

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

- $\Delta T \leq (0,006 \dots 0,008)L = 0,007 \cdot 215,7 = 1,51\text{м}$ - умова забезпечення задовільної ходовості по опору води: $0,016 < 1,51$ - умова задовольняє;

- $T_H \geq L/40 = 215,7/40 = 5,39\text{м}$ - умова відсутності слемінгу: $12,07 > 5,39$, умова виконується;
- $T_K \geq d_{\text{гв}} - d_{\text{гв}} = 0,7 \cdot T = 8,449\text{м}$ - умова забезпечення нормальної роботи гвинта і керованості: $12,07 > 8,449$, умова виконується;
- $T_K \geq T_H$ - умова забезпечення морехідних якостей: $12,07 = 12,07$ - умова виконується.

Усі умови виконано. Отже, проєкт у стані повного завантаження удиферентовано.

2.5 Розрахунок амплітуди хитавиці

Перевірку остійності виконуємо для першого розрахункового стану завантаження судна. За допомогою Maxsurf Stability визначаємо плече статичної остійності. На основі креслення загального розташування обчислюємо площу парусності та визначаємо аплікату центра парусності.

Амплітуду хитавиці знаходимо 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 ; X_2 – безрозмірний множник, який визначається в залежності від коефіцієнта загальної повноти C_b ; r – параметр, не повинен братися більше 1; S – безрозмірний множник, який залежить від району плавання судна і періоду хитавиці, який розраховується за формулою

$$T = \frac{2cB}{\sqrt{h}}, \text{ де } c = 0,373 + 0,023 \cdot B/d - 0,043 \cdot L_{wl}/100;$$

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

$X_1 = 0,953$ (так як $B/d = 31,98/12,07 = 2,65$);

$X_2 = 1$ ($C_b = 0,851$);

$r = 0,73 + 0,6 \cdot (z_g - d)/d = 0,73 + 0,6 \cdot (10,52 - 12,07)/12,07 = 0,653$

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ.02	Арк.
						25
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$c = 0,373 + 0,023 \cdot B/d - 0,043 \cdot L_{w1}/100 = 0,373 + 0,023 \cdot 31,98/12,07 - 0,043 \cdot 220,22/100 = 0,3392$$

$$T = \frac{2cB}{\sqrt{h}} = \frac{2 \cdot 0,3392 \cdot 31,98}{\sqrt{2,49}} = 13,75$$

$$S = 0,0545$$

$$\theta_1 = 109 \cdot k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S} = 109 \cdot 1 \cdot 0,953 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,653 \cdot 0,0545} = 39,19^\circ$$

2.6 Розрахунок кренувального моменту від тиску вітру(a) і

перекидального моменту (b):

$$A_v = \sum S_i = 2058,133 \text{ м}^2 \text{ площа парусності.}$$

$$Z_B = 18,079$$

$Z_V = Z_B - d/2 = 18,079 - 12,07/2 = 12,044 \text{ м}$ - плече парусності, що визначається як вертикальна відстань від центра площі парусності А до центра площі проекції підводної частини корпусу на діаметральну площину або, приблизно, до середини осадки судна

Отже тиск вітру $P_V = 504 \text{ Па}$, водотоннажність - $D = 74128 \text{ т}$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння.

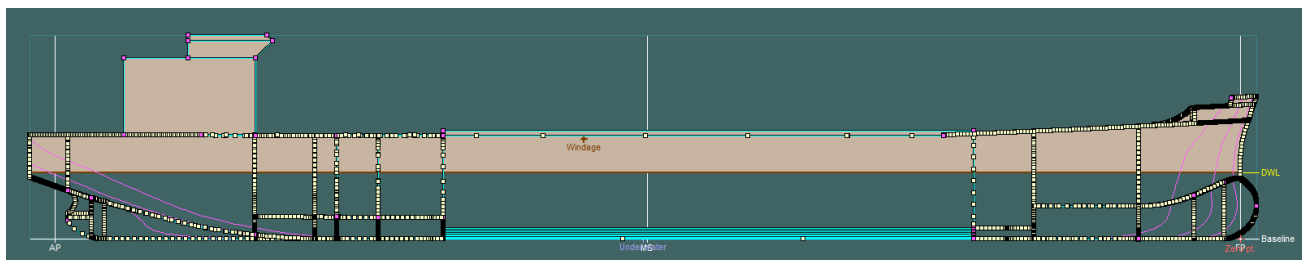


Рисунок 2.6.1 – Схема визначення площі парусності

$$l_{w1} = \frac{P_V \cdot A \cdot Z_V}{1000 \cdot g \cdot D} = \frac{504 \cdot 2058,133 \cdot 12,044}{1000 \cdot 9,81 \cdot 74128} = 0,017 \text{ м}$$

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1} = 1,5 \cdot 0,017 = 0,0255 \text{ м}$$

Розрахунок критерію погоди: остійність судна за цим критерієм

вважається достатньою, якщо площа b дорівнює або перевищує площу a, тобто $K \geq 1$. Площа b визначається як область, обмежена кривою відновлювальних плечей, горизонтальною лінією, що відповідає кренувальному плечу та куту крену.

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ.02	Арк.
						26
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

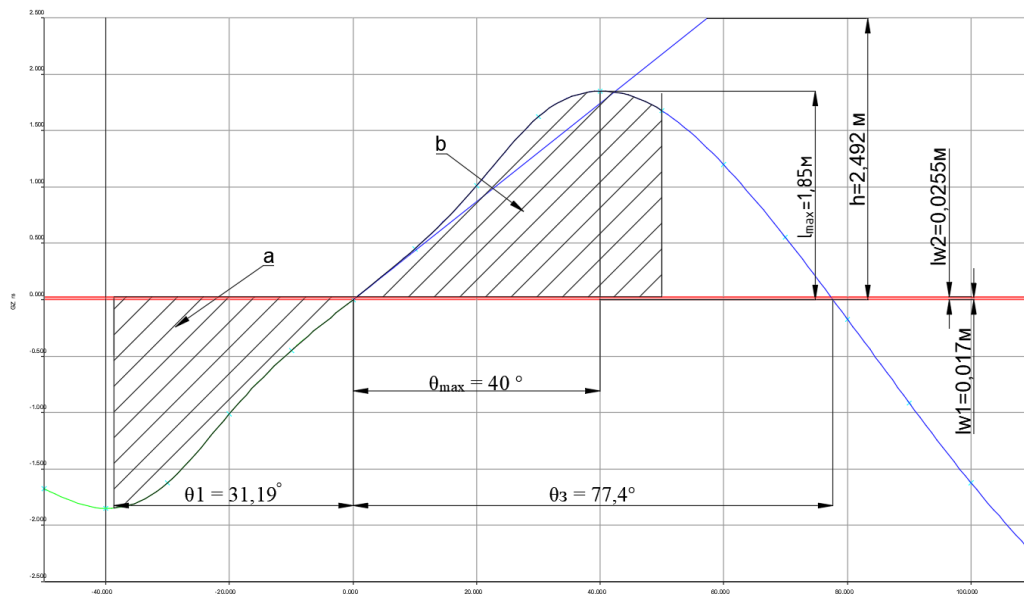


Рисунок 2.6.2 - Діаграма статичної остійності

	Heel to Starboard deg	-50,0	-40,0	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0
1	GZ m	-1,676	-1,850	-1,623	-1,010	-0,451	0,000	0,451	1,010	1,623	1,850	1,676	1,197	0,552	-0,171	-0,913	-1,623	-2,253
2	Area under GZ curve f	1,0173	0,7062	0,3960	0,1639	0,0385	0,0000	0,0386	0,1639	0,3961	0,7058	1,0186	1,2727	1,4269	1,4609	1,3662	1,1440	0,8050
3	Displacement t	74127	74128	74127	74128	74128	74133	74122	74128	74132	74128	74128	74128	74128	74128	74126	74123	74124
4	Draft at FP m	14,479	13,173	12,383	12,166	12,099	12,077	12,098	12,166	12,385	13,173	14,483	16,480	20,226	30,945	n/a	10,839	0,135
5	Draft at AP m	12,833	12,067	11,703	11,851	12,019	12,070	12,018	11,851	11,703	12,067	12,829	14,066	16,437	23,483	n/a	4,265	-2,818
6	WL Length m	220,233	220,214	220,218	220,219	220,220	220,220	220,219	220,218	220,214	220,233	221,848	222,849	223,044	222,424	221,351	221,393	
7	Beam max extents on	26,012	29,678	32,900	33,977	32,407	31,976	32,407	33,977	32,897	29,677	26,011	24,013	23,400	23,281	23,541	24,700	26,815
8	Wetted Area m²	12196,7	11995,7	11537,3	10916,8	10890,5	10883,9	10890,1	10916,8	11537,9	11995,7	12196,8	12346,0	12484,3	12525,9	12590,8	12645,9	12710,2
9	Waterpl. Area m²	5094,12	5880,00	6555,13	6933,90	6628,55	6533,61	6628,49	6933,89	6554,76	5880,00	5094,12	4559,17	4242,36	4092,84	4064,43	4154,72	4357,41
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,863	0,857	0,853	0,854	0,855	0,855	0,855	0,854	0,853	0,857	0,862	0,860	0,859	0,861	0,865	0,870	0,871
11	Block coeff. (Cb)	0,615	0,572	0,560	0,595	0,707	0,850	0,707	0,595	0,560	0,572	0,615	0,643	0,656	0,677	0,709	0,616	0,532
12	LCB from zero pt. (+ve)	-103,70	-103,70	-103,71	-103,71	-103,72	-103,72	-103,72	-103,71	-103,70	-103,70	-103,69	-103,69	-103,68	-103,69	-103,68	-103,69	-103,69
13	LCF from zero pt. (+ve)	-104,37	-105,38	-107,50	-109,80	-110,28	-110,39	-110,28	-109,80	-107,50	-105,38	-104,37	-103,86	-103,72	-104,28	-105,15	-105,74	-106,41
14	Max deck inclination de	50,0006	40,0005	30,0004	20,0001	10,0000	0,0018	10,0000	20,0001	30,0004	40,0005	50,0006	60,0005	70,0004	80,0002	90,0000	99,9999	109,999
15	Trim angle (+ve by ster)	-0,4370	-0,2936	-0,1806	-0,0838	-0,0212	-0,0018	-0,0213	-0,0839	-0,1811	-0,2936	-0,4394	-0,6411	-1,0062	-1,9813	-90,000	-1,7456	-0,7844

Рисунок 2.6.3 – Ординати діаграми статичної остійності

$$K = \frac{b}{a} = 1,92 \geq 1$$

Відповідність вимогам ІМО щодо остійності перевіряється у Maxsurf Stability у вкладці Criteria:

Критерій	Дійсне значення	Вимога Регістру
K	1,6	$K \geq 1$
l_{max}, m	1,85	$l_{max} \geq 0,2$
θ_{max}, m	40°	$\theta_{max} \geq 30$
θ_{3AK}, m	77,4°	$\theta_{3AK} \geq 60$
h, m	2,492	$h \geq 0,15$
$S_{30}, m \cdot рад$	0,2704	$S_{30} \geq 0,055$
$S_{40}, m \cdot рад$	0,9741	$S_{40} \geq 0,09$
$S_{30-40}, m \cdot рад$	0,7037	$S_{40-30} \geq 0,03$

Висновок: Спроектоване судно відповідає всім вимогам Міжнародної Морської Організації.

