

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 балкера вантажопідйомністю 56900 тонн

Виконав:

 студент 4111 групи
Боровицький Артем Володимирович
(підпис)

Керівник роботи:

кандидат техн. наук, старший викладач
(посада, науковий ступень вчене звання)
 Ястреба О.П.
(підпис)

Миколаїв – 2026 р

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

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 К.Т.Н., старший викладач Ястреба О.П.

«12» 02 2026 року

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

Студенту Боровицькому Артему Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування балкера вантажопідйомністю 56900 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, $\mu_v = 850 \text{ кг/м}^3$

3.2 Швидкість 14,3 вузлів

3.3 Дальність плавання 15500 миль

3.4 Район плавання необмежений

3.5 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	71531
Потужність головного двигуна	кВт	11370
Швидкість	вузли	14,3
Водотоннажність порожнем	т	14423,36
Маса вантажу	т	56395
Маса палива та мастила	т	2196
Маса забезпечення	т	305
Дедвейт	т	58896
Водотоннажність повна	т	73319,36

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

4.1. Вибір методу проектування судна

4.1.1. Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів

4.1.2. Аналіз методів проектування балкера

4.1.3. Склад технічного (попереднього) проекту 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. 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			

7. Дата видачі завдання 12.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проектування	Тривалість етапів проекту (роботи)	Примітка
4.1.	Вибір методу проектування судна		
4.1.1.	Огляд основних тенденцій у розвитку флоту балкерів	17.03.2026	
4.1.2.	Аналіз методів проектування балкера	24.03.2026	
4.1.3.	Склад технічного (попереднього) проекту 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	
4.3	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	20.06.2026	

Студент Боровицький Артем Володимирович

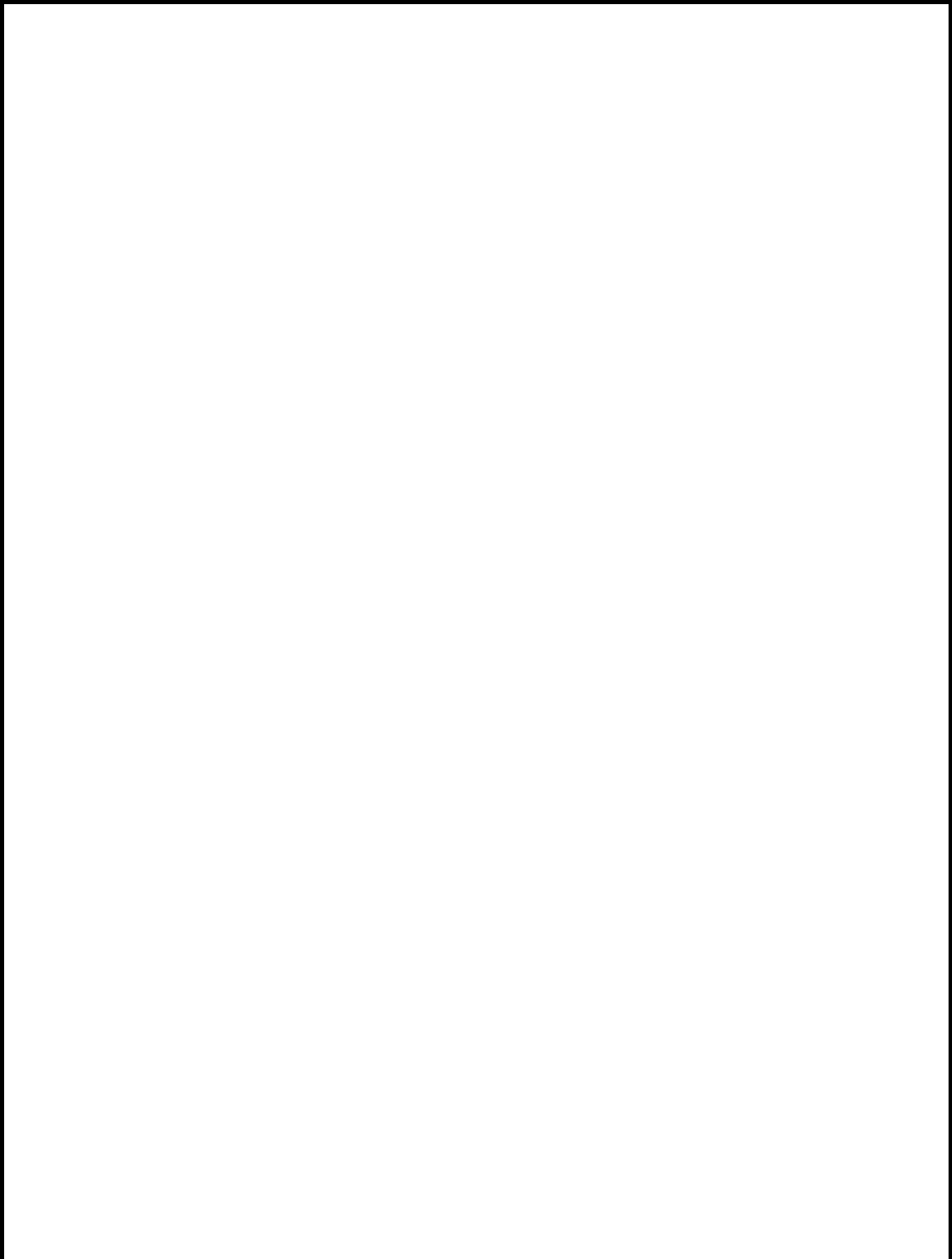
(підпис)

(ПІБ)

Керівник роботи Ястреба Олексій Петрович

(підпис)

(ПІБ)



					24.135.4111.04.ПЗ										
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування балкера вантажопідйомністю 56900 тонн					Літ.	Арк.	Аркушів			
													4		
Студент	Боровицький А. В.									НУК					
Консульт.	Пашенко Ю.М.														
Керівник	Ястреба О.П.														
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.														

АНОТАЦІЯ

У відповідності до завдання кафедри теорії та проектування суден в даній роботі реалізовано технічне (попереднє) проектування балкера.

Виконано аналіз сучасних тенденцій розвитку світового балкерного флоту. На основі статистичних даних для суден побудованих протягом останніх 10 років, визначено залежності головних елементів суден від їх дедвейту. Ці дані використано як для початкової оцінки параметрів проєктованого судна, так і для вибору прототипу. На першому етапі проектування (аванпроект) визначення головних елементів балкера виконано методом перерахунку з прототипу. Отримані результати стали вихідними даними для даної роботи, що присвячена другому етапу – технічному (попередньому) проектуванню. Розроблений на цьому етапі проєкт отримав назву «Клас-проект», оскільки його головною метою є забезпечення сукупності морехідних якостей судна (плавучості, остійності, непотоплюваності, ходкості) відповідно до вимог класифікаційних товариств. Задоволення цих вимог суттєво знижує ризики відмов під час експлуатації та забезпечує необхідний рівень надійності – однієї з головних цілей проектування.

Згідно з концепцією Shipbuilding 4.0, під час технічного проектування широко використовуються чисельні технології, спрямовані на безпеку мореплавства та захист навколишнього середовища. Відповідно, основні характеристики спроєктованого балкера визначалися за допомогою сертифікованого програмного комплексу Maxsurf, який дозволяє вирішувати завдання забезпечення безпеки життя на морі, а також за допомогою оптимізації пропульсивного комплексу обрати двигун, що відповідає сучасним екологічним вимогам.

Результатом технічного проектування став Клас-проект вантажопідйомністю 56900 тонн. Архітектурно-конструктивний тип судна – чотрьохпалубне, з сімома трюмами, бульбовим носом та транцевою кормою, надбудови разом з машинним відділенням розташовані в кормовій частині. На основі вихідних даних у програмному комплексі Maxsurf було побудовано 3D-модель корпусу, виконано розрахунки плавучості, остійності (як для непошкодженого, так і для пошкодженого судна), непотоплюваності та ходкості. Шляхом оптимізації

					24.135.4111.04.ПЗ	5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

пропульсивного комплексу обрано оптимальний гребний гвинт та найбільш економічний та екологічний двигун.

Для формування уявлення про зовнішній вигляд судна, 3D-модель балкера було доопрацьовано з використанням засобів рендерингу у Maxsurf. Крім того, для визначення конструктивних особливостей корпусу та оцінки його загальної міцності в роботі розглянуто побудову конструктивного мідель-шпангоута та виконано відповідні розрахунки.

Таким чином, розроблений технічний проєкт балкера вантажопідйомністю 56900 тонн задовольняє завданню кафедри та вимогам класифікаційних товариств щодо плавучості, остійності, непотоплюваності, ходкості, місткості та загальної міцності корпусу.

Ключові слова: балкер, водотоннажність, міцність, конструкція.

ABSTRACT

In accordance with the task of the Department of Theory and Design of Ships, this work implemented the technical (preliminary) design of a bulk carrier.

An analysis of current trends in the development of the world bulk carrier fleet was performed. Based on statistical data for ships built over the past 10 years, the dependence of the main elements of ships on their deadweight was determined. These data were used both for the initial assessment of the parameters of the designed ship and for the selection of a prototype. At the first stage of design (preliminary design), the determination of the main elements of the bulk carrier was performed by the method of recalculation from the prototype. The results obtained became the initial data for this work, which is devoted to the second stage - technical (preliminary) design. The project developed at this stage was called the "Class Project", since its main goal is to ensure the set of seaworthy qualities of the ship (buoyancy, stability, unsinkability, speed) in accordance with the requirements of classification societies. Meeting these requirements significantly reduces the risk of failures during operation and ensures the required level of reliability - one of the main design goals.

According to the Shipbuilding 4.0 concept, during technical design, numerous technologies aimed at maritime safety and environmental protection are widely used.

					24.135.4111.04.ПЗ	6
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Accordingly, the main characteristics of the designed bulk carrier were determined using the certified Maxsurf software package, which allows solving the task of ensuring the safety of life at sea, as well as by optimizing the propulsion complex to select an engine that meets modern environmental requirements.

The result of the technical design was a Class-project with a deadweight of 56,900 tons. The architectural and structural type of the vessel is four-deck, with seven holds, a bulbous bow and a transom stern, the superstructures together with the engine room are located in the stern. Based on the initial data, a 3D model of the hull was built in the Maxsurf software package, calculations of buoyancy, stability (both for an intact and damaged vessel), unsinkability and speed were performed. By optimizing the propulsion complex, the optimal propeller and the most economical and environmentally friendly engine were selected.

To form an idea of the appearance of the vessel, the 3D model of the bulk carrier was finalized using rendering tools in Maxsurf. In addition, to determine the structural features of the hull and assess its overall strength in operation, the construction of a structural middle frame was considered and the corresponding calculations were performed.

Thus, the developed technical design of a bulk carrier with a carrying capacity of 56900 tons satisfies the task of the department and the requirements of classification societies regarding buoyancy, stability, unsinkability, speed, capacity and overall strength of the hull.

Keywords: bulk carrier, displacement, structure, strength.

					24.135.4111.04.ПЗ	7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ	9
РОЗДІЛ 1 Вибір методу проєктування судна.....	12
1.1 Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів.....	12
1.1.1 Загальний огляд.....	12
1.1.2 Огляд наявних статистичних даних щодо елементів балкерів	13
1.1.3 Дотримання екологічних вимог.....	14
1.2. Аналіз методів проєктування балкера.....	16
1.3. Склад технічного проєкту балкера	20
РОЗДІЛ 2 Визначення морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності	24
2.1 Формування теоретичної поверхні балкера.....	24
2.2 Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення), забезпечення вимог класифікаційного товариства до вантажної марки балкера	27
2.3 Створення цистерн та внутрішніх приміщень судна. Розрахунок місткості балкера.....	29
2.4 Розрахунок навантаження мас, визначення координат центра ваги проєктованого балкера та його удиферентування.....	31
2.5 Розрахунок остійності балкера при великих кутах крену, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його остійності.....	33
2.5.1 Остійність на великих кутах крену для навантаження по КВЛ.....	34
2.5.2 Розрахунок остійності пошкодженого судна при затопленні машинного відсіку	38
2.5.3 Вибір головного двигуна	41
РОЗДІЛ 3. Конструктивний мідель-шпангоут та загальна міцність судна.....	43
3.1 Загальні відомості про судно	44
3.2 Розрахунок необхідного моменту опору за Правилами Регістру.....	45
3.3 Розрахунок зовнішніх навантажень на корпус від води	46
3.4. Розрахунок еквівалентного бруса та перевірка загальної міцності.....	48
Висновки	51
Список використаних джерел	55

ВСТУП

Головною метою проектування та спорудження балкерів є забезпечення їхньої експлуатаційної ефективності та безвідмовності в майбутньому. Досягнення цієї мети базується на застосуванні суднобудівної теорії проектування та сучасних методів побудови суден.

Теоретичні підходи до проектування дозволяють визначити ключові параметри та властивості суден через розв'язання комплексу питань, пов'язаних із функціональним призначенням, статикою та динамікою корабля, міцністю конструкцій, а також технологічними й організаційними аспектами суднобудування.

Сучасне суднобудування передбачає три стадії проектування:

Концептуальна стадія (стадія дослідження), де наближеними методами (варіаційним, перерахунку за прототипом, оптимізації головних параметрів) формують технічне завдання: оцінюють головні розміри, показники ефективності та надійності, розробляють ескізний проєкт для погодження із замовником.

Технічна стадія (попереднє проектування), результатом якої стає технічний проєкт (клас-проєкт), що відповідає вимогам класифікаційного товариства щодо експлуатаційних характеристик і безпеки мореплавства. Цей етап потребує схвалення класифікаційного товариства.

Робоча стадія (детальне проектування), яка завершується створенням повного комплексу робочої документації — робочого проєкту, погодженого як замовником, так і класифікаційним товариством.

У межах цієї бакалаврської роботи використано завдання на проектування балкера, основні наближені характеристики якого (головні розміри, масове навантаження) отримано раніше шляхом перерахунку з судна-прототипу. Ці дані слугують вихідними для виконання дипломного завдання.

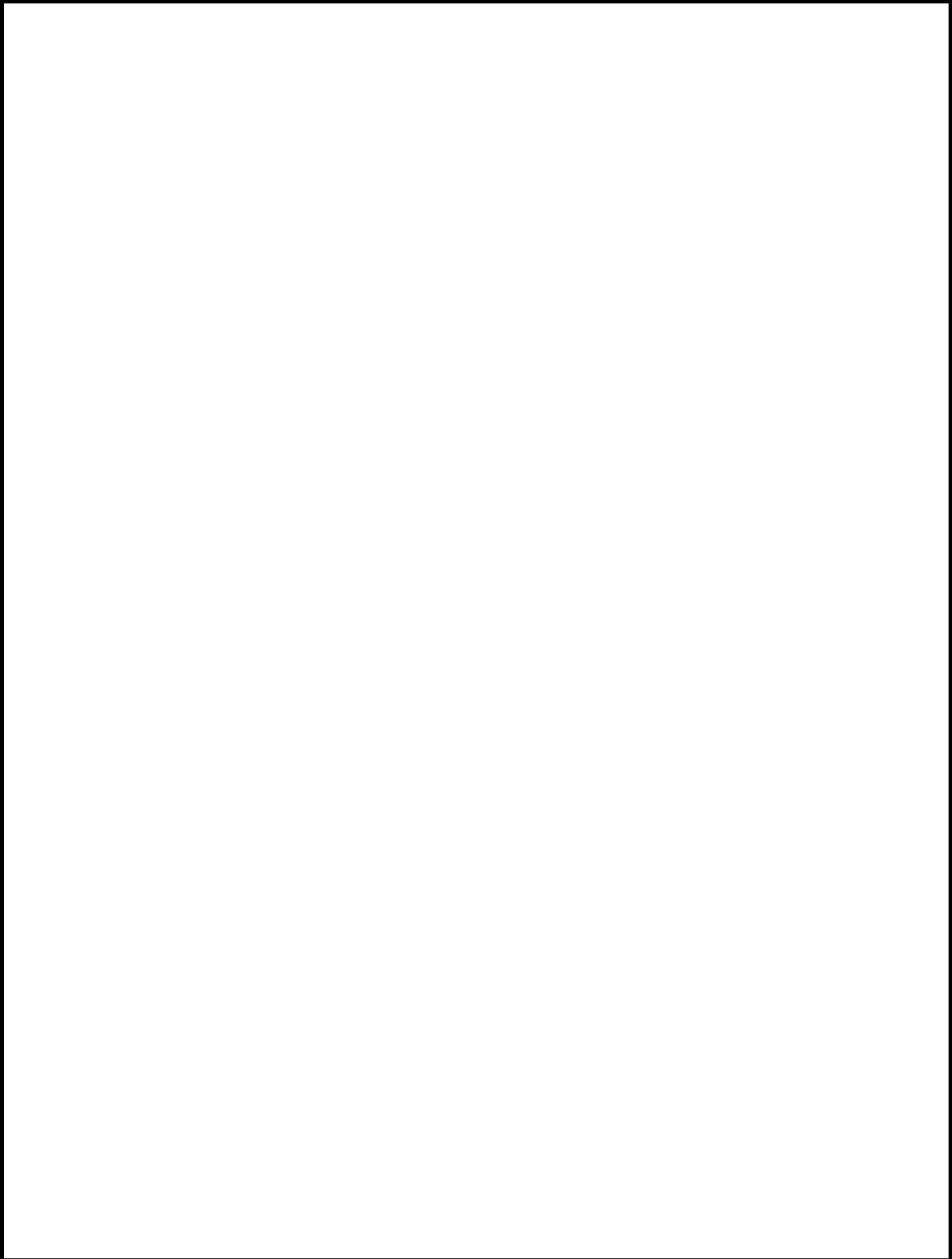
Згідно з дорученням кафедри теорії та проектування суден, метою роботи є розробка на основі цих даних технічного проєкту балкера для перевезення навалочних вантажів на маршруті 15500 миль.

