

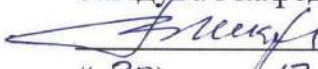
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кораблебудівний навчально науковий інститут
Кафедра теорії та проектування суден

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри, д.т.н. професор

 В.О. Некрасов

« 20 » 12 2024 р.

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

Концептуальне проектування суховантажного судна
вантажопідйомністю 11000 тонн
та дослідження його ефективності і надійності

Виконав:

 студент 6112м групи

Максименко Єлизавета Андріївна

(підпис)

Керівник роботи:

доктор техн. наук, професор

(посада, науковий ступень вчене звання)

Некрасов В.О.

(підпис)



Рецензент:

старший викл.кафедри будівельної механіки та
конструкції корпусу корабля

Шарун Г.В.

(підпис)



Миколаїв – 2024 р

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

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 к.т.н., професор Бондаренко В.О.
«12»092024 року

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

Студенту Максименко Єлизаветі Андріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Концептуальне проектування балкера вантажопідйомністю 11000 тонн та дослідження його ефективності і надійності

Керівник роботи Некрасов В.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора № від « » 2024 року

2. Термін подання роботи: 20.12.2024 р.

3. Вихідні дані по роботі:

3.1 Вантаж Пшениця, $\mu_v = 800 \text{ кг/м}^3$

3.2 Швидкість ~12.3 вузлів

3.3 Дальність плавання 1730 миль

3.4 Район плавання Південний-Марсель

3.5 Додаткові вимоги проведення комплексу варіантних розрахунків з метою визначення оптимальних характеристик балкера

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

4.1. Вибір основних елементів судна, визначення його ефективності

4.1.1. Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів

4.1.2. Аналіз методів вибору основних елементів балкера

4.1.3. Продукт-орієнтоване проектування балкерів

4.1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт - ESWBS

4.1.3.2 Формування CER для будівництва балкера

4.1.3.3. Визначення вартості робіт з проектування і побудови балкера

4.1.4 Систем-орієнтоване проектування балкера

4.1.4.1. Моделі віртуальних просторів експлуатації балкера

4.1.4.2 Модель інженерно-навігаційних властивостей балкера

4.1.4.3 Модель експлуатації балкера

4.1.4.3.1 Імовірнісні характеристики надійності балкера

4.1.4.3.2 Імовірнісні характеристики ефективності балкера

- 4.1.4.3.3 Складні показники ефективності та надійності балкера
- 4.1.5. Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера
- 4.1.6. Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації
- 4.1.7. Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації
- 4.1.8. Концептуальний проєкт балкера

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

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата			
		Завдання видано		Завдання прийнято	
4.1	Некрасов В.О., професор	12.09.2024			
4.2	Пашенко Ю.М., доцент	12.09.2024			

7. Дата видачі завдання 12.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проектування	Тривалість етапів проєкту (роботи)	Примітка
4.1.	Вибір основних елементів судна та визначення його ефективності		
4.1.1.	Огляд основних тенденцій у розвитку флоту балкарів	17.09.2024	
4.1.2.	Аналіз методів вибору основних елементів балкара	24.09.2024	
4.1.3.	Продукт-орієнтоване проектування балкара	30.09.2024	
4.1.4.	Систем-орієнтоване проектування балкера	07.10.2024	
4.1.5.	Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів	14.10.2024	
4.1.6.	Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації	21.10.2024	
4.1.7.	Програмний комплекс для вирішення проблеми оптимізації	28.10.2024	
4.1.8.	Дослідницький проєкт балкара	05.11.2024	
4.2.	Дослідження морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності		
4.2.1.	Формування теоретичної поверхні балкара	07.11.2024	
4.2.2.	Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення)	12.11.2024	
4.2.3.	Розрахунок стійкості при великих кутах нахилу	15.11.2024	
4.2.4.	Розрахунок ходовості балкара	17.11.2024	
4.2.5.	Технічний проєкт балкара	08.12.2024	
4.2.6.	Пояснювальна записка	14.12.2024	
4.2.7.	Презентація	20.12.2024	

Студент  Максименко Єлизавета Андріївна
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи  Некрасов Валерій Олександрович
(підпис) (ПІБ)

АНОТАЦІЯ

На засадах завдання Кафедри теорії та проектування суден у дипломній роботі досліджено два етапи процесу проектування судна: концептуальне (дослідне, оптимізаційне) та технічне проектування балкера для експлуатації на лінії Південний – Марсель (Чорне море - Середземне море).

Проаналізовано сучасні тенденції розвитку світового флоту балкерів та розглянуто оптимізаційну задачу стохастичного концептуального проектування балкера для транспортування зерна з України на ринки Франції, яка вирішує проблему вибору його головних розмірів за допомогою використання методів теорії ймовірності. Ці дані були представлені у вигляді таблиць, які використовувалися для попереднього визначення основних характеристик проектного балкера та формування початкових умов для пошуку оптимальних параметрів у задачі оптимізації проектування. Оптимізацію виконано по критерію максимуму прибутку при різних фрахтових ставках, що обумовлені транспортуванням зерна у різний час – мирний та воєнний. Проведено дослідження впливу цього фактору на значення головних елементів балкера та показники ефективності та надійності його експлуатації.

В процесі розробки концептуального проекту були виконані наступні основні етапи:

- формування моделей експлуатаційних та навігаційних характеристик балкера для оцінки його функціональних можливостей в умовах Чорного та Середземного морів;
- моделювання експлуатаційних процесів балкера в цих умовах та постановка задач функціонування;
- визначення показників ефективності та надійності функціональних операцій балкера за допомогою сучасних методів дослідження;
- постановка та розв'язання задачі оптимізації вибору основних елементів балкера, із поглинанням його в робоче середовище та зупинкою процесу оптимізації при досягненні максимальних значень ефективності та надійності.

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Розміри балкера були визначені за допомогою адаптованої програми оптимізації Кафедри теорії та проектування суден, де оптимізаційним критерієм було обрано максимальний прибуток від експлуатації судна, що дозволило оцінити ефективність транспортних операцій на заданій лінії.

Концептуальне рішення передбачає балкер вантажопідйомністю 11 000 тонн пшениці з однопалубною архітектурною конструкцією, чотирма трюмами, бульбовим носом, транцевою кормою та надбудовами, а також машинним відділенням, розташованим в кормі. В концептувальній частині проектування балкера було досліджено вплив воєнного часу на проектне рішення, в якому враховано зміни фрахтових ставок, індексів страхування, заробітної плати екіпажа, цін на матеріали, обладнання, паливо, постачання та інших компонентів масового навантаження судна, в порівнянні з мирним часом.

На етапі технічного проектування розроблено частину клас-проекту, що відповідає вимогам класифікаційного товариства. Підтверджено, що концептуальне рішення відповідає вимогам до експлуатаційної надійності судна. Також була побудована 3D-модель балкера, на основі якої виконано розрахунки плавучості, остійності, непотоплюваності та ходовості за допомогою програмного забезпечення Maxsurf. Для покращення характеристик ходовості використано програми HydroComp PropExpert та PropCad для проектування гребного гвинта та вибору економічного й екологічного двигуна. Для наочного уявлення про зовнішній вигляд судна з вантажем та надбудовами, була доопрацьована 3D-модель за допомогою рендерінга в Maxsurf.

Розробка концептуального та технічного проекту балкера, призначеного для експлуатації на лінії Південний - Марсель, відповідає завданням Кафедри теорії та проектування суден щодо забезпечення економічної ефективності проектного рішення та вимогам Міжнародної морської організації (ІМО) до основних морехідних якостей судна – плавучість, остійність, непотоплюваність та ходовість, що гарантує його експлуатаційну надійність.

Ключові слова: проектування, дослідження морехідних якостей, концептуальний проект судна.

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Annotation

Based on the task of the Department of Ship Theory and Design, this thesis investigates two stages of the ship design process: conceptual (experimental, optimization) and technical design of a bulk carrier for operation on the South – Marseille route (Black Sea - Mediterranean Sea).

The thesis analyzes modern trends in the development of the global bulk carrier fleet and examines the optimization problem of stochastic conceptual design of a bulk carrier for transporting grain from Ukraine to French markets. This problem solves the issue of selecting its main dimensions using probability theory methods. These data were presented in the form of tables, which were used for preliminary determination of the main characteristics of the designed bulk carrier and for forming initial conditions to search for optimal parameters in the design optimization task. The optimization was carried out according to the criterion of maximizing profit under different freight rates, which depend on the time of grain transportation – peace and wartime. The research examined the impact of this factor on the main elements of the bulk carrier and its operational efficiency and reliability indicators.

The conceptual design process included the following main stages:

- formation of models for the operational and navigational characteristics of the bulk carrier to assess its functional capabilities in the Black and Mediterranean Seas.
- simulation of the bulk carrier's operational processes in these conditions and formulation of operational tasks.
- determination of the efficiency and reliability indicators of the bulk carrier's functional operations using modern research methods.
- formulation and solution of the optimization problem for selecting the main elements of the bulk carrier, with its integration into the operating environment and stopping the optimization process upon achieving maximum values of efficiency and reliability.

The dimensions of the bulk carrier were determined using the adapted optimization program from the Department of Ship Theory and Design, where the optimization

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6

criterion was selected as the maximum profit from ship operation. This allowed the evaluation of the effectiveness of transport operations on the specified route.

The conceptual solution involves a bulk carrier with a carrying capacity of 11,000 tons of wheat, a single-deck architectural design, four holds, a bulbous bow, a transom stern, superstructures, and an engine room located at the stern.

At the technical design stage, part of the class project corresponding to the requirements of the classification society was developed. It was confirmed that the conceptual solution meets the requirements for the operational reliability of the ship. Additionally, a 3D model of the bulk carrier was created, based on which calculations of buoyancy, stability, unsinkability, and seaworthiness were carried out using Maxsurf software. To improve the seaworthiness characteristics, HydroComp PropExpert and PropCad programs were used for the design of the propeller and selection of an economical and ecological engine.

To provide a visual representation of the ship's appearance with cargo and superstructures, the 3D model was further developed with rendering in Maxsurf.

The development of the conceptual and technical design of the bulk carrier, intended for operation on the South – Marseille route, meets the tasks of the Department of Ship Theory and Design regarding the economic effectiveness of the design solution and the requirements of the International Maritime Organization (IMO) for the main seaworthiness qualities of the ship – buoyancy, stability, unsinkability, and seaworthiness, ensuring its operational reliability.

Keywords: Design, research of seaworthiness qualities, conceptual design of the vessel.

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	11
РОЗДІЛ 1 Вибір основних елементів судна, визначення його ефективності...	16
1.1 Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів	16
1.1.1 Загальний огляд.....	16
1.1.2 Огляд наявних статистичних даних щодо основних елементів балкерів.....	17
1.1.3 Збір та аналіз статистичних даних щодо основних елементів сучасних балкерів.....	19
1.1.4 Дотримання екологічних вимог.....	24
1.2 Аналіз методів вибору основних елементів балкера	25
1.2.1 Аналітичний метод.....	26
1.2.2 Метод порівняння	26
1.2.3 Метод послідовних наближень.....	27
1.2.4 Метод варіацій.....	28
1.2.5 Градієнтний метод	29
1.2.6 Метод випадкового пошуку	30
1.2.7 Метод Пауелла.....	30
1.2.8 Метод штрафних функцій	31
1.3 Продукт-орієнтоване проектування балкерів.....	32
1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт – система ESWBS	32
1.3.2 Формування CER для будівництва балкера	34
1.3.3 Визначення вартості робіт з проектування і побудови балкера.....	38
1.4 Систем-орієнтоване проектування балкера на інтервалах часу його ефективного використання	40
1.4.1 Моделі віртуальних просторів експлуатації балкера	40
1.4.2 Модель інженерно-навігаційних якостей балкера.....	46
1.4.3 Модель експлуатації балкера.....	48
1.5 Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера.....	54

1.6	Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації.....	58
1.7	Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації.....	60
1.8	Концептуальний проект балкера.....	65
РОЗДІЛ 2 Визначення морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності.....		74
2.1	Формування теоретичної поверхні балкера.....	74
2.2	Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення), забезпечення вимог класифікаційного товариства до вантажної марки балкера.....	79
2.3	Створення цистерн та внутрішніх приміщень судна. Розрахунок місткості балкера.....	83
2.4	Розрахунок навантаження мас, визначення координат центра ваги проектованого балкера та його удиферентування.....	88
2.4.1	Розрахунок ЦМ навантаження при осадці по КВЛ.....	88
2.4.2	Розрахунок ЦМ навантаження 100% вантажу і 100% запасів	90
2.4.3	Розрахунок ЦМ навантаження 100% вантажу і 10% запасів	92
2.5	Розрахунок остійності балкера при великих кутах крену, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його остійності.....	94
2.5.1	Остійність на великих кутах крену для навантаження по КВЛ.....	94
2.5.2	Остійність на великих кутах крену для навантаження 100% вантажу і 100% запасів.....	96
2.5.3	Розрахунок остійності пошкодженого судна при затопленні машинного відсіку.....	99
2.6	Розрахунок ходовості балкера, забезпечення вимог класифікаційного товариства до міцності гребного вала та гребного гвинта балкера.....	103
2.6.1	Розрахунок буксирувальних опор і потужності.....	103
2.6.2	Розрахунок характеристик рушія та вибір двигуна в програмі HydroComp PropExpert.....	108
2.6.3	Проектування гвинта в програмі Hydrocomp PropCAD.....	111
Висновки		115
Список використаних джерел.....		117

Вступ

Вибір оптимального проектного рішення для балкера ґрунтується на всебічному дослідженні низки операцій, які здійснюються протягом його життєвого циклу, включаючи проектування, будівництво, експлуатацію та утилізацію. При цьому основний акцент робиться на ефективній організації експлуатації балкера, щоб досягти максимальної результативності його призначення. На основі цього підходу формується процес прийняття рішень під час проектування балкерів. Чим глибше вивчені функціональні операції балкера та його ефективність, тим точніше можна розробити проектне рішення, вибираючи оптимальні розміри та характеристики судна.

Сучасне проектування суден, як правило, передбачає використання методів моделювання їх функціонування та оптимізації основних компонентів. Концептуальне проектування судна розпочинається на початковій стадії процесу, коли визначаються основні розміри та характеристики судна для досягнення поставленої мети функціонування. Цей процес залежить від умов створення та технічної підтримки судна під час експлуатації. Тому важливо враховувати два основні напрямки пошуку проектного рішення: продукт-орієнтоване проектування, яке фокусується на створенні судна як готового продукту промисловості, і систем-орієнтоване проектування, яке орієнтується на умови експлуатації судна як складної системи.

Продукт-орієнтоване проектування передбачає оцінку витрат на створення, оновлення та технічну підтримку судна, тоді як систем-орієнтоване проектування зосереджується на досягненні оптимальних розмірів і характеристик балкера для максимізації ефективності його роботи в певних умовах експлуатації, з мінімальними витратами на виробництво, підтримку життєвого циклу та функціональність.

На етапі концептуального проектування вибір оптимального варіанту проектного рішення здійснюється з акцентом на забезпечення максимальної

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	10
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ефективності та надійності судна. Для цього зазвичай застосовується комбінація різних показників, які характеризують рівень ефективності та безпеки судна під час плавання.

Вибір оптимального проектного рішення на цьому етапі спирається на математичні методи теорії дослідження операцій, що дозволяє:

- визначити тип та умови експлуатації балкера;
- створити віртуальні простори для проектування, будівництва, модернізації та експлуатації судна, що дає змогу побудувати моделі функціонування;
- розробити віртуальну модель балкера, включаючи моделі його інженерних та навігаційних характеристик;
- змодельовати процеси створення та ефективної експлуатації балкера в межах визначених просторів функціонування;
- визначити показники ефективності та надійності балкера під час виконання операцій;
- створити методи вирішення задач функціонування та оптимізувати проектне рішення на основі поетапного аналізу та коригування розмірів і характеристик судна для підвищення його ефективності та надійності;
- встановити критерії зупинки процесу оптимізації, що базуються на досягненні екстремальних значень комплексного показника ефективності та надійності.

Таким чином, однією з ключових задач концептуального проектування є створення моделей функціонування судна в конкретних умовах його експлуатації, формулювання задач функціонування та розробка методів їх вирішення. Оскільки всі аспекти функціонування суден є випадковими, для їх математичного опису використовується теорія ймовірностей. Вона передбачає аналіз трьох основних об'єктів: випадкових подій, випадкових величин та випадкових функцій.

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

У межах цієї дипломної роботи розглядається теоретична база функціонування балкера, побудова моделей його функціонування, формулювання відповідних задач та пошук оптимальних методів їх розв'язання з використанням інструментів теорії ймовірностей, дослідження головних розмірів під час воєнного стану, із врахуванням ризиків перевезення вантажу, фрахтових ставок, цін на паливо та забезпечення усіх поставок.

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ							
Змн.	Арк.З	№ докум.	Підпис№	Дата								
					Розділ 1 Вибір основних елементів судна, визначення його ефективності				Літ.	Арк.	Аркушів	
Студент	Максименко С.А.										13	
Консульт.	Некрасов В.О.								НУК			
Керівник	Некрасов В.О.											
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.											

РОЗДІЛ 1

ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНА, ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

1.1 Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів

1.1.1 Загальний огляд

Сучасні балкери, що використовуються для перевезення насипних вантажів, є невід'ємною частиною морського транспорту та логістики. Вони спеціалізуються на транспортуванні різноманітних сипучих матеріалів, таких як зерно, вугілля, руда, цемент, солод тощо. Завдяки постійній модернізації та вдосконаленню ці судна забезпечують відповідність сучасним стандартам ефективності, безпеки та екологічної стійкості.