					Арк.
					27
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ.02

2.7. Розрахунок аварійної остійності

Аварійна остійність - це здатність судна зберігати рівновагу та плавучість після пошкодження корпусу і затоплення одного або декількох відсіків. Розрахунок аварійної остійності є важливою проектування та експлуатації суден, оскільки від нього залежить безпека екіпажу, вантажу та самого судна.

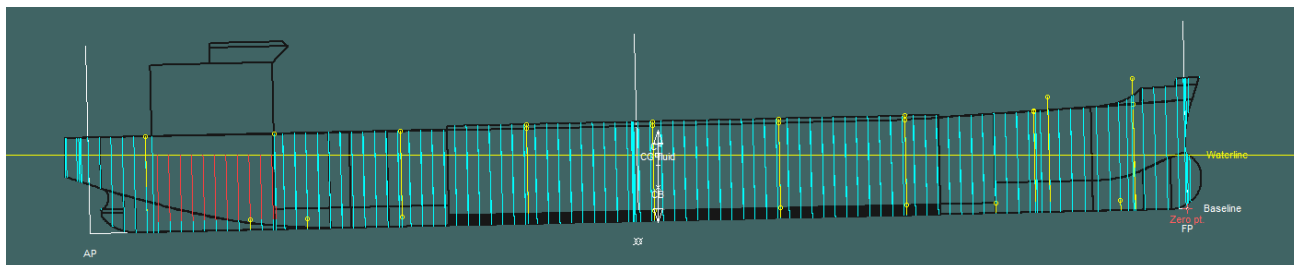


Рис. 2.7.1 – Зображення пошкодженого машинного відсіку

	Heel to Starboard deg	-50,0	-40,0	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0
1	GZ m	-1,159	-1,336	-1,263	-0,937	-0,438	0,000	0,438	0,937	1,264	1,336	1,159	0,752	0,209	-0,397	-1,018	-1,605	-2,117
2	Area under GZ curve f	0,8039	0,5839	0,3531	0,1577	0,0371	0,0000	0,0371	0,1577	0,3533	0,5838	0,8051	0,9745	1,0597	1,0439	0,9204	0,6906	0,3649
3	Displacement t	74128	74126	74126	74132	74128	74128	74128	74128	74121	74128	74128	74128	74128	74128	74128	74128	74128
4	Draft at FP m	11,237	10,749	10,522	10,613	10,616	10,594	10,606	10,607	10,531	10,761	11,223	11,839	12,965	16,041	n/a	-3,748	-6,891
5	Draft at AP m	20,898	17,963	16,212	15,403	15,401	15,448	15,411	15,409	16,199	17,949	20,916	25,781	35,007	61,802	n/a	41,999	15,276
6	WL Length m	220,879	220,897	220,937	220,792	220,792	220,826	220,806	220,800	220,926	220,887	220,887	221,057	222,215	223,034	223,188	223,110	223,018
7	Beam max extents on	27,670	30,372	34,665	33,979	32,429	31,950	32,429	33,979	34,655	30,368	27,679	25,809	24,677	24,343	24,850	25,474	25,946
8	Wetted Area m²	13036,0	12808,2	12404,0	11706,2	11392,5	11388,0	11393,2	11706,7	12402,3	12807,5	13036,6	13191,0	13329,3	13458,6	13506,6	13600,8	13702,3
9	Waterpl. Area m²	4601,15	5141,87	5584,72	6087,53	6107,27	6016,61	6107,54	6087,01	5585,57	5142,34	4600,77	4141,76	3854,82	3698,62	3654,00	3702,28	3866,50
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,750	0,747	0,744	0,740	0,737	0,736	0,737	0,740	0,744	0,747	0,750	0,753	0,753	0,753	0,755	0,758	0,761
11	Block coeff. (Cb)	0,517	0,502	0,478	0,537	0,626	0,673	0,625	0,537	0,478	0,502	0,517	0,533	0,549	0,562	0,529	0,493	0,477
12	LCB from zero pt. (+ve)	-103,84	-103,86	-103,84	-103,81	-103,79	-103,80	-103,82	-103,82	-103,82	-103,84	-103,86	-103,88	-103,88	-103,90	-103,90	-103,90	-103,89
13	LCF from zero pt. (+ve)	-94,327	-93,925	-94,769	-99,887	-103,88	-103,94	-103,88	-99,880	-94,786	-93,937	-94,320	-94,005	-93,518	-93,144	-92,893	-93,144	-93,557
14	Max deck inclination de	50,0199	40,0224	30,0259	20,0342	10,0772	1,2893	10,0779	20,0344	30,0257	40,0222	50,0200	60,0173	70,0127	80,0068	90,0000	99,9932	109,987
15	Trim angle (+ve by ster	2,5647	1,9157	1,5111	1,2722	1,2709	1,2893	1,2762	1,2752	1,5051	1,9088	2,5731	3,6982	5,8348	11,9778	90,0000	11,9743	5,8676

Рисунок 2.7.2. – Ординати діаграми аварійної остійності

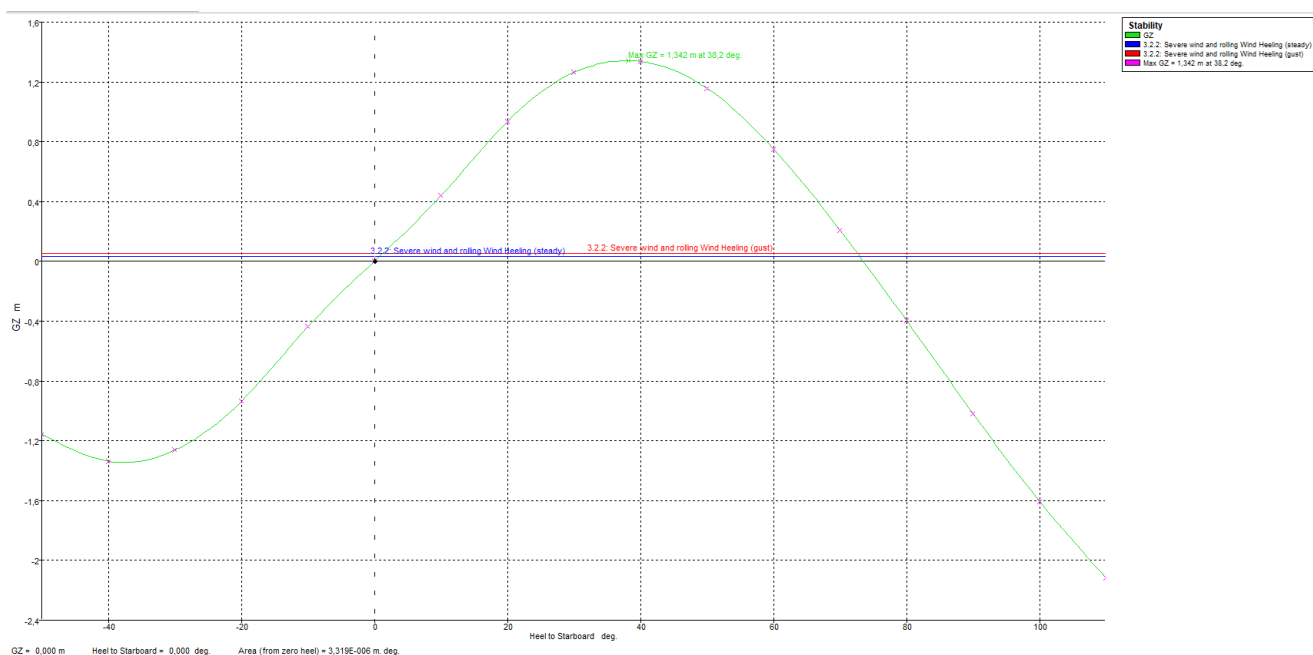


Рисунок 2.7.1 - Діаграма аварійної остійності

Відповідність вимогам ІМО щодо остійності перевіряється у Maxsurf
Stability у вкладці Criteria:

44	A.749(18) C	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 =	24,114	m			
49		total area: A =	2058,133	m²			
50		H = vert. centre of projected lat. u'water area	0,000	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 (-24,2)	deg	-24,2		
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)	72,7	deg			
59		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:					
60		angle of max. GZ	38,2	deg	38,2		
61		Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdgelm				
62		Criteria:				Pass	
63		Angle of steady heel shall not be greater than ($\leq$)	16,0	deg	0,8	Pass	+94,79
64		Angle of steady heel / Deck edge immersion angle s	80,00	%	6,04	Pass	+92,45
65		Area1 / Area2 shall not be less than ($\geq$)	100,00	%	299,02	Pass	+199,02
66		Intermediate values					
67		Heel arm amplitude		m	0,034		
68		Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,8		
69		Equilibrium angle with gust heel arm		deg	1,2		
70		Deck edge immersion angle		deg	13,8		
71		Area1 (under GZ), from 1,2 to 50,0 deg.		m.rad	0,8045		
72		Area1 (under HA), from 1,2 to 50,0 deg.		m.rad	0,0439		
73		Area1, from 1,2 to 50,0 deg.		m.rad	0,7606		
74		Area2 (under GZ), from -24,2 to 1,2 deg.		m.rad	-0,2315		
75		Area2 (under HA), from -24,2 to 1,2 deg.		m.rad	0,0229		
76		Area2, from -24,2 to 1,2 deg.		m.rad	0,2544		
77							
78	Regulation	28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 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 ($\leq$)	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	13,8	deg	13,8		
86		shall not be greater than ($\leq$)	100,00	%	0,00	Pass	+100,00
87		Intermediate values					
88		Equilibrium angle		deg	0,0		
89							

90	Regulation	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	73,5	deg	73,5		
96		shall not be less than ($\geq$)	20,0	deg	73,5	Pass	+267,65
97							
98	Regulation	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 (20,0)	deg	20,0		
103		angle of max. GZ	38,2	deg			
104		first downflooding angle	n/a	deg			
105		shall not be less than ($\geq$)	0,100	m	0,937	Pass	+837,00
106		Intermediate values					
107		angle at which this GZ occurs		deg	20,0		
108							
109	Regulation	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 (20,0)	deg	20,0		
114		first downflooding angle	n/a	deg			
115		angle of vanishing stability	73,5	deg			
116		shall not be less than ($\geq$)	0,0175	m.rad	0,1577	Pass	+800,99
117							

За результатами проведених розрахунків можемо зробити висновок, що проєктоване судно відповідає вимогам Міжнародної Морської Організації щодо остійності судна як в ушкодженному так і в пошкодженному стані.