					24.135.4111.04.ПЗ	9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Проект має бути реалізований із застосуванням таких інструментів технічного проектування:

- Побудова поверхні корпусу та створення теоретичного креслення;
- Розрахунки місткості, загальної поздовжньої міцності, плавучості, остійності, непотоплюваності та рушійної сили;
- Перевірка інженерних і морехідних якостей балкера на відповідність вимогам класифікаційного товариства щодо безпеки плавання;
- Доповнення технічного проекту розділами з побудови конструктивного мідель-шпангоута та розрахунку загальної міцності корпусу.

					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10



					24.135.4111.04.ПЗ			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
					Розділ І Вибір методу проектування судна	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Боровицький А. В.						11	
Консульт.	Кротов О.І.					НУК		
Керівник	Ястреба О.П.							
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.							

РОЗДІЛ 1

ВИБІР МЕТОДУ ПРОЄКТУВАННЯ СУДНА

1.1 Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів

1.1.1 Загальний огляд

Сьогодні балкери, призначені для транспортування навалочних вантажів, є невід'ємною ланкою морської логістики. Вони забезпечують перевезення широкої номенклатури сипких матеріалів — від зерна, вугілля та руди до цементу, солоду та інших подібних вантажів.

Значення цих суден у глобальних перевезеннях важко переоцінити. Постійна модернізація балкерів спрямована на відповідність сучасним критеріям продуктивності, безпеки й екологічності морських вантажоперевезень.

Серед ключових напрямів еволюції світового балкерного флоту можна виділити такі:

1) Зростання розмірів і вантажопідйомності.

Збільшення обсягів міжнародної торгівлі та споживчого попиту стимулює розвиток більших суден. Останніми роками чітко простежується тенденція до збільшення розмірів балкерів для підвищення ефективності перевезень великих партій сировини — вугілля, руди, зерна.

2) Впровадження технологій для підвищення ефективності.

Судновласні компанії вдосконалюють технічні характеристики балкерів, використовуючи сучасні рішення для зниження витрат пального та скорочення викидів CO₂.

3) Екологічні вимоги та «зелені» ініціативи.

Посилення уваги до впливу судноплавства на довкілля призводить до жорсткіших стандартів щодо викидів. Дедалі більше компаній впроваджують екологічні програми та шукають способи зменшення вуглецевого сліду.

4) Автоматизація та штучний інтелект.

У сучасних балкерах активно застосовуються автоматизовані системи та ШІ для оптимального планування маршрутів, керування енергоспоживанням і загальної експлуатації флоту.

					24.135.4111.04.ПЗ	12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5) Глобальні виклики в судноплавстві.

Геополітичні зміни, нові митні обмеження, наслідки пандемії COVID-19 та інші кризові явища впливають на тенденції розвитку флоту, змінюючи торговельні альянси та логістичні маршрути.

6) Розвиток балкерів на LNG-паливі.

Використання скрапленого природного газу як палива набуває популярності завдяки суттєвому зниженню викидів сірки та CO₂, що дозволяє відповідати жорстким природоохоронним нормам.

7) Глобальна нестабільність і вартість пального.

Коливання світової економіки та цін на нафту безпосередньо впливають на паливні витрати й загальні експлуатаційні витрати балкерів.

8) Модернізація наявного флоту.

Замість списання застарілих суден їх нерідко оновлюють — це дає змогу привести їх у відповідність до сучасних стандартів ефективності та екологічності.

1.1.2 Огляд наявних статистичних даних щодо основних елементів балкерів

Основними елементами та характеристиками судна є його основні розміри та коефіцієнти форми корпусу, а саме: довжина L , ширина B , осадка T (або d), висота борту H (або D), коефіцієнт загальної повноти C_B (або δ), коефіцієнт повздовжньої повноти C_P (або ϕ), коефіцієнт повноти мідель-шпангоута C_M (або β), коефіцієнт повноти площі ватерлінії C_W (або α).

Детальний аналіз статистичних даних по різних типах суден представлено в роботі Апостолоса Папаніколау «Ship Design. Methodologies of Preliminary Design» [6]. В цій дипломній роботі були використані тільки дані із вищенаведеного джерела, які стосуються балкерів та суден для перевезення генеральних вантажів. Такі судна можна використовувати для перевезення пшениці.

Отриману інформацію зведено до табличної форми, яка представлена у таблиці 1.1. Значення параметрів, які наведено в таблиці 1.1, були отримані Апостолоса Папаніколау за допомогою інформації із IHS Fairplay World Shipping Encyclopedia, версія 12.01.2011 року.

					24.135.4111.04.ПЗ	13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Статистичні дані щодо основних елементів суден, які можуть бути використані для перевезення пшениці

Параметр	Позначення	Тип судна		
		Судна для перевезення генеральних вантажів	<u>Балкери</u>	
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 <u>мідельшпангоута</u>	C _M (або β)	0,97...0,995	0,990...0,997	
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії	C _W (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	

1.1.3 Дотримання екологічних вимог

Для контролю шкідливих викидів з суден у 2011 році Комітет із захисту морського середовища (МЕРС), що діє в структурі Міжнародної морської організації (ІМО), ухвалив поправки, спрямовані на охорону атмосфери. Ці зміни були інтегровані у Додаток VI до конвенції МАРПОЛ 73/78 [5]. У межах цього рішення запроваджено індекс енергоефективності (EEDI) для новобудов, а також план управління енергоефективністю (SEEMP) — для всіх суден без винятку. Україна, як учасник ІМО, ратифікувала основні конвенції організації, тому вітчизняне судноплавство регулюється резолюціями МЕРС — зокрема, документами «Запобігання забрудненню повітря з суден і контроль якості палива»

та «Переглянутий Додаток VI до МАРПОЛ», а також національним Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища».

Ключовим регламентуючим актом щодо викидів в атмосферу від транспортних суден є згаданий Додаток VI до МАРПОЛ. Цим документом встановлено нормативні підходи до обмеження викидів оксидів сірки (SO_x) — через контроль вмісту сірки у паливі, а також оксидів азоту (NO_x) — залежно від типу суднового дизеля.

Додаток VI передбачає поетапне (рівневе) посилення вимог до скорочення викидів:

- Рівень Tier I — граничний вміст NO_x у відпрацьованих газах дизелів, встановлених на суднах, збудованих після 1 січня 2000 року, але до 2011 року;
- Рівень Tier II — стандарт для двигунів, змонтованих на суднах, побудованих починаючи з 1 січня 2011 року;
- Рівень Tier III — більш жорсткий стандарт для двигунів на суднах, побудованих після 1 січня 2016 року.

Для двигунів рівня Tier II допустимий рівень викидів NO_x залежить від номінальної частоти обертання колінчастого вала n (об/хв):

- $14,4 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$ — якщо $n < 130 \text{ об/хв}$;
- $44 \cdot n^{-0,23} \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$ — для діапазону $130 < n < 2000 \text{ об/хв}$;
- $7,7 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$ — при $n \geq 2000 \text{ об/хв}$.

Для двигунів рівня Tier III вимоги до вмісту NO_x у вихлопних газах є суворішими:

- $3,4 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$ — при $n < 130 \text{ об/хв}$;
- $9 \cdot n^{-0,2} \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$ — у діапазоні $130 < n < 2000 \text{ об/хв}$;
- $2,0 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$ — при $n \geq 2000 \text{ об/хв}$.

Відповідність нормативам Tier II зазвичай досягається вдосконаленням внутрішньої конструкції двигуна. Для дотримання ж Tier III виробники суднових двигунів застосовують спеціалізовані технології, зокрема:

- каталітичне відновлення;
- рециркуляцію вихлопних газів (Exhaust Gas Recirculation, EGR);

					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

- перепуск відпрацьованих газів (Exhaust Gas Wastegate, EWG);
- перехід на використання зрідженого природного газу (LNG).

Отже, під час здійснення вибору головного двигуна для проєктованого балкера необхідно обирати двигун, який відповідатиме рівню Tier III.

1.2 Аналіз методів проєктування балкера

Проєктування суден виконується в науково-дослідних установах, а також у конструкторських бюро двох типів: загального призначення та тих, що працюють безпосередньо при суднобудівних підприємствах (верфях). Незалежно від типу організації, загальноприйнятими етапами проєктування є концептуальний (дослідницький), технічний та робочий. Проте для конструкторських бюро, що функціонують у складі верфей, через виражену виробничу спрямованість їхньої діяльності, найменування цих етапів дещо відрізняються від типових (хоча у вихідному джерелі це показано в таблиці, тут ми описуємо змістовні відмінності). Головними ж відмінностями між переліченими стадіями проєктування, якщо дивитися не на назви, а на суть, є різні набори інструментів проєктування, а також різний обсяг та ступінь деталізації інформації про судно, що створюється [1, 4, 7, 8].

Як впливає з аналізу цих етапів, формування інформації про майбутнє судно може відбуватися двома принципово різними шляхами. Перший шлях — «знизу вгору», тобто від найменших конструктивних елементів до укрупнених характеристик. Другий шлях — «зверху вниз», у зворотному напрямку — від загальних параметрів до деталей.

Розглянемо спочатку рух знизу вгору. У цьому випадку вихідною точкою слугують детальні креслення, специфікації та відомості, в яких зазначено маси окремих деталей, їхню вартість або інші статті масового навантаження. Ця первинна, максимально деталізована інформація поступово узагальнюється (укрупнюється). На першому кроці агрегування формуються дані про окремі розділи масового навантаження судна, а також про обсяги робіт, необхідних для створення цих розділів, та про вартість матеріалів і обладнання, що входять до них. Далі процес узагальнення триває. Інформація агрегується до рівня таких великих складових судна, які позначаються як розділи W_i (де $i = 1, 2, \dots, I$). Прикладами

					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		16

таких розділів є: «Конструкції корпусу», «Пропульсивна установка», «Електрична установка», «Системи управління та спостереження», «Допоміжні системи», «Обладнання та фурнітура», «Озброєння» (якщо йдеться про спеціалізовані судна) тощо. Таким чином, рух знизу вгору — це шлях від одиничних деталей до систем, а потім до інтегральних характеристик судна в цілому.

Другий шлях — рух зверху вниз — є дзеркальним відображенням першого. Тут проектування починається з укрупнених, узагальнених показників (наприклад, головних розмірів, водотоннажності, потужності енергетичної установки). У міру просування вглиб проєкту обсяг інформації безперервно розширюється та деталізується: загальні характеристики розщеплюються на окремі системи, ті — на вузли, вузли — на окремі деталі, аж до креслень кожної деталі та відомостей матеріалів. Цей підхід характерний для початкових стадій проектування, коли потрібно швидко оцінити принципову можливість реалізації судна із заданими властивостями.

Отже, різниця між двома напрямками полягає не просто в порядку дій, а в самому принципі формування знань про судно: «знизу вгору» дає точну картину «з чого складається судно», підсумовуючи деталі до цілого, тоді як «зверху вниз» дозволяє поступово нарощувати ступінь опрацювання, рухаючись від загального задуму до робочої документації. На практиці в суднобудуванні ці два підходи часто поєднуються: на ранніх етапах домінує рух зверху вниз, а на пізніших (робоче проектування) — актуальним стає узагальнення знизу вгору для контролю мас і вартості.

Як видно з табл. 1, у процесі проектування формування інформації про судно може відбуватися двома принципово різними шляхами. Перший — рух «знизу вгору»: від окремих деталей, через вузли, до укрупнених узагальнених характеристик. Другий — «зверху вниз»: зворотний напрямок, де спочатку задаються загальні параметри, які потім поступово деталізуються.

					24.135.4111.04.ПЗ	17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

№	Етапи проектування (Результат)	Етапи проектування при укладенні контракту на будівництво судна верф'ю	Рівні структури розбиття судна - SWBS	Рівні інформації	Наближе- ння з оцінки витрат	Співвідно- шення для оцінки витрат – CER
1	2	3	4	5	6	7
1	Концептуальне проектування (Аван-проект або ескізний проект)	Концептуаль- ний проект	1-й розряд ESWBS	Характе- ристики судна	Парамет- ричне	Емпіричні CER (ECER)
2	Технічне проектування (Клас-проект)	Попередній проект	2-й розряд SWBS/ ESWBS	Характе- ристики судна та систем	Парамет- ричне	Емпіричні CER та прямі CER
3	Робоче проектування (Робочий проект)	Контрактний проект	3-й розряд SWBS	Характерист ики судна систем, підсистем та деталей	Прямий аналіз	Прямі CER

Таблиця 1 – Рівні деталізації системи розбиття судових робіт (маси судна) на частини і системи співвідношень для оцінки витрат на виконання цих робіт при проектуванні і будівництві суден

У випадку руху знизу вгору вихідними даними є детальні креслення, специфікації та відомості, де зафіксовано маси окремих деталей, їхню вартість та інші статті масового навантаження. Ця первинна інформація поступово узагальнюється (укрупнюється) до рівня розділів масового навантаження судна. На цьому ж рівні з'являються дані про обсяги робіт, необхідних для створення цих розділів, та про вартість матеріалів і обладнання, що входять до них. Далі процес укрупнення триває — інформація агрегується до рівня таких великих складових, як «Конструкції корпусу», «Пропульсивна установка», «Електрична установка», «Допоміжні системи» тощо. При русі ж зверху вниз, навпаки, обсяг інформації безперервно розширюється — кожен загальний показник розкривається через дедалі дрібніші елементи аж до рівня окремих деталей.

Для суднобудівних верфей розбиття робіт із будівництва судна є стандартизованим. Воно регламентується нормативними документами типу SWBS (Ship Work Breakdown System — Система розбиття судових робіт) або розширеним варіантом ESWBS (Expanded Ship Work Breakdown System). В основі цих систем лежить відповідне розбиття загальної маси судна на окремі частини (розділи,

підрозділи, групи). За час будівництва суден різних типів верфі накопичують статистичні дані про таке розбиття мас, щоб надалі використовувати їх на етапах технічного та концептуального проєктування нових суден.

Крім того, відповідно до цих стандартів суднобудівні підприємства збирають і систематизують інформацію про вартість як окремих деталей, так і укрупнених розділів маси суден, а також про вартість відповідних робіт. Цей масив даних утворює так звану Систему співвідношень для оцінки вартості робіт та матеріалів, що позначається як CER (Cost Estimate Relations).

На ранніх стадіях проєктування — концептуальній та технічній — детальна інформація про судно, природно, ще відсутня. Тому тут використовуються узагальнені дані: емпіричні розділи робіт із виробництва судна з відповідними величинами мас за системою ESWBS (так звана Empirical Ship Work Breakdown System), а також емпіричні дані для оцінки вартості за системою ECER (Empirical Cost Estimate Relations). Ці дані отримують шляхом статистичної обробки інформації з уже побудованих і переданих в експлуатацію суден.

В окремих випадках, коли підприємство має добре зарекомендований прототип (судно, що успішно експлуатується), для нового проєкту безпосередньо використовують дані розбиття маси цього прототипу на частини та оцінки вартості цих частин. На етапі концептуального проєктування для визначення головних розмірів, основних технічних елементів і складових масового навантаження проєктованого судна в такому разі застосовують метод перерахунку з прототипу.

Останнім часом особливо пильну увагу приділяють визначенню емпіричних співвідношень як для системи розбиття судових робіт (Empirical SWBS), так і для системи оцінок вартості робіт і матеріалів (Empirical CER). Причина цього — різке подорожчання матеріалів та комплектуючих, що використовуються у суднобудуванні. Ці обставини змушують уже на етапі концептуального проєктування підходити до створення судна більш ретельно. Такий підхід реалізується шляхом формулювання та розв'язання оптимізаційної задачі вибору головних елементів судна, де критеріями виступають ефективність і надійність майбутньої експлуатації.

					24.135.4111.04.ПЗ	19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1.3. Склад технічного проєкту балкера

Як випливає з матеріалів попереднього розділу, саме на стадії концептуального проєктування встановлюються головні параметри майбутнього судна та його вагове навантаження. Тому завданням технічного проєктування є побудова об'ємної архітектурно-конструктивної моделі (3D) та перевірка того, наскільки інженерні й морехідні властивості судна — тобто ті характеристики, що забезпечують надійне функціонування цієї складної системи, — відповідають нормативам класифікаційного товариства. Зазначені властивості, як правило, визначаються сукупністю головних розмірів (довжина L , ширина B , осадка d , висота борту D), коефіцієнтів повноти (C_B , C_W , C_m), швидкості ходу v_s , параметрів енергетичної установки, а також характеристиками бортових систем і обладнання.

До інженерних характеристик судна зазвичай відносять його місткість і міцність. Морехідними ж якостями (навігаційними характеристиками) вважають плавучість, остійність, непотоплюваність, ходовість, керованість і загальну морехідність [10]. Усі перелічені властивості мають бути кількісно визначені в технічному проєкті, а потім перевірені на дотримання відповідних норм.

1) Місткість

Ця властивість відображає наявність необхідних внутрішніх об'ємів і площ палуб для розміщення механізмів, устаткування, систем і вантажів. Умовою достатності місткості є виконання двох нерівностей: наявний об'єм V_C має бути не меншим за необхідний $|V_C|$, а наявна площа A_C — не меншою за необхідну $|A_C|$:

$$V_C \geq |V_C|; A_C \geq |A_C| \quad (1.1)$$

З боку класифікаційного товариства дотримання цих умов опосередковано контролюється через вимоги до запасу плавучості та правила нанесення вантажної марки.

2) Міцність

Ця технічна якість означає, що напруження σ_C у з'єднаннях корпусу, які виникають під дією експлуатаційних навантажень, не повинні перевищувати допустимих значень $|\sigma_C|$:

					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		20

$$\sigma_c \leq |\sigma_c| \quad (1.2)$$

2) Плавучість

Забезпечення плавучості зводиться до виконання рівняння рівноваги судна на спокійній воді, а саме: сила ваги, що визначається сумою мас усіх частин за розширеною структурою розбиття ESWBS (W_i^{00}), має дорівнювати силі підтримки (архімедовій силі):

$$\sum_{i=1}^I g W_i^{00} = \rho g L B d C_B \quad (1.3)$$

3) Непотоплюваність

Ця властивість вважається забезпеченою, якщо виконується нерівність

$$R > |R|, \quad (1.4)$$

де R — імовірнісний показник, що характеризує поділ корпусу на водонепроникні відсіки, а $|R|$ — його нормативне значення. У деяких випадках замість імовірнісного показника використовують оцінки посадки та остійності судна при затопленні одного або кількох конкретних відсіків.