Серед основних тенденцій розвитку світового флоту балкерів варто виділити такі:

- збільшення розмірів і потужності: Глобальне зростання обсягів торгівлі та попиту на вантажоперевезення зумовлює потребу у збільшенні розмірів і вантажопідйомності балкерів. Тенденція до будівництва більших суден сприяє підвищенню ефективності транспортування великих обсягів сипучих вантажів, таких як руда, вугілля та зерно.
- автоматизація та штучний інтелект: Балкери дедалі частіше оснащуються автоматизованими системами й технологіями штучного інтелекту, що допомагають оптимізувати маршрути, знижувати енергоспоживання та забезпечувати ефективне управління суднами.
- впровадження сучасних технологій: Для підвищення ефективності перевезень оператори балкерів активно вдосконалюють технічні характеристики суден і застосовують новітні технології, що дозволяють зменшити витрати пального та скоротити викиди CO₂.
- глобальні процеси: Геополітичні зміни, запровадження нових торгових обмежень, пандемія COVID-19 та інші фактори впливають на тенденції у судноплавстві, викликаючи перегляд маршрутів і торговельних зв'язків.

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- розвиток LNG-балкерів: Використання скрапленого природного газу як палива зростає завдяки його екологічним перевагам, таким як зменшення викидів сірковмісних сполук і CO₂, що відповідає жорстким екологічним стандартам.
- зростання екологічності: У відповідь на зростаючі вимоги до зменшення впливу судноплавства на довкілля компанії впроваджують "зелені" ініціативи, спрямовані на зниження викидів шкідливих речовин і дотримання екологічних стандартів.
- модернізація флоту: Замість виведення з експлуатації старі судна часто модернізуються, щоб відповідати сучасним вимогам ефективності та екології.
- економічна нестабільність та вартість пального: Коливання цін на нафту й зміни в глобальній економіці впливають на витрати пального та загальну рентабельність експлуатації балкерів.

Таким чином, балкери залишаються важливим інструментом у глобальній логістиці, демонструючи здатність адаптуватися до викликів і потреб сучасного світу.

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 CB (або δ), коефіцієнт повздовжньої повноти CP (або ϕ), коефіцієнт повноти мідель-шпангоута CM (або β), коефіцієнт повноти площі ватерлінії CW (або α).

Детальний аналіз статистичних даних по різних типах суден представлено в роботі Апостолоса Папаніколау «Ship Design. Methodologies of Preliminary Design» [8]. 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.

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Отриману інформацію зведено до табличної форми, яка представлена у таблиці 1.1. Значення параметрів, які наведено в таблиці 1.1, були отримані Папаніколау за допомогою інформації із IHS Fairplay World Shipping Encyclopedia, версія 12.01, 2011 року.

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	Балкери	
Дедвейт, тис. т	DWT	від 5 до 15	від 20 до 50	від 50 до 200
Коефіцієнт утилізації водотоннажності за дедвейтом, %	DWT/ Δ	65...80	74...85	80...87
Коефіцієнт загальної повноти	C_B (або δ)	0,65...0,73	0,72...0,86	
Коефіцієнт повздовжньої повноти	C_P (або ϕ)	0,66...0,74	0,79...0,84	
Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута	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	

Оскільки вищенаведені значення головних елементів суден отримані за статистичними даними, які були зібрані в період до 2011 року, то на сьогоднішній день вони є застарілими та можуть не відповідати сучасному стану речей. Тому було доцільним в даній дипломній роботі провести власний збір та аналіз статистичних даних щодо основних елементів сучасних суден для перевезення пшениці, насамперед балкерів. Проте деякі значення із таблиці 1.1 також були використані в роботі.

1.1.3 Збір та аналіз статистичних даних щодо основних елементів сучасних балкерів

Завданням на дипломний проект було визначено, що необхідно виконати концептуальне проектування балкера для перевезення пшениці (питома вага $\mu_v =$

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

800 кг/м³) вантажопідйомністю 11 тисяч тон. Дедвейт такого судна орієнтовно має складати 11,5 тисяч тон.

Отже, для збору статистичних даних по існуючим балкерам, які призначені або можуть бути використані для перевезення пшениці, використаємо діапазон пошуку по дедвейту $\pm 20\%$ від заданого завданням значення, що становитиме $12,5 \pm 2,5$ тисяч тон. Таким чином, пошуковий фільтр буде мати наступний вигляд:

- дедвейт (DWT): від 10 до 15 тисяч тон;
- тип судна: Bulk Carrier або General Cargo;
- комерційний ринок: Dry Bulk або Dry Breakbulk;
- статус судна: активне.

За допомогою веб-сайтів MarineTraffic та VesselFinder, які спеціалізуються на наданні інформації про морські судна, було проведено пошук та станом на початок листопаду 2024 року знайдено усі судна за визначеним фільтром. Загальна кількість знайдених суден склала 1867 штук. Інформація по знайдених балкерах була зведена до таблиці за допомогою програмного продукту Microsoft Excel. Розподіл кількості активних балкерів за роком побудови показано на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Розподіл балкерів за роком побудови

Аналізуючи рисунок 1.1 можемо дійти висновку про те, що бум побудови балкерів визначеного типу та дедвейту прийшовся на період з 2004 по 2013 роки, після чого був помітний спад на замовлення таких суден. Проте, дані за останні роки вказують на те, що ринок нових замовлень оживає, тому даний напрямок

(розробка та побудова балкерів дедвейтом від 10 до 15 тисяч тон) може бути дуже перспективним.

Було проведено оцінювання балкерного флоту визначеної водотоннажності за віком. Результати оцінювання наведені в таблиці 1.2 та на рисунку 1.2.

Таблиця 1.2 – Розподіл балкерів за віком

Вік	Кількість балкерів, од.	Частка від загальної кількості, %
Будуються	14	1
До 5 років	203	11
6–10 років	181	10
11–20 років	1132	60
21–30 років	241	13
31–40 років	52	3
Більше 40 років	44	2
ЗАГАЛОМ	1867	100

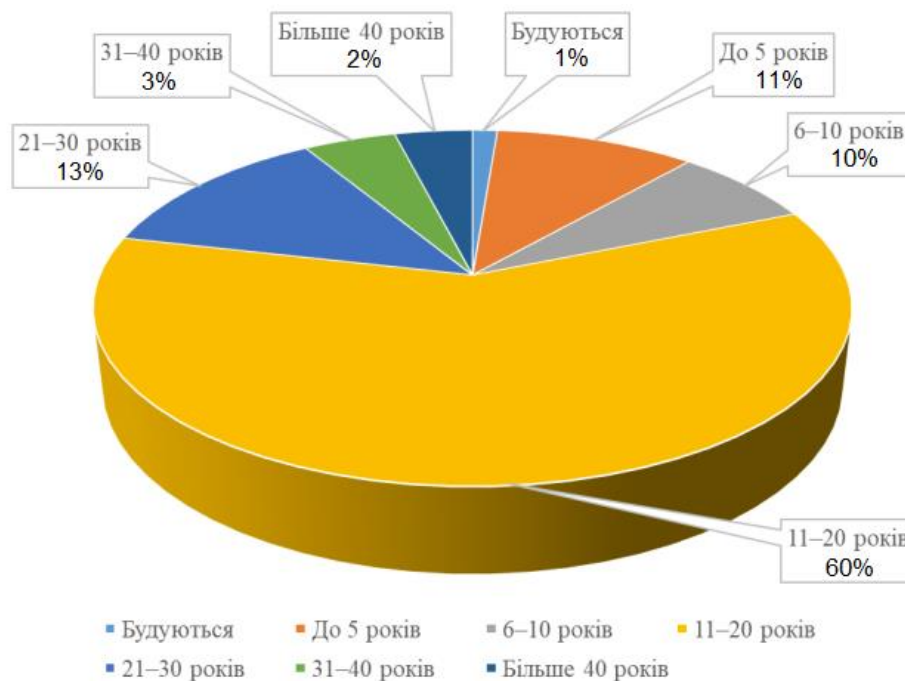


Рисунок 1.2 – Розподіл балкерів за віком

Аналіз даних таблиці 1.2 дозволяє зробити висновок про те, що тільки 21% балкерів мають термін експлуатації до 10 років. Це найсучасніші судна, які мають відповідати існуючим вимогам до енергоефективності та надійності. Більша частина балкерів має вік від 11 до 20 років, вони складають 60% від загальної кількості балкерів. Це судна, які можна вважати новими, але вони потребуватимуть заміни у найближчі десятиліття. Усі інші судна, які мають вік

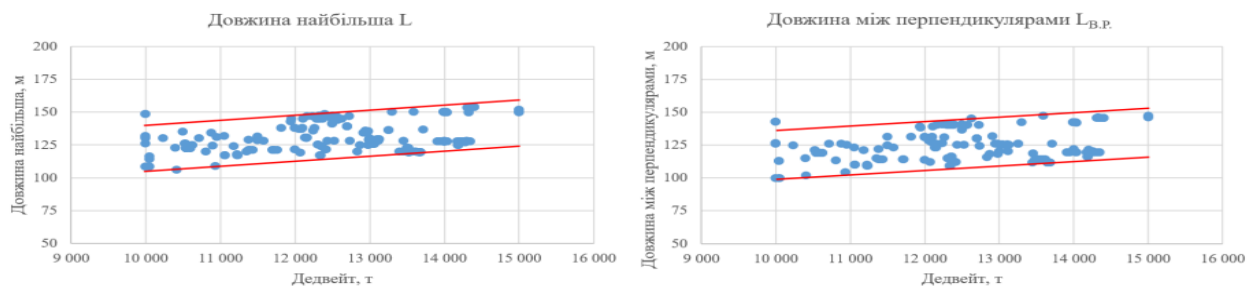
понад 20 років (19% від загальної кількості), можна вважати застарілими як в моральному, так і в технічному плані, хоча їх і продовжують експлуатувати. Для визначення основних тенденцій саме у сучасному проектуванні балкерів розглянемо лише дані по тих суднах, які були побудовані за останні 10 років, тобто з 2014 року по листопад 2024 року. Таким чином, ми отримали вибірку з 230 суден, дані яких і будемо використовувати для подальшого аналізу.

На рисунку 1.3 зображено частину даних у вигляді таблиці Excel із зібраними характеристиками обраних суден.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Назва судна	IMO номер	Рік побудови	Тип судна	Комерційний ринок	Дедвейт DWT	GT	Довжина судна	Довжина між перпендикулярами	Ширина судна	Ширина корпусу	Висота борту	Осадка Max	Осадка Min
206	VENUS STAR	9906271	2021	General Cargo	DRY BREAKBULK	14 201	9 976	127,70	119,50	19,00	19,60	14,50	9,70	4,00
207	VERTOM JOY	9706865	2023	General Cargo	DRY BREAKBULK	11 500	7 906	128,30	124,80	18,70	17,80	11,30	8,30	4,30
208	VESTVIND	9750579	2016	General Cargo	DRY BREAKBULK	10 238	7 175	130,00	124,50	25,00	25,00	6,30	5,30	3,30
209	VIANCA	9958365	2023	General Cargo	DRY BREAKBULK	13 551	9 943	119,90		21,00	21,20	14,10	9,50	4,90
210	VIET THUAN 11 01	9958195	2021	General Cargo	DRY BREAKBULK	10 808	6 225	119,90	113,20	21,60	21,00	8,30	6,70	3,50
211	VIET THUAN 12 01	9981958	2022	General Cargo	DRY BREAKBULK	12 986	7 311	124,90	118,00	22,00	21,00	9,40	7,30	3,80
212	VIET THUAN 12 02	9990569	2023	General Cargo	DRY BREAKBULK	12 877	7 311	124,90	118,00	22,00	21,00	9,40	7,60	4,00
213	VINASHIN SOUTH EAST TH 182	9561734	2022	General Cargo	DRY BREAKBULK	15 000	10 000	151,80			22,00		8,10	
214	VOLGABORG	9631072	2013	General Cargo	DRY BREAKBULK	11 941	7 367	142,60	139,00	15,90	15,90	10,80	8,70	4,70
215	WHITE INABA	9670169	2013	General Cargo	DRY BREAKBULK	13 946	9 639	127,50	119,50	19,60	19,60	14,00	9,90	4,20
216	WHITE TOMONY	9695810	2014	General Cargo	DRY BREAKBULK	13 919	9 658	127,60	119,50	19,60	19,60	14,00	9,80	4,50
217	WIND ARROW	9976848	2023	General Cargo	DRY BREAKBULK	11 703	7 355	121,00		20,00			7,50	4,50
218	WINDS 3	9775206	2016	General Cargo	DRY BREAKBULK	11 759	7 341	120,90		19,60	19,60	10,80	8,50	4,00
219	XIN LIN HAI 16	9982304	2022	General Cargo	DRY BREAKBULK	12 438	7 880	128,00	125,00	20,00	20,00	9,80	7,60	3,00
220	XIN LIN HAI 17	9985007	2022	General Cargo	DRY BREAKBULK	12 531	7 880	128,00	125,00	20,00	20,00	9,80	7,40	4,40
221	YAMASAKURA	9634816	2013	Bulk Carrier	DRY BULK	15 000	17 658	150,00	146,00	27,20	27,20	14,20	6,90	4,50
222	YANGZE VENUS	9428401	2013	General Cargo	DRY BREAKBULK	12 094	8 620	137,00	127,10	18,90	18,90	11,60	9,50	4,50
223	YI HUI REN HAI	9628685	2013	General Cargo	DRY BREAKBULK	12 312	10 820	125,00	115,00	22,00	22,00	14,30	9,00	4,20
224	YI HUI ZHI HAI	9628697	2013	General Cargo	DRY BREAKBULK	12 313	10 820	125,00	115,00	22,00	22,00	14,30	9,10	3,40
225	YM AMAZON	9622758	2013	General Cargo	DRY BREAKBULK	11 500	7 370	131,20	131,00	19,00	19,00	7,80	8,70	3,70
226	YM FUJI	9622760	2015	General Cargo	DRY BREAKBULK	10 952	7 370	131,00	125,10	19,00	19,00	10,20	8,50	3,80
227	YONG SHENG 158	8591093	2021	General Cargo	DRY BREAKBULK	10 500	8 909	135,00		20,00			7,50	5,00
228	YU HANG 12	9990545	2022	General Cargo	DRY BREAKBULK	12 836	7 859	119,80	115,80	21,00	20,00	10,30	8,30	4,10
229	YUAN CHEN 67	9984235	2022	General Cargo	DRY BREAKBULK	11 578	7 756	128,00	122,80	20,00	20,00	10,20	7,70	4,50
230	ZEAL SERVANT	9741126	2018	General Cargo	DRY BREAKBULK	12 302	11 619	144,70	140,00	22,80	22,00	11,60	9,10	6,00
231	ZHONG WANG KE DA	9982263	2022	General Cargo	DRY BREAKBULK	12 738	8 388	128,00	124,00	21,00	21,00	10,00	8,00	4,10
232	Середнє значення:		2018			12 756	9 642	129,86	123,48	21,04	21,06	12,22	8,71	4,36
233	Балкери 10-15 тис. т													

Рисунок 1.3 – Таблиця з характеристиками балкерів дедвейтом від 10 до 15 тисяч тон, які побудовані з 2014 року

Проаналізувавши отриману таблицю даних отримали діапазон значень основних лінійних розмірів балкерів та їх залежність від дедвейту. За результатами аналізу побудували графіки залежностей головних розмірів балкерів від дедвейту. Отримані графіки представлено на рисунку 1.4.



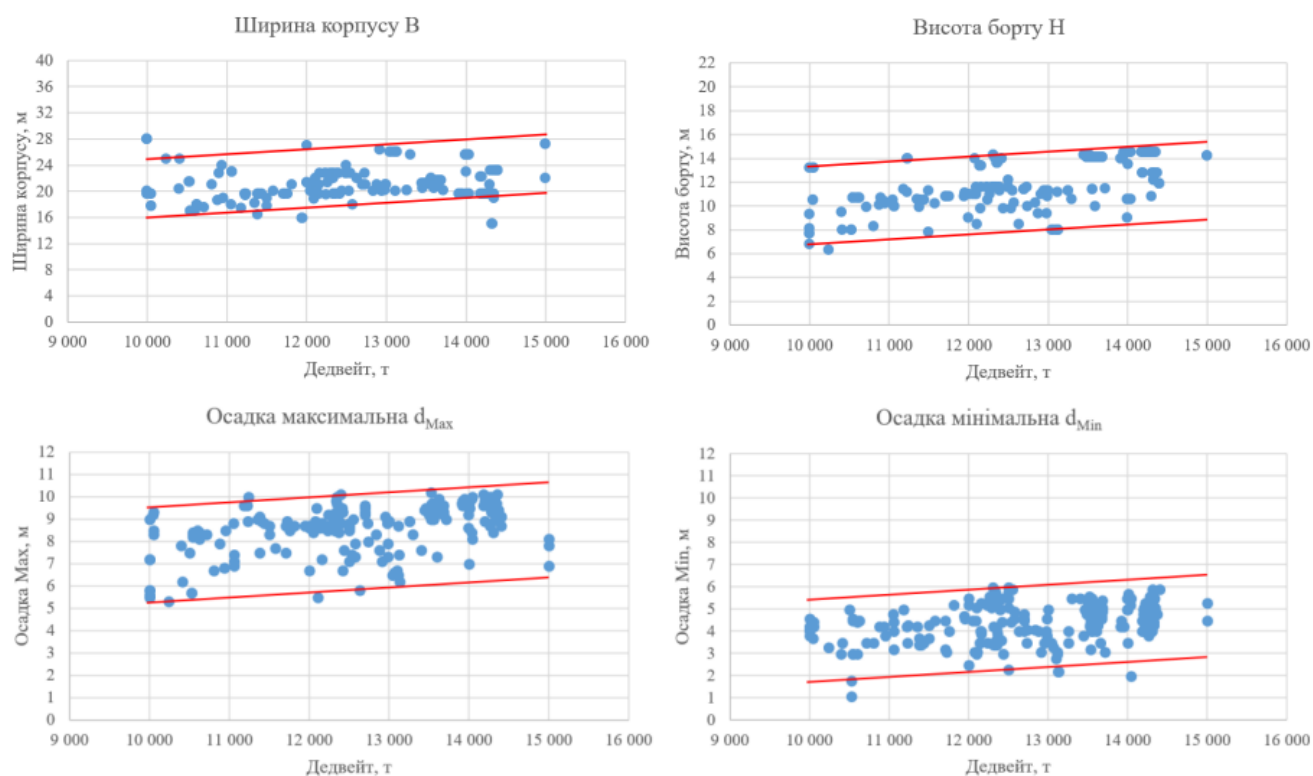


Рисунок 1.4 – Графіки залежностей лінійних розмірів балкерів від дедвейту

Як видно з рисунка 1.4, зі збільшенням дедвейту відбувається пропорційне зростання головних розмірів балкерів. Це зростання має лінійний характер у межах певного діапазону значень (на графіках – між двома червоними лініями).