2.8 Розрахунок ходовості балкара, забезпечення вимог класифікаційного товариства до міцності гребного вала та гребного гвинта балкара

2.8.1 Розрахунок буксирувальних опорів і потужності

Вихідні дані для розрахунку:

	Item	Value	Units	Holtrop
1	LWL	219,8	m	219,8
2	Beam	31,8	m	31,8
3	Draft	12	m	12
4	Displaced volume	71088,8	m ³	71088,8
5	Wetted area	10875,6	m ²	10875,6
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,864		0,864 (hi
7	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,916		0,916
8	1/2 angle of entrance	24,5	deg.	24,5
9	LCG from midships(+ve for'	4,43	m	4,43
10	Transom area	3,98	m ²	3,98
11	Transom wl beam	0	m	--
12	Transom draft	0	m	--
13	Max sectional area	379,7	m ²	--
14	Bulb transverse area	58,3	m ²	58,3
15	Bulb height from keel	6	m	6
16	Draft at FP	12	m	12
17	Deadrise at 50% LWL	0	deg.	--
18	Hard chine or Round bilge	Hard chine		--
19				
20	Frontal Area	0	m ²	
21	Headwind	0	kn	
22	Drag Coefficient	0		
23	Air density	0,001	tonne/	
24	Appendage Area	0	m ²	
25	Nominal App. length	0	m	
26	Appendage Factor	1		
27				
28	Correlation allow.	0,0004		Calculate
29	Kinematic viscosity	0,0000011	m ² /s	
30	Water Density	1,026	tonne/	

Розрахунок потужності головного двигуна виконується із застосуванням програмного комплексу Maxsurf Resistance. Отримані результати розрахунку наведено в табл. 2.8.1.1. Для визначення необхідної ефективної потужності головного двигуна використовується перехід від буксирувальної потужності з

урахуванням загального пропульсивного коефіцієнта, значення якого задається в модулі Analysis/Efficiency.

Таблиця 2.8.1.1 – Результати розрахунків потужності головного двигуна

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	0,500	0,006	0,013	1,3	0,581
2	0,850	0,009	0,022	3,5	2,673
3	1,200	0,013	0,031	6,8	7,227
4	1,550	0,017	0,040	11,0	15,152
5	1,900	0,021	0,048	16,2	27,340
6	2,250	0,025	0,057	22,4	44,675
7	2,600	0,029	0,066	29,5	68,035
8	2,950	0,033	0,075	37,6	98,292
9	3,300	0,037	0,084	46,6	136,311
10	3,650	0,040	0,093	56,5	182,949
11	4,000	0,044	0,102	67,4	239,053
12	4,350	0,048	0,111	79,2	305,461
13	4,700	0,052	0,120	91,9	382,998
14	5,050	0,056	0,129	105,5	472,475
15	5,400	0,060	0,138	120,0	574,689
16	5,750	0,064	0,147	135,4	690,423
17	6,100	0,068	0,156	151,6	820,443
18	6,450	0,071	0,165	168,8	965,501
19	6,800	0,075	0,174	186,7	1126,335
20	7,150	0,079	0,182	205,6	1303,668
21	7,500	0,083	0,191	225,2	1498,219
22	7,850	0,087	0,200	245,7	1710,696
23	8,200	0,091	0,209	267,0	1941,815
24	8,550	0,095	0,218	289,1	2192,296
25	8,900	0,099	0,227	312,0	2462,885
26	9,250	0,102	0,236	335,7	2754,356
27	9,600	0,106	0,245	360,3	3067,534
28	9,950	0,110	0,254	385,6	3403,304
29	10,300	0,114	0,263	411,9	3762,633
30	10,650	0,118	0,272	439,0	4146,590
31	11,000	0,122	0,281	467,0	4556,361
32	11,350	0,126	0,290	496,4	4997,717
33	11,700	0,130	0,299	527,0	5468,563
34	12,050	0,134	0,308	558,6	5970,633
35	12,400	0,137	0,316	591,5	6505,870
36	12,750	0,141	0,325	625,7	7076,441
37	13,100	0,145	0,334	661,4	7684,745
38	13,450	0,149	0,343	698,5	8333,432
39	13,800	0,153	0,352	737,4	9025,415
40	14,150	0,157	0,361	778,0	9763,879
41	14,500	0,161	0,370	820,5	10552,29

Буксирувальна потужність для швидкості на випробуваннях: $v_B = 14,5$ вузлів, $N_B = 10552$ кВт. Буксирувальна потужність для експлуатаційної швидкості $v_E = 14,0$ вузлів визначається шляхом розрахунків в MaxSurf та дорівнює $N_E = 9426$ кВт.

На рис. 2.8.1.1 та 2.8.1.2 наведено відповідно залежності буксирувального опору та буксирувальної потужності від швидкості ходу судна.

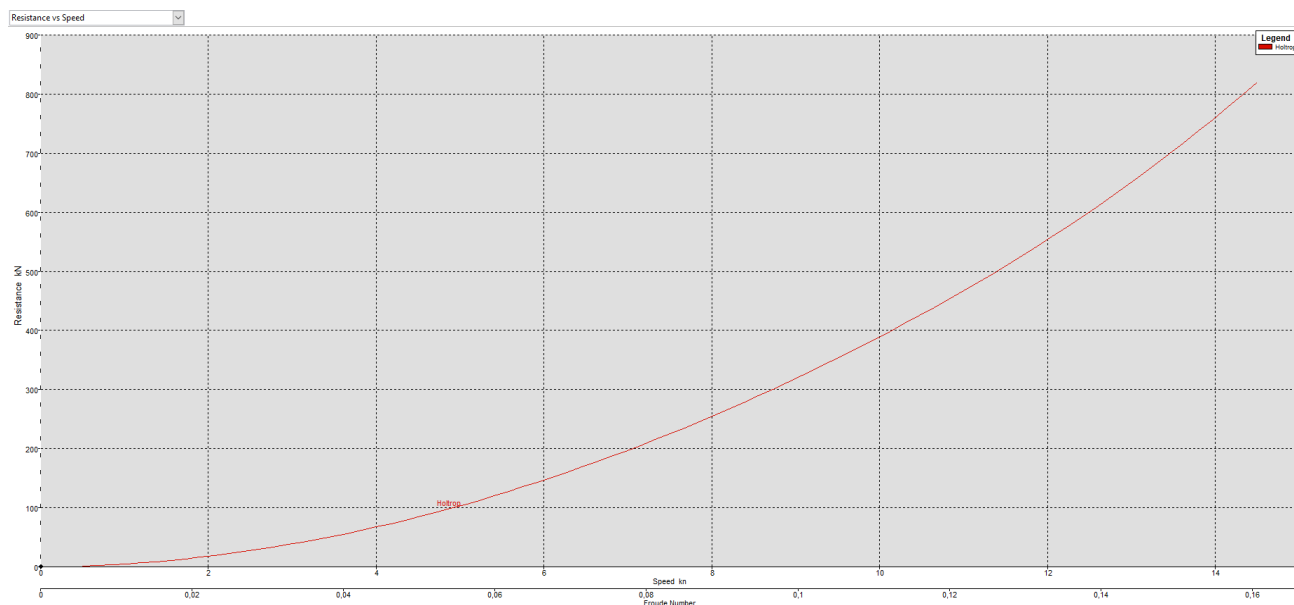


Рис. 2.8.1.1 – Графік залежності буксирувального опору від швидкості $R = f(v_s)$

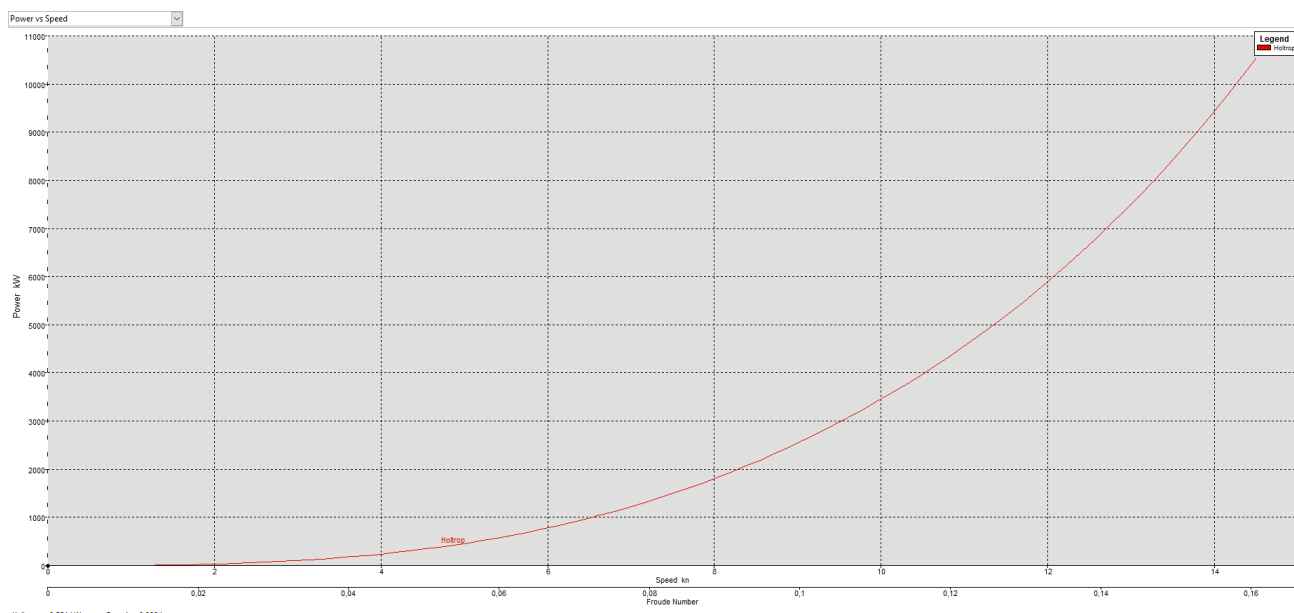


Рис. 2.8.1.2 - Графік залежності буксирувальної потужності від швидкості балкера $P = f(v_s)$

2.8.2 Розрахунок характеристик рушія та вибір двигуна

Розрахунок характеристик пропульсивного комплексу виконано на основі наступних розрахунків.