4) Остійність при великих кутах крену

Її забезпечують шляхом дотримання низки нерівностей, які включають критерій погоди та граничні значення параметрів діаграми статичної остійності:

$$K > 1; h_0 > 0,05 \text{ м}; \theta_m > 30^\circ; \theta_v > 60^\circ \quad (1.5)$$

4) Ходовість

Необхідна ходовість досягається за умови рівності буксирувальної потужності $ЕНР$ добутку потужності енергетичної установки N_E на пропульсивний коефіцієнт η (який враховує ККД рушійного комплексу в експлуатаційних режимах):

$$ЕНР = \eta N_E \quad (1.6)$$

					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		21

Крім того, класифікаційне товариство висуває вимоги щодо міцності гребних гвинтів і валопроводів.

5) Керованість

Ця властивість поєднує стійкість на курсі та маневреність. У технічному проєкті зазвичай припускають, що стійкість на курсі може бути забезпечена технічними засобами системи керування рухом. Для оцінки маневреності вводять обмеження на діаметр циркуляції, що встановилася, D_C : він не має перевищувати допустимого значення $|D_C|$, яке гарантує безпечне розходження суден на зустрічних курсах:

$$D_C \leq |D_C| \quad (1.7)$$

Для суден великих габаритів, оснащених сучасними системами спостереження, цей показник може не визначатися.

6) Морехідність

Вона вважається забезпеченою, якщо виконуються норми щодо придатності до проживання на борту та працездатності обладнання в умовах хвилювання, характерних для району експлуатації. Ці умови виконуються, коли лінійні переміщення s , швидкості $\dot{s}$ та прискорення $\ddot{s}$ елементів судна під дією хвиль не перевищують критичних меж $|s|$, $|\dot{s}|$ та $|\ddot{s}|$:

$$s < |s|, \dot{s} < |\dot{s}|, \ddot{s} < |\ddot{s}| \quad (1.8)$$

Найпростішим критерієм комфортності проживання є достатньо великий період власних бортових коливань, що забезпечує малі прискорення під час хитавиці та запобігає виникненню морської хвороби.

					24.135.4111.04.ПЗ	22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

					24.135.4111.04.ПЗ							
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата								
					Розділ II Технічне проектування балкера вантажопідйомністю 56900 тонн			Літ.	Арк.	Аркушів		
Студент	Боровицький А. В.										23	
Консульт.	Пашенко Ю.М.							НУК				
Керівник	Ястреба О.П.											
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.											

РОЗДІЛ II

ВИЗНАЧЕННЯ ІНЖЕНЕРНИХ ТА МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ СУДНА, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ТОВАРИСТВА ДО НАДІЙНОСТІ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1 Формування теоретичної поверхні балкера

Для отримання теоретичної поверхні корпусу балкера із значеннями основних елементів, які відповідають знайденому рішенню оптимізаційної задачі, була зроблена лінійна (Surfaces/Size Surfaces) та параметрична (Data/Parametric Transformation) трансформація 3D моделі корпусу аналогічного судна типу Bulker у програмному продукті Maxsurf Modeler Advanced.

В результаті отримали 3D модель корпусу балкера з розмірами, представленими в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Отримані значення основних елементів балкеру

Параметр	Позначення	Дані згідно ТЗ	Дані після трансформації корпусу
Водотоннажність повна, т	Δ	75443	75448
Довжина по ватерлінії, м	L_{DWL}	223,8	225,9
Ширина, м	B	31,58	31,46
Осадка, м	d	12,52	12,52
Висота борту, м	D	18,89	18,89
Коефіцієнт загальної повноти	CB або δ	0,827	0,827

На рисунках 2.1 та 2.2 зображено відповідно 3D модель теоретичної поверхні корпусу отриманого балкера та проекції теоретичного кресленика (бік, напівширота та корпус).

У програмному продукті Maxsurf Modeler було здійснено розрахунок (Data/Calculate Hydrostatics) гідростатичних параметрів отриманого корпусу балкера для конструктивної ватерлінії (КВЛ) при значенні VCG = 10,94 м. Результати даного розрахунку представлені на рисунку 2.3.

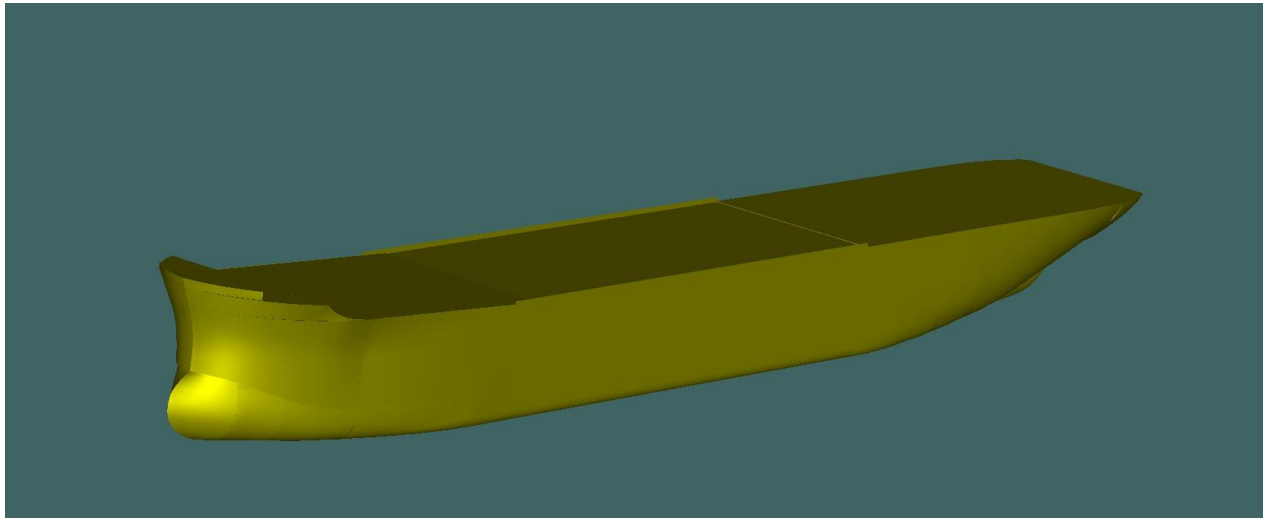
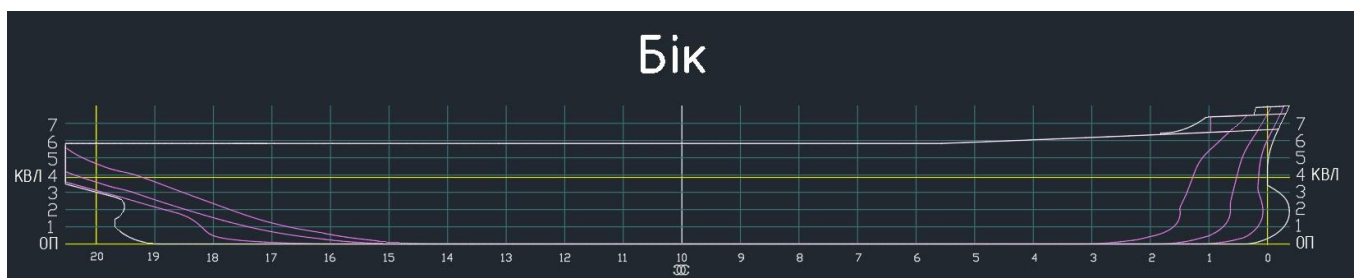
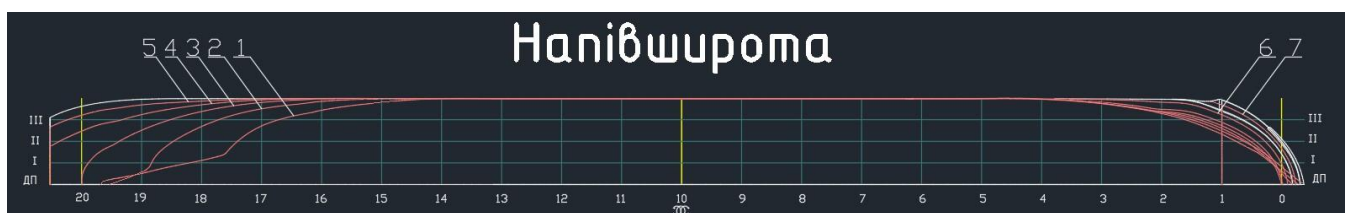


Рисунок 2.1 – Створена 3D модель теоретичної поверхні корпусу балкера



а)



б)



Рисунок 2.2 – Проекції теоретичної поверхні корпусу балкера: а) бік; б) напівширота; в) корпус

					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		25

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	75448	t
2	Volume (displaced)	73607,996	m ³
3	Draft Amidships	12,520	m
4	Immersed depth	12,527	m
5	WL Length	225,884	m
6	Beam max extents on WL	31,461	m
7	Wetted Area	11239,171	m ²
8	Max sect. area	391,448	m ²
9	Waterpl. Area	6516,246	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,832	
11	Block coeff. (Cb)	0,827	
12	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,998	
13	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,917	
14	LCB length	-105,725	from zero pt. (+ve fwd) m
15	LCF length	-113,723	from zero pt. (+ve fwd) m
16	LCB %	-46,805	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
17	LCF %	-50,346	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
18	KB	6,536	m
19	KG fluid	10,940	m
20	BMt	6,616	m
21	BML	328,034	m
22	GMt corrected	2,212	m
23	GML	323,630	m
24	KMt	13,152	m
25	KML	334,570	m
26	Immersion (TPc)	66,792	tonne/cm
27	MTc	1109,371	tonne.m
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	2912,077	tonne.m
29	Length:Beam ratio	7,180	

Density (water)

Std. densities

VCG

Рисунок 2.3 – Вікно з результатами розрахунку гідростатичних параметрів отриманого корпусу балкера (для КВЛ).

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

Для розрахунку кривих елементів теоретичного креслення судна використовується програмне забезпечення Maxsurf Stability Advanced. Для того щоб виконати зазначений розрахунок необхідно завантаживши модель судна в

Maxsurf Stability, після чого ввести діапазон значень осадки судна (Analysis/Draft...), потім обрати тип розрахунку Upright Hydrostatics і натиснути кнопку «почати розрахунок».

Вид вікна програми для введення діапазону розрахункових значень осадки та координат центру тяжіння судна представлено на рисунку 2.4. Результати виконаного розрахунку представлені на рисунках 2.5-2.7.

Рисунок 2.4 – Вікно введення діапазону значень осадки судна

Intact											
	Draft Amidships m	0,500	1,836	3,171	4,507	5,842	7,178	8,513	9,849	11,184	12,520
1	Displacement t	2275	9410	17017	24861	32883	41062	49406	57919	66613	75472
2	Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Draft at FP m	0,500	1,836	3,171	4,507	5,842	7,178	8,513	9,849	11,184	12,520
4	Draft at AP m	0,500	1,836	3,171	4,507	5,842	7,178	8,513	9,849	11,184	12,520
5	Draft at LCF m	0,500	1,836	3,171	4,507	5,842	7,178	8,513	9,849	11,184	12,520
6	Trim (+ve by stern)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	WL Length m	210,28	216,30	219,47	220,46	219,28	218,79	219,13	222,50	225,63	225,88
8	Beam max extents	30,221	31,516	31,572	31,516	31,496	31,481	31,456	31,437	31,473	31,474
9	Wetted Area m²	4955,6	5808,7	6498,2	7176,3	7832,7	8488,4	9150,0	9822,0	10510,	11156,
10	Waterpl. Area m²	4880,5	5435,4	5656,4	5791,3	5915,4	6033,8	6156,5	6282,0	6418,5	6516,3
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,748	0,765	0,775	0,787	0,805	0,818	0,827	0,825	0,823	0,832
12	Block coeff. (Cb)	0,689	0,731	0,754	0,773	0,794	0,809	0,821	0,820	0,818	0,827
13	Max Sect. area coeff	0,973	0,975	0,981	0,988	0,991	0,993	0,995	0,997	0,998	0,998
14	Waterpl. area coeff.	0,768	0,797	0,816	0,833	0,856	0,876	0,893	0,898	0,904	0,917
15	LCB from zero pt. (	-97,804	-99,035	-99,801	-100,48	-101,20	-101,98	-102,84	-103,76	-104,74	-105,72
16	LCF from zero pt. (+	-98,578	-100,10	-101,36	-102,50	-104,22	-106,09	-108,07	-110,18	-112,37	-113,68
17	KB m	0,265	0,958	1,651	2,342	3,034	3,727	4,422	5,123	5,827	6,534
18	KG m	12,520	12,520	12,520	12,520	12,520	12,520	12,520	12,520	12,520	12,520
19	BMt m	140,96	41,961	24,623	17,502	13,603	11,159	9,489	8,268	7,343	6,615
20	BML m	5318,4	1595,4	975,25	707,41	567,27	480,65	423,65	383,63	355,88	327,84
21	GMt m	128,70	30,399	13,754	7,324	4,117	2,366	1,391	0,871	0,650	0,629
22	GML m	5306,1	1583,8	964,38	697,23	557,78	471,85	415,55	376,24	349,18	321,86
23	KMt m	141,22	42,919	26,274	19,844	16,637	14,886	13,911	13,391	13,170	13,149
24	KML m	5318,7	1596,3	976,90	709,75	570,30	484,37	428,07	388,76	361,70	334,38
25	Immersion (TPc) ton	50,026	55,713	57,979	59,361	60,633	61,847	63,105	64,391	65,790	66,793
26	MTc tonne.m	548,48	677,13	745,60	787,54	833,33	880,30	932,78	990,07	1056,8	1103,6
27	RM at 1deg = GMt.	5110,5	4992,2	4084,7	3177,7	2362,6	1695,3	1199,4	880,29	755,93	828,88
28	Max deck inclinatio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
29	Trim angle (+ve by s	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Рисунок 2.5 – Результати розрахунку в табличному виді

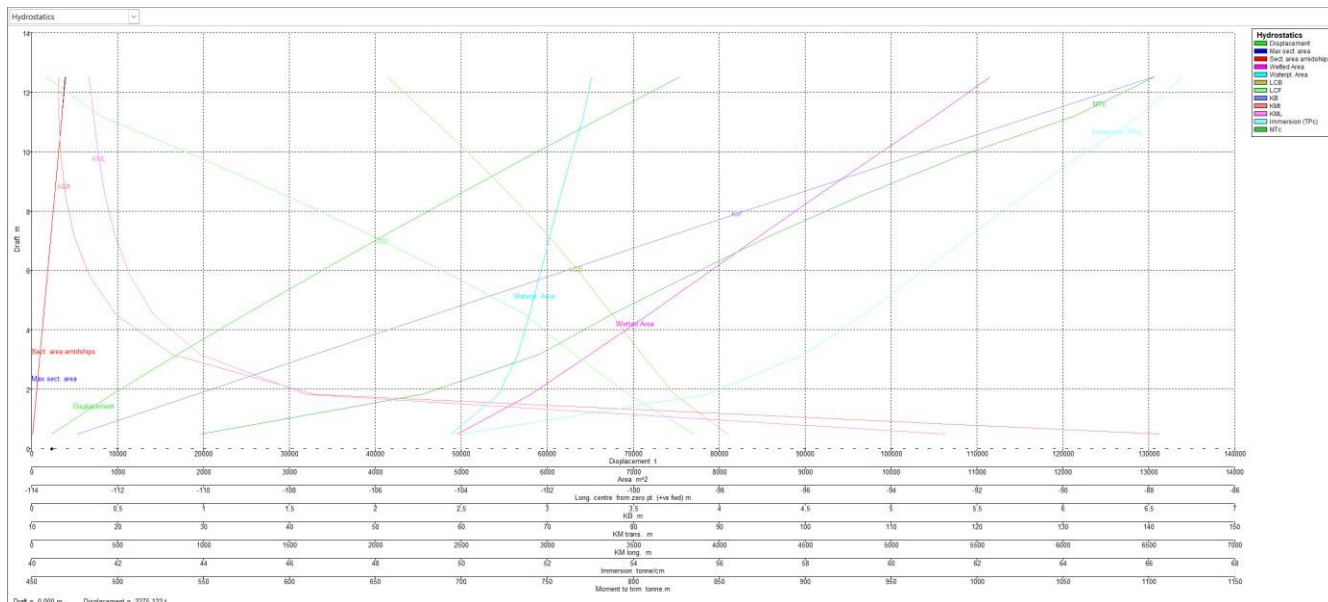


Рисунок 2.6 – Гідростатичні криві

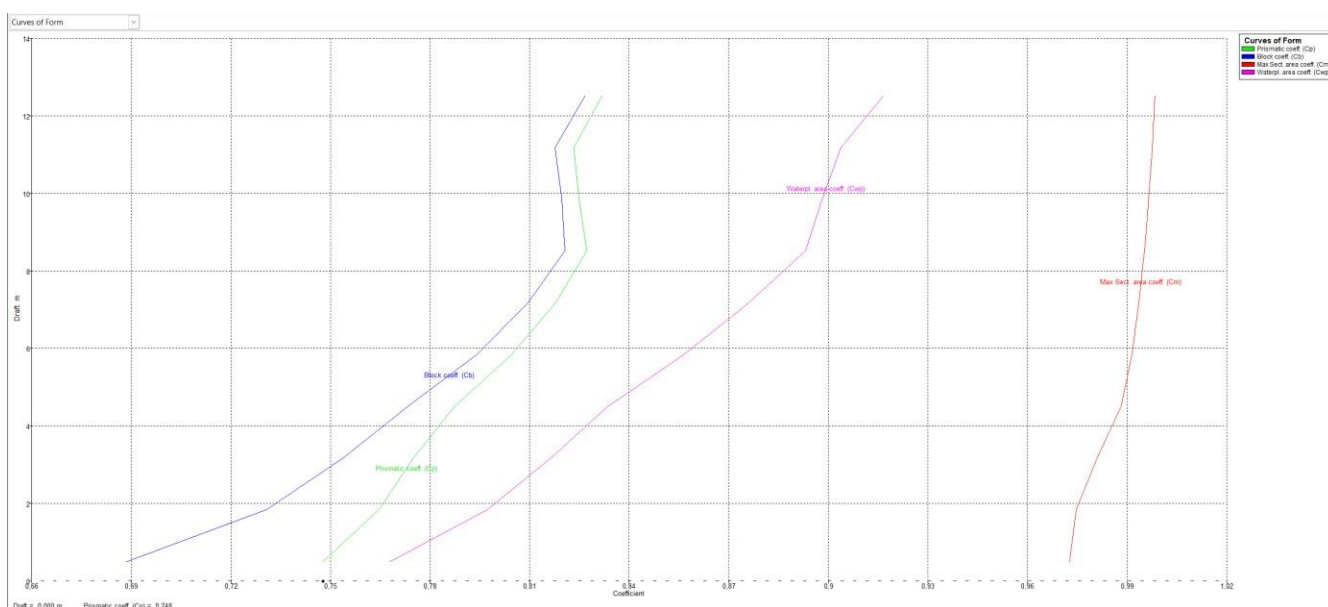


Рисунок 2.7 – Криві форми

Наведене в таблиці 2.1 значення висоти борту повинно відповідати вимогам «Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства». Ці Правила на основі вимог Міжнародної конвенції про вантажну марку 1966 р. визначають порядок і умови розрахунку величини мінімального надводного борту F_{min} залежно від типу і довжини судна.