Лінійні рівняння, що описують залежність основних розмірів від дедвейту для нижньої та верхньої меж (червоні лінії), можуть слугувати граничними умовами при визначенні оптимальних значень параметрів проектного балкера в рамках оптимізаційної задачі. Зазначені рівняння наведено в таблиці 1.3.

Для спрощення процесу пошуку оптимальних параметрів проектного балкера як граничні умови також можна використовувати мінімальні та максимальні значення лінійних розмірів, подані в таблиці 1.4.

Таблиця 1.3 – Отримані рівняння функцій залежності лінійних розмірів від дедвейту балкера

Параметр	Позначення	Нижня границя діапазону	Верхня границя діапазону
Дедвейт, т	DWT	10 000	15 000
Довжина найбільша, м	L	$0,003879 \cdot DWT + 66,57$	$0,003879 \cdot DWT + 102,57$
Довжина між перпендикулярами, м	$L_{B.P.}$	$0,003219 \cdot DWT + 67,44$	$0,003219 \cdot DWT + 105,65$
Ширина корпусу, м	B	$0,000846 \cdot DWT + 7,38$	$0,000846 \cdot DWT + 16,36$
Висота борту, м	H	$0,000394 \cdot DWT + 2,85$	$0,000394 \cdot DWT + 9,26$
Осадка максимальна, м	d_{Max}	$0,000209 \cdot DWT + 3,16$	$0,000209 \cdot DWT + 7,46$
Осадка мінімальна, м	d_{Min}	$0,000253 \cdot DWT - 0,86$	$0,000253 \cdot DWT + 2,84$

Таблиця 1.4 – Мінімальні, максимальні та середні значення лінійних розмірів діючих балкерів дедвейтом від 10 до 15 тисяч тон

Параметр	Позначення	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення
Дедвейт, т	DWT	10 000	15 000	12 756
Довжина найбільша, м	L	106,0	153,8	129,86
Довжина між перпендикулярами, м	$L_{B.P.}$	99,8	147,0	123,48
Ширина корпусу, м	B	15,0	28,0	21,06
Висота борту, м	H	6,3	14,5	12,10
Осадка максимальна, м	d_{Max}	5,3	10,2	8,71
Осадка мінімальна, м	d_{Min}	1,1	6,0	4,34
Відношення	L/B	4,24	9,99	6,23
Відношення	B/d_{Max}	1,60	5,09	2,47
Відношення	H/d_{Max}	1,08	2,06	1,38

За даними таблиці 1.4 в подальшому будемо перевіряти отримані нами результати вирішення задачі оптимізаційного пошуку основних розмірів балкеру

1.1.4 Дотримання екологічних вимог

У 2011 році Комітет із захисту морського середовища (МЕРС) Міжнародної морської організації (ІМО) ухвалив поправку до Конвенції МАРПОЛ 73/78, спрямовану на зменшення забруднення атмосфери суднами. У результаті було

впроваджено Додаток VI, який регламентує обмеження шкідливих викидів. Для нових суден запровадили індекс проектування енергоефективності (EEDI), а для всіх суден — план управління енергоефективністю (SEEMP).

Україна, як член ІМО, ратифікувала всі основні конвенції організації. Це зобов'язує здійснювати експлуатацію суден відповідно до резолюцій, затверджених МЕРС ІМО, зокрема:

- «Запобігання забрудненню повітря з суден і контроль якості палива».
- «Переглянутий Додаток VI до Конвенції МАРПОЛ».

Дотримання вимог також регламентується Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища». Основним документом, що регулює викиди шкідливих речовин в атмосферу від морських суден, є Додаток VI до МАРПОЛ.

Цей документ унормовує:

- викиди оксидів сірки (SOX) — залежно від вмісту сірки в паливі.
- викиди оксидів азоту (NOX) — залежно від типу суднового дизельного двигуна.

Додаток VI передбачає рівневий підхід до обмеження викидів NOX:

- **Tier I:** стосується суднових двигунів, встановлених на суднах, побудованих з 1 січня 2000 року до 31 грудня 2010 року.
- **Tier II:** застосовується до двигунів на суднах, побудованих після 1 січня 2011 року.
- **Tier III:** регулює двигуни суден, збудованих після 1 січня 2016 року.

Норми викидів NOX для двигунів рівня Tier II визначаються частотою обертання колінчастого вала (n , об/хв) і становлять:

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

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для двигунів рівня Tier III ці показники суворіші:

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

Досягнення стандартів Tier II можливе шляхом удосконалення конструкції двигуна. Норми Tier III виконуються завдяки використанню таких технологій:

- каталітичне відновлення;
- рециркуляція випускних газів (EGR);
- перепуск випускних газів (EWG);
- перехід на зріджений природний газ (LNG).

Отже, при проектуванні балкера слід обирати головний двигун, який відповідає вимогам рівнів Tier II або Tier III.

1.2 Аналіз методів вибору основних елементів балкера

Складність процесу проектування судна посилюється деякими суперечливими вимогами технічного завдання. Так, швидкісна механізація вантажних робіт, як правило, вимагає максимального розкриття верхньої палуби судна і рівномірного розподілу вантажу по довжині і ширині судна, що значно ускладнює забезпечення загальної та місцевої міцності корпусу. Згідно з вимогами непотоплюваності слід прагнути до збільшення числа водонепроникних перетинок.

Одне з найважливіших питань проектування – встановлення головних елементів судна, які, в підсумку, визначають його основні навігаційні та експлуатаційні якості. Це завдання вирішується в основному за допомогою аналітичного методу з використанням в якості допоміжного статистичного методу, методу порівняння (окремий його випадок – метод перерахунку з прототипу), градієнтного методу, і методу випадкового пошуку. Іноді, беручи до уваги

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

особливості технічного завдання, один з допоміжних методів може бути прийнятий в якості основного.

1.2.1 Аналітичний метод

Аналітичний метод є підходом математичного аналізу, що передбачає використання систем рівнянь для опису функціональних залежностей між параметрами проєктованого судна та характеристиками завдання. Ці залежності охоплюють як визначені, так і невизначені величини та параметри.

У практичному проєктуванні аналітичний метод часто комбінується зі статистичним методом, який базується на використанні накопиченого досвіду проєктування, будівництва й експлуатації суден аналогічного призначення.

При застосуванні статистичного методу слід дотримуватись таких правил:

- використовувані статистичні дані повинні бути отримані на основі перевірених і надійних відомостей, зібраних для значної кількості суден.
- судна, які слугують джерелом статистичних даних, повинні мати однакове призначення, архітектурно-конструктивний тип і працювати в умовах, аналогічних умовам експлуатації проєктованого судна.
- числові значення мають бути оброблені за однаковими методами аналізу.
- середні статистичні показники слід використовувати критично, враховуючи специфіку завдання та прагнення досягти оптимальних техніко-експлуатаційних характеристик проєктованого судна.

1.2.2 Метод порівняння

Метод порівняння заснований на зіставленні даних технічного завдання з даними проєктів суден, аналогічних проєктованому, а також з даними з будівництва та експлуатації цих суден. На підставі аналізу результатів зіставлення цих даних проводиться вибір головних елементів проєктованого судна.

Окремим випадком методу порівняння є метод перерахунку з прототипу, який застосовується в тих випадках, коли вимогам технічного завдання дуже близько задовольняє будь-яке з побудованих або спроектованих суден. Приймавши це судно в якості прототипу, вносять в проект лише ті зміни, які обумовлені вимогами технічного завдання.

1.2.3 Метод послідовних наближень

В силу досить великого числа невідомих величин аналітичні прийоми проектування, навіть при самому широкому використанні статистичних матеріалів, дають, як правило, тільки наближене рішення задачі, що потребує подальших уточнень. Таке уточнення досягається за допомогою методу послідовних наближень, який отримав широке визнання в практиці проектування суден. Цей метод на прикладі найважливішого окремого завдання – визначення головних елементів проектного судна – можна охарактеризувати наступними основними положеннями: певною послідовністю різних наближень; використанням для перших наближень функціональних залежностей, що містять мінімальну кількість змінних (невідомі величини і параметри); послідовним збільшенням для подальших наближень числа змінних (шляхом поступового запровадження в задачу тимчасово відкинутих другорядних невідомих величин); розумінням ступеня точності формул, що встановлюють функціональні залежності між окремими змінними, які, як правило, носять наближений характер через наявність в них емпіричних і статистичних коефіцієнтів.

Відповідно до цих положень сутність застосування методу послідовних наближень для вирішення зазначеного завдання зводиться до наступного.

Користуючись одним з наведених нижче аналітичних прийомів, визначають в першому наближенні водотоннажність проектного судна D і потужність головних двигунів N_e виходячи з чистої вантажопідйомності P (або дедвейту), швидкості судна v і дальності плавання Z по знайденому значенню водотоннажності, з урахуванням аналітичних залежностей, що характеризують основні якості судна (плавучість, остійність, міцність), визначають в першому

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

наближенні головні розміри L , B і осадку T (якщо її не вказано) і перевіряють вимоги, що пред'являються умовами плавання. Якщо головні елементи задовольняють зазначеним умовам, тоді задача вибору цих елементів в першому наближенні вирішена; в іншому випадку завдання вирішується в другому наближенні і т.д. Потім, поставивши поруч додаткові параметри, що характеризують ходовість судна (величина змоченої поверхні, коефіцієнти опору, число Фруда та ін.), визначають за допомогою перевірених на практиці емпіричних формул або даних модельних і натурних випробувань буксирувальної потужності судна і потужність головних механізмів у другому наближенні. Якщо знайдена таким шляхом буксирувальна потужність збігається з даними, отриманими в першому наближенні, то задача розрахунку потужності в другому наближенні вважається вирішеною; в іншому випадку слід визначити нові значення головних елементів судна і повторювати розрахунки до тих пір, поки не будуть співпадати значення потужності, знайдені в двох суміжних наближеннях.

Якщо необхідне подальше уточнення головних елементів проектного судна, то можна ввести нові змінні величини, які не були враховані в першому рішенні, і знову вирішувати завдання за допомогою ряду послідовних наближень.

1.2.4 Метод варіацій

Метод послідовних наближень доцільно поєднувати з методом варіацій, що дозволяє вже в початковій стадії проектування шляхом порівняльного критичного аналізу виділити з ряду сполучень головних елементів судна, які відповідають основним вимогам завдання, їх найвигідніші поєднання, оптимальний варіант. Методом варіацій, що забезпечує отримання багатозначного рішення, широко користуються в даний час в практиці проектування. Тут особливо відповідальним завданням є вибір для варіювання саме тих характеристик даного типу судна, які визначають його найважливіші навігаційні та експлуатаційні якості. Так, для вантажного судна основними якостями є експлуатаційні зручності, плавучість, ходовість, керованість, остійність (безпеку плавання і плавність качки), а найважливішими співвідношеннями головних елементів, що підлягають

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

варіювання, можуть бути відношення головних розмірів, такі, як відношення L/B , що впливає на ходовість, керованість і експлуатаційні зручності, або B/T , що впливає на ходовість і остійність. При цьому збільшення чисельного значення L/B позитивно позначається на ходовості, стійкості на курсі і експлуатаційних зручностях, а на поворотності – негативно. Збільшення B/T позитивно позначається на початковій остійності (зростає) і негативно на ходовість (в деяких випадках) і хитавиці.

Застосовуючи метод варіацій, можна зводити результати розрахунку елементів судна по всіх варіантах в одну таблицю, що дозволить зіставити характеристики судна, отримані для різних варіантів, і вибрати оптимальний варіант шляхом аналізу цих характеристик. Істотним недоліком методу варіацій, який обмежує кількість варіантів, є великий обсяг робіт. В окремих випадках це обмеження може призвести до того, що в варіантний ряд не буде включений оптимальний варіант головних елементів судна.

1.2.5 Градієнтний метод

Градієнтний метод значно економічний за метод варіацій з обчислювальної точки зору, так як просування до екстремуму йде найкоротшим шляхом незалежно від роду і розмірності цільової функції, однак дозволяє отримати тільки локальний екстремум.

Суть методу полягає в наступному. Вибираємо деяке початкове допустиме рішення, тобто такий набір шуканих величин, який задовольняє вимогам до морських і експлуатаційних якостей судна, при цьому обчислюємо перше значення цільової функції.

Після цього проводимо визначення напрямку, при русі по якому цільова функція швидше за все прагне до екстремального значення. Цей напрямок визначається похідними від цільової функції по шуканим невідомим, тобто градієнтом.

Якщо обрана початкова точка не є оптимальною (складові градієнта не рівні нулю), то для досягнення максимуму рухаємося у напрямку градієнта, а мінімуму

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– в протилежному напрямку. Так, невеликими кроками (ітераціями), коректуючи кожен раз напрямок руху, досягаємо екстремуму.

Гرادієнтні методи мають ряд недоліків. Для того, щоб рухатися весь час в напрямку градієнта, кроки потрібно вибирати не дуже великими, а тому їх буде багато. Оскільки ж на кожному кроці необхідно заново визначати напрямок градієнта, на що потрібні значні витрати часу, то і процес наближення до оптимуму буде повільним. Додаткові труднощі виникають у разі, якщо точка екстремуму лежить в «яру» або на довгому вузькому гребні хвилі. В такому випадку градієнтний метод може викликати стрибки через «яр» і не привести до істинного оптимуму.

1.2.6 Метод випадкового пошуку

На відміну від градієнтного методу, в методі випадкового пошуку вводиться елемент випадковості, який в певних ситуаціях дає можливість побудувати досить прості та ефективні алгоритми визначення не тільки локального, а й глобального оптимуму.

Метод «глобального» випадкового пошуку полягає в тому, що межі можливих змін шуканих змінних розбиваються на кілька інтервалів, систематично випадковим чином, обчислюють і запам'ятовують значення цільової функції. Після перебору достатньої кількості комбінацій в пам'яті ЕОМ залишається тільки екстремальне значення функції і відповідні йому шукані невідомі. При «локальному» випадковому пошуку вибирається деяке початкове допустиме рішення, з якого в просторі шуканих невідомих систематично роблять випадкові невеликі кроки, поки не буде знайдено такий, який змінює цілу функцію в сприятливому напрямку (і виконуються всі обмеження), після чого з нової точки виробляються аналогічні проби, поки не буде досягнутий екстремум.

Перевагою методів випадкового пошуку є те, що вибір випадкового вектору для виконання пробних кроків не залежить від форми поверхні цільової функції, немає необхідності обчислювати похідні. Простота алгоритму дає можливість його легко реалізувати на ЕОМ. Метод особливо ефективний для оптимізації завдань зі

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

значною кількістю змінних і обмежень, оскільки зі збільшенням кількості незалежних змінних його ефективність зростає.

Недоліки: в загальному випадку напрямок кроків не є оптимальним; низька збіжність, якщо поверхня відгуку полого.

1.2.7 Метод Пауелла

Цей метод відноситься до методів прямого пошуку, які не використовують похідні [6]. За допомогою цього методу місцезнаходження екстремуму багатовимірної цільової функції $f(\mathbf{x})$ визначається шляхом виконання послідовних одновимірних пошуків, починаючи з початкової точки $\mathbf{x}_0^{(k)}$, вздовж системи створених спряжених (перпендикулярних) напрямків.

Перехід від точки $\mathbf{x}_0^{(k)}$ до точки $\mathbf{x}_m^{(k)}$ визначається за формулою

$$\mathbf{x}_m^{(k)} = \mathbf{x}_0^{(k)} + \sum_{i=0}^{m-1} \lambda_i^{(k)} \mathbf{s}_i^{(k)}, \quad i = 1, \dots, m-1.$$

На рисунку 7.2 показано процедуру реалізації цього методу для цільової функції, яка представлена виразом:

$$f(\mathbf{x}) = 2x_1^2 + x_2^2 - x_1x_2$$

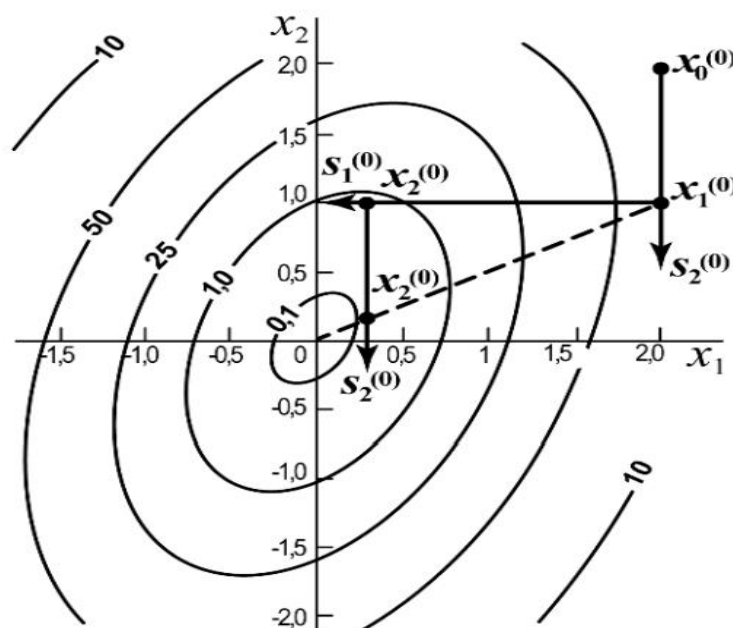


Рисунок 1.5 – Траєкторія пошуку при мінімізації цільової функції методом Пауелла спряжених (перпендикулярних) напрямків

1.2.8 Метод штрафних функцій

Чисельні методи виконання штрафних функцій мають одну характерну особливість. Вони реалізують перетворення задачі нелінійного програмування за наявності обмежень у задачу без обмежень.