Для заданого балкера з проектною швидкістю V , буксирувальним опором R та буксирувальною потужністю $P_E = R \cdot V$, основними завданнями проєктування рушійного комплексу є:

- забезпечення оптимальних характеристик гребного гвинта з максимально високим ККД;

- вибір головного двигуна, який забезпечить необхідну потужність для руху судна із заданою проєктною швидкістю.

Вихідні дані, використані для проєктування пропульсивного комплексу, наведені в табл. 2.8.2.1.

Табл. 2.8.2.1 – Вихідні дані

Дані про балкер:	Символ	Дані	Одиниця виміру
Швидкість судна	V_s	14,0	вузли
Швидкість судна	$V = 0,514 V_s$	7,2	м/с
Осадка	d	12,07	м
Коефіцієнт загальної повноти	C_b	0,857	
Повний опір руху судна	$R_T(V)$	769,75	кН
Загальна потужність опору	$P_R = R_T V$	8526,5	кВт

Визначення гвинта з високим ККД:

Розрахунок визначення характеристик гвинта з високим ККД виконано з використанням коефіцієнтів взаємодії гвинта з корпусом за методом Holtrop, які наведено в таблиці 2.8.2.2.

Табл. 2.8.2.2 – Коефіцієнти взаємодії гвинта з корпусом

Коефіцієнти взаємодії гвинта з корпусом:		
Коефіцієнт в'язкого опору	$10C_v$	0,02
Коефіцієнт сили засмоктування	t	0,10
Коефіцієнт попутного потоку	$w = 0.3C_b + 10C_vC_b - 0,10$	0,14
Відносна обертова ефективність	η_R	0,98

За результатами розрахунку були отримані наступні дані для вибору схеми гвинта:

Значення, необхідні для використання діаграми гвинта:			
Тяга	$T = R_T/(1-t)$	855,3	кН
Діаметр пропелера	$D = 0,7d$	8,45	м
Швидкість просування гвинта	$V_A = V(1-w)$	6,19	м/с
Коефіцієнт тяги-діаметра	$K_{DT\ opt} = DV_A (\rho/T)^{0.5}$	1,81	

На основі цих даних було підібрано серійну випробувальну діаграму гвинтів серії М-4-65.

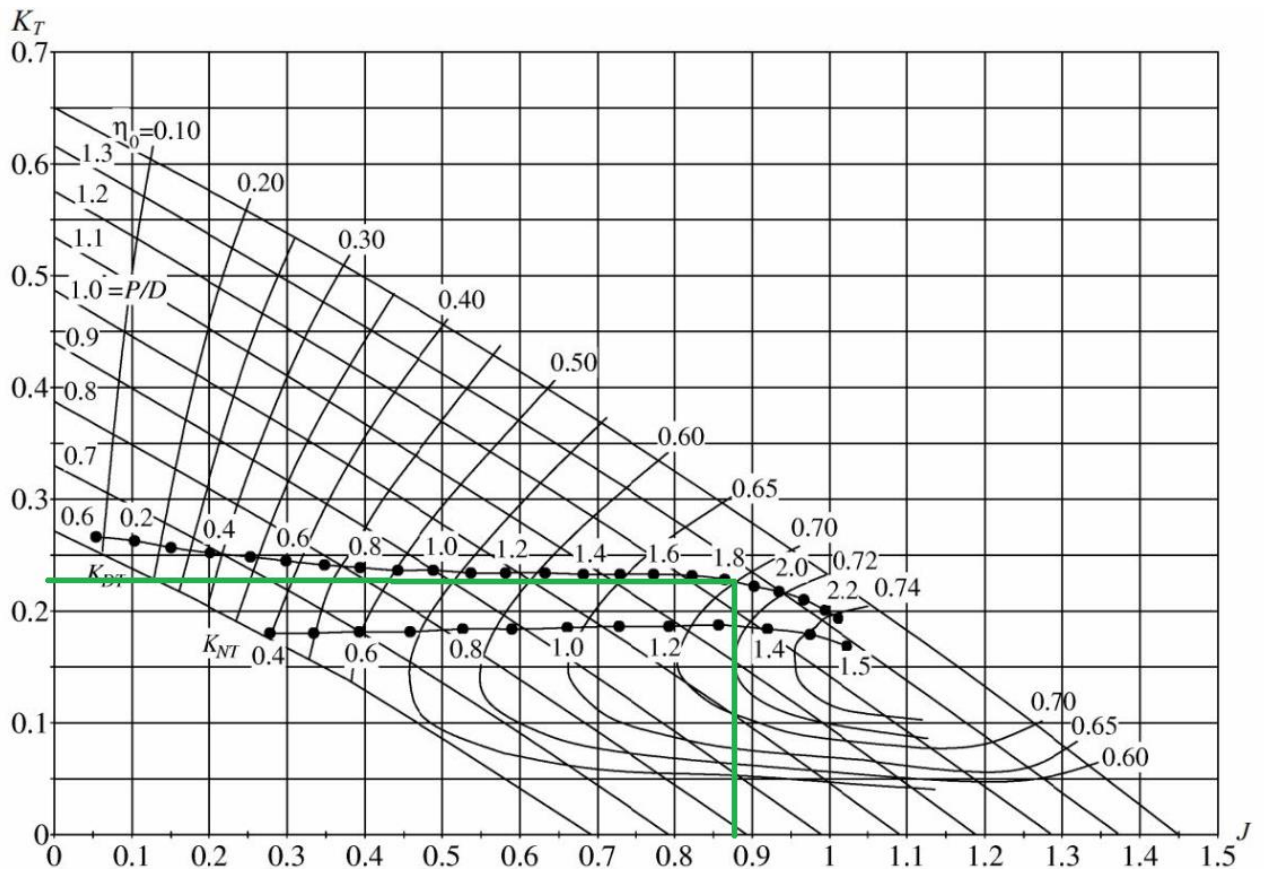


Fig.2.20. Diagram M-4-65; $Z=4$; $A_E/A_0=0,65$

Рис. 2.8.2.1 - Вибрана діаграма

Таблиця 2.8.2.3 Параметри гвинта

Результати використання гвинтової діаграми:		
Коефіцієнт тяги	$K_T = T/(\rho n^2 D^4)$	0,23
Поступь	$J = V_A/(nD)$	0,88
Крокове відношення	P/D	1,25
ККД гвинта	η_0	0,7

На підставі даних таблиці 2.8.2.4 визначається оптимальне число обертів гвинта.

Таблиця 2.8.2.4 – Розрахунок оптимальної частоти обертання гвинта

Оптимальна частота обертання гвинта:	$n_{opt} = V_A/(JD)$	0,83	rpm
		49,8	об/хв

Вибір потужного двигуна для необхідності забезпечення руху балкера із заданою проєктною швидкістю.

Згідно проведених розрахунків отримали дані щодо необхідної потужності двигуна, які наведені в таблиці 2.8.2.4.

Таблиця 2.8.2.4 - Визначення необхідної потужності двигуна PG

Визначення необхідної потужності двигуна:			
Ефективність редуктору	η_G	1,0	
Ефективність валопроводу	η_S	0,98	
Ефективність корпусу	$\eta_H = (1 - t) / (1 - w)$	1,05	
Пропульсивний коефіцієнт	$\eta_D = \eta_H \eta_R \eta_O \eta_S \eta_G$	0,65	
Потрібна потужність двигуна	$P_G = P_E / \eta_D$	13117,7	кВт

Необхідну потужність двигуна підбирають за допомогою каталогу двигунів. Для розглянутого випадку вибираємо каталог малооборотних двигунів MAN. Обраний двигун має потужність 12240 кВт, найближчу до необхідної потужності 10067 кВт.

Таблиця 2.8.2.5 – Характеристики обраного головного двигуна

№ з/п	Марка	$P_{SN}, \text{кВт}$	$n, \text{об/хв}$	$g_e, \text{г/(кВт} \cdot \text{год)}$	$L, \text{мм}$	$B, \text{мм}$	$H, \text{мм}$	$G, \text{т}$
1	6S60MC-C	13530	105	170	7987	3768	10825	368

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ.02	Арк.
						35
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ.03							
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата								
					Набір корпусу за правилами Регістру				Літ	Аркуш	Аркушів	
Студентка	Тимошенко А..В.								у		1	
Консультант	Шарун Г.В.								НУК імені адм. Макарова			
Керівник	Ястреба О. П.											
Зав.каф	Некрасов В.О.											

3. Набір корпусу за Правилами Регістра

У даному розділі визначені розміри в'язей корпусу навалочного судна в узгодженні з «Правилами класифікації та побудови морських суден» Регістру судноплавства України 2020 року на клас КМ $\oplus$ AUT2.

КМ $\oplus$ – самохідне судно, яке повністю (або його корпус, чи механічна установка, механізми, обладнання) побудовані та/або виготовленні за правилами Регістру судноплавства України.

AUT2 – об'єм автоматизації дозволяє експлуатувати механічну установку одним оператором з ЦПУ без постійної присутності обслуговуючого персоналу у машинному відділенні

3.1. Головні розміри судна

Таблиця №4.1

№	Назва величини	Позначення величини	Розмірність	Дані
1	Довжина між перпендикулярами	L	м	215,7
2	Ширина судна на міделі	B	м	31,98
3	Висота борту	D	м	18,7
4	Осадка судна по літню ГВЛ	d	м	12,07
5	Коефіцієнт загальної повноти	C_v	-	0,851
6	Швидкість судна	V_C	вуз	14,0

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

– відношення довжини судна до висоти борту: $\frac{L}{D} \leq 18; \frac{215,7}{18,7} = 11,53 \leq 18;$

– відношення ширини судна до висоти борту: $\frac{B}{D} \leq 2,5; \frac{31,98}{18,7} = 1,7 \leq 2,5;$

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- відношення осадки судна до висоти борту:

$$0,55 \leq \frac{d}{D} \leq 0,8; 0,55 \leq \frac{12,07}{18,7} = 0,645 \leq 0,8;$$

- коефіцієнт загальної повноти $C_v \geq 0,6$; $0,851 > 0,6$.

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

3.2. Архітектурно-конструктивний тип судна

Судно однопалубне, з кормовим розташуванням машинного відділення та жилої надбудови, з подвійним дном, з одинарними бортами, з бортовими підпалубними та скуловими цистернами. Має 8 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° .

У дослідницькій частині верхньою палубою є нахилений лист, що в попередньому випадку входив до складу підпалубної цистерни.

3.3. Вибір системи набору перекрить корпусу судна

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

3.4. Вибір шпациї

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

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

де $L=215,7$ – довжина судна між перпендикулярами, м.

Маємо: $a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 215,7 + 0,48 = 0,912 \text{ м.}$

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		38

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

Приймемо: $a_0=800$ мм – поперечна шпация;

$a_0=900$ мм – повздовжня шпация.