Наш балкер відноситься до типу В та має довжину $L = 220,1$ м, тому значення мінімального надводного борту $F_{min} = (D-d)_{min} = 2,5$ м. З даних

таблиці 2.1 визначаємо значення отриманої висоти надводного борту
проектowanego балкера: $D-d = 18,893 - 12,520 = 6,373$ м.

Отже, отримане концептуальне рішення задовольняє вимогам Правил про
вантажну марку: $D-d > (D-d)_{\min}$.

Розраховуємо значення максимально допустимої осадки проекowanego балкера:
 $d_{\max} = D - (D-d)_{\min} = 18,893 - 2,5 = 16,393$ м.

2.3 Створення цистерн та внутрішніх приміщень судна. Розрахунок місткості балкера

Розрахунок місткості проекowanego балкера виконано в програмному модулі
Maxsurf Stability Advanced.

Для цього в таблиці Room Definition були створені (див. рисунки 2.8):

- трюми для перевезення вантажу;
- цистерни баластної системи (в подвійному дні);
- цистерни антикренової системи (в подвійних бортах);
- машинне відділення;

Після створення усіх цистерн та приміщень, був проведений розрахунок їх
місткості (Tank Calibration). Частина результатів розрахунку наведено на рисунку
2.9, а саме розрахунок місткості трюмів для перевезення вантажу.

					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		29

	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
1	Hold 1	Tank	100	100	0.7143		none	-33.900	-10.800	-14.500	14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
2	Hold 2	Tank	100	100	0.7143		none	-58.100	-33.900	-14.500	14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
3	Hold 3	Tank	100	100	0.7143		none	-82.900	-58.100	-14.500	14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
4	Hold 4	Tank	100	100	0.7143		none	-107.700	-82.900	-14.500	14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
5	Hold 5	Tank	100	100	0.7143		none	-132.500	-107.700	-14.500	14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
6	Hold 6	Tank	100	100	0.7143		none	-157.300	-132.500	-14.500	14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
7	Hold 7	Tank	100	100	0.7143		none	-182.100	-157.300	-14.500	14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
8	ER	Compartment	100	100			none	-206.900	-182.100	-16.000	16.000	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
9	DB 1	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	-33.900	-10.800	-16.000	16.000	2.000	0,000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
10	DB 2	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	-58.100	-33.900	-16.000	16.000	2.000	0,000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
11	DB 3	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	-82.900	-58.100	-16.000	16.000	2.000	0,000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
12	DB 4	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	-107.700	-82.900	-16.000	16.000	2.000	0,000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
13	DB 5	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	-132.500	-107.700	-16.000	16.000	2.000	0,000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
14	DB 6	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	-157.300	-132.500	-16.000	16.000	2.000	0,000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
15	DB 7	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	-182.100	-157.300	-16.000	16.000	2.000	0,000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
16	DB ER	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	-206.900	-182.100	-16.000	16.000	2.000	0,000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
17	Forepeak	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-10.800	4.111	-9.000	9.000	28.000	0,000	-16,000	16,000	Prismatic	Prismatic
18	DS Hold 1 L	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-33.900	-10.800	-16.000	-14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
19	DS Hold 1 R	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-33.900	-10.800	14.500	16.000	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
20	DS Hold 2 L	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-58.100	-33.900	-16.000	-14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
21	DS Hold 2 R	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-58.100	-33.900	14.500	16.000	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
22	DS Hold 3 L	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-82.900	-58.100	-16.000	-14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
23	DS Hold 3 R	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-82.900	-58.100	14.500	16.000	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
24	DS Hold 4 L	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-107.700	-82.900	-16.000	-14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
25	DS Hold 4 R	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-107.700	-82.900	14.500	16.000	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
26	DS Hold 5 L	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-132.500	-107.700	-16.000	-14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
27	DS Hold 5 R	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-132.500	-107.700	14.500	16.000	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
28	DS Hold 6 L	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-157.300	-132.500	-16.000	-14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
29	DS Hold 6 R	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-157.300	-132.500	14.500	16.000	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
30	DS Hold 7 L	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-182.100	-157.300	-16.000	-14.500	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
31	DS Hold 7 R	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-182.100	-157.300	14.500	16.000	28.000	2.000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic
32	Afterpeak	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-225.889	-206.900	-16.000	16.000	28.000	0,000	Prismatic	Prismatic	Prismatic	Prismatic

Рисунок 2.8 – Побудова цистерн та приміщень на вкладці Room Definition

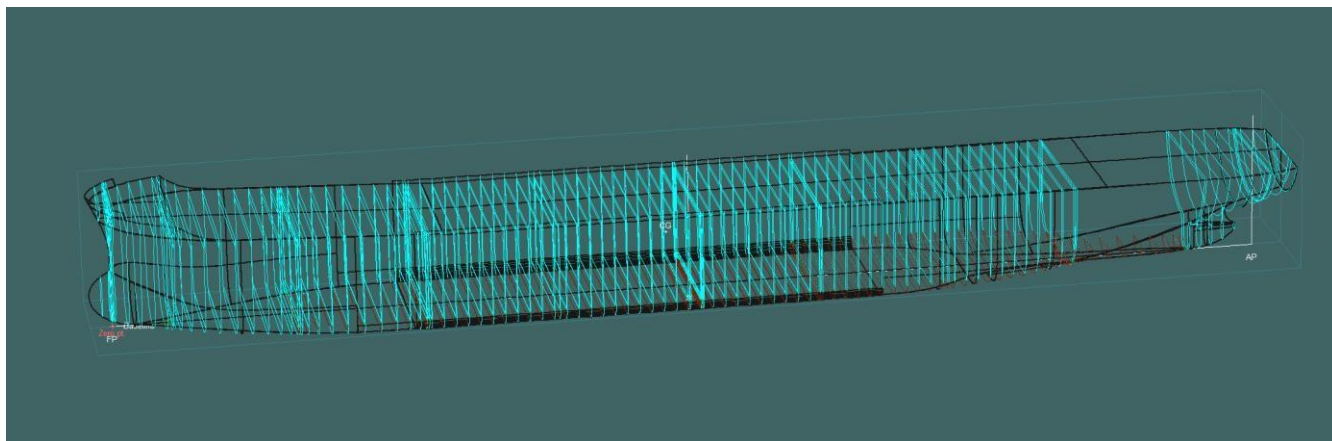


Рисунок 2.9 – Побудова трюмів для перевезення

2.4 Розрахунок навантаження мас, визначення координат центра ваги проєктованого балкера та його удиферентування

Для розрахунку навантаження мас та визначення координат центра ваги проєктованого балкера в програмному модулі Maxsurf Stability були створені таблиці навантаження мас (Loadcase) для 3 видів розрахунку, які описані нижче.

Для даного виду навантаження передбачено, що вантажні трюми заповнені на передбачену вантажомісткість, а також заповнені цистерни палива і мастила та цистерни прісної води.

Створена таблиця навантаження мас «Cargo_100%+100%_Fuel_Oil_FWater» представлена на рисунку 2.10. Результати удиферентування представлені на рисунку 2.11.

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Hull	1	11053,000	11053,000			-113,890	0,000	10,529	0,000	User Spec
2	Engine	1	886,000	886,000			-197,170	0,000	9,869	0,000	User Spec
3	Equipment	1	2867,000	2867,000			-142,770	0,000	17,966	0,000	User Spec
4	Margin	1	754,000	754,000			-145,000	0,000	11,903	0,000	User Spec
5	Total LightShip			15560,000			-125,461	0,000	11,928	0,000	
6	Hold 1	90%	8111,951	7300,757	11356,743	10221,070	-22,927	0,000	10,533	0,000	User Spec
7	Hold 2	90,18%	8767,693	7906,793	12274,525	11069,289	-46,000	0,000	9,886	0,000	User Spec
8	Hold 3	97%	8616,825	8358,320	12063,314	11701,414	-70,500	0,000	10,135	0,000	User Spec
9	Hold 4	97%	8600,274	8342,266	12040,143	11678,939	-95,300	0,000	10,119	0,000	User Spec
10	Hold 5	97%	8600,274	8342,266	12040,143	11678,939	-120,100	0,000	10,119	0,000	User Spec
11	Hold 6	97%	8643,124	8383,831	12100,133	11737,129	-144,900	0,000	10,160	0,000	User Spec
12	Hold 7	97%	8624,777	8366,034	12074,447	11712,213	-169,649	0,000	10,238	0,000	User Spec
13	Total Cargo	95,06%	59964,919	57000,267	83949,448	79798,994	-97,392	0,000	10,166	0,000	
14	DB 1	0%	834,807	0,000	993,818	0,000	-20,409	0,000	0,000	0,000	Maximum
15	DB 2	0%	1204,430	0,000	1433,846	0,000	-48,176	0,000	0,020	0,000	Maximum
16	DB 3	0%	1259,025	0,000	1498,839	0,000	-70,505	0,000	0,020	0,000	Maximum
17	DB 4	0%	1259,025	0,000	1498,839	0,000	-95,305	0,000	0,020	0,000	Maximum
18	DB 5	7,61%	1259,025	95,812	1498,840	114,062	-120,100	0,000	0,101	53551,034	Maximum
19	DB 6	98%	1251,517	1226,487	1489,901	1460,104	-144,833	0,000	1,007	0,000	Maximum
20	DB 7	98%	911,467	893,237	1085,079	1063,378	-168,125	0,000	1,083	0,000	Maximum
21	DB ER	98%	327,044	320,503	389,338	381,552	-192,579	0,000	1,093	0,000	Maximum
22	Total Fuel	30,53%	8306,341	2536,040	9888,501	3019,095	-158,137	0,000	1,010	53551,034	
23	Forepeak	0%	4254,353	0,000	4150,588	0,000	-8,465	0,000	0,020	0,000	Maximum
24	DS Hold 1 L	0%	46,590	0,000	45,454	0,000	-33,455	-12,331	2,000	0,000	Maximum
25	DS Hold 1 R	0%	46,590	0,000	45,454	0,000	-33,455	12,331	2,000	0,000	Maximum
26	DS Hold 2 L	0%	456,018	0,000	444,896	0,000	-48,067	-15,046	2,000	0,000	Maximum
27	DS Hold 2 R	0%	456,018	0,000	444,896	0,000	-48,067	15,046	2,000	0,000	Maximum
28	DS Hold 3 L	0%	505,091	0,000	492,772	0,000	-70,500	-15,092	2,000	0,000	Maximum
29	DS Hold 3 R	0%	505,091	0,000	492,772	0,000	-70,500	15,092	2,000	0,000	Maximum
30	DS Hold 4 L	0%	504,121	0,000	491,826	0,000	-95,300	-15,092	2,000	0,000	Maximum
31	DS Hold 4 R	0%	504,121	0,000	491,826	0,000	-95,300	15,092	2,000	0,000	Maximum
32	DS Hold 5 L	0%	504,122	0,000	491,826	0,000	-120,100	-15,092	2,000	0,000	Maximum
33	DS Hold 5 R	0%	504,122	0,000	491,826	0,000	-120,100	15,092	2,000	0,000	Maximum
34	DS Hold 6 L	0%	506,251	0,000	493,903	0,000	-144,491	-15,073	2,000	0,000	Maximum
35	DS Hold 6 R	0%	506,251	0,000	493,903	0,000	-144,491	15,073	2,000	0,000	Maximum
36	DS Hold 7 L	0%	421,627	0,000	411,343	0,000	-160,021	-14,400	2,000	0,000	Maximum
37	DS Hold 7 R	0%	421,627	0,000	411,343	0,000	-160,021	14,400	2,000	0,000	Maximum
38	Afterpeak	0%	4478,984	0,000	4369,741	0,000	-207,788	0,000	0,020	0,000	Maximum
39	Total Balast	0%	14620,978	0,000	14264,368	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
40	Supply	1	347,000	347,000			-208,027	0,000	16,814	0,000	User Spec
41	Total Supply			347,000			-208,027	0,000	16,814	0,000	
42	Total Loadcase			75443,306	108102,318	82818,089	-105,732	0,000	10,252	53551,034	
43	FS correction								0,710		
44	VCG fluid								10,962		

Рисунок 2.10 – Таблиця навантаження судна

1	Draft Amidships m	12,516
2	Displacement t	75443
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	12,516
5	Draft at AP m	12,516
6	Draft at LCF m	12,516
7	Trim (+ve by stern) m	0,000
8	WL Length m	225,884
9	Beam max extents on WL m	31,474
10	Wetted Area m^2	11166,540
11	Waterpl. Area m^2	6517,515
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,832
13	Block coeff. (Cb)	0,827
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,998
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,917
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-105,719
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-113,704
18	KB m	6,532
19	KG fluid m	10,962
20	BMt m	6,617
21	BML m	328,173
22	GMt corrected m	2,187
23	GML m	323,743
24	KMt m	13,149
25	KML m	334,705
26	Immersion (TPc) tonne/cm	66,805
27	MTc tonne.m	1109,689
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	2880,175
29	Max deck inclination deg	0,0000
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000

Рисунок 2.11 – Результати удиферентування судна при навантаженні

2.5 Розрахунок остійності балкера при великих кутах крену, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його остійності

Щоб виконати розрахунок остійності на великих кутах крену необхідно вибрати тип розрахунку Large Angle Stability, обрати критерії розрахунку (Analysis => Criteria), як показано на рисунку 2.12, та натиснути кнопку «почати розрахунок», попередньо вибравши варіант навантаження (Loadcase).

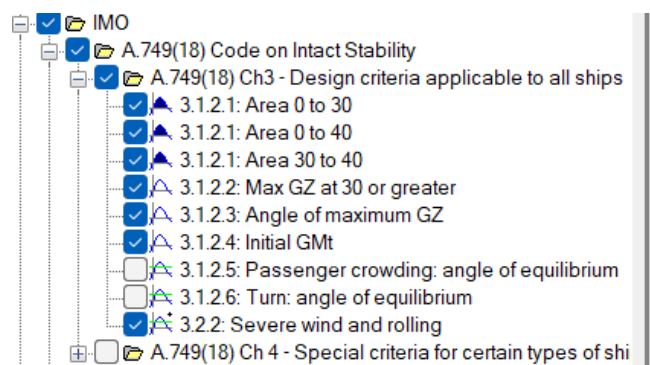


Рисунок 2.12 – Вибір критеріїв розрахунку остійності

2.5.1 Остійність на великих кутах крену для навантаження навантаження по КВЛ

Даний розрахунок виконувався з використанням таблиці навантаження мас «Design Draft», яка була представлена на рисунку 2.13.

Діаграма остійності показана на рисунку 2.14.

Результати перевірки критеріїв остійності представлені на рисунку 2.15.