Наприклад, ми хочемо знайти мінімум функції [6]

$$f(x) = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2$$

з обмеженням

$$h(x) = x_1 + x_2 - 4 = 0.$$

Додаємо $h^2(x)$ до цільової функції $f(x)$, в результаті чого отримуємо нову цільову функцію

$$P(x) = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2 + (x_1 + x_2 - 4)^2$$

значення яких вважатимуться вільними від будь-яких обмежень. $h^2(x)$ тут використовується як штраф.

Функція $f(x)$ та результат її перетворення у функцію $P(x)$ за допомогою методу штрафу представлені на рисунку 1.6.

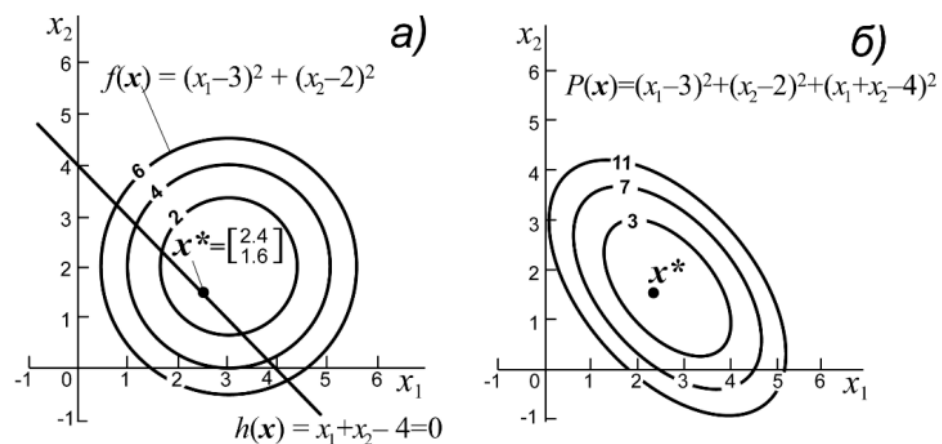


Рисунок 1.6 – Графічне зображення перетворення задачі нелінійного програмування з обмеженням (а) у задачу без обмежень (б) за допомогою методу штрафної функції

За результатами вищенаведеного аналізу існуючих методів вирішено в дипломній роботі у якості методу розв'язку оптимізаційної задачі обрати метод Пауелла, доповнений методом штрафних функцій.

1.3 Продукт-орієнтоване проектування балкерів

1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт – система ESWBS

Для оцінки ціни судна та прогнозування вартості нових проектних рішень або придбань, всі окремі компоненти судна класифікуються на групи залежно від їх ваги.

У Сполучених Штатах Америки в даний час використовується система, яка називається Розширена структура розподілу корабельних робіт (ESWBS). ESWBS є розширенням раніше використовуваної структури секціонування SWBS. До 33 середини 1960-х використовувалась інша система, яка називалася Бюро судових консолідованих показників (BSCI). Ця система подібна до системи SWBS/ESWBS, є лише відмінності між розподілом певних категорій.

Існують інші національні системи, включаючи систему, що використовується у Великобританії, на основі її стандартів проектування (NES). Як і система BSCI, ця система, як правило, схожа на SWBS / ESWBS, але вони мають деякі відмінності між класифікацією деяких мас.

Загалом усі три системи, зазвичай, розбивають вагу корабля на категорії, представлені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Складові структурної розбивки судна на частини в системах SWBS/ESWBS та NES

Номер групи	Назва SWBS	Опис групи
Група 100	Конструкції	Включає ваги обшивки, набору, палуб, перегородок, надбудов і фундаментів
Група 200	Пропульсивна установка	Включає ваги дизелів, турбін, редукторів, валопроводів і рушіїв

Продовження табл. 1.5

Група 300	Електрична установка	Включає ваги обладнання для вироблення електроенергії, силових кабелів, освітлювальних систем і аварійних систем електропостачання
Група 400	Управління та моніторинг	Включає ваги навігаційної системи, системи внутрішнього зв'язку, протипожежної системи, системи спостереження, радіолокаторів, гідролокатором, радіоприймачів та інших систем управління і контролю
Група 500	Допоміжні системи	Включає ваги систем кондиціонування, вентиляції, охолодження і пожежогасіння, дистилляторів, вантажних трубопроводів і систем рульового управління
Група 600	Устаткування і фурнітура	Включає ваги слухних речей, ізоляції, фарбування, обладнання та фурнітури житлових приміщень, санітарних приміщень, офісів, медичних приміщень, сходів, комор, пральнь і майстерень
Група 700	Озброєння	Включає ваги систем артилерійського, торпедного та ракетної зброї, боєприпасів, систем зберігання та обробки боєприпасів, стрілецької зброї
Група F*	Вантаж	Включає ваги всіх змінних вантажів: команди з багажем, води, харчів, палива, мастил і т. д.
Група M	Запаси	Включає ваги доданих систем, змін та інших доповнень
Група 800	Інтеграція / Інжиніринг	Невагова категорія. Включає такі елементи, як креслення корабля, 3D-моделі, забезпечення якості, сертифікаційні стандарти, обладнання для навчання та навчання.
Група 900	Збірка і сервіси підтримки	Невагова категорія. Включає все, що необхідно для побудови корабля, його спуску і випробувань. Сюди входять будівельні ліси, страхування, елементи спуску корабля, здавальних випробувань і ін.

Сума ваг груп 100 – 700 становить вагу судна порожнем. Додавання до цієї ваги значень ваг категорій F і M визначає повне переміщення навантаження в кінці терміну служби.

При використанні системи SWBS для суднобудування група 800 перетворюється на групу витрат на технічне забезпечення суднобудування, а група 900 – на вартість конкретних операцій суднобудівного заводу. Одночасно додається група витрат 1000, що відображає витрати на страхування та інші банківські операції, що здійснюються суднобудівним заводом.

1.3.2 Формування CER для будівництва балкера

При переході через етапи проектування знизу вгору інформація про витрати праці для всіх груп SWBS, необхідна для визначення термінів будівництва судна, стає доступною для обробки на етапі попереднього проектування. На цьому етапі проектування він служить основою для визначення строку будівництва судна. Через те, що загальний час проектування, підготовки виробництва та будівництва судна визначається регресійними залежностями вищезазначених норм праці, терміни проектування та будівництва головного судна досить просто визначаються діленням на загальний обсяг роботи за видами. Їх виконання в часі залежить від кількості працівників.

При статистичному аналізі значення вартості приводяться у відповідність із цими характеристиками та параметрами розподілу. На цій основі створюються рівняння регресії (емпіричні співвідношення для оцінки витрат), тобто – ECER, що дозволяють виконувати прогнози вартості будівництва та експлуатації нового судна, виходячи з попереднього досвіду будівництва та експлуатації однотипних суден.

В даний час параметричний підхід використовується суднобудівними підприємствами для отримання ECER на основі SWBS для попереднього та контрактного етапів проектування. Таблиця 1.6 відображає параметричну обробку даних для будівництва судна насипного типу водотоннажністю 5 000-10 000 тон (повна водотоннажність).

Аналіз закономірностей продукт-орієнтованого проектування показує, що найбільш підходящим для прогнозування вартості та строку будівництва судна на початкових етапах його будівництва є рівень попереднього проектування, при якому форма майбутнього судна визначається розширеною структурою його розподілу – ESWBS та відповідні емпіричні співвідношення для оцінки витрат комплексом ECER. На цьому етапі, в наборі емпіричних взаємозв'язків для калькуляції витрат, ви можете обмежитися формуванням ECER витрат на оплату праці та ECER матеріалів (таблиця 1.6). Окрім того, потрібно враховувати рівні оплати праці, податків та зборів.

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.6 – Типові регресійні рівняння (ECER) концептуального проектування балкера

№ п/п	SWBS	Разделы массы, т	Доли водоизмещения полное Weight full, %	Трудовые затраты, чел.-ч	Материальные затраты, дол.
1	100	Weight ₁₀₀	30	TF*26.8*Weight ₁₀₀	1200*Weight ₁₀₀
2	200	Weight ₂₀₀	9	TF*23.0*Weight ₂₀₀	20000*Weight ₂₀₀
3	300	Weight ₃₀₀	5	788.7*Weight ₃₀₀ ^{1,025}	25000*Weight ₃₀₀
4	400	Weight ₄₀₀	4	719.8*Weight ₄₀₀ ^{0,795}	40000*Weight ₄₀₀
5	500	Weight ₅₀₀	10	TF*104.7*Weight ₅₀₀	10000*Weight ₅₀₀
6	600	Weight ₆₀₀	8	210.6*Weight ₆₀₀	10000*Weight ₆₀₀

В данній таблиці TF – коефіцієнт складності судових робіт, які визначаються типом судна (для балкера TF =0,85), Weight₁₀₀ – маси поділу системи SWBS, визначені по статистичним даним [3] в %-ах по відношенню до водотонажності судна в повному грузі Weight_{full} для судов та кораблів, дедевіт яких складає відносно малу частину повної водотонажності, чи по відношенню до маси судна порожнем Weight_{light} для судов, дедевіт яких складає основну частину повної водотонажності.

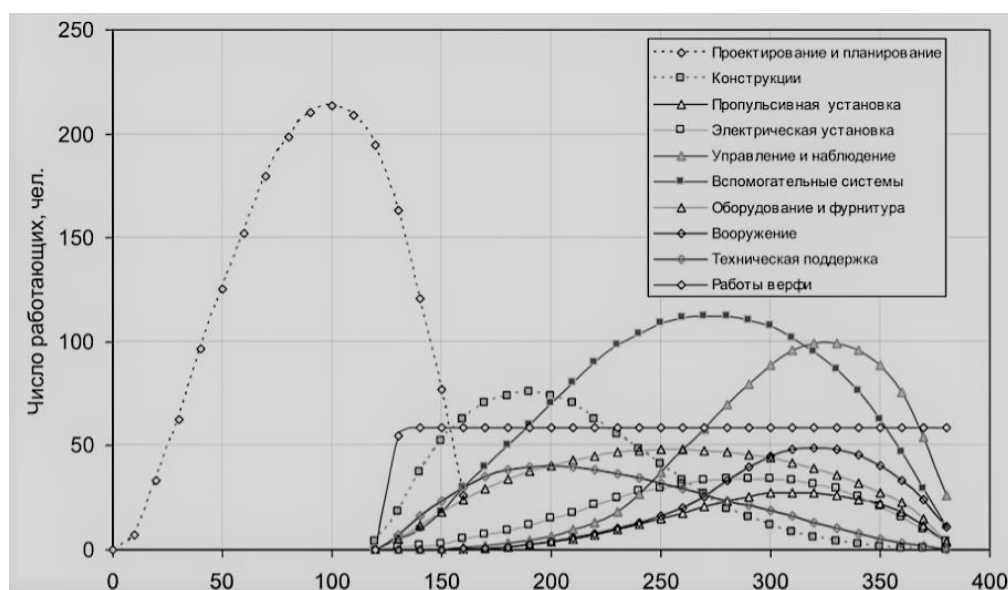


Рисунок 1.7 – Приклад потреби робочої сили при проектуванні, підготовці, будівництві, завершенні, спуску та випробуванні корабля [11]

Ці фактори визначаються за допомогою таблиць 1.7 та 1.8.

Таблиця 1.7 – Значення коефіцієнта TF для різних типів суден [11]

No	Тип корабля	Значення TF коефіцієнт
1	2	3
1	Танкер для сирої нафти	0.80
2	Цистерна для перевезення нафтопродуктів	1.13
3	Хімічний танкер	1.25
4	Танкер з подвійним корпусом	0.90
5	Наповнювач	0.85
6	Універсальне вантажне судно	0.95
7	Контейнеровоз	0.96
8	Корабель ро-ро	0.83
9	Корабель для перевезення автомобілів	0.61
10	Пором	1.25

11	Пасажирське судно	3.00
12	Риболовецьке судно	2.20
13	Буксир	0.80
14	Бойовик - крейсер (ядерний)	9.00
15	Бойовик - руйнівник	8.00
16	Бойовик - Фрегат	7.00
17	Десантний корабель - LHA / LHD	7.00
18	Десантний корабель - LSD / LPD	5.00
19	Допоміжний корабель - Танкер	2.50
20	Допоміжне судно - тендер	4.50
21	Дослідницьке судно	1.25
22	Морський буксир, океан	1.00
23	Криголам берегової охорони	4.50
24	Буй берегової охорони тендер	2.00

Таблиця 1.8 – Значення коефіцієнтів продуктивності верфі [11]

No	Країна виробник / Тип судна	Значення факторів продуктивності			
		Сталь	Обладнання	Матеріали	Загальні
	США				
1	Бойові кораблі (дуже великі)	5.00	-	-	-
2	Бойові кораблі (великі)	2.50	-	1.21	1.56
3	Подвійне використання	1.70	1.24	1.14	-
4	Сучасна комерційна компанія США (велика)	0.90	0.90	1.00	0.90
5	Сучасна комерційна реклама в США (середня)	1.00	1.00	1.00	1.00
6	Середній показник у США	1.20	1.20	1.00	1.20
	Інші країни				
1	Північна Європа (велика)	0.76	-	0.85	0.331
2	Південна Корея (велика)	0.71	-	0.72	0.283
3	Японія (2002)	-	-	-	0.198
4	Китай (2002)	-	-	-	0.992
	Модульне суднобудування				
1	Модуль конкурентного аутсорсингу США	1.00	0.80	-	-
2	Конкурентний модуль світового класу	0.76	0.52	-	-

1.3.3 Визначення вартості робіт з проектування і побудови балкера

Верф, обрана для будівництва судна, знаходиться в певній країні, в якій внаслідок чинного законодавства встановлений певний рівень заробітної плати, податків та прибутку. Модель витрат повинна враховувати ці обставини, особливо стосовно рівня заробітної плати, який суттєво впливає на вартість судна. В алгоритмі визначення вартості та строку будівництва суден передбачається використовувати вихідні дані про заробітну плату та інші стандарти, залежно від законодавства та рівня розвитку виробництва в країні, де знаходиться суднобудівний завод.

Найбільш комплексний метод продукт-орієнтованого проектування суден, був висунутий асоціацією SPAR [1]. Остаточний алгоритм методу був представлений компанією у вигляді таблиці, зображеної на рисунку 1.9. Це обчислювальна таблиця. Вихідними даними для таблиці є: тип судна (коефіцієнт TF), його повна водотоннажність M_{full} і проектна швидкість V_s . Все інше визначається даними конкретного суднобудівного виробництва конкретної країни та станом цього виробництва під час будівництва судна за допомогою відповідних коефіцієнтів

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

продуктивності суднобудівного заводу та коефіцієнтів регресії ECER, отриманих на базі ESWBS (таблиці 1.6 – 1.8).

На основі такого типу таблиці в дипломній роботі був розроблений алгоритм визначення вартості та тривалості робіт з проектування, планування, підготовки виробництва та створення розглянутого балкера. Розрахунки результатів за допомогою цього алгоритму представлені на рисунку 1.9.

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37

1.4 Систем-орієнтоване проектування балкера на інтервалах часу його ефективного використання

1.4.1 Моделі віртуальних просторів експлуатації балкера

Віртуальні простори функціонування судна в періоди ефективного використання його життєвого циклу формуються географічним середовищем експлуатації, середовищем погодних (навігаційних) умов експлуатації та середовищами виробничих та фінансових відносин процесів створення і експлуатації судна [6].

1.4.1.1 Географічне середовище експлуатації судна

Таке середовище визначається положенням району експлуатації судна та відстанню між портами призначення. Згідно з завданням, балкер, що розглядається, експлуатується в районах Чорного і Середземного морів. Судно перевозить насипні вантажі з України, порт Південний, до Франції, порт. Відстань між портами становить 1730 миль. Візуалізація маршруту представлена на рисунку 1.10.

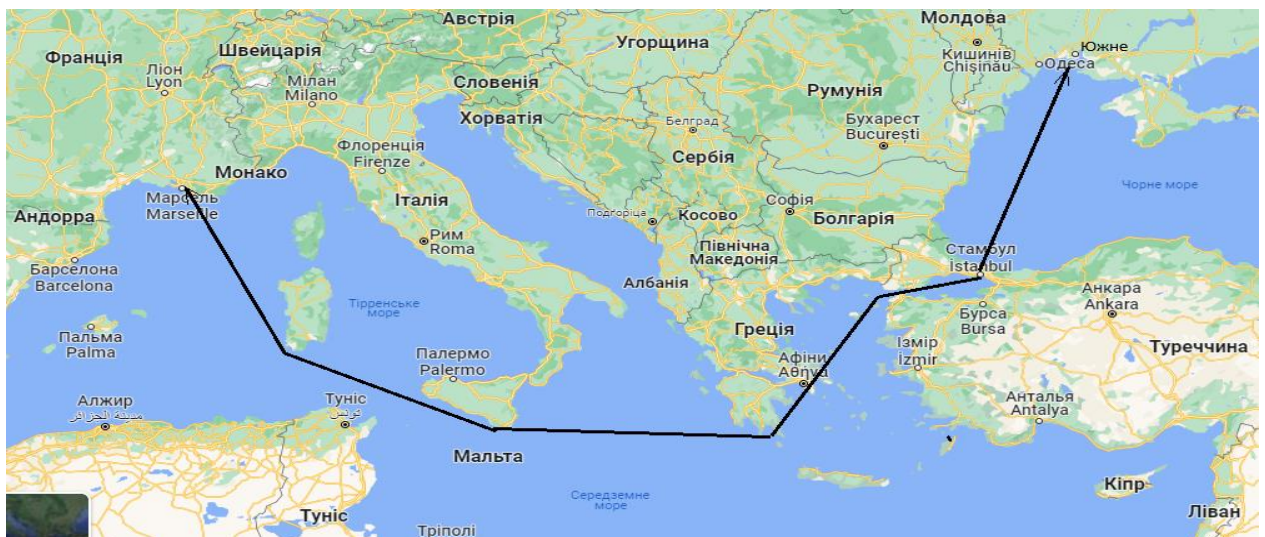


Рисунок 1.10 – Район експлуатації балкера

1.4.1.2 Простір погодних умов району експлуатації

Основними характеристиками цього віртуального простору є характеристики погодних умов: інтенсивності морських течій, вітру та хвилювання, параметрів льодової обстановки. Морські течії та дії вітру та хвиль впливають на положення судна та швидкість руху під час транспортування вантажів між портами. Ці впливи є випадковими функціями часу та місцезнаходження судна під час транспортних операцій. Їхній спрощений аналіз зазвичай проводиться в класі стаціонарних випадкових функцій. Такий розгляд замінює послідовність природних впливів на судно серією стаціонарних режимів морських течій, дії вітру та хвиль. Зміна інтенсивностей вітрового та хвильового впливів протягом року експлуатації судна або на інтервалі часу його життя визначається за допомогою довготривалих (режимних) розподілів середніх швидкостей вітру v_v , м/с та характерних висот хвиль (висот хвиль 3% забезпеченості $h_{3\%}$, м). Закон Вейбулла і Логнормальний розподіл зазвичай використовуються як закони розподілу інтенсивностей впливів вітру, v_v і хвиль, $h_{3\%}$ [15]. Вплив льоду за час його існування оцінюється законом розподілу товщини льоду h_L .