3.5. Навантаження, викликані вантажем, що перевозиться.

Розрахунковий тиск на конструкції вантажного трюму навалочного судна визначається з урахуванням сил інерції за формулою:

$$P_e = \rho_B g k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i \geq 20 \text{ кПа}$$

де ρ_B – питома вага вантажу, т/м³; $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння; z_i – відстань по вертикалі розглядуваної точки прикладання навантаження від рівня вільної поверхні вантажу, м;

$k_B = \sin^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{B.T.}}{2} \right) + \cos^2 \alpha$ або $k_B = \cos \alpha$, в залежності від того, що більше; α – кут нахилу стінки до основної площини, град; $\varphi_{B.T.}$ – кут внутрішнього тертя навалочного вантажу, град; a_z – розрахункове прискорення, м/с² у вертикальному напрямку, яке знаходиться за формулою:

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0.4 \cdot a_{\delta z}^2}, \text{ м/с}^2,$$

де a_{cz} – проекція прискорення, м/с², центру ваги судна на вертикальну вісь в розглядуваній точці; $a_{kz}, a_{\delta z}$ – проекції прискорень, м/с², на вертикальну вісь в розглядуваній точці від кильової і бортової хитавиці відповідно.

$$a_{cz} = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{L} \right)^{\frac{1}{3}} g = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{215,7} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 9,81 = 1,519$$

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

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

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_k = \frac{0,8 \cdot \sqrt{L}}{1 + 0,4 \cdot \frac{V_0}{L} \cdot \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)} = \frac{0,8 \cdot \sqrt{215,7}}{1 + 0,4 \cdot \frac{14}{215,7} \cdot \left(\frac{215,7}{10^3} + 0,4 \right)} = 11,56 \text{ с};$$

$V_0 = 14$ вуз – специфікаційна швидкість судна;

$h = 0,07B = 0,07 \cdot 31,98 = 2,24$ м – метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна; $c = 0,8$ – числовий коефіцієнт;

$$T_\theta = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}} = \frac{0,8 \cdot 31,98}{\sqrt{2,24}} = 17,09 \text{ с};$$

$$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,23}{1 + 215,7 \cdot 10^{-2}} = 0,073 \text{ рад} – \text{розрахунковий кут диференту}$$

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 215,7 \cdot 10^{-2}} = 0,289 \text{ рад};$$

де T_k , T_θ – періоди кільової і бортової хитавиці, с, відповідно; ψ , θ – розрахункові кути диференту і крену, рад, відповідно; x_0 – відстань, м, розглядуваної точки від поперечної площини, що проходить через центр ваги судна; y_0 – відстань, м, розглядуваної точки від діаметральної площини; V_0 – специфікаційна швидкість судна, вузли; $c = 0,8$ – числовий коефіцієнт; $h = 0,07B$ – метацентрична висота, м, в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна.

$$x_0 = 0,2L = 43,14 \text{ м}$$

$$y_0 = B/2 = 31,98/2 = 15,99 \text{ м}$$

$$a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_k} \right)^2 \cdot \psi \cdot x_0 = \left(\frac{2\pi}{11,56} \right)^2 \cdot 0,073 \cdot 43,14 = 0,93 \text{ м/с}^2$$

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2\pi}{T_\theta} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2\pi}{17,09} \right)^2 \cdot 0,289 \cdot 15,99 = 0,62 \text{ м/с}^2$$

$$\text{Таким чином, } a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\theta z}^2} = \sqrt{1,519^2 + 0,93^2 + 0,4 \cdot 0,62^2} = 1,824 \text{ м/с}^2$$

$$\alpha = 0^\circ; \varphi_{BT} = 30^\circ$$

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

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\epsilon} = \rho_B g k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 1,27 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{1,824}{9,81} \right) \cdot 16,7 = 246,75 \text{ кПа}$$

Випробувальний напір на друге дно визначимо за формулою:

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

Де $h_{п.т.} = D - h_{п.} + \Delta z = 18,7 - 2 + 1,5 = 18,2 \text{ м}$ – відстань від настилу внутрішнього дна до верху повітряної трубки.

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

$$P_{\epsilon_{un}} = 7,5 \cdot 18,2 = 136,5 \text{ кПа};$$

Тиск баласту:

$$P_{\epsilon_{un}} = 0,75 \cdot \rho g \cdot (Z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot (16,7 + 1,5) = 137,25 \text{ кПа};$$

де $Z_i = D - h_k = 18,7 - 2 = 16,7 \text{ м}$;

Приймаю розрахунковий тиск на друге дно **P=246,75 кПа**

Знайдемо розрахунковий тиск від вантажу на похилий лист скулової цистерни

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 215,7 \cdot 10^{-2}} = 0,289 \text{ рад}; \text{ – розрахункові кути крену.}$$

$y_0 = B/2 = 31,98/2 = 15,99 \text{ м}$ – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини.

$$a_{\epsilon_z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\epsilon}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2\pi}{17,09} \right)^2 \cdot 0,289 \cdot 15,99 = 0,62 \text{ м/с}^2$$

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\epsilon_z}^2} = \sqrt{1,519^2 + 0,93^2 + 0,4 \cdot 0,62^2} = 1,824 \text{ м/с}^2$$

$$\alpha = 45^\circ; \varphi_{BT} = 30^\circ$$

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

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_{\epsilon} = \rho_B g k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 1,27 \cdot 9,81 \cdot 0,667 \cdot \left(1 + \frac{1,824}{9,81} \right) \cdot 16,7 = 164,58 \text{ кПа}$$

Приймаю розрахунковий тиск на похилий лист скулової цистерни **P=164,58 кПа.**

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Знайдемо розрахунковий тиск від вантажу на борт

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 215,7 \cdot 10^{-2}} = 0,289 \text{ рад}; - \text{ розрахункові кути крену.}$$

$y_0 = B/2 = 31,98/2 = 15,99$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини.

$$a_{\theta z} = \left(\frac{2\pi}{T_\theta} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2\pi}{17,09} \right)^2 \cdot 0,289 \cdot 15,99 = 0,62 \text{ м/с}^2$$

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{\kappa z}^2 + 0,4 \cdot a_{\theta z}^2} = \sqrt{1,519^2 + 0,93^2 + 0,4 \cdot 0,62^2} = 1,824 \text{ м/с}^2$$

$$\alpha = 90^\circ; \varphi_{BT} = 30^\circ$$

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

Розрахунковий тиск від навалочного вантажу:

$$P_e = \rho_B g k_B \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) z_i = 1,27 \cdot 9,81 \cdot 0,333 \cdot \left(1 + \frac{1,824}{9,81} \right) \cdot 16,7 = 82,17 \text{ кПа}$$

Приймаю розрахунковий тиск від вантажу на борт **P=82,17 кПа.**

3.6. Визначення згинальних моментів

Згинальний момент на тихій визначається за формулою:

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

де C_w – розрахункова висота хвилі, м; $B=31,98$ – ширина судна, м; $L=215,7$ м – довжина судна між перпендикулярами; $C_b=0,851$ – коефіцієнт загальної повноти судна.

Маємо:

$$M_{sw} = \pm 76 \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3} = 76 \cdot 9,998 \cdot 31,98 \cdot 215,7^2 \cdot (0,851 + 0,7) \cdot 10^{-3} = 1,754 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

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

$$M_w = 190 \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot C_b \cdot 10^{-3} = 190 \cdot 9,998 \cdot 31,98 \cdot 215,7^2 \cdot 0,851 \cdot 10^{-3} = 2,405 \cdot 10^6$$

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

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_w = -110 \cdot C_w \cdot B L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3} = -110 \cdot 9,998 \cdot 31,98 \cdot 215,7^2 \cdot (0,851 + 0,7) \cdot 10^{-3} = -2,536 \cdot 10^6$$

Сумарний згинальний момент:

- при прогині

$$M_{\Sigma 1} = |M_w + M_{sw}| = |-2,536 \cdot 10^6 - 1,754 \cdot 10^6| = 4,29 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

- при перегині

$$M_{\Sigma 2} = |M_w + M_{sw}| = |2,405 \cdot 10^6 + 1,754 \cdot 10^6| = 4,159 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

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:

$$\sigma_{кор} = \frac{175}{0,68} = 257,4 \text{ МПа},$$

Маємо:

$$W_{кор} = \frac{M_{\Sigma 1}}{\sigma_{кор}} \cdot 10^{-3} = \frac{4,29 \cdot 10^6}{257,4} = 16,67, \text{ м}^3$$

Момент опору корпусу судна, який вимагається за Правилами, визначається за формулою:

$$W_{min} = C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot \eta = 9,998 \cdot 31,98 \cdot 215,7^2 \cdot (0,851 + 0,7) \cdot 0,68 = 15,69 \text{ м}^3$$

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

$$I_{номр} = 3 \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) = 3 \cdot 9,998 \cdot 31,98 \cdot 215,7^2 \cdot (0,851 + 0,7) = 69,22 \text{ м}^4$$

Відстань нейтральної вісі (н. в.) від основної площини (ОП) визначимо за формулою:

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

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальні діючі напруження у днищі і у палубі визначаються за формулами:

$$I_0 = W_d \cdot (D - e) = 16,67 \cdot (18,7 - 7,48) = 187,04 \text{ м}^4,$$

– для днища:

$$\sigma_{\text{дн}} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot z_{\text{дн}}}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{4,159 \cdot 10^6 \cdot 7,48}{187,04} \cdot 10^{-3} = 166,32 \text{ МПа},$$

– для верхньої палуби:

$$\sigma_{\text{ен}} = \frac{M_{\Sigma 1} \cdot (D - z_{\text{дн}})}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{4,29 \cdot 10^6 \cdot (18,7 - 7,48)}{187,04} \cdot 10^{-3} = 257,35 \text{ МПа}.$$