Loadcase 1 - Intact																
	Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0
1	GZ m	-1,414	-0,898	-0,397	0,000	0,397	0,898	1,415	1,597	1,464	1,046	0,469	-0,185	-0,858	-1,501	-2,066
2	Area under GZ curve from zero heel m.rad	0,3474	0,1455	0,0336	0,0000	0,0337	0,1450	0,3493	0,6175	0,8890	1,1114	1,2451	1,2705	1,1795	0,9726	0,6604
3	Displacement t	75446	75443	75443	75443	75443	75443	75443	75443	75443	75443	75449	75443	75441	75438	75438
4	Draft at FP m	12,835	12,607	12,536	12,511	12,535	12,606	12,830	13,598	14,933	16,995	20,899	32,145	n/a	11,761	0,521
5	Draft at AP m	12,148	12,279	12,463	12,520	12,464	12,279	12,151	12,577	13,483	14,958	17,766	25,973	n/a	6,352	-1,884
6	WL Length m	225,88	225,88	225,88	225,88	225,88	225,88	225,88	225,88	225,97	228,23	229,60	229,77	228,84	227,25	227,38
7	Beam max extents on WL m	31,887	33,441	31,913	31,474	31,913	33,441	31,893	29,295	25,959	24,604	23,941	23,671	23,743	24,275	25,615
8	Wetted Area m^2	11846,	11190,	11161,	11154,	11161,	11190,	11850,	12310,	12558,	12706,	12846,	12918,	12977,	13035,	13071,
9	Waterpl. Area m^2	6445,4	6918,6	6611,4	6516,3	6611,4	6918,6	6445,6	5878,7	5168,9	4642,6	4316,7	4163,7	4147,5	4244,8	4475,7
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,832	0,831	0,832	0,832	0,832	0,831	0,832	0,840	0,849	0,847	0,847	0,850	0,856	0,864	0,864
11	Block coeff. (Cb)	0,565	0,588	0,693	0,827	0,693	0,588	0,565	0,570	0,609	0,619	0,633	0,659	0,697	0,629	0,559
12	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-105,70	-105,72	-105,72	-105,73	-105,73	-105,72	-105,71	-105,71	-105,71	-105,70	-105,70	-105,71	-105,70	-105,70	-105,71
13	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-110,21	-112,95	-113,55	-113,68	-113,55	-112,95	-110,21	-107,52	-106,22	-105,53	-105,19	-105,65	-106,72	-107,35	-107,85
14	Max deck inclination deg	30,000	20,000	10,000	0,0024	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000	99,999	109,99
15	Trim angle (+ve by stern) deg	-0,1789	-0,0856	-0,0190	0,0024	-0,0187	-0,0850	-0,1768	-0,2658	-0,3776	-0,5305	-0,8156	-1,6061	n/a	-1,4079	-0,6259

Рисунок 2.13 – Результати розрахунку остійності на великих кутах крену в табличній формі для варіанта навантаження «Design Draft»

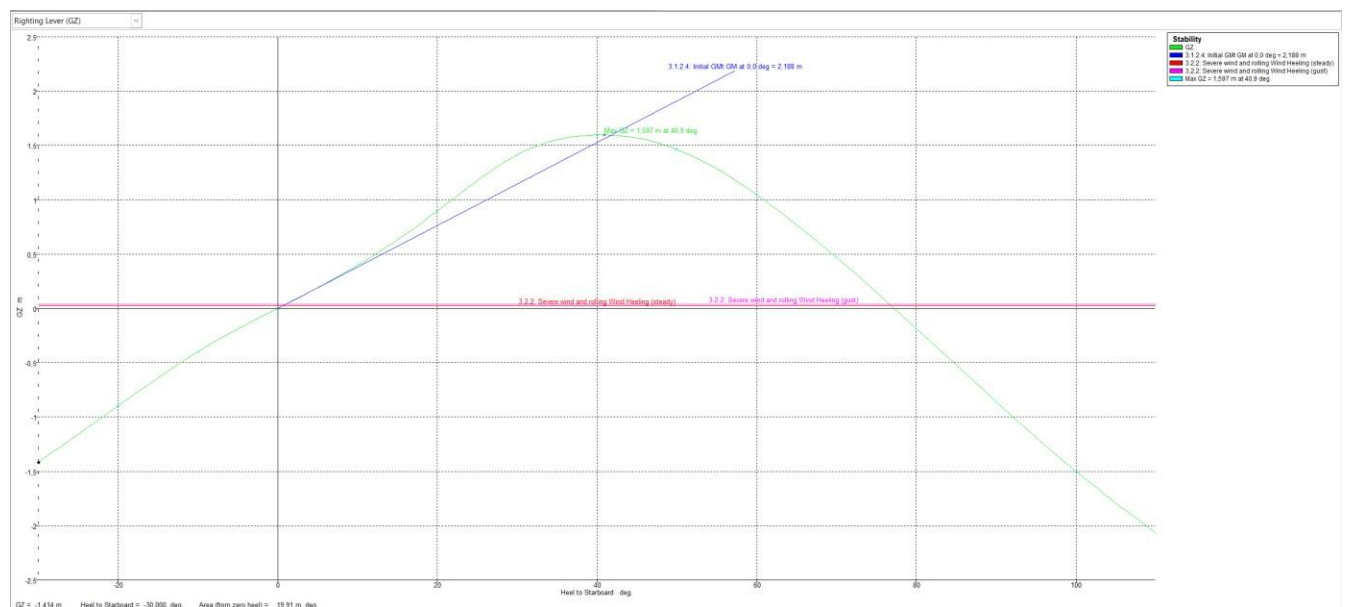


Рисунок 2.14 – Діаграма остійності для варіанта навантаження «Design Draft»

Large Angle Stability - Loadcase 1 - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) C	3.1.2.1: Are				Pass	
2		from the gre					
3		spec. heel a	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser					
5		spec. heel a	30,0	deg	30,0		
6		angle of vani	77,2	deg			
7		shall not be	0,0550	m.rad	0,3493	Pass	+535,17
8							
9	A.749(18) C	3.1.2.1: Are				Pass	
10		from the gre					
11		spec. heel a	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser					
13		spec. heel a	40,0	deg	40,0		
14		first flooding	n/a	deg			
15		angle of vani	77,2	deg			
16		shall not be	0,0900	m.rad	0,6175	Pass	+586,11
17							
18	A.749(18) C	3.1.2.1: Are				Pass	
19		from the gre					
20		spec. heel a	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser					
22		spec. heel a	40,0	deg	40,0		
23		first flooding	n/a	deg			
24		angle of vani	77,2	deg			
25		shall not be	0,0300	m.rad	0,2681	Pass	+793,80
26							
27	A.749(18) C	3.1.2.2: Max				Pass	
28		in the range f					
29		spec. heel a	30,0	deg	30,0		
30		to the lesser					
31		spec. heel a	90,0	deg			
32		angle of max	40,9	deg	40,9		
33		shall not be	0,200	m	1,597	Pass	+698,50
34		Intermediate					
35		angle at whic		deg	40,9		
36							
37	A.749(18) C	3.1.2.3: Ang				Pass	
38		shall not be	25,0	deg	40,9	Pass	+63,64
39							
40	A.749(18) C	3.1.2.4: Initi				Pass	
41		spec. heel a	0,0	deg			
42		shall not be	0,150	m	2,188	Pass	+1358,67
43							
44	A.749(18) C	3.2.2: Sever				Pass	
45		Wind arm =					
46		constant: a	0,99966				
47		wind pressur	504,0	Pa			
48		area centroid	24,686	m			
49		total area: A	2044,931	m^2			
50		H = vert. cen	6,348	m			
51		cosine power	0				
52		gust ratio	1,5				
53		Area2 integr					
54		roll back ang	25,0 (-24,3)	deg	-24,3		
55		Area 1 upper					
56		spec. heel a	50,0	deg	50,0		

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

24.135.4111.04.ПЗ

57	first flooding angle of the DownfloodingPoints	n/a	deg			
58	angle of vanishing stability (with gust heel arm)	76,7	deg			
59	Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:					
60	angle of max. GZ	40,9	deg	40,9		
61	Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdge1				
62	Criteria:				Pass	
63	Angle of steady heel shall not be greater than (<	16,0	deg	0,7	Pass	+95,74
64	Angle of steady heel / Deck edge immersion ang	80,00	%	3,03	Pass	+96,21
65	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	359,25	Pass	+259,25
66	Intermediate values					
67	Heel arm amplitude		m	0,026		
68	Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,7		
69	Equilibrium angle with gust heel arm		deg	1,0		
70	Deck edge immersion angle		deg	22,5		
71	Area1 (under GZ), from 1,0 to 50,0 deg.		m.rad	0,8886		
72	Area1 (under HA), from 1,0 to 50,0 deg.		m.rad	0,0327		
73	Area1, from 1,0 to 50,0 deg.		m.rad	0,8559		
74	Area2 (under GZ), from -24,3 to 1,0 deg.		m.rad	-0,2213		
75	Area2 (under HA), from -24,3 to 1,0 deg.		m.rad	0,0169		
76	Area2, from -24,3 to 1,0 deg.		m.rad	0,2382		
77						
78	Regulation 28.3.2 Equi heel <= 25 or <= 30 if no DE immersion				Not Analys	
79	Ratio of equilibrium heel angle to the lesser of:					
80	spec. heel angle	25,0	deg			
81	shall not be greater than (<=)	100,00	%		Not Analys	
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		deg			
86	shall not be greater than (<=)	100,00	%		Not Analys	
87	Intermediate values					
88	Equilibrium angle		deg			
89						
90	Regulation 28.3.3 Range of positive stability including DF				Not Analys	
91	from the greater of					
92	angle of equilibrium		deg			
93	to the lesser of					
94	first flooding angle of the DownfloodingPoints		deg			
95	angle of vanishing stability		deg			
96	shall not be less than (>=)	20,0	deg		Not Analys	
97						
98	Regulation 28.3.3 Residual righting lever				Not Analys	
99	in the range from the greater of					
100	angle of equilibrium		deg			
101	to the lesser of					
102	spec. angle above equilibrium	20,0	deg			
103	angle of max. GZ		deg			
104	first flooding angle of the DownfloodingPoints		deg			
105	shall not be less than (>=)	0,100	m		Not Analys	
106	Intermediate values					
107	angle at which this GZ occurs		deg			
108						
109	Regulation 28.3.3 Area under GZ curve				Not Analys	
110	from the greater of					
111	angle of equilibrium		deg			
112	to the lesser of					
113	spec. angle above equilibrium	20,0	deg			
114	first flooding angle of the DownfloodingPoints		deg			
115	angle of vanishing stability		deg			
116	shall not be less than (>=)	0,0175	m.rad		Not Analys	

Рисунок 2.15– Перевірка критеріїв остійності для варіанта навантаження
«Design Draft»

1. Розрахунок амплітуди хитавиці

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

Де:

$$K = 1,00$$

$$X_1 = 0,98 (\text{так як } B/d = 31,46/12,52 = 2,51)$$

$$X_2 = 1 (\text{так як } C_b = 0,827)$$

$$Z_g = 10,94 \text{ м}$$

$$r = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{Z_g - d}{d} = 0,73 + 0,6 \cdot \frac{10,94 - 12,52}{12,52} = 0,654$$

$$C = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{B}{d} - 0,043 \cdot \frac{L}{100} = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{31,46}{12,52} - 0,043 \cdot \frac{225,89}{100} = 0,3337$$

$$\tau = 2 \cdot C \cdot \frac{B}{\sqrt{h}} = 2 \cdot 0,3337 \cdot \frac{32,6}{\sqrt{2,188}} = 9,596 \text{ (розрахункове значення)}$$

$$S = 0,057$$

Підставляємо значення:

$$\theta_1 = 109 \cdot 1,00 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,654 \cdot 0,057} = 20,62^\circ$$

2. Розрахунок кренувального моменту (а) та перекидального моменту (b) залежно від тиску вітру

$$A_v = \sum S_i = 2044,931 \text{ м}^2$$

$$Z_B = \frac{\sum (S_i \cdot Z_i)}{\sum S_i} = 18,426 \text{ м}$$

$$Z_v = Z_B + \frac{12,52}{2} = 18,426 - \frac{12,52}{2} = 12,166 \text{ м}$$

$$P_v = 504 \text{ Па (тиск повітря)}$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

$$D = 75443 \text{ т}$$

Плече кренувального моменту від вітру:

$$l_{w1} = \frac{P_v \cdot A_v \cdot Z_v}{1000 \cdot g \cdot D} = \frac{504 \cdot 2044,931 \cdot 12,166}{1000 \cdot 9,81 \cdot 75443} = 0,0169 \text{ м}$$

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1} = 1,5 \cdot 0,0169 = 0,0254 \text{ м}$$

3. Критерій погоди

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

Де:

$$a = 23,82 \text{ м} \cdot \text{рад (кренувальний момент)}$$

$$b = 85,59 \text{ м} \cdot \text{рад (перекидальний момент)}$$

					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		36

$$K = \frac{b}{a} = \frac{85,59}{23,82} = 3,59 \geq 1$$

Висновок: Критерій погоди виконується.

2.5.2 Розрахунок остійності пошкодженого судна при затопленні машинного відсіку

Щоб виконати розрахунок остійності пошкодженого судна необхідно обрати критерії розрахунку (Analysis => Criteria), як показано на рисунку 2.16. Після цього необхідно відкрити вікно вибору пошкоджених відсіків Window => Damadge => Cases та створити новий пошкоджений стан Edit => Add Damage Case (або Ctrl+A). У вікні вибору пошкоджених відсіків ставимо галочку навпроти машинного відсіку, як показано на рисунку 2.17. Щоб почати розрахунок необхідно натиснути кнопку «почати розрахунок», попередньо вибравши варіант навантаження (Loadcase) та створений пошкоджений стан (DCase).

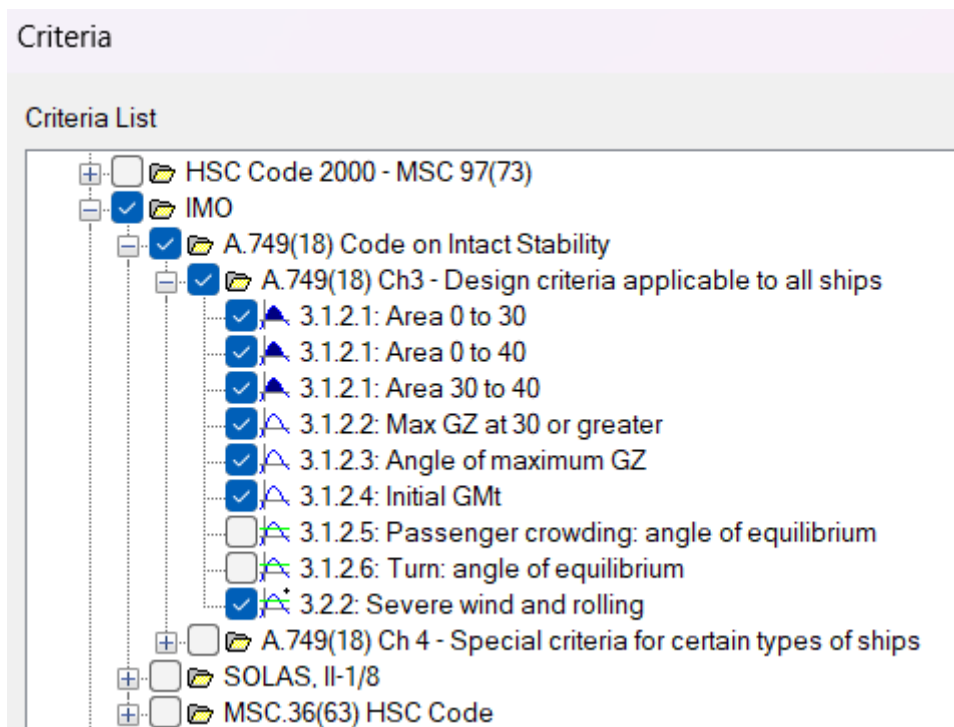


Рисунок 2.16 – Вибір критеріїв розрахунку остійності при пошкодженому стані

Даний розрахунок виконувався з використанням таблиці навантаження мас «Design Draft», яка була представлена на рисунку 2.19.

Зображення пошкодженої відсіку зображено на рисунку 2.18.

Діаграма остійності показана на рисунку 2.20.

Результати перевірки критеріїв остійності представлені на рисунку 2.21

Large Angle Stability		Loadcase 1	DCase 1
	Room	Intact	DCase 1
1	Case type	☒	☒
2	Hold 1	☐	☐
3	Hold 2	☐	☐
4	Hold 3	☐	☐
5	Hold 4	☐	☐
6	Hold 5	☐	☐
7	Hold 6	☐	☐
8	Hold 7	☐	☐
9	ER	☐	☒
10	DB 1	☐	☐
11	DB 2	☐	☐
12	DB 3	☐	☐
13	DB 4	☐	☐
14	DB 5	☐	☐
15	DB 6	☐	☐
16	DB 7	☐	☐
17	DB ER	☐	☐
18	Forepeak	☐	☐
19	DS Hold 1 L	☐	☐
20	DS Hold 1 R	☐	☐
21	DS Hold 2 L	☐	☐
22	DS Hold 2 R	☐	☐
23	DS Hold 3 L	☐	☐
24	DS Hold 3 R	☐	☐
25	DS Hold 4 L	☐	☐
26	DS Hold 4 R	☐	☐
27	DS Hold 5 L	☐	☐
28	DS Hold 5 R	☐	☐
29	DS Hold 6 L	☐	☐
30	DS Hold 6 R	☐	☐
31	DS Hold 7 L	☐	☐
32	DS Hold 7 R	☐	☐
33	Afterpeak	☐	☐