Закони розподілу інтенсивностей вітрових та хвильових впливів будуються на основі статистичних даних. Статистичні дані про режими вітру та хвилювання в районі експлуатації балкера наведено в таблицях 1.9 та 1.10 відповідно.

Таблиця 1.9 – Дані про довгострокові характеристики вітру Чорного та Середземного морів [15]

Повторюваність f(v) та забезпеченість Q(v) швидкостей вітру по районах Чорного та Середземного морів, %																	
Чорне море, ВСЬ РІК						Середземне море, ВСЬ РІК											
Швидкість вітру, м/с	Район 1		Швидкість вітру, м/с	Район 3		Швидкість вітру, м/с	Район 9		Швидкість вітру, м/с	Район 4		Швидкість вітру, м/с	Район 3		Швидкість вітру, м/с	Район 2	
	f(v)	Q(v)		f(v)	Q(v)		f(v)	Q(v)		f(v)	Q(v)		f(v)	Q(v)		f(v)	Q(v)
0-4	27,6	100	0-4	33,2	100	0-4	24,0	100	0-4	25,7	100	0-4	30,9	100	0-4	20,9	100
4-8	37,6	72,4	4-8	39,9	66,8	4-8	31,6	76,0	4-8	36,8	74,3	4-8	35,4	69,1	4-8	30,4	79,1
8-12	24,3	34,8	8-12	20,8	26,9	8-12	25,1	44,4	8-12	25,1	37,5	8-12	21,9	33,7	8-12	25,1	48,8
12-16	8,5	10,6	12-16	5,3	6,1	12-16	13,4	19,3	12-16	9,7	12,4	12-16	8,8	11,8	12-16	14,5	23,7
16-20	1,8	2,0	16-20	0,8	0,9	16-20	4,7	5,9	16-20	2,3	2,7	16-20	2,5	3,0	16-20	6,4	9,2
20-24	0,2	0,2	≥20	0,08	0,08	20-24	1,0	1,2	20-24	0,4	0,4	20-24	0,5	0,5	20-24	2,2	2,8
≥24	0,02	0,02				≥24	0,14	0,14	≥24	0,04	0,04	≥24	0,05	0,05	≥24	0,6	0,6

Таблиця 1.10 – Дані про довгострокові характеристики хвилювання Чорного та Середземного морів [15]

Повторюваність f(h) та забезпеченість Q(h) висот хвиль по районах Чорного та Середземного морів. %																	
Чорне море, ВЕСЬ РІК						Середземне море, ВЕСЬ РІК											
Висота хвиль h3%, м	Район 1		Висота хвиль h3%, м	Район 3		Висота хвиль h3%, м	Район 4		Висота хвиль h3%, м	Район 9		Висота хвиль h3%, м	Район 3		Висота хвиль h3%, м	Район 2	
	f(h)	Q(h)		f(h)	Q(h)		f(h)	Q(h)		f(h)	Q(h)		f(h)	Q(h)		f(h)	Q(h)
0-1	49,4	100	0-1	53,0	100	0-1	18,7	100	0-1	32,2	100	0-1	40,2	100	0-1	31,8	100
1-2	35,1	50,6	1-2	34,3	47,0	1-2	41,2	81,3	1-2	34,5	67,8	1-2	33,0	59,8	1-2	30,0	68,2
2-3	11,8	15,5	2-3	9,7	12,8	2-3	27,5	40,0	2-3	19,6	33,4	2-3	15,5	26,8	2-3	17,3	38,2
3-4	2,9	3,7	3-4	2,1	3,1	3-4	8,8	12,5	3-4	8,2	13,7	3-4	6,6	11,3	3-4	9,2	20,8
4-5	0,7	0,9	4-5	0,6	0,9	4-5	2,4	3,7	4-5	3,3	5,5	4-5	2,9	4,7	4-5	5,1	11,6
≥5	0,2	0,2	5-6	0,2	0,4	5-6	0,8	1,3	5-6	1,4	2,2	5-6	1,2	1,9	5-6	3,0	6,5
			6-7	0,1	0,15	6-7	0,3	0,5	6-7	0,5	0,8	6-7	0,5	0,7	6-7	1,8	3,5
			≥7	0,04	0,04	7-8	0,13	0,21	7-8	0,2	0,3	7-8	0,2	0,2	7-8	1,1	1,7
						≥8	0,06	0,07	≥8	0,06	0,06	≥8	0,06	0,07	≥8	0,5	0,7

1.4.1.3 Простір виробничих відносин процесу транспортування вантажів

Цей віртуальний простір визначається видами основних функціональних операцій судна та портових служб. До основних функціональних операцій судна відносяться такі види транспортних операцій: послідовні рейси, транспортування вантажів вільними маршрутами (трамп), рух за розкладом, службове використання, використання для відпочинку та туризму.

Балкер, який розглядаємо, відноситься до суден послідовних рейсів. При цьому, за умовою завдання, балкер буде використовуваний для кругових рейсів.

Круговим рейсом називають технологічний процес, що включає всі операції, що виконуються судном між двома послідовними відправленнями з одного й того ж пункту. Іншими словами, судно здійснює перевезення між двома або декількома портами і повертається до початкового порту відправлення. Схема функціонування судна такого виду транспортних операцій представлена на рисунку 1.11.

Основними характеристиками кругового рейсу, як основної транспортної операції судна, є: відстань між портами S_{bp} , кількість вантажу Q_p , що перевозиться, швидкість руху при прямому переході між портами v_d , швидкість руху на зворотному шляху v_b , час морського переходу $t_{st} = t_{std} + t_{stb}$, де $t_{std} = S_{bp}/v_d$ – час прямого морського переходу, а $t_{stb} = S_{bp}/v_b$ – час морського переходу на зворотному шляху.

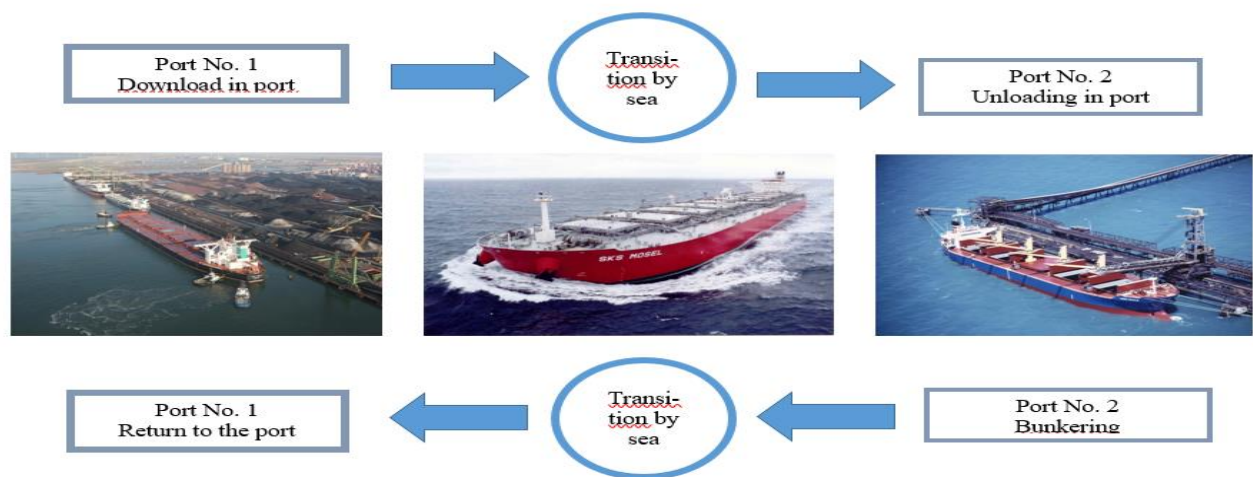


Рисунок 1.11 – Модель кругового рейсу балкера, що розглядається

Тип портового обладнання для завантаження та розвантаження навалочних вантажів, що перевозяться на судні, визначають продуктивність портових послуг. У зв'язку з цим терміни завантаження та розвантаження вантажу визначаються співвідношеннями $t_{load1} = Q_p/q_d$; $t_{load2} = Q_p/q_b$; $t_{unload1} = Q_p/q_d$; $t_{unload2} = Q_p/q_b$, де q_d , q_b – продуктивність вантажного обладнання портів відправлення та прибуття.

Враховуючи викладене, час кругового рейсу t_{rt} визначиться виразом

$$t_{rt} = t_{load1} + t_{std} + t_{unload2} + t_{load2} + t_{stb} + t_{unload1}. \quad (1.1)$$

1.4.1.4 Простір фінансових відносин процесу транспортування вантажів

Стан транспортного ринку та розподіл потоків фінансових ресурсів між традиційними учасниками ринку – відправником вантажу, фрахтувальником та судновласником – визначають фінансову частину віртуального простору функціонування транспортних суден.

Для комерційного транспортного судна найбільш загальною характеристикою стану ринку перевезень є ймовірність укладання довгострокового контракту чи фрахту PF. Якщо така операція відбулася, то розподіл коштів між учасниками транспортних операцій: відправником вантажу, фрахтувальником і власником судна, може бути представлений схемою, яка наведена на рисунку 1.12 [6].

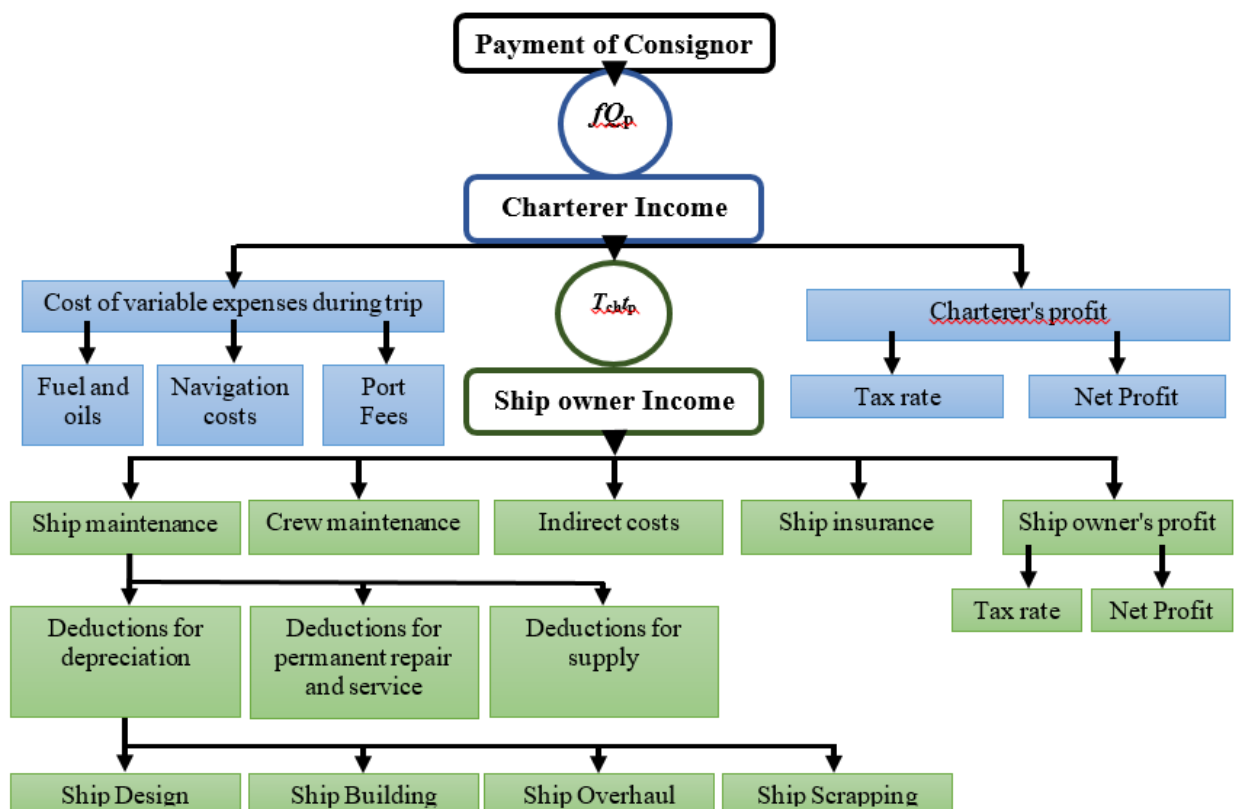


Рисунок 1.12 – Розподіл коштів між учасниками транспортної операції одного кругового рейсу: відправником вантажу (Consignor), фрахтувальником (Charterer) і власником судна (Ship Owner)

Схема на рисунку 1.12 також визначає складові доходу та отриманого прибутку учасниками транспортної операції, витрати на навігацію, обслуговування судна та амортизацію, що мають місце після завершення одного кругового рейсу. Такі самі складові фінансових операцій визначають оборот коштів за інтервали часу, рівні року експлуатації та строку життя судна.

Для 1-го кругового рейсу балкера рисунок 1.12 вводить такі позначення:

$$I_l = fQ_p, \quad (1.2)$$

де I_l – дохід фрахтувальника (або дохід судновласника, якщо фрахтувальник та судновласник – одна особа); f – фрахтова ставка; Q_p – кількість вантажу в рейсі судна:

$$fQ_p = E_{var} + P_{charterer} + T_{ch}(t_{rt}/24) \quad (1.3)$$

Тут E_{var} – змінні витрати з експлуатації судна чи поточні рейсові витрати (витрати фрахтувальника);

$P_{charterer}$ – прибуток фрахтувальника до оподаткування з виручки від одного рейсу з перевезення вантажу;

$$E_{var} = E_{fuel\&oil} + \Delta E_{var}, \quad (1.4)$$

$E_{fuel\&oil}$ – витрати на паливо та мастило:

$$E_{fuel\&oil} = C_f g_l (q_l t_{load} + q_d t_{std} + q_l t_{unload} + q_b t_{std}), \quad (1.5)$$

$$t_{load} = t_{load\ 1} + t_{load\ 2};$$

$$t_{unload} = t_{unload\ 1} + t_{unload\ 2};$$

ΔE_{var} – додаткові змінні витрати фрахтувальника, включаючи витрати на навігацію E_{nc} , витрати на завантаження/розвантаження E_{load} , E_{unload} , портові збори E_{pch} та інші витрати, які пов'язані з рейсом.

$$T_{ch}(t_{rt}/24) = I_{iso} \quad (1.6)$$

I_{iso} – дохід судновласника.

У виразах (1.5) - (1.6):

C_f – ціна палива;

$g_l = (1,02 \dots 1,04)$ – коефіцієнт, який враховує мастильні матеріали;

q_l , q_d , q_u , q_b – значення щогодинної витрати палива при русі судна в морі та його стоянці в портах;

t_{rt} – тривалість кругового рейсу;

$t_{load\ 1}$, $t_{load\ 2}$, t_{std} , $t_{unload\ 1}$, $t_{unload\ 2}$, t_{std} – компоненти t_{rt} (дивись (1.1));

T_{ch} – тайм-чартерний еквівалент, який включає витрати судновласника на обслуговування судна E_{sm} , утримання екіпажу E_{cm} , непрямі витрати E_{uc} , страхування судна E_{si} та прибуток судновласника до оподаткування P_{sowner} (дивись рисунок 1.12).

Таким чином, сумарні витрати E_l 1-го кругового рейсу судна послідовних рейсів, що розглядається, можна представити формулою

$$E_l = E_{lfuel\&oil} + \Delta E_{lvar} + E_{lsm} + E_{lcm} + E_{luc} + E_{lsi}, \quad (1.7)$$

та основні характеристики ефективності цього 1-го кругового рейсу – сумарний дохід I_l та сумарний прибуток P_l учасників транспортної операції – виразами:

$$I_l = I_{lcharterer} + I_{sowner}; \quad P_{lcharterer} = +P_{lsowner}. \quad (1.8)$$

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

1.4.2 Модель інженерно-навігаційних якостей балкера

Моделі інженерних та навігаційних (морехідних) якостей судна визначають особливості його функціонування як складної системи. Ці властивості є набором характеристик, які залежать від основних елементів судна – довжини L , ширини B , осадки d , висоти борту D , коефіцієнтів повноти C_B , C_W , C_m , швидкості ходу v_s та параметрів силової установки, а також від параметрів систем та обладнання судна.