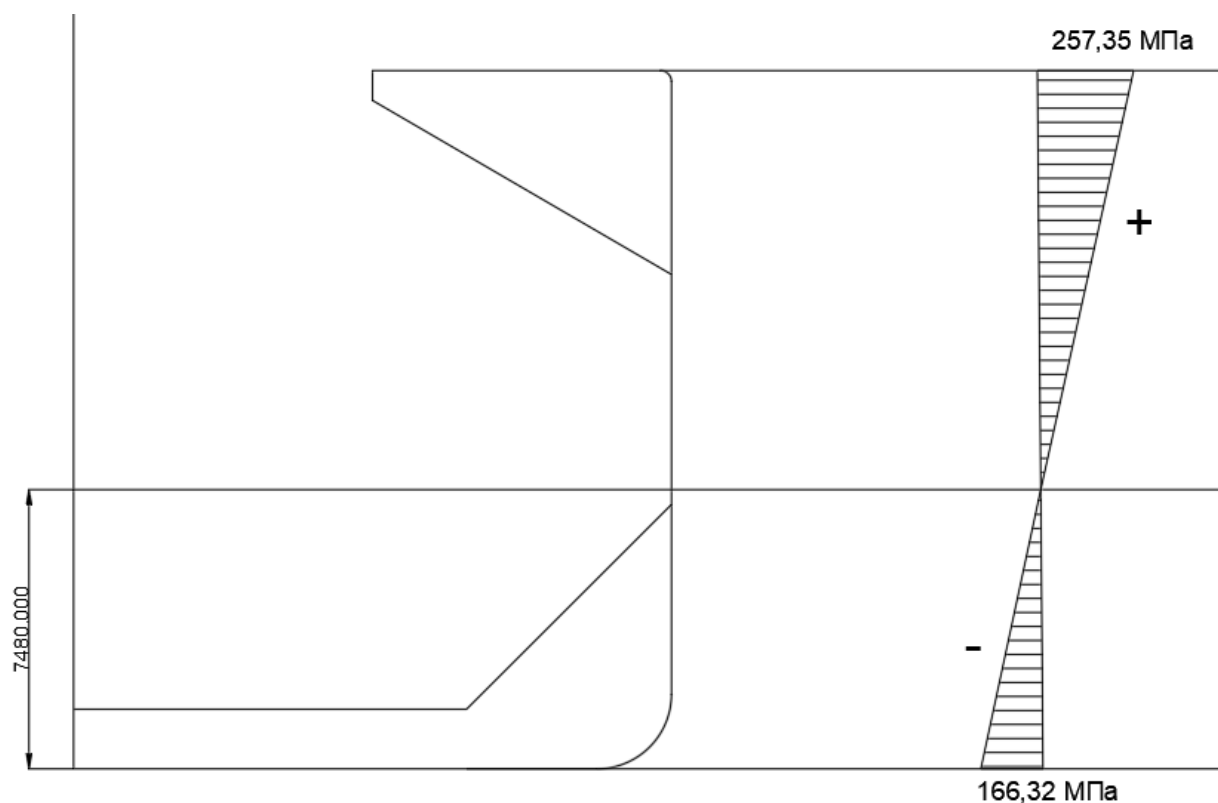


Рис.3.1.Схема напружень, які діють у днищі і палубі

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3.7. Розрахунок еквівалентного бруса і перевірка загальної поздовжньої міцності

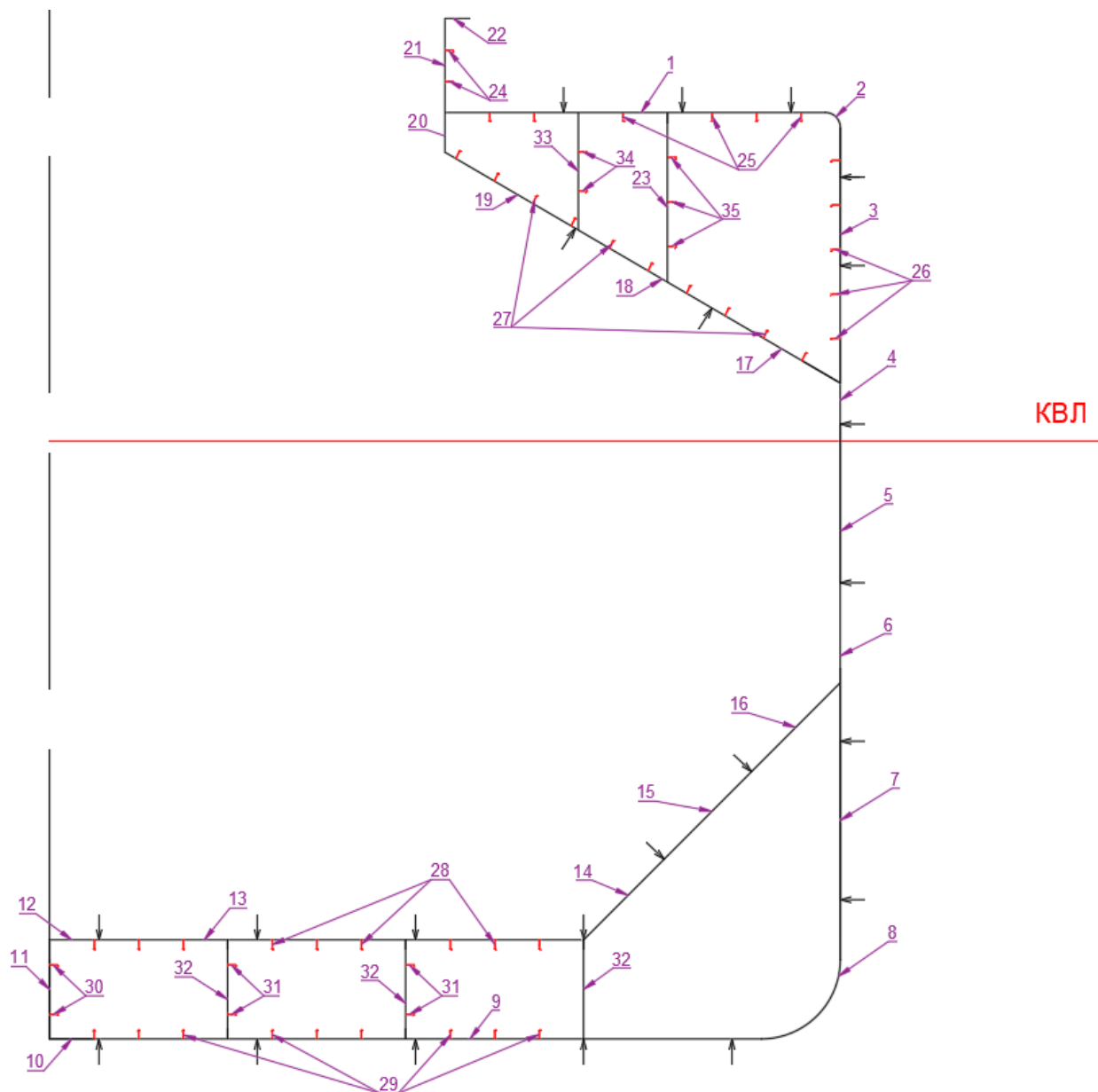


Рисунок 3.11.1 – Схема еквівалентного бруса

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

					24.ДРБ.135.4111.23						
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
					Перевірка міцності пластини днища			Літ	Аркуш	Аркушів	
Студентка	Тимошенко А.В.							у		1	
Консультан	Коростильов							НУК імені адм. Макарова			
Керівник	Ястреба О. П.										
Зав.кафедри	Некрасов В.О.										

4 Перевірка міцності зовнішньої обшивки днища корпусу судна

Перевірка міцності зовнішньої обшивки днища на згинання виконується у відповідності до Норм міцності морських суден.

Вихідні данні:

$$L_{\perp\perp} = 215,7 \text{ м}$$

$$B = 31,98 \text{ м}$$

$$D = 18,7 \text{ м}$$

$$d = 12,07 \text{ м}$$

$$U_{п.х} = 14,0 \text{ уз}$$

$$C_B = 0,851$$

4.1. Розрахункова схема пластини днища

При поздовжній системі набору днища розрахунковим елементом є прямокутна ділянка зовнішньої обшивки, яка обмежується жорсткими елементами набору — поздовжніми ребрами жорсткості (вертикальним кілем і днищевими стрінгерами), а також суцільними флорами, розташованими через декілька шпаций. Співвідношення довшої сторони такої ділянки до коротшої завжди більше або дорівнює одиниці: $\gamma = a/b \geq 1$.

У дипломній роботі приймається:

$$b = 900 \text{ мм}; a = 3b = 3 \cdot 900 = 2700 \text{ мм}; \gamma = \frac{2700}{900} = 3 > 1$$

Згідно з Нормами міцності морських суден, розрахунок зовнішньої обшивки днища на згин виконується з урахуванням жорсткого закріплення крайок пластини та незмінного опорного контуру. Як розрахункове навантаження приймається рівномірно розподілений тиск (p), що діє по всій поверхні пластини.

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

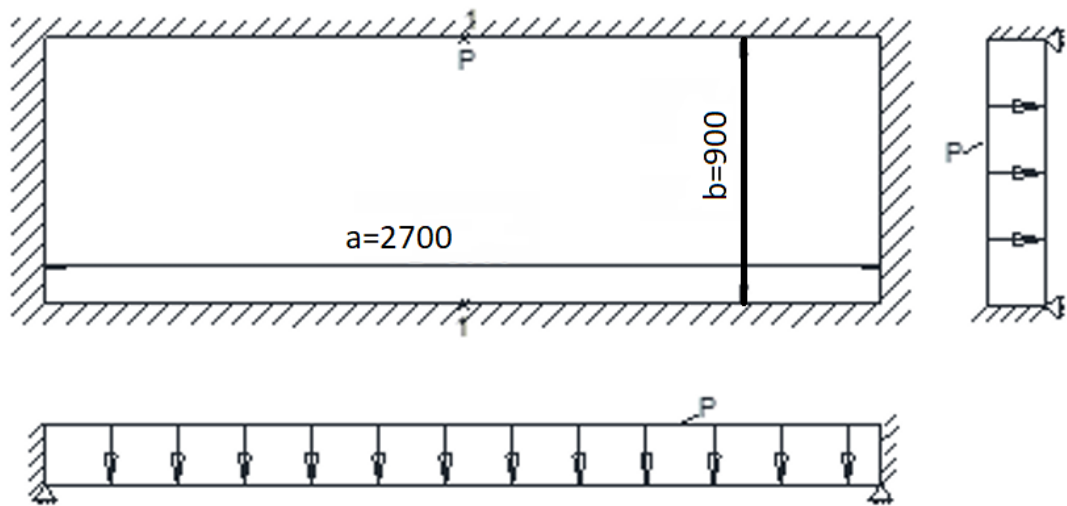


Рис.4.1 – Розрахункова схема пластини днища з вказаним розташуванням найбільш напружених точок 1 та 1’

4.2 Розрахункове навантаження

Розрахункове навантаження p на пластину днища, відповідно до Норм міцності, визначається без врахування протидії зсередини за формулою:

$$p = p_{ст} + p_{B0} = 121,37 + 49,42 = 170,79 \text{ кПа}$$

де $p_{ст}$ – розрахунковий статичний тиск води, p_{B0} – тиск, що зумовлений хитавицею на хвилюванні.

$$p_{ст} = \rho_B \cdot g \cdot d = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 12,07 = 121,37 \text{ кПа}$$

$$p_{B0} = \rho_B \cdot g \cdot \frac{h_1}{2} a_v a_x = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{9,98}{2} \cdot 1,97 \cdot 0,5 = 49,42 \text{ кПа}$$

де $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$ – щільність морської води; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; $d = 12,07 \text{ м}$ – осадка судна на рівні поля, що перевіряється на міцність; h_1 – висота розрахункової хвилі при екстремальних умовах, що визначаються за графіком Норм міцності або за формулами:

$$h_1 = k_C \cdot C_W = 1 \cdot 9,976 = 9,98 \text{ м}$$

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_c = 1,05 - \frac{2425}{L^2 + 8530} = 1,05 - \frac{2425}{215,7^2 + 8530} = 1 \leq 1$$

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{\frac{3}{2}} = 10,75 - \left(\frac{300 - 215,7}{100} \right)^{\frac{3}{2}} = 9,98_m \leq 10,75$$

a_v, a_x - параметри хитавиці, що розраховуються за наближеними залежностями:

$$a_v = \frac{0,8 \cdot V \cdot (L \cdot 10^{-3} + 0,4)}{\sqrt{L}} + 1,5 = \frac{0,8 \cdot 14 \cdot (215,7 \cdot 10^{-3} + 0,4)}{\sqrt{215,7}} + 1,5 = 1,97$$

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_n}{L} \right) = 1,25 \cdot \left(1 - 2 \frac{64,71}{215,7} \right) = 0,5.$$

де V – швидкість судна на тихій воді, у вузлах; L – довжина судна, м; x_n – відстань від центра поля пластини до носового перпендикуляра, м; $k_x = 1,25$ – для поперечних перерізів у ніс від міделя.