Рисунок 2.17– Вибір варіанту пошкодження: затоплення машинного відсіку

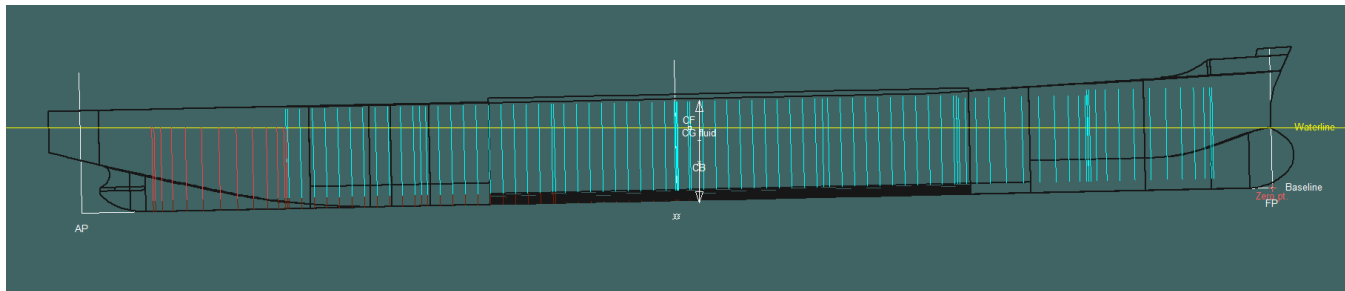


Рисунок 2.18 – Зображення пошкодженого машинного відсіку

Loadcase 1 - DCase 1																
	Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0
1	GZ m	-1,071	-0,826	-0,391	0,000	0,391	0,826	1,071	1,101	0,953	0,603	0,124	-0,417	-0,967	-1,490	-1,941
2	Area under GZ curve from zero heel m.rad	0,3084	0,1406	0,0331	0,0000	0,0332	0,1404	0,3094	0,5016	0,6837	0,8220	0,8867	0,8617	0,7407	0,5254	0,2253
3	Displacement t	75443	75446	75443	75443	75443	75443	75443	75443	75443	75443	75443	75443	75443	75443	75443
4	Draft at FP m	10,989	11,074	11,095	11,073	11,086	11,071	10,984	11,214	11,726	12,475	13,846	17,676	n/a	-2,573	-6,383
5	Draft at AP m	16,620	15,765	15,728	15,776	15,737	15,767	16,626	18,416	21,464	26,493	36,062	63,837	n/a	43,875	16,118
6	WL Length m	226,25	225,96	225,93	225,93	225,93	225,97	226,26	226,30	226,33	226,73	228,69	229,80	229,92	229,64	228,65
7	Beam max extents on WL m	33,461	33,443	31,922	31,444	31,922	33,443	33,467	30,944	28,008	26,145	24,917	24,158	24,171	25,172	25,465
8	Wetted Area m²	12710	12039	11652	11648	11652	12039	12714	13117	13390	13562	13693	13833	13906	14016	14133
9	Waterpl. Area m²	5480,0	5991,3	6091,0	6001,6	6091,2	5991,2	5479,8	5108,9	4665,7	4229,3	3940,4	3780,2	3738,5	3787,4	3943,7
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,736	0,732	0,730	0,729	0,730	0,732	0,736	0,739	0,742	0,746	0,743	0,743	0,746	0,750	0,756
11	Block coeff. (Cb)	0,488	0,536	0,622	0,669	0,622	0,536	0,487	0,486	0,505	0,521	0,537	0,561	0,537	0,493	0,482
12	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-105,81	-105,82	-105,80	-105,80	-105,82	-105,82	-105,82	-105,84	-105,86	-105,88	-105,88	-105,89	-105,90	-105,90	-105,89
13	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-97,180	-102,47	-107,30	-107,38	-107,30	-102,47	-97,170	-95,547	-95,495	-95,036	-94,563	-94,189	-93,707	-93,776	-94,116
14	Max deck inclination deg	30,024	20,031	10,069	1,2240	10,070	20,031	30,024	40,021	50,019	60,016	70,012	80,006	90,000	99,993	109,98
15	Trim angle (+ve by stern) deg	1,4653	1,2208	1,2059	1,2240	1,2105	1,2221	1,4683	1,8741	2,5332	3,6443	5,7636	11,845	n/a	11,916	5,8371

Рисунок 2.19 – Результати розрахунку остійності при пошкодженні машинного відсіку для варіанта навантаження «Design Draft»

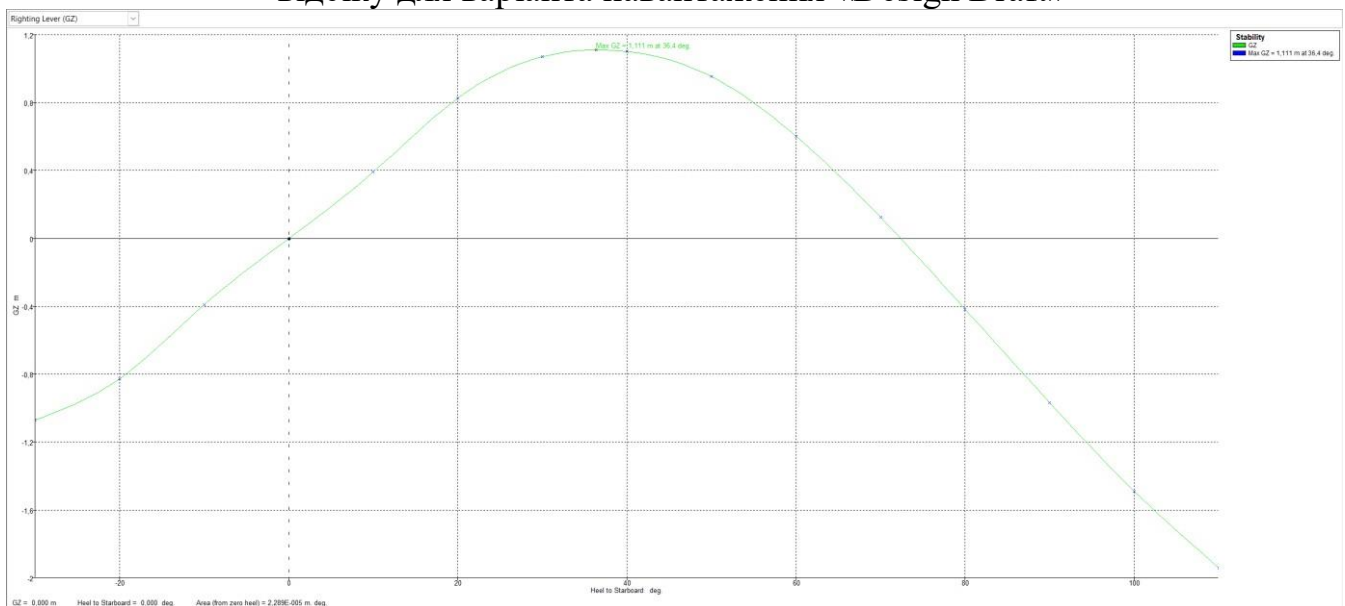


Рисунок 2.20 – Діаграма остійності при пошкодженні машинного відсіку для варіанта навантаження «Design Draft»

Large Angle Stability - Loadcase 1 - DCase 1							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	Regulation	28.3.2 Equi heel ≤ 25 or ≤ 30 if no DE immersion				Pass	
2		Ratio of equilibrium heel angle to the lesser of:					
3		spec. heel angle	25,0	deg	25,0		
4		shall not be greater than ($\leq$)	100,00	%	0,00	Pass	+100,00
5		or					
6		Ratio of equilibrium heel angle to the lesser of:					
7		spec. heel angle	30,0	deg			
8		angle of deck edge immersion	13,1	deg	13,1		
9		shall not be greater than ($\leq$)	100,00	%	0,00	Pass	+100,00
10		Intermediate values					
11		Equilibrium angle		deg	0,0		
12							
13	Regulation	28.3.3 Range of positive stability including DF				Pass	
14		from the greater of					
15		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
16		to the lesser of					
17		first flooding angle of the DownfloodingPoints	n/a	deg			
18		angle of vanishing stability	72,4	deg	72,4		
19		shall not be less than ($\geq$)	20,0	deg	72,4	Pass	+261,77
20							
21	Regulation	28.3.3 Residual righting lever				Pass	
22		in the range from the greater of					
23		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
24		to the lesser of					
25		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,0)	deg	20,0		
26		angle of max. GZ	36,4	deg			
27		first flooding angle of the DownfloodingPoints	n/a	deg			
28		shall not be less than ($\geq$)	0,100	m	0,826	Pass	+726,00
29		Intermediate values					
30		angle at which this GZ occurs		deg	20,0		
31							
32	Regulation	28.3.3 Area under GZ curve				Pass	
33		from the greater of					
34		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
35		to the lesser of					
36		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,0)	deg	20,0		
37		first flooding angle of the DownfloodingPoints	n/a	deg			
38		angle of vanishing stability	72,4	deg			
39		shall not be less than ($\geq$)	0,0175	m.rad	0,1403	Pass	+701,98
40							

Рисунок 2.21 – Перевірка критеріїв остійності при пошкодженні машинного відсіку для варіанта навантаження «Design Draft»

За результатами розрахунків можемо зробити висновок про те, що проєктований балкер відповідає усім вимогам ІМО щодо остійності як в неушкодженному стані, так і в пошкодженному стані.

2.5.3 Вибір головного двигуна

Розрахунок опору та потужності

Основним критерієм вибору суднового двигуна є забезпечення заданої експлуатаційної швидкості з необхідним запасом потужності при мінімальних витратах палива. Для визначення необхідної потужності на гвинті виконано розрахунки опору води руху судна методом Holtrop та відповідної буксирувальної потужності (Holtrop Power), яка потрібна для подолання цього опору. Розрахунки виконано для діапазону швидкостей від 0,5 до 14,8 вузла.

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	0,500	0,005	0,013	1,3	0,596
2	0,858	0,009	0,022	3,5	2,808
3	1,215	0,013	0,031	6,7	7,663
4	1,573	0,017	0,040	11,0	16,130
5	1,930	0,021	0,049	16,2	29,158
6	2,288	0,025	0,058	22,3	47,677
7	2,645	0,029	0,067	29,3	72,605
8	3,002	0,033	0,076	37,3	104,849
9	3,360	0,037	0,086	46,2	145,304
10	3,718	0,041	0,095	56,0	194,856
11	4,075	0,045	0,104	66,7	254,376
12	4,433	0,049	0,113	78,3	324,728
13	4,790	0,052	0,122	90,8	406,760
14	5,148	0,056	0,131	104,1	501,309
15	5,505	0,060	0,140	118,3	609,199
16	5,863	0,064	0,149	133,4	731,238
17	6,220	0,068	0,158	149,2	868,223
18	6,578	0,072	0,167	165,9	1020,938
19	6,935	0,076	0,176	183,5	1190,152
20	7,292	0,080	0,186	201,8	1376,629
21	7,650	0,084	0,195	221,0	1581,121
22	8,008	0,088	0,204	240,9	1804,384
23	8,365	0,092	0,213	261,6	2047,175
24	8,723	0,096	0,222	283,2	2310,267
25	9,080	0,099	0,231	305,5	2594,458
26	9,438	0,103	0,240	328,6	2900,584
27	9,795	0,107	0,249	352,5	3229,533
28	10,153	0,111	0,258	377,2	3582,266
29	10,510	0,115	0,267	402,8	3959,830
30	10,868	0,119	0,277	429,3	4363,383
31	11,225	0,123	0,286	456,6	4794,211
32	11,583	0,127	0,295	484,9	5253,750
33	11,940	0,131	0,304	514,3	5743,610
34	12,298	0,135	0,313	544,7	6265,587
35	12,655	0,139	0,322	576,3	6821,692
36	13,013	0,142	0,331	609,2	7414,162
37	13,370	0,146	0,340	643,3	8045,478
38	13,728	0,150	0,349	679,4	8723,585
39	14,085	0,154	0,358	717,5	9452,668
40	14,443	0,158	0,368	757,4	10231,411
41	14,800	0,162	0,377	799,2	11063,531

Таблиця 4.1 – Опір та потужність за швидкісними режимами

					24.135.4111.04.ПЗ	41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

З таблиці видно, що зі зростанням швидкості опір збільшується нелінійно, що відповідає фізиці руху судна на хвильовому режимі.

На основі розрахованої потужності (~11 МВт) розглянуто ринкові пропозиції. Обрано дизельний двигун 8S50МС як найбільш раціональний з такими параметрами:

- Марка – 8S50МС;
- Потужність – 11 440 кВт;
- Частота обертання – 127 об/хв;
- Середній ефективний тиск – 18,0 бар;
- Питома витрата палива – 0,171 кг/(кВт·год);
- Габарити – довжина 9272 мм, ширина 2950 мм, висота 3800 мм;
- Маса – 288 т;

					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42

					24.135.4111.04.ПЗ				
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					
					Розділ III Конструктивний мідель- шпангоут та розрахунок загальної міцності судна		Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Боровицький А. В.							43	
Консульт.	Шарун Г.В.		Шарун				НУК		
Керівник	Ястреба О.П.								
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.								

III. КОНСТРУКТИВНИЙ МІДЕЛЬ ШПАНГОУТ ТА РОЗРАХУНОК ЗАГАЛЬНОЇ МІЦНОСТІ СУДНА

3.1 Загальні відомості про судно

Судно, що розглядається, є УСГ з кормовим розташуванням машинного відділення і житлової надбудови, з подовженим баком, бульбовим носом і транцевою кормою. Судно має надлишковий надводний борт, поперечні водонепроникні перегородки, обмежений район плавання.

Таблиця 3.1 Головні елементи судна

Категорія	Позначення	Величина
Довжина між перпендикулярами, м	L	220,1
Ширина, м	B	31,46
Висота борту, м	H	18,89
Осадка, м	T	12,52
Коефіцієнт загальної повноти	C_b	0,827
Коефіцієнт повноти МШ	C_m	0,992
Коефіцієнт повноти ВВЛ	C_w	0,832
Швидкість ходу експлуатаційна, вузли	V	14,3

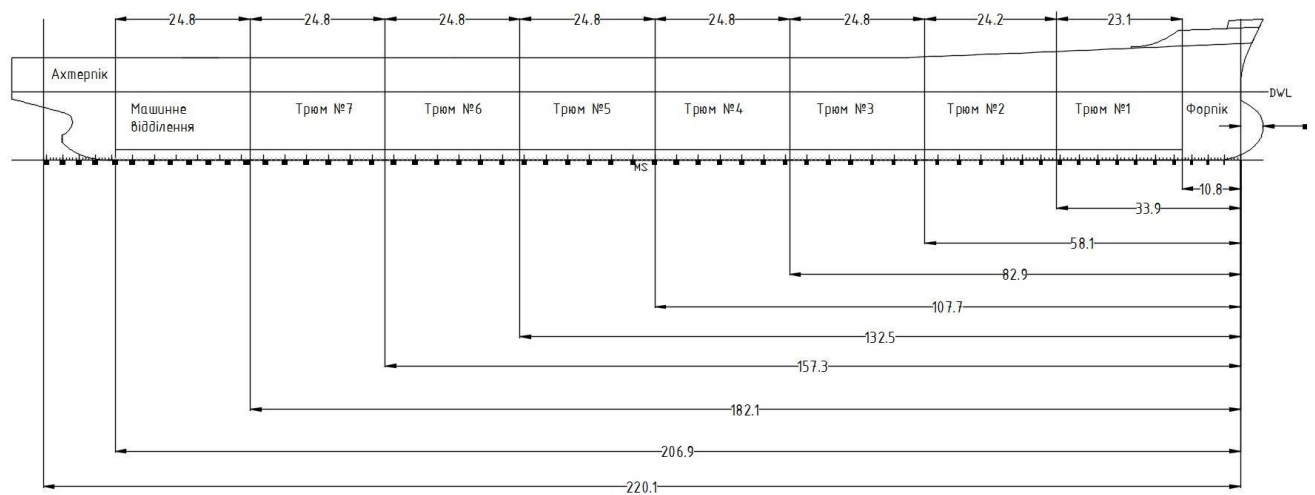
Відповідно до вимог класифікаційного товариства [12] здійснено:

Вибір шпаций судна, системи набору перекриттів корпусу судна, марки і категорії сталі, креслення обводів мідель-шпангоута, виконано урахування зносу і корозії в'язей корпусу;

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

Загальна поздовжня міцність судна

Проектування елементів конструкцій корпусу судна за Правилами Регістру: зовнішньої обшивки корпусу, настилу верхньої палуби, настилу внутрішнього дна, конструкцій набору подвійного дна, конструкцій флорів, конструкцій вертикального кіля і днищевих стрингерів, балок основного набору подвійного дна, конструкцій набору подвійного борту.



3.2 Розрахунок необхідного моменту опору за Правилами Регістру

Розрахункова висота хвилі:

$$C_W = 10,75 - \left[\frac{300 - L^{1,5}}{100} \right] = 10,04$$

Згинальний момент на тихій воді:

$$M_{SW} = \pm 76 \cdot C_W \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3} \\ = \pm 76 \cdot 10,04 \cdot 31,46 \cdot 220,1^2 \cdot (0,827 + 0,7) \cdot 10^{-3} = 1775764 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Хвильовий згинальний момент (перегин):

$$M_{W,hog} = 190 \cdot C_W \cdot B \cdot L^2 \cdot C_b \cdot 10^{-3} = 190 \cdot 10,04 \cdot 31,46 \cdot 220,1^2 \cdot 0,827 \\ = 2404316 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Хвильовий згинальний момент (прогин):

$$M_{W,hog} = -110 \cdot C_W \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3} \\ = -110 \cdot 10,04 \cdot 31,46 \cdot 220,1^2 \cdot (0,827 + 0,7) \cdot 10^{-3} \\ = -2570184 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Сумарний згинальний момент (розрахунковий):

$$M = M_{SW} + M_{W,hog} = 1775764 + 2570184 = 4345948 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Допустимі напруження:

$$\sigma = \frac{R_{eH}}{\eta} = \frac{235}{0,68} = 345,6 \text{ МПа}$$

Необхідний момент опору поперечного перерізу корпусу:

					24.135.4111.04.ПЗ	45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$W_{\text{потр}} = \frac{M \cdot 10^3}{\sigma} = \frac{4345948 \cdot 10^{-3}}{345,6} = 12,58 \text{ м}^3$$

Необхідний момент інерції поперечного перерізу корпусу:

$$I_{\text{потр}} = 0,03 \cdot W_{\text{потр}} \cdot L = 0,03 \cdot 12,58 \cdot 220,1 = 83,1 \text{ м}^4$$

3.3 Розрахунок зовнішніх навантажень на корпус від води

Зовнішні навантаження на корпус судна з боку води визначаються величиною статичного тиску P_{st} та хвильового тиску P_w . Ці навантаження необхідні для перевірки міцності зовнішньої обшивки, а також для визначення розрахункових тисків при проєктуванні конструкцій корпусу.

Розрахунковий статичний тиск визначається за формулою:

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

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

Для точки на рівні конструктивної ватерлінії ($Z_i = d = 12,52 \text{ м}$):

$$P_{st} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 12,52 = 125,9 \text{ кПа}$$

Для точки на днищі (зовнішня обшивка днища, $Z_i = d$):

$$P_{st} = 125,9 \text{ кПа}$$

Для точки на рівні середини висоти борту ($Z_i = 6,26 \text{ м}$):

$$P_{st} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 6,26 = 62,9 \text{ кПа}$$

Хвильовий тиск визначається залежно від положення точки прикладання навантаження відносно ватерлінії.

Для точок на рівні ватерлінії:

$$P_{w0} = 1,5 \cdot C_W \cdot a_v \cdot a_x, \text{ кПа}$$

де $C_W = 10,04 \text{ м}$ — розрахункова висота хвилі; a_v — коефіцієнт, що враховує швидкість судна; a_x — коефіцієнт, що враховує положення поперечного перерізу вздовж довжини судна.