До інженерних характеристик судна зазвичай відносять місткість та міцність. Навігаційними характеристиками є такі морехідні якості, як плавучість, остійність, непотоплюваність, ходовість, керованість і мореплавство [14].

Властивість місткості визначається необхідними обсягами суднових приміщень і площами палуб для розміщення механізмів, обладнання, систем, вантажів, що транспортуються і т. д. Ця властивість, яка потребує, щоб наявні об'єми V_C і площі A_C були не менше $|V_C|$ та $|A_C|$, які необхідні для розміщення обладнання і вантажів на судні, вважається достатнім, якщо виконуються такі нерівності:

$$V_C \geq |V_C|; \quad A_C \geq |A_C| \quad (1.9)$$

Технічна якість судна як міцність вимагає, щоб напруги σ_C у з'єднаннях корпусу судна, викликані діючими під час експлуатації навантаженнями, були не більшими за допустиме значення $|\sigma_C|$:

$$\sigma_C \leq |\sigma_C| \quad (1.10)$$

Врахування властивості плавучості призводить до необхідності використання рівняння плавучості, тобто необхідності задоволення рівності сили ваги, що визначається масами W_{i00} розширеної структури розбиття суднових робіт на частини ESWBS, і сили плавучості $\rho g L B d C_B$ в положенні рівноваги судна на тихій воді:

$$\sum_{i=1}^7 g W_{i00} + g W_F = \rho g L B d C_B \quad (1.11)$$

Непотоплюваність судна вимагає виконання нерівності

$$R > |R|, \quad (1.12)$$

де R – імовірнісний показник поділу корпусу судна на відсіки,

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$|R|$ – необхідне значення цього показника.

Остійність судна при великих кутах крену забезпечується шляхом виконання таких нерівностей, як критерій погоди та обмежень, що визначають необхідні значення параметрів діаграми остійності:

$$K > 1; \quad h_0 > 0,05 \text{ m}; \quad \theta_m > 30 \text{ deg.}; \quad \theta_v > 60 \text{ deg.}; \dots \quad (1.13)$$

Забезпечення необхідної ходовості судна вимагає рівності буксирувальної потужності ЕНР добутку потужності енергетичної установки корабля N_E на пропульсивний коефіцієнт η , що враховує ККД рушійного комплексу на режимах руху судна:

$$ENR = \eta N_E. \quad (1.14)$$

Властивість керованості судна як сукупність властивостей стійкості на курсі та маневреності також визначається на етапі концептуального проектування. Поперше, передбачається, що стійкість на курсі може бути забезпечена за допомогою апаратних засобів у системі управління рухом судна і, по-друге, для забезпечення маневреності вводиться вимога, щоб діаметр циркуляції судна D_C був не більше необхідного $|D_C|$:

$$D_C \leq |D_C| \quad (1.15)$$

Достатній рівень мореплавства визначається задоволенням вимог щодо придатності до життя на судні та експлуатації суднового обладнання в умовах впливу на судно вітрохвильових режимів району його експлуатації. Задоволення умов придатності до життя на судні та експлуатації обладнання досягається, якщо переміщення s , швидкості $\dot{s}$ і прискорення $\ddot{s}$ при русі судна під впливом вітрохвильових режимів району експлуатації не перевищують встановлені критичні значення $|s|$, $|\dot{s}|$ та $|\ddot{s}|$:

$$s < |\dot{s}|, \quad \dot{s} < |\ddot{s}|, \quad |\ddot{s}| < |\ddot{s}|. \quad (1.16)$$

Модель інженерно-навігаційних властивостей судна, створена для використання на етапі концептуального проектування, допускає спрощення. Так, наприклад, оскільки вага судна визначається з використанням структури ESWBS, складеної за допомогою даних про побудовані судна, які мають необхідні товщини елементів конструкцій для забезпечення міцності та необхідну кількість водонепроникних перебірок для забезпечення непотоплюваності, нерівності (1.10) та (1.13) можуть не розглядатися. Вони можуть бути прийняті до уваги на наступних етапах проектування судна.

1.4.3 Модель експлуатації балкера

Модель функціонування створена для дослідження операцій, що здійснюються судном на інтервалах ефективного періоду його життя.

Основна функціональна операція судна – транспортування вантажу – представляється круговим рейсом, який наведено на рисунку 1.11.

При побудові цієї операції передбачалося, що балкер здійснює кругові рейси між двома портами №1 і №2. Під час кругового рейсу судно завантажується в порту №1, потім переходить морським шляхом у порт №2, транспортуючи вантаж. У порту №2 судно розвантажується, потім завантажується новим вантажем і повертається до порту №1, де знову розвантажується.

Основні характеристики кругового рейсу, такі як швидкість руху судна на прямому переході між портами v_d , швидкість руху на зворотному шляху v_b і часи морських переходів $t_{st} = t_{std} + t_{stb}$, визначаються рішеннями диференціального рівняння руху судна в умовах району його експлуатації. У загальному випадку таке рівняння подається у такому вигляді:

$$(M + \mu_{11}) d_v / d_t + R(v, t) = T(v, t), \quad (1.17)$$

де M – маса судна; μ_{11} – приєднана маса; v – швидкість корабля; $R(v, t)$ – опір води та повітря рухові судна (включаючи додатковий опір вітру, хвиль чи інших факторів); $T(v, t)$ – тяга рушійного комплексу судна.

При переходах між портами в період ефективного використання судна маса судна, що дорівнює масі повної водотоннажності, визначається наступним виразом:

$$M = M_{full} = M_{light} + M_{DW} = \sum_{i=1}^7 M_{i00} + M_{groupF}, \quad (1.18)$$

де $M_{DW} = M_{groupF}$ – дедвейт судна чи маса всіх змінних вантажів (див. таблицю SWBS):

$$M_{DW} = M_{cargo} + M_{fuel\&oil} + M_{water} + M_{provisions} + M_{crew} + \dots, \quad (1.19)$$

тут $M_{cargo} = Q_p$ – маса вантажу; $M_{fuel\&oil}$ – маса палива та олії; M_{water} – маса прісної води; $M_{provisions}$ – маса провізії; M_{crew} – маса екіпажу з багажем тощо.

У зв'язку з випадковим характером вітрохвильових та інших впливів на судно під час його експлуатації, а також випадковим характером фрахтування судна, вантажно-розвантажувальних робіт та реалізації інших функціональних операцій, для опису таких операцій необхідно використовувати апарат теорії ймовірностей. При ймовірнісному підході до вивчення операцій характеристики операцій можуть бути визначені двома способами: за допомогою теорії випадкових подій і за допомогою теорії випадкових функцій.

Теорія випадкових подій дозволяє визначити характеристики надійності судна (див. далі п.1.4.3.1). При цьому використовуються відомі теореми додавання та множення ймовірностей випадкових подій, що супроводжують функціональні операції судна. Характеристики ефективності судна визначаються за допомогою алгоритмів теорії випадкових функцій (див. далі п.1.4.3.2). Застосування цієї теорії дозволяє побудувати перетворення випадкових функцій, що представляють людські, матеріальні та фінансові ресурси операцій та часи їх реалізації, у результати виконання операцій – показники ефективності судна [6].

1.4.3.1 Ймовірнісні характеристики надійності балкера

Операція транспортування вантажу F під час кругового рейсу балкера здійснюється, якщо реалізуються дві події:

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- судну дозволяється вихід у рейс за погодними умовами району експлуатації (подія F_1);

- у погодних умовах району експлуатації немає інших негативних подій, що перешкоджають виконанню рейсу, та рейс виконується (подія F_2).

Оскільки подія F виконується, якщо події F_1 і F_2 реалізуються разом, тобто $F = F_1 \times F_2$, то ймовірність $P[F]$ події F обчислюється за формулою [10]:

$$P[F] = P[F_1] \times P[F_2|F_1], \quad (1.20)$$

де $P[F_1]$ – ймовірність події F_1 ; $P[F_2|F_1]$ – умовна ймовірність події F_2 , тобто ймовірність, розрахована за умови, що подія F_1 відбулася.

Ймовірність $P[F_1]$ є одною із характеристик надійності судна. Вона визначається частотою зустрічі судна із сприятливими погодними умовами району експлуатації, за яких транспортна операція може бути реалізована за технічними можливостями судна.

Згідно зі схемою рисунка 1.11, реалізація кругового рейсу F супроводжується реалізацією проміжних операцій: завантаженням вантажу в порту №1 (подія F_{21}), транспортуванням вантажу (подія F_{22}), розвантаження судна в порту №2 (подія F_{23}), завантаженням нового вантажу в порту №2 (подія F_{24}), транспортуванням вантажу при зворотному переході морем (подія F_{25}) та розвантаженням судна в порту №1 (подія F_{26}). Круговий рейс вважається реалізованим, коли всі ці проміжні операції (події) виконуються спільно ($F_2 = F_{21} \times F_{22} \times F_{23} \times F_{24} \times F_{25} \times F_{26}$).

Отже, ймовірність реалізації кругового рейсу розраховується за формулою

$$P[F_2|F_1] = P[F_{21}] \times P[F_{22}] \times P[F_{23}] \times P[F_{24}] \times P[F_{25}] \times P[F_{26}], \quad (1.21)$$

де $P[F_{21}]$ – ймовірність завантаження судна в порту №1, $P[F_{22}]$ – ймовірність транспортування вантажу до порту №2, $P[F_{23}]$ – ймовірність розвантаження судна в порту №2, $P[F_{24}]$ – ймовірність завантаження судна в порту №2, $P[F_{25}]$ – ймовірність транспортування вантажу до порту №1, $P[F_{26}]$ – ймовірність розвантаження судна в порту №1.

Подія $\bar{F}$, яка полягає в тому, що операція кругового рейсу не була проведена, є подією, протилежною до події F . Подія $\bar{F}_1$, яка протилежна події F_1 , відображає той факт, що судно не вийшло в круговий рейс внаслідок неприпустимої

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

штормової обстановки в районі експлуатації. Подія $\bar{F}_2$ також має місце, якщо на будь-якому етапі кругового рейсу відбувається аварія, що тягне за собою її нереалізацію.

Для обчислення ймовірностей $P[\bar{F}]$, $P[\bar{F}_1]$ та $P[\bar{F}_2|F_1]$ протилежних подій використовуються такі вирази:

$$P[\bar{F}] = 1 - P[F], P[\bar{F}_1] = 1 - P[F_1], P[\bar{F}_2|F_1] = 1 - P[F_2|F_1]. \quad (1.22)$$

При малих значеннях ймовірностей $P[\bar{F}_{21}]$, $P[\bar{F}_{22}]$, $P[\bar{F}_{23}]$, $P[\bar{F}_{24}]$, $P[\bar{F}_{25}]$, $P[\bar{F}_{26}]$ подій $\bar{F}_{21}$, $\bar{F}_{22}$, $\bar{F}_{23}$, $\bar{F}_{24}$, $\bar{F}_{25}$, $\bar{F}_{26}$ маємо наближену залежність

$$P[\bar{F}_2|F_1] \approx P[\bar{F}_{21}] + P[\bar{F}_{22}] + P[\bar{F}_{23}] + P[\bar{F}_{24}] + P[\bar{F}_{25}] + P[\bar{F}_{26}] = \sum_{k=1}^6 P[F_{2k}], \quad (1.23)$$

яку отримано шляхом розкладання залежностей (1.22) у ряд Тейлора за ступенями цих малих величин.

Визначення на основі ймовірності $P[\bar{F}_1]$ середньорічного часу простою балкеру за погодними умовами району експлуатації наведено у Додатку 3.

Значення ймовірності $P[\bar{F}_2|F_1]$, яка пов'язана з аварією судна, наведене для одного року, тобто записаної у формі $P[\bar{F}_2|*]$, зазвичай дає офіційна статистика аварій.

Щоб перейти до аналізу впливу типів аварій та рівня їх серйозності (уразливості суден) на аварійність, вводяться такі групи випадкових подій: група подій за типом аварій T_i , $i = 1, 2, \dots, I$, та відповідні кожному типу нещасних випадків групи тяжкості аварій L_{ik} , $k = 1, 2, \dots, K_i$, де K_i – загальна кількість градацій тяжкості.

За допомогою введених груп подій ймовірність $P[A]$ аварії A під час використання судна за призначенням визначається за формулою

$$P[A] = \sum_{i=1}^I P[T_i] \times \{\sum_{k=1}^{K_i} P[L_{ik}]\}. \quad (1.24)$$

Якщо кожен рівень серйозності аварій пов'язати зі значенням відповідних фінансових збитків C_{ik} , $k = 1, 2, \dots, K_i$, то загальні фінансові збитки C від аварій за час виконання судном основних функціональних операцій дорівнюватиме

$$C = \sum_{i=1}^I P[T_i] \times \{\sum_{k=1}^{K_i} P[L_{ik}] \times C_{ik}\}. \quad (1.25)$$

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

У цій формулі значення ймовірностей $P[T_i]$, $P[L_{ik}]$ та C_{ik} надаються за даними офіційної статистики аварій суден або отримуються за результатами моделювання можливих аварій суден під час завантаження, розвантаження та під час транспортування вантажів за допомогою методу статистичних випробувань.

1.4.3.2 Імовірнісні характеристики ефективності балкера

Вантажно-розвантажувальні операції балкера та транспортування вантажу моделюються шляхом розв'язування рівнянь переносу маси та руху тіл у рідині. Складання таких рівнянь здійснюється за допомогою схеми рисунка 1.11. Розв'язання рівнянь виконується методом статистичних перевірок. Отримане рішення, яке спрямоване на реалізацію фінансових відносин комерційного використання судна, представлено схемою на рисунку 1.12.

Основним результатом комерційного використання судна є прибуток P_l , який для l -го кругового рейсу визначається за відомою формулою

$$P_l = I_l - E_l, \quad (1.26)$$

де I_l – отриманий дохід, E_l – витрати.

Тут P_l , I_l та E_l є випадковими величинами. Випадковість цих значень визначається варіаціями фрахтових ставок, цін на паливо, впливом випадкових дій вітру та хвилювання на витрату палива, тривалість кругового рейсу тощо.

У рамках застосування кореляційної теорії випадкових функцій повний набір характеристик розглянутих випадкових величин P_l , I_l та E_l є сукупністю їх математичних очікувань і дисперсій.

Для математичних очікувань (середніх значень) $\bar{P}_l$, $\bar{I}_l$ та $\bar{E}_l$ мають місце вираження [10]

$$\bar{P}_l = M[P_l], \bar{I}_l = M[I_l], \text{ and } \bar{E}_l = M[E_l],$$

де $M[\dots]$ – операція усереднення.

Дисперсії випадкових величин P_l , I_l та E_l обчислюються за формулами:

$$D_P = M[(P_l - \bar{P}_l)^2], D_I = M[(I_l - \bar{I}_l)^2], D_E = M[(E_l - \bar{E}_l)^2].$$

Підсумовуючи середній прибуток за L кругових рейсів, загальна тривалість яких дорівнює часу ефективного використання судна за призначенням, та розділивши отриману суму на N років такого використання, маємо

$$\frac{1}{N} \sum_{l=1}^L \bar{P}_l = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^L (\bar{I}_l - \bar{E}_l) = \bar{P}_1 \quad (1.27)$$

Отриманий вираз є середнім прибутком від річного ефективного використання судна $\bar{P}_1$, який не враховує упущену вигоду через річний простій судна, викликаного погодними умовами. З урахуванням упущеної вигоди через простій судна внаслідок погодних умов вираз для річного прибутку $\bar{P}_1^*$ представляється формулою

$$\bar{E}_1^* = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^L \bar{E}_l + \Delta \bar{E}_1, \quad (1.28)$$

При побудові цієї формули додатково передбачалося, що втрата коштів через аварії під час використання судна за призначенням може бути покрита його страховкою. Отже, формула фінансових збитків від аварій (1.25) може не застосовуватись. Замість застосування цієї формули можна використовувати традиційні оцінки екстремальних значень випадкових величин, що розглядаються, засновані на застосуванні «правила трьох сигм» та інших характеристик перевищення рівнів.

1.4.3.3 Комплексні показники ефективності та надійності балкера

Ринкові дані щодо цін на матеріали та обладнання, що використовуються в суднобудуванні, вказують на їхню велику мінливість та слабку передбачуваність. Тому вважається раціональним, що на першому етапі життєвого періоду судна – стадії його створення, показники ефективності судна мають бути такими комплексними характеристиками його ефективності та надійності, що відображають чисту поточну вартість. Найпростіші уявлення таких комплексних показників мають вигляд [6]

$$\begin{aligned} OF_1 &= \sum_{l=1}^L P_{ll} (\bar{I}_l - \bar{E}_l) - \bar{B}; \\ OF_2 &= \frac{\sum_{l=1}^L (\bar{E}_l) + \bar{B}}{\prod_{i=1}^I P_i}, \end{aligned} \quad (1.30)$$

де P_l – ймовірність отримання прибутку за l -ий круговий рейс; $\bar{I}_l$ – середній дохід за l -ий круговий рейс; $\bar{E}_l$ – середні витрати за l -ий круговий рейс; $\bar{B} = \overline{E_{creation}}$ – середня вартість створення (тобто проектування та побудови) судна; L – кількість кругових рейсів, які можуть бути здійснені за визначений термін експлуатації судна; $\prod_{i=1}^l P_i$ – ймовірність того, що судно виконає усі свої основні функціональні операції.

У процесі пошуку оптимального конструктивного рішення судна перший із показників OF_1 максимізується, конфігуруючи проектне рішення на досягнення максимального прибутку в процесі експлуатації судна, другий OF_2 мінімізується для досягнення мінімальних витрат при виконанні судном базового набору своїх функціональних операцій.