4.3 Визначення напружень у небезпечних точках поля пластини

На розрахунковій схемі небезпечні точки 1 та 1' вказані всередині довгих сторін опорного контуру.

Згідно з теорією згину тонких пластин, максимальні нормальні напруження $\sigma_{\max}$ у зазначених точках визначаються за відповідною розрахунковою формулою:

$$\sigma_{\max} = \frac{6M}{t^2} = \frac{6 \cdot 11509,88}{20^2} = 172,65 \text{ МПа.}$$

де M – прогонний момент в точках 1, 1' опорного контуру; t – товщина пластини, мм;

$$M = k \cdot p \cdot b^2 \cdot 10^{-3} = 0,0832 \cdot 170,79 \cdot 900^2 \cdot 10^{-3} = 11509,88 \text{ Н.}$$

$p = 170,79$ кПа – розрахунковий тиски (п. 4.1); $b = 900$ мм - менший розмір пластини (шпація); $k = 0,0832$ – коефіцієнт, який залежить від співвідношення сторін пластини $\gamma = a/b$, визначається за довідковими таблицями згину ізотропних жорстко закріплених пластин при незмінному опорному контурі.

4.4 Перевірка умов міцності та висновки

$$\text{Умова міцності} - \sigma_{\max} \leq k_{\sigma} \sigma_T^H$$

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		50

де $\sigma_{\text{max}} = 172,65 \text{ МПа}$ - максимальне згинаючі напруження; σ_T^H - нормативна границя плинності матеріалу по нормативним напруженням, МПа:

$$\sigma_T^H = k_H \cdot R_{eH} = 0,92 \cdot 390 = 358,8 \text{ МПа};$$

$$k_H = \frac{1}{1 + 0,16 \cdot \left(\frac{R_{eH}}{235} - 1 \right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{1 + 0,16 \cdot \left(\frac{390}{235} - 1 \right)^{\frac{3}{2}}} = 0,92.$$

$R_{eH} = 390 \text{ МПа}$ - границя плинності; $k_\sigma = 1,0$ - коефіцієнт допустимих напружень, який приймається відповідно до Норм для пластин днища.

$$k_\sigma \sigma_T^H = 1 \cdot 358,8 = 358,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{max}} = 172,65 \leq k_\sigma \sigma_T^H = 358,8$$

Умова міцності виконується.

Висновок

Відповідно до завдання, виданого кафедрою теорії та проєктування суден, було виконано комплекс розрахунків основних характеристик та елементів балкера. У процесі проєктування виконано розрахунок навантаження мас, визначено водотоннажність судна методом послідовних наближень, обчислено головні розміри, коефіцієнти повноти та характеристики форми корпусу. За допомогою програмного комплексу Maxsurf Resistance визначено необхідну

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

потужність головного двигуна та здійснено вибір відповідної марки двигуна за каталогом.

На основі судна-прототипу створено параметричну тривимірну модель корпусу в програмі Maxsurf Modeler Advanced, за результатами якої отримано теоретичне креслення. У середовищі AutoCAD побудовано теоретичне креслення та креслення загального розташування судна. Із використанням програмного комплексу Maxsurf Stability Advanced визначено місткість вантажних приміщень і цистерн, розраховано координати центра мас та виконано удиферентування судна. Також виконано розрахунок гідростатичних характеристик, побудовано гідростатичні криві, криві форми, пантокарени та діаграму статичної остійності. Проведена перевірка відповідності вимогам Міжнародної Морської Організації щодо плавучості та остійності судна.

У розділі конструкції корпусу виконано вибір системи набору, проведено розрахунок елементів корпусних конструкцій та перевірено загальну поздовжню міцність судна. За результатами розрахунків розроблено креслення конструктивного мідель-шпангоута. Також виконано перевірку міцності зовнішньої обшивки днища відповідно до вимог Міжнародної Морської Організації. Перевірено міцності пластин днища.

Отримані результати підтверджують, що спроектований балкер повністю відповідає поставленому завданню, вимогам Міжнародної Морської Організації.

Список літератури

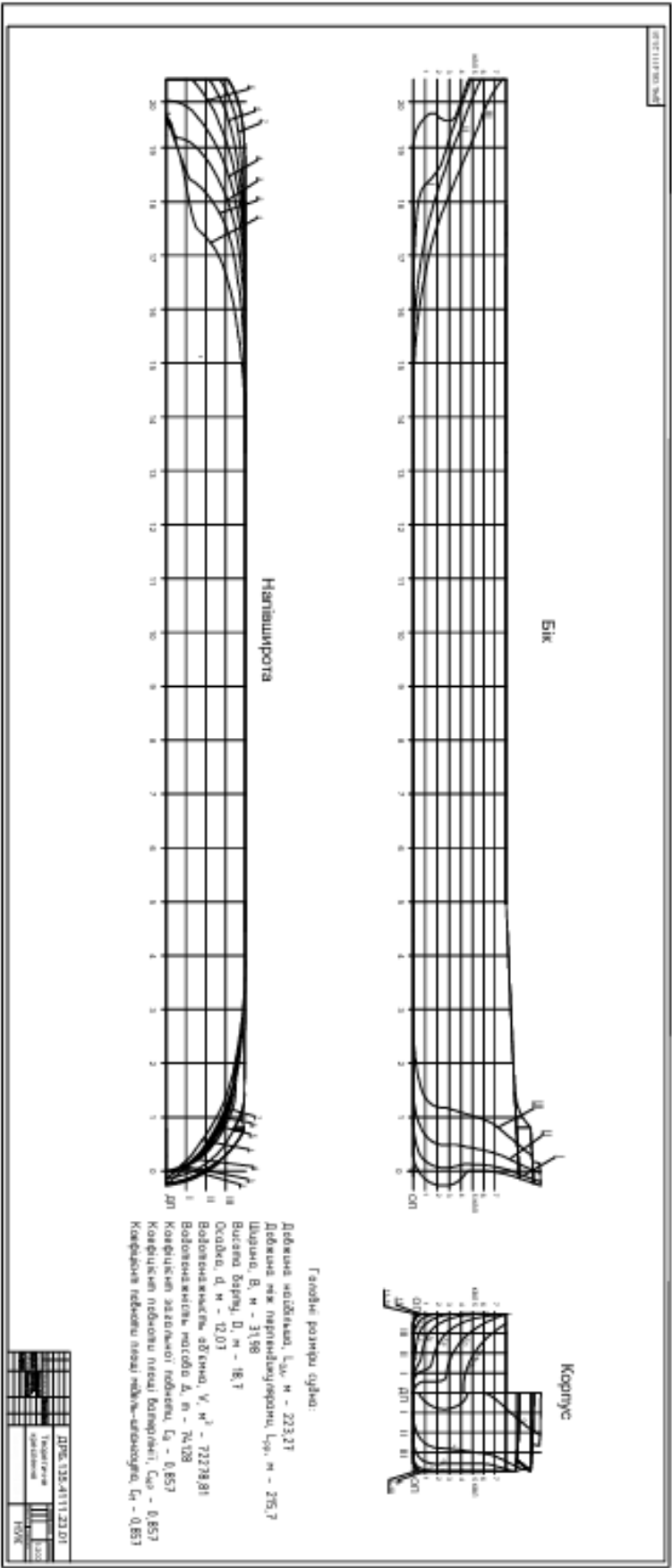
1. Матвеев В.Г., Шарун Г.В. Проективання конструктивного мідель шпангоута навалочних суден: Методичні вказівки. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – с.
2. Кротов О. І., Голиков В. І., Єганов О. Ю., Бондаренко О. В. Проективання морських транспортних суден: Методичні вказівки. – Миколаїв 2003. – с.

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Коростылев Л.И., Клименков С.Ю. Методические указания к расчетам местной прочности и устойчивости элементов судового корпуса – Николаев: НУК, 2012.
4. Слижевский Н.Б., Король Ю.М., Тимошенко В.Ф. С 47 Энциклопедия судов / Под общ. ред. проф. Н.Б. Слижевского. .Николаев: НУК, 2005. . 172 с.
5. Регістр Судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден. Ч. 5 «Поділ на відсіки» - Київ 2026. - с.
6. Михайлов Б.Н. Методические указания по выполнению практических заданий по конструкции корпуса судна. – Николаев: Миколаїв, 2006. – Ч.1.– с.
7. HydroComp PropExpert, Propeller selection program, 2005.