					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

Згідно з рекомендаціями Правил, для розрахунків приймаємо $a_v \cdot a_x = 0,6$ (для носової частини судна при швидкості 14,3 вузла).

Маємо:

$$P_{w0} = 5 \cdot C_w \cdot a_v \cdot a_x = 5 \cdot 10,04 \cdot 0,6 = 30,1 \text{ кПа}$$

Для точок нижче ватерлінії:

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

де Z_i — заглиблення точки нижче ватерлінії, м; $d = 12,52$ м — осадка судна.

Для точки на днищі ($Z_i = d = 12,52$ м):

$$P_w = 30,1 - 1,5 \cdot 10,04 \cdot \frac{12,52}{12,52} = 30,1 - 15,1 = 15,0 \text{ кПа}$$

Оскільки отримане значення менше за мінімально допустиме за Правилами, приймаємо мінімальне значення хвильового тиску $P_{w,min} = 15,0$ кПа.

Для точок вище ватерлінії (борт у надводній частині):

Z_i — висота точки над ватерлінією, м; $D = 18,89$ м — висота борту; $d = 12,52$ м — осадка.

Для точки на рівні верхньої палуби ($Z_i = D - d = 6,37$ м):

$$P_w = 30,1 - 7,5 \cdot a_x \cdot z_i = 30,1 - 7,5 \cdot 0,267 \cdot 6,37 = 17,3 \text{ кПа}$$

Розрахунковий тиск на днищеву обшивку визначається за формулою:

$$P_{\text{дн}} = P_{st} + P_w = 125,9 + 15,0 = 140,9 \text{ кПа}$$

Маємо:

$$P_{\text{дн}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (12,52 + 1,03) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 13,55 = 136,2 \text{ кПа}$$

Результати розрахунків зовнішніх навантажень зведено до таблиці 3.1.

					24.135.4111.04.ПЗ	47
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Найменування тиску	Позначення	Значення, кПа
Статичний тиск на рівні осадки	P_{st}	125,9
Хвильовий тиск на рівні ватерлінії	P_{w0}	30,1
Хвильовий тиск на днище	P_w	15,0
Розрахунковий тиск на днищеву обшивку	$P_{дн}$	140,9

Таблиця 3.1 — Зовнішні навантаження на корпус від води

3.4. Розрахунок еквівалентного бруса та перевірка загальної міцності

№ п/п	Найменування та розміри в'язів			Площа перерізу в'язі, F , см^2	Відстань центра ваги площі перерізу в'язі від порівняльної осі, z , м	Статичний момент відн. осі порівн.. $F \cdot z$, $\text{см}^2\text{м}$	Мом-т ин-ї відн. осі порівн. $F \cdot z^2$, $\text{см}^2\text{м}^2$	Власн. мом-т ин-ї, i , $\text{см}^2\text{м}^2$
	Найменування	Висота (Н)	Ширина (t)					
1	Ширстрек	1750	17	298	18,01	5358	96497	76
2	Пояс під ширстреком	3200	13	416	15,54	6465	100461	355
3	Пояси змінних ватерліній	8000	13	1040	9,94	10338	102756	5547
4	Надскуловий пояс	3750	15	563	4,07	2289	9318	659
5	Скуловий пояс	2600	15	390	0,59	230	136	220
6	Пояси зовнішньої обшивки днища	15	11852	1778	0	0	0	—
7	Горизонтальний кіль	17	1000	170	0	0	0	—
8	Горизонтальний кіль	13	1000	130	2	260	520	—
9	Вертикальний кіль	2000	6,5	130	1	130	130	43
10	Настил внутрішнього дна	13	10700	1391	2	2782	5564	—
11	Лист похилої стінки другого дна	3555	13	462	3,25	1502	4881	487
12	Днищевий стрингер (2 шт.)	2000	13	520	1	260	520	87
13	Днищевий стрингер (1 шт.)	2000	13	520	1	520	520	87
14	Ребро жорсткості стрингера (4 шт.)	246		153,0	0,66	101	67	—
15	Ребро жорсткості стрингера (4 шт.)	246		153,0	0,33	50	17	—

16	Балки основного набору другого дна (10 шт.)	30а	449	1,85	831	1537	—
17	Балки основного набору днища (10 шт.)	30б	420	0,15	63	9	—
18	Настил верхньої палуби	17	5195	883	18,89	16683	315136
19	Палубний стрингер	17	1500	255	18,89	4817	90992
20	Балки основного набору верхньої палуби (9 шт.)	22б	245	18,78	4597	86338	—
21	Балки основного набору похилого листа верхньої палуби (5 шт.)	18б	164	16,12	2640	42564	—
22	Балки основного набору підпалубної цистерни (4 шт.)	16б	101	16,89	1706	28812	—
23	Балки основного набору підпалубної цистерни (4 шт.)	16б	61	16,89	1024	17287	—
24	Балки основного набору підпалубної цистерни (2 шт.)	16б	40	17,89	723	12930	—
25	Поздовжній лист коридору	3625	13	471	17	8011	136191
26	Подвійний борт	10390	13	1351	9,69	13088	126825
27	Похилий лист підпалубної цистерни	5986	13	778	15,89	6183	196484
	Сума			13331		90651	1399044

Таблиця 6.7 Розрахунок еквівалентного бруса

Відстань центру ваги еквівалентного бруса від осі порівняння

$$e = \frac{\Sigma Z}{\Sigma 1} = \frac{90651}{13331} = 6,8 \text{ м}$$

Момент інерції еквівалентного бруса відносно нейтральної вісі

$$I = 2 \cdot [(\Sigma 3 + \Sigma 4) - e^2 \cdot \Sigma 1] = 2 \cdot [(1399044) - 6,8^2 \cdot 13331] = 156,52 \cdot 10^8 \text{ см}^4 = 156,5 \text{ м}^4$$

Момент опору днища

$$W_{\text{дн}} = \frac{I}{e} = \frac{156,52 \cdot 10^8}{6,8} = 23,02 \cdot 10^6 \text{ см}^3$$

Момент опору палуби

$$W_n = \frac{I}{D-e} = \frac{156,52 \cdot 10^8}{18,89-6,8} = 12,94 \cdot 10^6 \text{ см}^3$$

Визначені розрахунком величини фактичних моментів опору верхньої палуби і днища порівняємо з моментами опору, які були розраховані за формулами Правил Регістру: $W_{номр} = 12,58 \text{ м}^3$, $I_{номр} = 83,1 \text{ м}^4$

Загальна поздовжня міцність корпусу судна є забезпеченою, якщо

$$W_{дн} \geq W_{номр}; W_n \geq W_{номр}; I \geq W_{номр};$$

Ці вимоги виконуються. Загальна поздовжня міцність корпусу судна є забезпеченою.

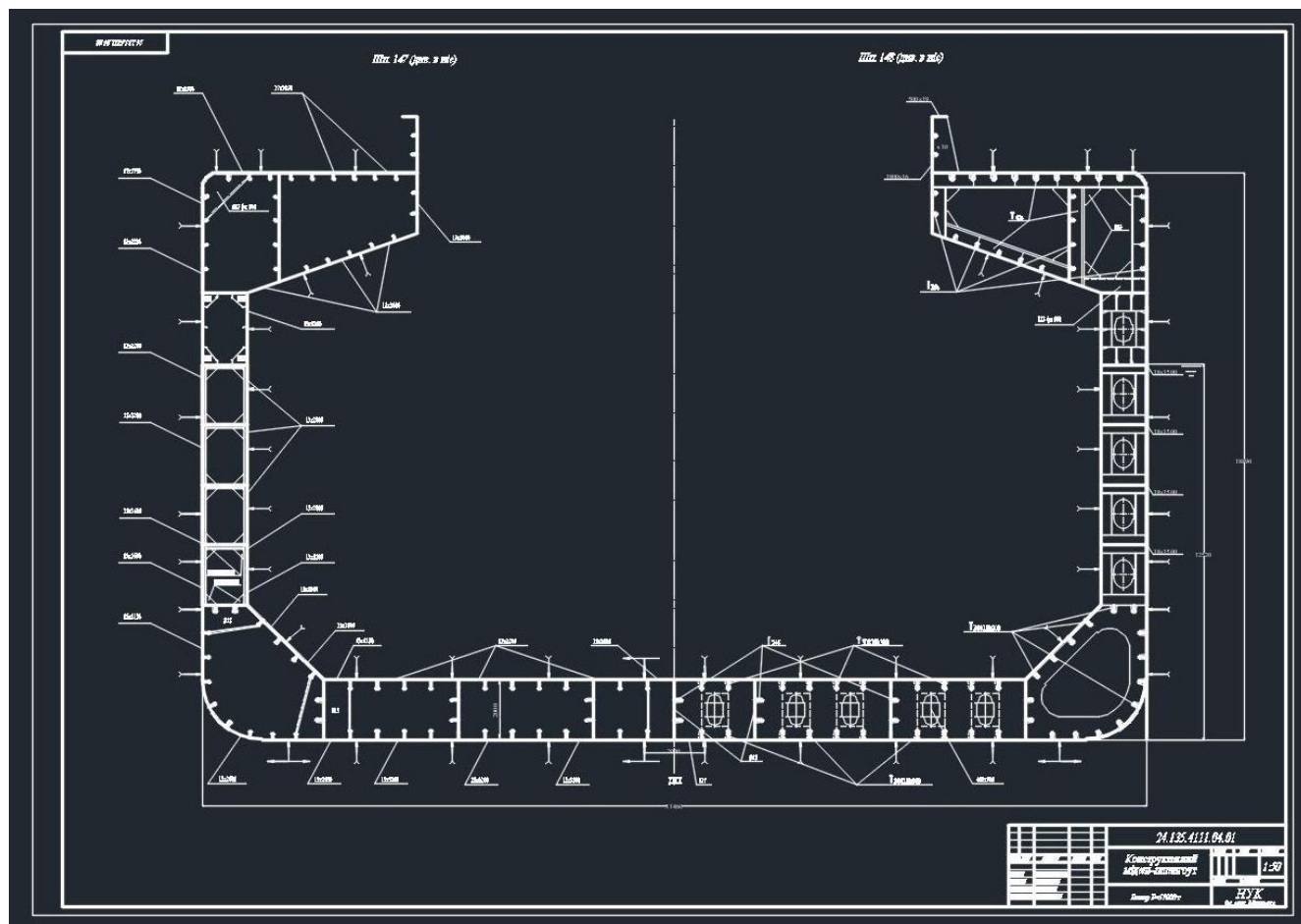


Рисунок 3.1 Креслення загального розташування судна

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи на тему «Проектування балкера вантажопідйомністю 56900 тонн» було розроблено технічний проєкт (клас-проєкт) судна для перевезення навалочних вантажів, зокрема пшениці, на маршруті 15500 миль. Робота виконана відповідно до завдання кафедри теорії та проектування суден Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова на основі сучасних підходів до суднобудування, концепції Shipbuilding 4.0 та з використанням сертифікованого програмного забезпечення Maxsurf (Modeler Advanced, Stability Advanced).

На першому етапі роботи було проведено аналіз сучасних тенденцій розвитку світового балкерного флоту. Встановлено, що ключовими напрямками еволюції є зростання розмірів і вантажопідйомності, впровадження енергоефективних технологій, посилення екологічних вимог (зокрема, щодо викидів NO_x та SO_x), автоматизація та використання альтернативних видів палива. Цей аналіз дозволив обґрунтувати вибір головних параметрів судна та необхідність дотримання вимог Міжнародної морської організації (ІМО), особливо щодо рівнів Tier II/Tier III для головного двигуна.

На основі статистичних даних для суден, побудованих за останні 10 років, та за допомогою методу перерахунку з прототипу було визначено головні елементи балкера, які стали вихідними даними для технічного проектування: довжина по ватерлінії – 225,9 м, ширина – 31,46 м, осадка – 12,52 м, висота борту – 18,89 м, коефіцієнт загальної повноти – 0,827. Шляхом лінійної та параметричної трансформації 3D-моделі корпусу-аналога в Maxsurf Modeler Advanced було сформовано теоретичну поверхню корпусу проєктованого балкера, отримано теоретичне креслення (проекції «бік», «напівширота», «корпус») та виконано розрахунок гідростатичних параметрів. Отримана водотоннажність (75448 т) збіглася із заданою, що підтвердило коректність трансформації.

Розрахунки статички судна, виконані в Maxsurf Stability Advanced, дозволили отримати криві елементів теоретичного креслення (гідростатичні криві, криві форми) та перевірити вимоги до вантажної марки згідно з «Правилами про

					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		51

вантажну марку морських суден» Регістру судноплавства. Розрахункова висота надводного борту склала 6,373 м, що значно перевищує мінімально допустиме значення 2,5 м для судна типу «В» довжиною 220,1 м. Це забезпечує достатній запас плавучості та дозволяє визначити максимально допустиму осадку (16,393 м).

Для оцінки місткості в Maxsurf Stability було створено внутрішні приміщення: сім вантажних трюмів (для перевезення основного вантажу), цистерни баластної системи (у подвійному дні), цистерни антикренової системи (у подвійних бортах) та машинне відділення. Розрахунок місткості (Tank Calibration) підтвердив, що сумарний об'єм трюмів достатній для розміщення 56900 тонн насипного вантажу.

Розрахунок навантаження мас виконано для трьох характерних варіантів: «Design Draft» (проектна осадка), «Cargo_100% +100% Fuel_Oil_FWater» (повне завантаження вантажем, паливом, оливою та прісною водою) та баластні переходи. Координати центра ваги судна ($VCG = 10,94$ м) та результати удиферентування показали, що судно має прийнятну посадку без надмірного диференту на корму чи ніс, що важливо для забезпечення керованості та безпеки мореплавства.

Центральним розділом роботи стала перевірка остійності балкера – як для непошкодженого, так і для пошкодженого стану (затоплення машинного відділення). Розрахунки виконано за критеріями ІМО (критерій погоди, критерії діаграми статичної остійності). Для варіанта навантаження «Design Draft» амплітуда хитавиці склала $20,62^\circ$, критерій погоди $K = 3,59$ (значно більше мінімального значення 1), що підтверджує остійність судна при штормових умовах. У пошкодженому стані (затоплення машинного відсіку) всі критерії остійності також виконуються – судно залишається на плаву з прийнятним креном та запасом остійності. Це свідчить про раціональний поділ корпусу водонепроникними перегородками та відповідність вимогам до непотоплюваності.

Розрахунки ходкості показали, що судно здатне підтримувати експлуатаційну швидкість 14,3 вузла при заданій потужності енергетичної установки, з урахуванням запасу на хвилювання та обростання корпусу.

У розділі, присвяченому конструктивній міцності, виконано проєктування конструктивного мідель-шпангоута згідно з Правилами Регістру. Вибрано шпацию,

					24.135.4111.04.ПЗ	52
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

систему набору (поздовжню в середній частині корпусу), марку сталі (категорії А, D, Е залежно від зони навантаження). Враховано корозійний знос шляхом збільшення товщини листових елементів. Визначено розрахункові навантаження: зовнішні (гідростатичний тиск заборотної води, хвильові навантаження) та внутрішні (тиск від вантажу). Розрахунок еквівалентного бруса дозволив обчислити фактичний момент інерції поперечного перерізу корпусу ($156,52 \cdot 10^6 \text{ см}^4$) та моменти опору днища ($23,02 \cdot 10^6 \text{ см}^3$) і палуби ($12,94 \cdot 10^6 \text{ см}^3$). Порівняння з потрібними за Правилами значеннями ($W_{\text{потр}} = 282900 \text{ см}^3$, $I_{\text{потр}} = 1867800 \text{ см}^4$) підтвердило, що загальна поздовжня міцність корпусу є забезпеченою з великим запасом.

Для формування уявлення про зовнішній вигляд судна 3D-модель корпусу було доопрацьовано засобами рендерингу в Maxsurf. Це дозволило візуалізувати архітектурно-конструктивний тип судна: чотирьохпалубний балкер з бульбовим носом, транцевою кормою, сімома трюмами, кормовим розташуванням машинного відділення та надбудови.

Таким чином, у результаті виконання роботи було досягнуто всіх поставлених цілей:

- розроблено технічний проєкт (клас-проєкт) балкера вантажопідйомністю 56900 тонн;
- визначено та перевірено всі ключові морехідні якості: плавучість, остійність (статичну та при великих кутах крену), непотоплюваність (при затопленні машинного відсіку), ходкість та керованість;
- оцінено місткість судна та достатність внутрішніх об’ємів;
- розраховано загальну поздовжню міцність корпусу та спроектовано конструктивний мідель-шпангоут;

Розроблений балкер може бути рекомендований для будівництва на вітчизняних суднобудівних підприємствах для роботи на внутрішніх та міжнародних лініях перевезення навалочних вантажів. Застосування сучасних чисельних технологій (Maxsurf, HydroComp) забезпечило високу точність проєктних рішень, зменшило ризики помилок та скоротило час проєктування.

					24.135.4111.04.ПЗ	53
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Завдання кафедри теорії та проєктування суден виконано в повному обсязі. Результати роботи можуть бути використані як основа для подальшого робочого проєктування, а також у навчальному процесі при підготовці фахівців за спеціальністю «Суднобудування».