					24.ДРБ.135.4111.23.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки



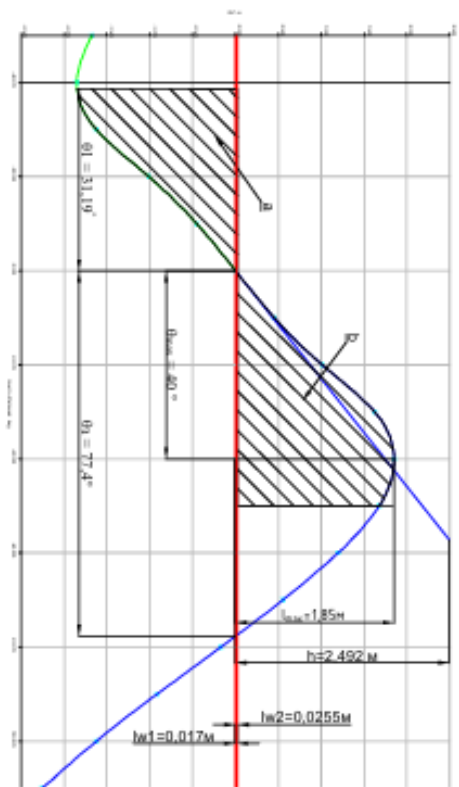


Рис.1. Діаграма статичної остійності

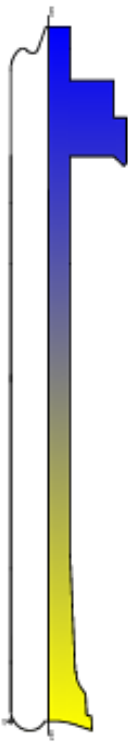


Рис.3. Схема швусності

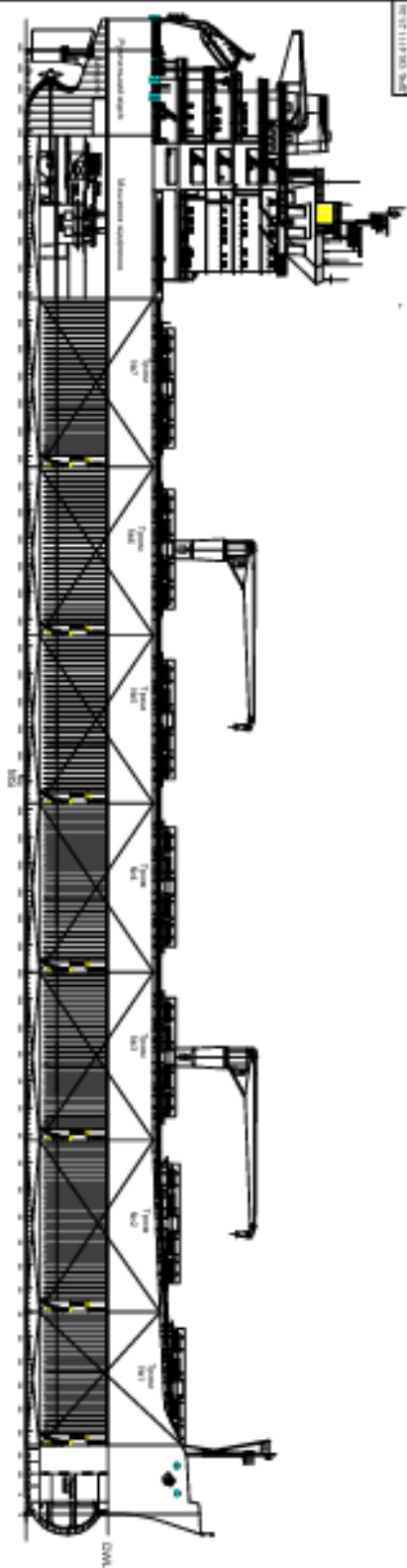
1. Розрахунок омілітуду хитань: $\theta_1 = 109 K X_1 X_2 \sqrt{1-r-SI}$
 $K = 1,00$ $X_1 = 0,953$ | макс як $B/d = 31,98/12,07 = 2,651$ $X_2 = 1$ (макс як $Cb = 0,851$)
 $Zg = 10,52$
 $r = 0,73 + 0,6(2g-d)/d = 0,73 + 0,6(10,52-12,07)/12,07 = 0,653$
 $C = 0,373 + 0,023 B/d - 0,043 L/100 = 0,373 + 0,023 31,98/12,07 - 0,043 220,22/100 = 0,3392$
 $t = 2 C B/d^2 h = 2 \cdot 0,3392 31,98^2/2,49 = 13,75$
 $S = 0,0545$
 $\theta_1 = 109 \cdot 1,0 \cdot 953 \cdot 1 \sqrt{0,653 \cdot 0,0545} = 39,19^\circ$
2. Розрахунок кренувального моменту (а) в залежності від муску повітря і перекудального моменту (b):
 $Av = 15,51 = 2058,133 \text{ м}^3$
 $ZB = (15,51/15,51) = 18,079 \text{ м}$
 $Zv = ZB - T/2 = 18,079 - 12,07/2 = 12,044 \text{ м}$
Тиск повітря $Pv = 504 \text{ Па}$
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$
 $D = 74,128 \text{ м}$ - водопоможність судна
 $hw1 = (Pv \cdot Av \cdot Zv) / (1000 g D) = (504 \cdot 2058,133 \cdot 12,044) / (1000 \cdot 9,81 \cdot 74,128) = 0,017 \text{ м}$
 $hw2 = 15,51 \cdot hw1 = 1,5 \cdot 0,017 = 0,0255 \text{ м}$
3. Кренуєть позадю
 $K = b/a \geq 1$
 $a = 0,2704 \text{ град}$
 $b = 0,9741 \text{ град}$
 $K = b/a = 0,9741/0,2704 = 1,6 \geq 1$

Згідно до вимог Півнянн Ретієру до остійності

Значення	Дані судна	Результат
K	1,6	K ≥ 1
l _{max} м	1,85	l _{max} ≥ 0,2
l _{max}	40°	θ _{max} ≥ 20°
θ _{max}	37,4°	θ _{max} ≥ 30°
K _в м	2,492	K _в ≥ 0,15
S _в	0,2704 м рад	≥ 0,005 м рад
S _в	0,9741 м рад	≥ 0,009 м рад
S _в - S _в	0,7037 м рад	≥ 0,005 м рад

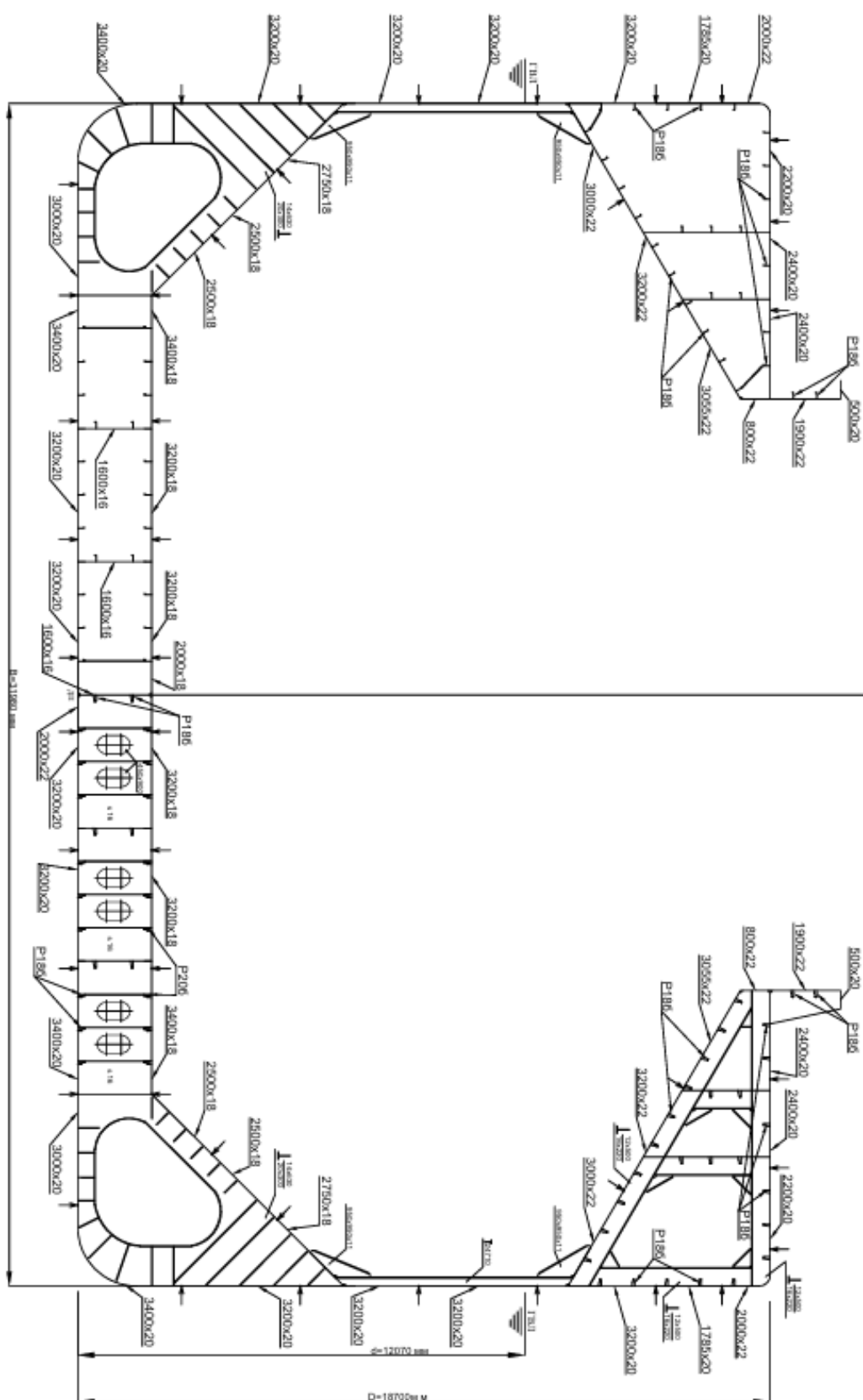
Висновок: Спроектване судно підпорядує ісьм вимогам Ретієру Українн

24.Б.П. 135.4111.23.03			
Діаграма остійності			
модифікованого судна			
1220			
Висновок: Судно підпорядує ісьм вимогам Ретієру Українн			
ІПК			
to ship Manager			



No.	Title	Year		No. of authors	No. of references
		1990-1999	2000-2009		
1	Effect of temperature on the growth and survival of the common carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	1995	1996	2	10
2	Effect of temperature on the growth and survival of the common carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	1995	1996	2	10
3	Effect of temperature on the growth and survival of the common carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	1995	1996	2	10
4	Effect of temperature on the growth and survival of the common carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	1995	1996	2	10
5	Effect of temperature on the growth and survival of the common carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	1995	1996	2	10
6	Effect of temperature on the growth and survival of the common carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	1995	1996	2	10
7	Effect of temperature on the growth and survival of the common carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	1995	1996	2	10
8	Effect of temperature on the growth and survival of the common carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	1995	1996	2	10
9	Effect of temperature on the growth and survival of the common carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	1995	1996	2	10
10	Effect of temperature on the growth and survival of the common carp (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	1995	1996	2	10

11/12/2011 11:23 AM
3rd Floor
Floor Management



09.ДП.135.4111.23.05		Всего	100%	100%
Классификация материалов		1.100		
Проект на выполнение материалов				
Итого				
на 01.01.2023				