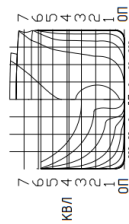
					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Deschamps, L. Integrating Cost Estimating with the Ship Design Process. / L. Deschamps, C. Greenwell. – USA: SPAR Associates, Inc., 2009. – 24 p.
2. Marine Power Solutions, MAN, 2021.
3. Maxsurf Enterprise V8i, Bentley Engineering, 2013.
4. Nekrasov, V. Conceptual Designing of Ships: monograph / Valeriy Nekrasov. – Kyiv-Kherson: Oldi-Plus, 2019. – 112 p. (in English).
5. Nitrogen Oxides (NO_x) – Regulation 13. IMO. (Електронне джерело) Режим доступу: [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx) (Дата звернення: 23.04.2026 р.).
6. Papanikolaou A.D. Ship Design. Methodologies of Preliminary Design, - Springer Dordrecht, The Netherlands, 2014, ISBN 978-94-017-8751-2.
7. Product-Oriented Design and Construction Cost Model [Text] / K. J. Ennis, J. J. Dougherty, T. Lamb, C. R. Greenwell, R. Zimmermann // SNAME : Ship Production Symposium. – New Orleans, Louisiana, April 21–23, 1997. – 17 p.
8. Некрасов В.О. Оцінювання вартості та строків будівництва кораблів та суден. Навчальний посібник з курсу лекцій «Моделі функціонування суден», Миколаїв, НУК, 2017 р.
9. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України. – Розробник А. О. Білокурець, Київ, 2020. Режим доступу: <https://www.shipregister.ua/wp-content/uploads/2022/09/PVM2020.pdf> (Дата звернення 08.04.2026 р.).
10. Довідник з теорії корабля. У трьох томах. – Суднобудування, 1985.
11. HydroComp PropExpert, Propeller selection program, 2005.
12. Проектування конструктивного мідель-шпангоута суховантажних суден: Методичні вказівки / В.Г. Матвєєв, А.І. Кузнєцов, Б.М. Мартинець, О.М. Михайлов, О.М. Узлов, М.О. Цибенко, Г.В. Шарун. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 76 с.

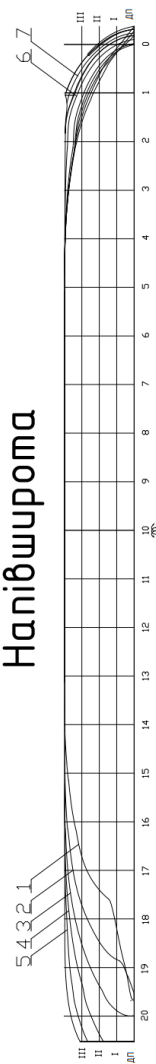
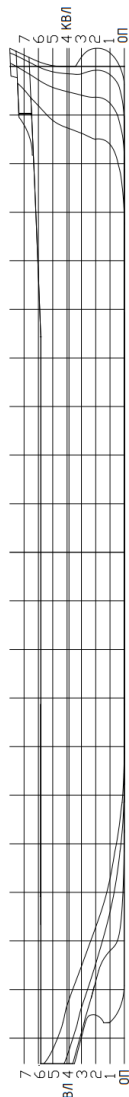
					24.135.4111.04.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

Корпус

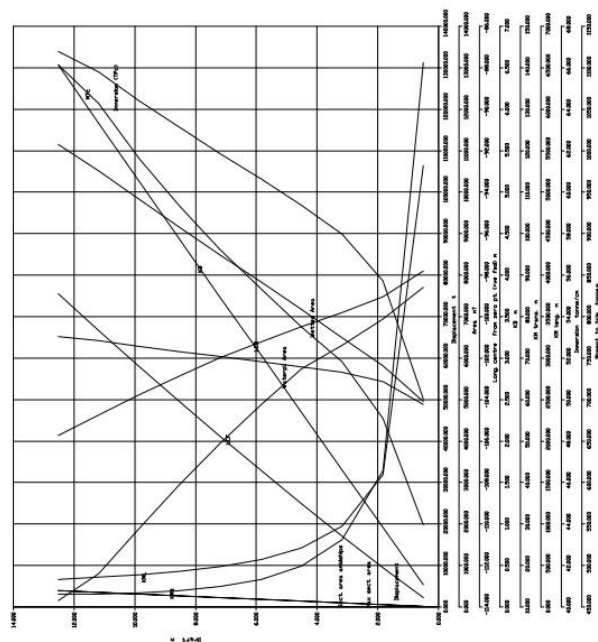
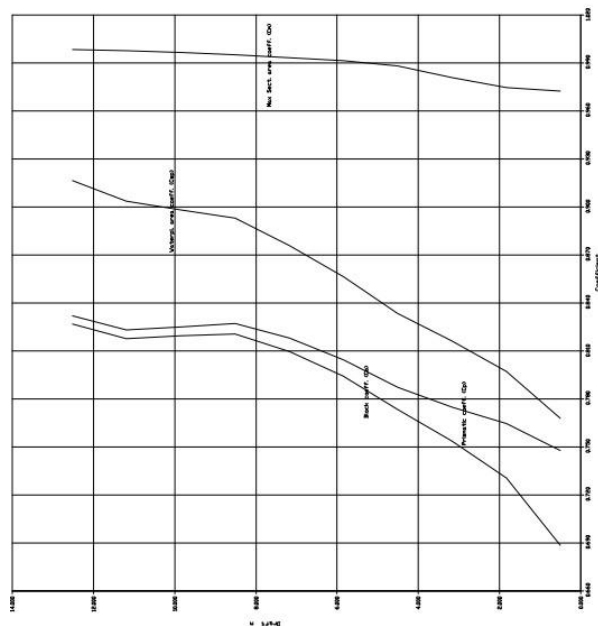


Головні розміри судна:
 Довжина надбавка
 Довжина між перпендикулярами
 Ширина
 Ширина КВЛ
 Висота борту
 Коэффициент
 - засалюючі поверхні
 - поверхні площі ватерлінії
 - поверхні площі мідель-шпангоута

Напівширомота

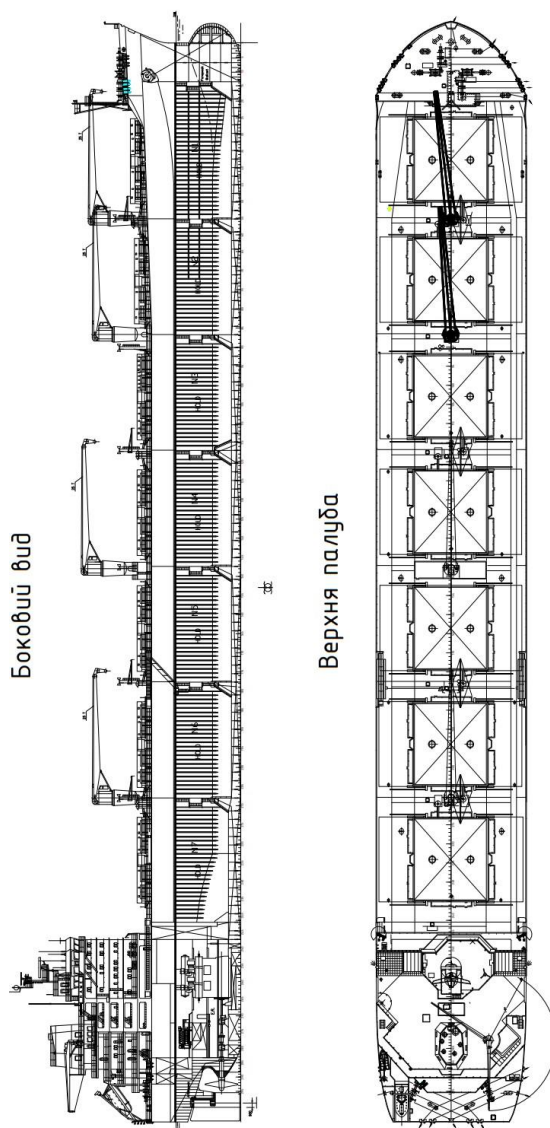


					24.135.4111.04.01.ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Теоретичне креслення			Літ.		Маса	Масштаб	
												1:100
Студент	Боровицький А.В.											
Консультант	Астахова А.О.											
Керівник	Ястреба О.П.							Арк. 1		Аркушів 5		
Зав каф.	Некрасов В.О.				Суховантажне судно Р=56900 т			НУК ім. адм. Макарова				



LCB - абсциса центра величини
KB - апскага центра величини
LCF - абсциса центра тяжіння площі ватерліній
KMi - апскага поперечного метacentра
BMi - поперечний метacentричний радус
BmI - позовжний метacentричний радус
Volume - об'єм судна
Displacement - масова водотонажність судна
Waterplane Area - площа ватерліній
C_b - коефіцієнт загальної повноти
C_m - коефіцієнт повноти мідель - шпангоута
C_{wp} - коефіцієнт повноти площі ватерліній
C_p - коефіцієнт повздовжної повноти

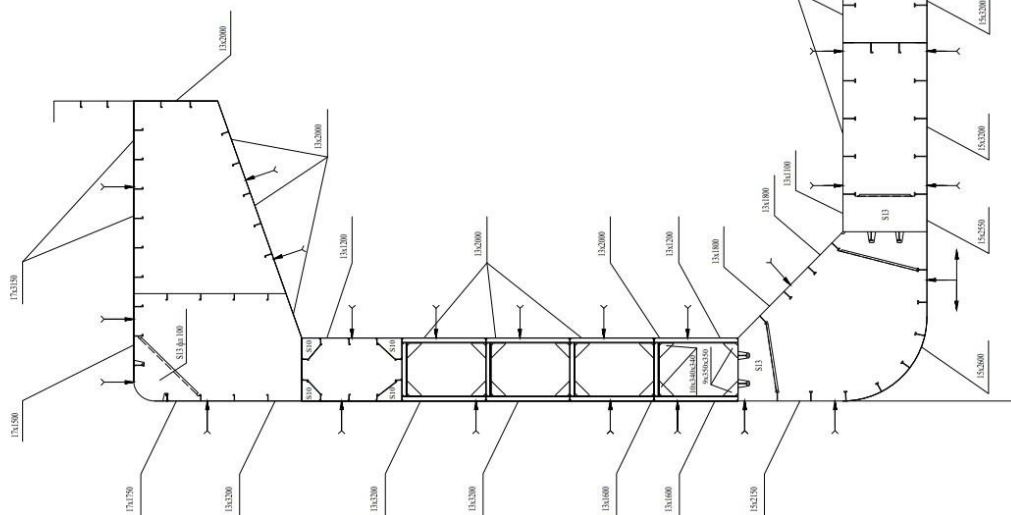
					24.135.4111.04.02.ПЗ							
					Гідростатичні криві	Літ.			Маса		Масштаб	
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Гідростатичні криві	Літ.			Маса		Масштаб	
Студент		Боровицький А.В.										
Консультант		Пашенко Ю.М.										
Керівник		Ястреба О.П.										
Зав каф.		Некрасов В.О.			Суховантажне судно P=56900 т	Арк. 2			Аркушів 5			
						НУК ім. адм. Макарова						
						НУК ім. адм. Макарова						



Головні розміри судна:
 Довжина надбавка
 Довжина між перпендикулярами
 Ширина
 Осадка по КВЛ
 Висота борту
 Коефіцієнти
 - загальної повноти
 - повноти площі батерейні
 - повноти площі мідел-шпансугла

$L_{\text{н}}=230 \text{ м}$
 $L_{\text{м}}=220.1 \text{ м}$
 $B=31.46 \text{ м}$
 $T=12.52 \text{ м}$
 $H=18.89 \text{ м}$
 $C_b=0.827$
 $C_{\text{м}}=0.91$
 $C_{\text{п}}=0.991$

					24.135.4111.04.04.ПЗ										
					Креслення загального розташування					Літ.		Маса	Масштаб		
															1:100
										Арк. 4			Аркушів 5		
										Суховантажне судно Р=56900 т					НУК ім. адм. Макарова
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата											
Студент		Боровицький А.В.													
Консультант		Астахова А.О.													
Керівник		Ястреба О.П.													
Зав каф.		Некрасов В.О.													



The floor plan shows a building with a total width of 18800 and a total depth of 12200. The layout includes a large central hall with a curved section on the right. Key structural elements and dimensions are labeled:

- Entrance:** Located at the bottom left, with a width of 5000x10 and a depth of 10000x16.
- Central Hall:** The main area with a width of 18800 and a depth of 12200. It contains several columns and beams.
- Curved Section:** A curved section on the right side of the hall, with a radius of 40000.
- Stairs:** Located in the bottom right corner, with a width of 2800 and a depth of 3000.
- Structural Labels:** Various labels such as S11, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S20, S21, S22, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S30, S31, S32, S33, S34, S35, S36, S37, S38, S39, S40, S41, S42, S43, S44, S45, S46, S47, S48, S49, S50, S51, S52, S53, S54, S55, S56, S57, S58, S59, S60, S61, S62, S63, S64, S65, S66, S67, S68, S69, S70, S71, S72, S73, S74, S75, S76, S77, S78, S79, S80, S81, S82, S83, S84, S85, S86, S87, S88, S89, S90, S91, S92, S93, S94, S95, S96, S97, S98, S99, S100, S101, S102, S103, S104, S105, S106, S107, S108, S109, S110, S111, S112, S113, S114, S115, S116, S117, S118, S119, S120, S121, S122, S123, S124, S125, S126, S127, S128, S129, S130, S131, S132, S133, S134, S135, S136, S137, S138, S139, S140, S141, S142, S143, S144, S145, S146, S147, S148, S149, S150, S151, S152, S153, S154, S155, S156, S157, S158, S159, S160, S161, S162, S163, S164, S165, S166, S167, S168, S169, S170, S171, S172, S173, S174, S175, S176, S177, S178, S179, S180, S181, S182, S183, S184, S185, S186, S187, S188, S189, S190, S191, S192, S193, S194, S195, S196, S197, S198, S199, S200, S201, S202, S203, S204, S205, S206, S207, S208, S209, S210, S211, S212, S213, S214, S215, S216, S217, S218, S219, S220, S221, S222, S223, S224, S225, S226, S227, S228, S229, S230, S231, S232, S233, S234, S235, S236, S237, S238, S239, S240, S241, S242, S243, S244, S245, S246, S247, S248, S249, S250, S251, S252, S253, S254, S255, S256, S257, S258, S259, S260, S261, S262, S263, S264, S265, S266, S267, S268, S269, S270, S271, S272, S273, S274, S275, S276, S277, S278, S279, S280, S281, S282, S283, S284, S285, S286, S287, S288, S289, S290, S291, S292, S293, S294, S295, S296, S297, S298, S299, S300, S301, S302, S303, S304, S305, S306, S307, S308, S309, S310, S311, S312, S313, S314, S315, S316, S317, S318, S319, S320, S321, S322, S323, S324, S325, S326, S327, S328, S329, S330, S331, S332, S333, S334, S335, S336, S337, S338, S339, S340, S341, S342, S343, S344, S345, S346, S347, S348, S349, S350, S351, S352, S353, S354, S355, S356, S357, S358, S359, S360, S361, S362, S363, S364, S365, S366, S367, S368, S369, S370, S371, S372, S373, S374, S375, S376, S377, S378, S379, S380, S381, S382, S383, S384, S385, S386, S387, S388, S389, S390, S391, S392, S393, S394, S395, S396, S397, S398, S399, S400, S401, S402, S403, S404, S405, S406, S407, S408, S409, S410, S411, S412, S413, S414, S415, S416, S417, S418, S419, S420, S421, S422, S423, S424, S425, S426, S427, S428, S429, S430, S431, S432, S433, S434, S435, S436, S437, S438, S439, S440, S441, S442, S443, S444, S445, S446, S447, S448, S449, S450, S451, S452, S453, S454, S455, S456, S457, S458, S459, S460, S461, S462, S463, S464, S465, S466, S467, S468, S469, S470, S471, S472, S473, S474, S475, S476, S477, S478, S479, S480, S481, S482, S483, S484, S485, S486, S487, S488, S489, S490, S491, S492, S493, S494, S495, S496, S497, S498, S499, S500, S501, S502, S503, S504, S505, S506, S507, S508, S509, S510, S511, S512, S513, S514, S515, S516, S517, S518, S519, S520, S521, S522, S523, S524, S525, S526, S527, S528, S529, S530, S531, S532, S533, S534, S535, S536, S537, S538, S539, S540, S541, S542, S543, S544, S545, S546, S547, S548, S549, S550, S551, S552, S553, S554, S555, S556, S557, S558, S559, S560, S561, S562, S563, S564, S565, S566, S567, S568, S569, S570, S571, S572, S573, S574, S575, S576, S577, S578, S579, S580, S581, S582, S583, S584, S585, S586, S587, S588, S589, S590, S591, S592, S593, S594, S595, S596, S597, S598, S599, S600, S601, S602, S603, S604, S605, S606, S607, S608, S609, S610, S611, S612, S613, S614, S615, S616, S617, S618, S619, S620, S621, S622, S623, S624, S625, S626, S627, S628, S629, S630, S631, S632, S633, S634, S635, S636, S637, S638, S639, S640, S641, S642, S643, S644, S645, S646, S647, S648, S649, S650, S651, S652, S653, S654, S655, S656, S657, S658, S659, S660, S661, S662, S663, S664, S665, S666, S667, S668, S669, S670, S671, S672, S673, S674, S675, S676, S677, S678, S679, S680, S681, S682, S683, S684, S685, S686, S687, S688, S689, S690, S691, S692, S693, S694, S695, S696, S697, S698, S699, S700, S701, S702, S703, S704, S705, S706, S707, S708, S709, S710, S711, S712, S713, S714, S715, S716, S717, S718, S719, S720, S721, S722, S723, S724, S725, S726, S727, S728, S729, S730, S731, S732, S733, S734, S735, S736, S737, S738, S739, S740, S741, S742, S743, S744, S745, S746, S747, S748, S749, S750, S751, S752, S753, S754, S755, S756, S757, S758, S759, S760, S761, S762, S763, S764, S765, S766, S767, S768, S769, S770, S771, S772, S773, S774, S775, S776, S777, S778, S779, S780, S781, S782, S783, S784, S785, S786, S787, S788, S789, S790,

					24.135.4111.04.05.ПЗ											
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Креслення мідель-шпангоута						Літ.		Маса	Масштаб		
																1:100
Студент	Боровицький А.В.															
Консультант	Шарун Г.В.															
Керівник	Ястреба О.П.															
Зав каф.	Некрасов В.О.				Суховантажне судно Р=56900 т						Арк. 5		Аркушів 5			
											НУК ім. адм. Макарова					