Ймовірність отримання прибутку за l -ий круговий рейс P_l визначається ймовірністю укладання контракту чи фрахту на окремий круговий рейс ймовірністю укладання довгострокового контракту чи фрахту P_F . Оскільки ці величини є стохастичними, то для визначення закону їх розподілу, як випадкових величин, необхідно мати статистичні дані щодо укладених контрактів чи фрахтів для заданого середовища експлуатації нашого балкера. За відсутності вищезазначених статистичних даних можемо зробити припущення про укладання контракту чи фрахту на увесь термін експлуатації балкера, що розглядається. В такому випадку вираз для визначення цільової функції прийме наступний вигляд:

$$OF_1 = \sum_{l=1}^L (\bar{I}_l - \bar{E}_l) - \bar{B} \quad (1.31)$$

Отже, для балкера, що розглядається, як комплексний показник ефективності та надійності вибирається показник, представлений формулою (1.31).

1.5 Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера

Для вирішення проблем дослідження, розробки та охорони ресурсів морського басейну України Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова розробив комплексний метод визначення функціонування рухомих морських об'єктів, оцінюючи ефективність функціонування за критеріями

продуктивності та надійності, і синтез оптимальних проектних рішень як для окремих об'єктів експлуатації, так і для їх сукупності, призначених для реалізації конкретних практичних цілей [6].

При вирішенні проблем будівництва таких об'єктів на суднобудівних заводах зазвичай враховуються судна різного типу та призначення. Як період експлуатації судна вибирається тривалість життя. Цей період починається з часу, необхідного для проектування, подальшого проходження всіх етапів будівництва, ефективного використання, капітального ремонту і закінчується утилізацією. На часових інтервалах ефективного використання судна або групи суден враховуються особливості їх використання в місцях експлуатації. Ці судна розглядаються як учасники технологічних ланцюгів транспортування вантажів, видобування морських ресурсів або обслуговування виробничих споруд. Вони працюють в умовах дії вітру, хвиль та інших кліматичних факторів силового впливу на судна та морські споруди.

На період життя мобільних морських об'єктів, що розглядаються, визначається їх взаємодія з фінансовими, проектними, будівельними та експлуатаційними організаціями та підприємствами. За необхідності вирішуються питання інвестування у створення об'єктів та підтримку процесів їх експлуатації.

Вираз індексу чистої приведеної вартості як вираження цільової функції процесу оптимального проектування мобільного морського об'єкта комерційного призначення записується у вигляді

$$OF_1^* = \sum_{j=1}^J \frac{\bar{I}_j - \bar{E}_j}{(1+i)^j} \quad (1.32)$$

де підсумовування середньорічних прибутків $\bar{I}_j - \bar{E}_j$ поширюється на всі роки j життя об'єкта, а величина i є ставкою дисконту, яка враховує рівень інфляції та інші ризики інвестування в даний сектор економіки. Використовуючи вищенаведені цільові функції, задачу пошуку оптимального конструктивного рішення рухомого морського об'єкта (балкера чи іншого судна) або їх сукупності (флоту) формують наступним чином [6]

$$\begin{array}{llll} \text{Знайти:} & \mathbf{OF\{U,x\} \Rightarrow extr} & (1.33) \\ \text{В:} & & & \\ & E_N(X) \geq 0, & N = 1,2,3; & (1.34) \\ & F_K(X) \geq [F_K], & K = 1,2, \dots, K & (1.35) \\ & PK_L[PT] \leq [PK_L], & L = 1,2, \dots, L & (1.36) \\ & X \leq X_Q, & Q = 1,2, \dots, Q & (1.37) \end{array}$$

де $E_N(X) \geq 0$ це обмеження, що забезпечують необхідний рівень ефективності рухомого об'єкта (обмеження плавучості, місткості, навігації та основних функціональних підсистем – надання допомоги постраждалим, підсистеми пожежогасіння, підсистеми реагування на розливи нафти, радіолокації, виявлення порушників водного простору, що охороняється, бортової зброї тощо);

$F_K(X) \geq [F_K]$ – це обмеження надійності, тобто показники безаварійного виконання функціональних операцій, пов'язаних із реалізацією таких морехідних якостей, як остійність, непотоплюваність, керованість, міцність і морехідність рухомого морського об'єкта, та показники безаварійної роботи його основних функціональних підсистеми;

$[F_K]$ – це нормативні значення цих показників, які регламентуються класифікаційними товариствами та стандартами НАТО;

$PK_L[PT] \leq [PK_L]$ це функціональні обмеження фінансових ресурсів для проектування, будівництва та експлуатації рухомого морського об'єкта, а також відшкодування заподіяної їм шкоди;

$[PK_L]$ – це граничні значення цих коштів;

U – це вектор параметрів зовнішнього середовища та умов технічного завдання;

X – це вектор незалежних змінних (основних елементів судна);

X_Q – це вектор обмежень на незалежні змінні.

До складових вектору географічних і кліматичних параметрів зовнішнього середовища, а також умов технічного завдання концептуального проектування балкера U включаються такі величини:

- автономність плавання NAB ;
- чисельність екіпажу NEK ;
- тип і кількість головних двигунів;

- район плавання з його погодними умовами;
- морехідність.

Незалежні змінні – це такі характеристики балкера, оптимальні значення яких потрібно визначити.

За незалежні змінні оптимізаційної задачі концептуального проектування балкера приймаються наступні параметри:

$x_1 = L$ – довжина балкера;

$x_2 = B$ – ширина балкера;

$x_3 = d$ – осадка балкера;

$x_4 = D$ – висота борту балкера;

$x_5 = C_B$ – коефіцієнт загальної повноти;

$x_6 = V$ – швидкість повного ходу балкера.

Множення цих змінних утворює вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, на компоненти якого накладаються двосторонні тривіальні обмеження типу

$$(x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max}, (i=1, \dots, n),$$

де $n = 6$ – кількість незалежних змінних, що використовуються в даній роботі.

Використовуючи статистичні дані, які ми отримали за результатами аналізу лінійних розмірів діючих балкерів дедвейтом від 10 до 15 тисяч тон (див. таблицю 1.4), та з урахуванням статистичних даних, які наведені в таблиці 1.1, ми склали вектор обмежень на наші незалежні змінні. Цей вектор обмежень представлено в таблиці 1.11 у вигляді нижніх та верхніх границь для значень наших незалежних змінних.

Таблиця 1.11 – Допустимі значення незалежних змінних

Назва незалежної змінної	Позначення	Початкове значення x_i (згідно ТЗ)	Нижня границя $(x_i)_{\min}$	Верхня границя $(x_i)_{\max}$
Довжина судна, м	x_1	133,5	106	154
Ширина судна, м	x_2	19,4	15	28
Осадка судна, м	x_3	7,5	5,3	10,2
Висота борту, м	x_4	10,2	6,3	14,5
Коефіцієнт загальної повноти	x_5	0,798	0,65	0,86
Швидкість повного ходу, вузли	x_6	12,3	12,4	19

Розглянуті в таблиці 1.11 двосторонні обмеження замінюються односторонніми тривіальними обмеженнями:

$$x_i - (x_i)_{\min} \geq 0; \quad (x_i)_{\max} - x_i \geq 0.$$

Обмеження формують допустимі значення незалежних змінних та їх функцій, які можуть бути відповідно тривіальними та функціональними.

Тривіальні обмеження задають граничні значення незалежних змінних (див. таблицю 1.11).

Функціональні обмеження – це вимоги до інженерних і навігаційних якостей балкера (місткості, міцності, остійності, непотоплюваності, ходовості і т.д.), та вимоги середовища експлуатації, які задані функціями векторів X та U .

1.6 Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації

Задача пошуку оптимального проектного рішення здійснюється згідно зі схемою, наведеною на рисунку 1.13 [6].

Критеріями оптимізації є екстремуми цільової функції (1.31).

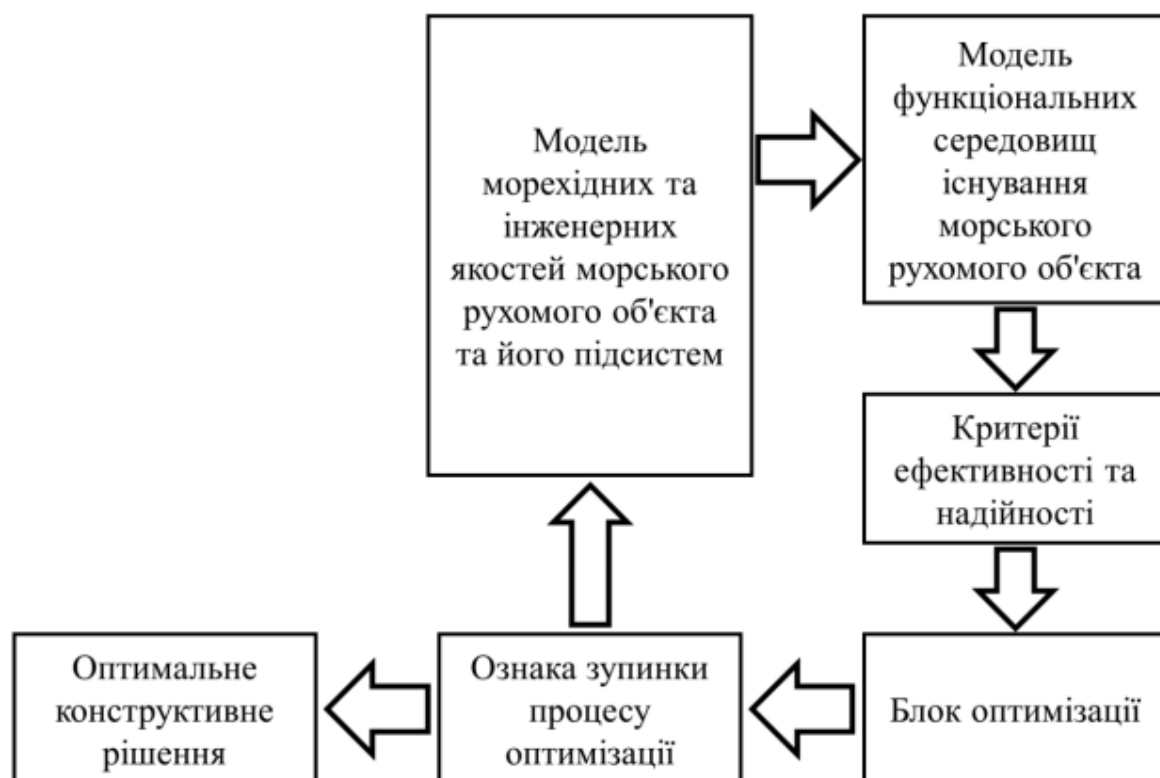


Рисунок 1.13 – Структурна схема пошуку оптимального рішення проблеми

Згідно з цією схемою в процесі пошуку оптимального конструктивного рішення рухомий морський об'єкт проходить серію «занурень» в середовища існування протягом свого життя. У результаті кожного «занурення», виконаного за допомогою імітаційного моделювання, реалізуються основні операції функціонування об'єкта. Під час «занурення» показники ефективності та надійності визначають рівні адаптованості об'єкта до середовища існування та здатність ефективно виконувати основний набір функціональних операцій. У блоці оптимізації проводиться порівняння отриманих проектних рішень і вибирається найкоротший напрямок руху до основної цілі оптимізації. Процес пошуку проектного рішення завершується після виконання критеріїв оптимізації.

Кожен етап пошуку представлений перетворенням імовірнісних характеристик випадкових величин, що відображають стохастичний характер цін на компоненти об'єкта (його експлуатаційні витрати, мінливість погодних факторів експлуатації тощо), в імовірнісні характеристики результату операції (характеристики отриманого прибутку, витрат на проектування, будівництво, експлуатацію тощо), або, іншими словами, – у ймовірнісних характеристиках виконання операцій.

Передбачається, що при переході розглянутих випадкових величин до різних значень, розділених інтервалами часу, вони залишаються представниками відповідних ділянок безперервних процесів Маркова [6].

Комплексний метод дослідження функціонування рухомих морських об'єктів, оцінки ефективності їх експлуатації на основі критеріїв продуктивності та надійності та синтезу оптимальних проектних рішень як окремих об'єктів експлуатації, так і їх сукупності, призначених для реалізації конкретних практичних цілей, пропонується використовувати при вирішенні завдань проектування та будівництва суден або при їх виборі з наявної сукупності суден світового флоту, які пропонуються до продажу або фрахту.

Вибір основних розмірів судна базується на моделюванні процесу виконання його основних функціональних операцій у заданій зоні експлуатації. Моделювання реалізоване за допомогою моделей інженерно-технічних і

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

морехідних якостей судна та моделей його функціонування за призначенням. При побудові моделей використовуються сучасні методи гідроаеродинаміки суден і теорії випадкових функцій. Також моделюється середовище існування судна, яке враховує можливості порту та інших послуг судна, включаючи його утилізацію в кінці терміну служби. Погодні умови в районі експлуатації судна визначаються довготривалими розподілами характеристик вітру, хвиль і течій.

Ефективність, надійність та безпека експлуатації розглянутого судна базується на аналізі виконання основних функціональних операцій за комплексним критерієм за типом (1.31).

Аналіз процесу здійснюється за допомогою алгоритму оптимізації, де в якості цільової функції використовується вказаний критерій. Програма призначена для вибору основних розмірів пасажирського судна, вантажного судна, балкерів, танкерів, контейнеровозів, газовозів, рятувального буксира, судна постачання платформи, корабля берегової охорони та інших.

Нижче наведено інтерфейс програми для вибору основних розмірів балкера для експлуатації в басейнах Чорного та Середземного морів.

1.7 Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації

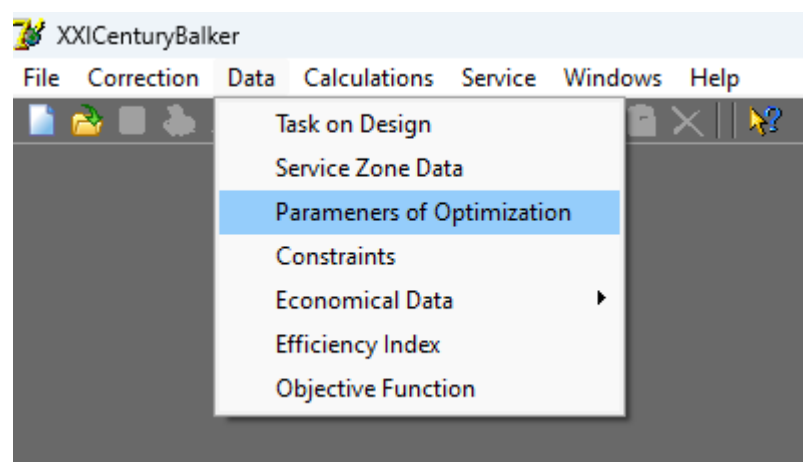
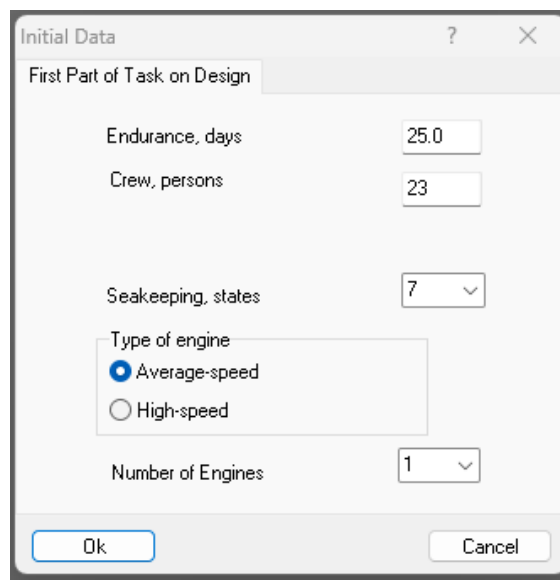


Рисунок 1.14 – Головне вікно програми



Initial Data

First Part of Task on Design

Endurance, days: 25.0

Crew, persons: 23

Seakeeping, states: 7

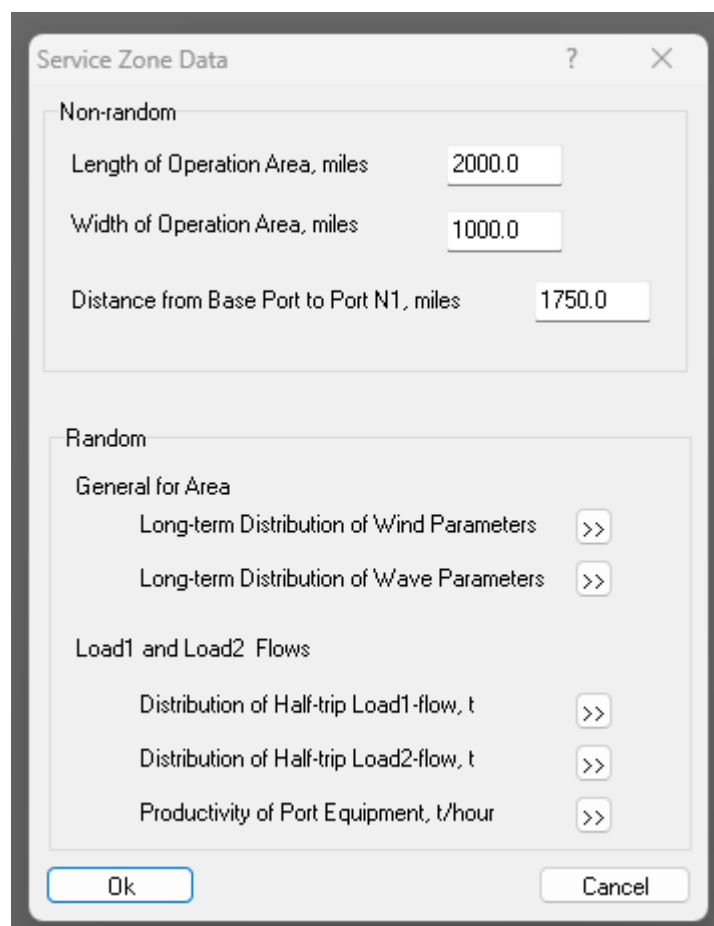
Type of engine:

- ☒ Average-speed
- ☐ High-speed

Number of Engines: 1

Ok Cancel

Рисунок 1.15 – Вікно введення вихідних даних



Service Zone Data

Non-random

Length of Operation Area, miles: 2000.0

Width of Operation Area, miles: 1000.0

Distance from Base Port to Port N1, miles: 1750.0

Random

General for Area

Long-term Distribution of Wind Parameters: >>

Long-term Distribution of Wave Parameters: >>

Load1 and Load2 Flows

Distribution of Half-trip Load1-flow, t: >>

Distribution of Half-trip Load2-flow, t: >>

Productivity of Port Equipment, t/hour: >>

Ok Cancel

Рисунок 1.16 – Вікно даних зони експлуатації

Parameters of solution search

Parameters Variables Values

Number of Variables 6 Penalty for non-discreteness 0.01000000

Initial Step 0.01500 Exactness for Integrality 0.00100000

Penalty Coefficient 0.10000000 Parameter for b-function 2.14000

Exactness of Calculation 0.10000000 ☒ Convergence

Search ☒ Maximum ☐ Minimum

Discreteness of Variables ☒ No ☐ Yes

Output of Results ☐ Do not ☐ Drawn by Iterations ☒ Results of Iterations and Tolerance Values

Ok Cancel

Рисунок 1.17 – Вікно введення параметрів пошуку рішення

Parameters of solution search

Parameters Variables Values

Name	Initial	Normalizing
Length L, m - X1	140.000	140.000
Breadth B, m - X2	20.000	20.000
Draught d, m - X3	8.000	8.000
Depth H, m - X4	12.000	12.000
Block coefficient Cb - X5	0.800	0.800
Full Speed, knots - X6	12.000	12.000

Ok Cancel

Рисунок 1.18 – Вікно введення початкових значень незалежних змінних

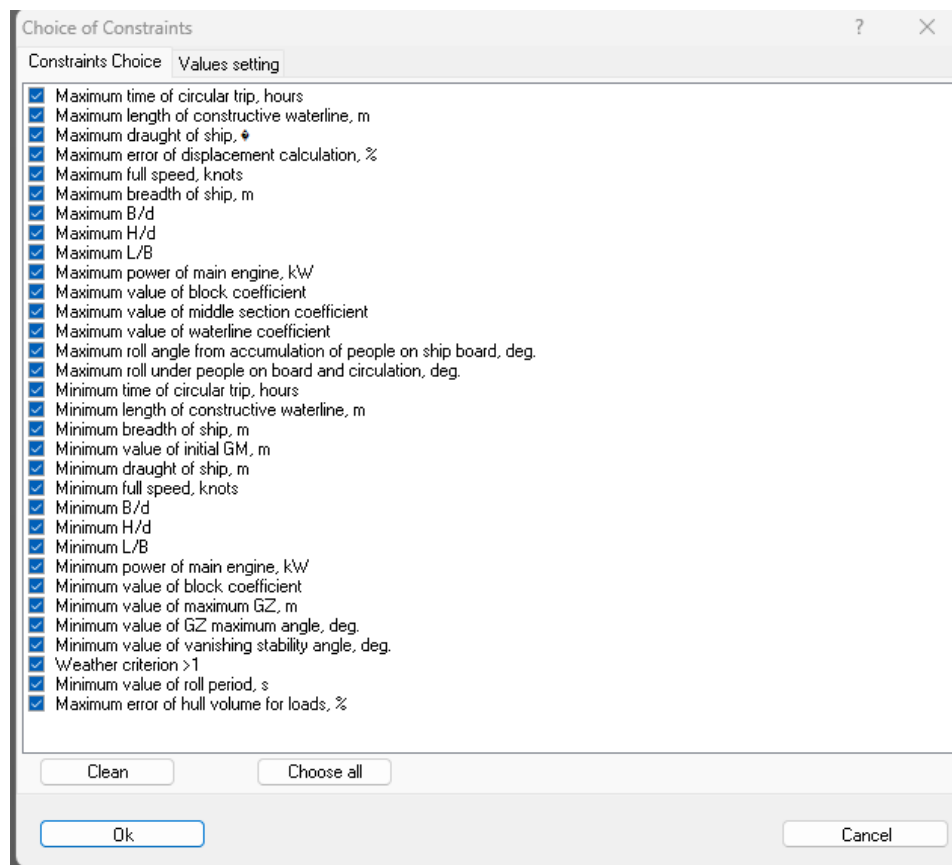


Рисунок 1.19 – Вікно вибору обмежень

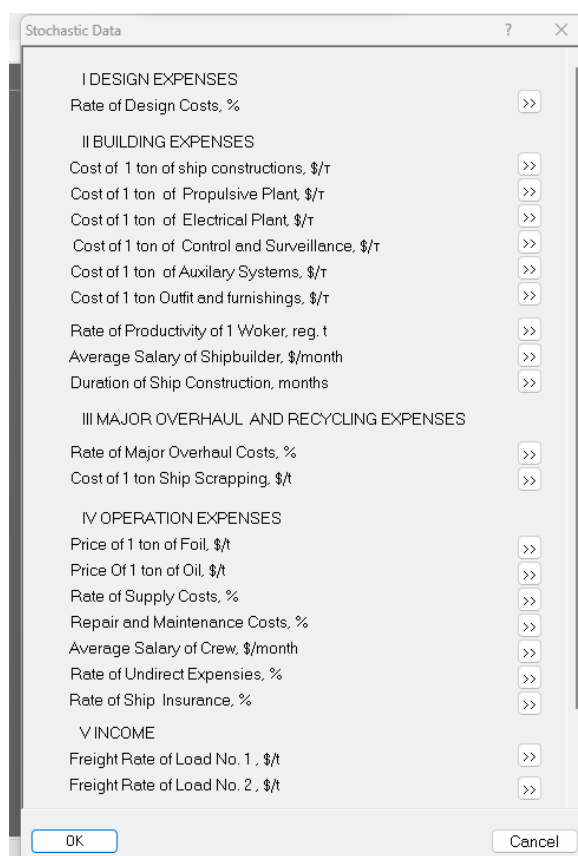


Рисунок 1.20 – Вікно стохастичних економічних даних

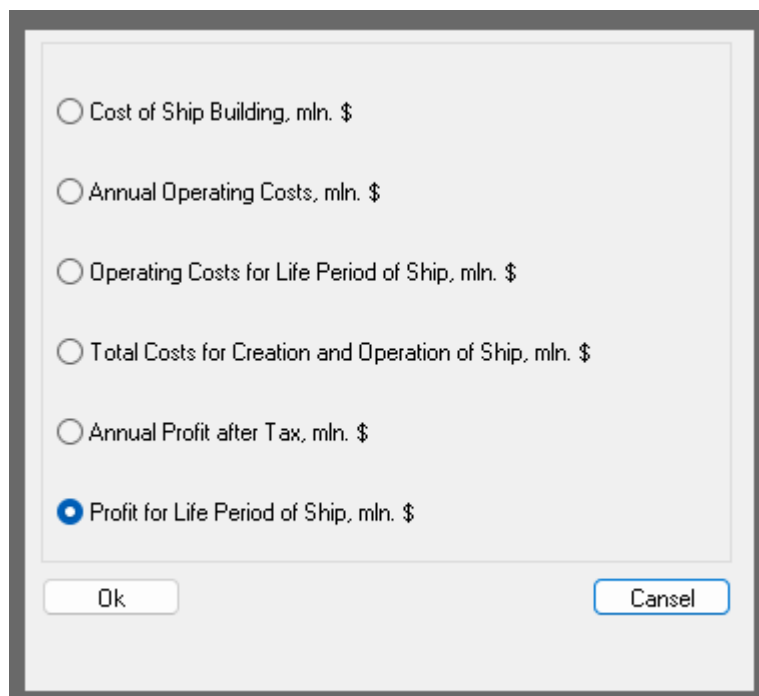


Рисунок 1.21 – Вікно показників економічної ефективності

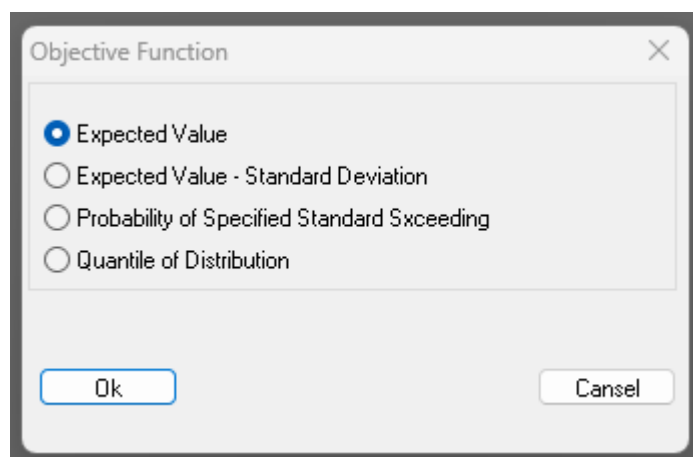


Рисунок 1.22 – Вікно цільових функцій

1.8 Концептуальний проект балкера

В даному розділі представлені результати роботи програмного комплексу для вирішення задачі оптимізації основних розмірів балкера для експлуатації в басейнах Чорного та Середземного морів.

На рисунку 1.23 наведено вхідні дані проектного завдання та вибір цільової функції в оптимізаційній задачі

Мирний час

Calculation Date: 27.11.2024 Calculation Time: 21:48:42

DESIGN ASSIGNMENT

Objective Function Type	6
1. Cost of Ship Building, mln. \$	
2. Annual Operating Costs, mln. \$	
3. Operating Costs for Life Period of Ship, mln. \$	
4. Total Costs for Creation and Operation of Ship, mln. \$	
5. Annual Profit after Tax, mln. \$	
6. Profit for Life Period of Ship, mln. \$	
Extremum of Objective Function (1: minimum, -1: maximum).....	-1
Endurance, days	25
Crew, men	23
Seakeeping, states	7
Type of main engine	Average-speed
Engine number	1

Военний час

Calculation Date: 27.11.2024 Calculation Time: 21:40:22

DESIGN ASSIGNMENT

Objective Function Type	6
1. Cost of Ship Building, mln. \$	
2. Annual Operating Costs, mln. \$	
3. Operating Costs for Life Period of Ship, mln. \$	
4. Total Costs for Creation and Operation of Ship, mln. \$	
5. Annual Profit after Tax, mln. \$	
6. Profit for Life Period of Ship, mln. \$	
Extremum of Objective Function (1: minimum, -1: maximum).....	-1
Endurance, days	25
Crew, men	23
Seakeeping, states	7
Type of main engine	Average-speed
Engine number	1

Рисунок 1.23 – Дані проектного завдання

Мирний час

CALCULATION RESULTS:

Main Dimensions:

Length, m.....	122.9
Breadth, m.....	22.5
Draught, m.....	6.6
Depth, m.....	10.1
Block coefficient C _b	0.877
Middle section coefficient C _m	0.979
Waterline area coefficient C _w	0.843
Volume Displacement V, m ³	16056.7

Model of Main Engine

Power of Main Engine N _e , kW	4857.6
Speed V _s , knots	12.3

Mass of constructions, t.....	3462.8
Mass of propulsion plant, t.....	525.0
Mass of electrical plant, t.....	64.2
Mass of control system, t.....	9.9
Mass of auxiliary system, t.....	232.1
Mass of equipment and furniture, t.....	215.6
Mass of ballast, t.....	0.00
Light displacement, t.....	4509.5
Mass of crew and provisions, t	4.6
Mass of freshwater, t.....	115.0
Mass of ship fuel and oil, t.....	721.4
Mass of Load 1 in HalfTrip 1, t	10999.6
Mass of Load 2 in HalfTrip 2, t	11001.2
Deadweight, t.....	11840.6
Displacement full, t.....	16350.1

Военний час

CALCULATION RESULTS:

Main Dimensions:

Length, m.....	122.3
Breadth, m.....	22.5
Draught, m.....	6.5
Depth, m.....	10.0
Block coefficient C _b	0.870
Middle section coefficient C _m	0.979
Waterline area coefficient C _w	0.840
Volume Displacement V, m ³	15579.5

Model of Main Engine

Power of Main Engine N _e , kW	3991.1
Speed V _s , knots	12.0

Mass of constructions, t.....	3359.9
Mass of propulsion plant, t.....	509.4
Mass of electrical plant, t.....	62.3
Mass of control system, t.....	9.6
Mass of auxiliary system, t.....	225.2
Mass of equipment and furniture, t.....	209.2
Mass of ballast, t.....	0.00
Light displacement, t.....	4375.5
Mass of crew and provisions, t	4.6
Mass of freshwater, t.....	115.0
Mass of ship fuel and oil, t.....	592.7
Mass of Load 1 in HalfTrip 1, t	10999.1
Mass of Load 2 in HalfTrip 2, t	11000.2
Deadweight, t.....	11711.4
Displacement full, t.....	16086.9

Рисунок 1.24 – Отримані оптимальні значення основних розмірів та масового навантаження балкера

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ

На рисунку 1.24 наведено головні розміри та масове навантаження проєктованого балкера, які отримані в результаті розв'язку оптимізаційної задачі вибору його головних елементів.

Мирний час	
Vertical ship gravity center, m.....	6.6
Vertical ship buoyancy center, m.....	3.2
Transversal metacentric radius, m.....	4.9
Initial metacentric height, m.....	1.6
Maximum righting lever arm, m.....	1.8
Angle of maximum lever arm, deg.....	46.5
Angle of vanishing stability, deg.....	81.1
Criteria of stability.....	14.3
Angle of heel from people accumulation on side of ship, deg....	0.0
Heeling angle from people accumulation during circulation, deg.	0.7
Period of free rolling, sec.....	15.821

Воєнний час	
Vertical ship gravity center, m.....	6.5
Vertical ship buoyancy center, m.....	3.2
Transversal metacentric radius, m.....	5.0
Initial metacentric height, m.....	1.7
Maximum righting lever arm, m.....	1.9
Angle of maximum lever arm, deg.....	46.5
Angle of vanishing stability, deg.....	81.4
Criteria of stability.....	14.0
Angle of heel from people accumulation on side of ship, deg.....	0.0
Heeling angle from people accumulation during circulation, deg.	0.6
Period of free rolling, sec.....	15.344

Мирний час	
INDEXES OF SHIP EFFICIENCY AND RELIABILITY: (Corresponding to the Type of Objective Function)	
Time of Circular Trip, hours	367
Freight rate of Load 1 in HalfTrip 1, \$/t	35.50
Value of Load 1 in HalfTrip 1, t	11000
Freight rate of Load 2 in HalfTrip 2, \$/t	35.50
Value of Load 2 in HalfTrip 2, t	11001
Time of HalfTrip 2, hours.....	184
Number of Circular Trip per year	23
Probability of Transport Operations Fulfillment	0.982
Daily cost of the ship, \$/day	2491.02
Minimum Time-Charter, \$/day	18312.18
Minimum Freighter daily expenses, \$/day	33333.89
Minimum needed Freight rate, \$/t	23.19
Reduced Costs, \$/t per year	23.49
Income from Trip, mln.\$	0.781017
Income from HalfTrip 2, mln.\$	0.390508
Income per year, mln.\$	18.134454
Expenses per operation year, mln.\$	12.206180
Annual Profit (after taxes), mln.\$	4.226039
Cost of Ship Design and Building, mln.\$	28.378980
Total Costs for Creation and Operation of Ship, mln. \$	233.240140
Profit of Ship Life Period (24 years), mln.\$	91.282440

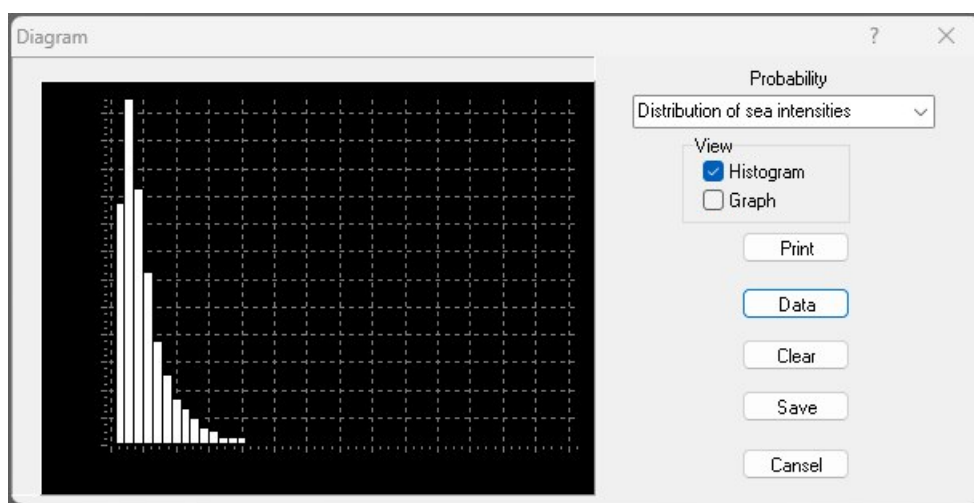
Воєнний час	
INDEXES OF SHIP EFFICIENCY AND RELIABILITY: (Corresponding to the Type of Objective Function)	
Time of Circular Trip, hours	373
Freight rate of Load 1 in HalfTrip 1, \$/t	55.50
Value of Load 1 in HalfTrip 1, t	10999
Freight rate of Load 2 in HalfTrip 2, \$/t	55.50
Value of Load 2 in HalfTrip 2, t	11000
Time of HalfTrip 2, hours.....	187
Number of Circular Trip per year	23
Probability of Transport Operations Fulfillment	0.985
Daily cost of the ship, \$/day	11223.66
Minimum Time-Charter, \$/day	31132.88
Minimum Freighter daily expenses, \$/day	46796.51
Minimum needed Freight rate, \$/t	33.10
Reduced Costs, \$/t per year	33.57
Income from Trip, mln.\$	1.220949
Income from HalfTrip 2, mln.\$	0.610474
Income per year, mln.\$	27.973257
Expenses per operation year, mln.\$	17.447291
Annual Profit (after taxes), mln.\$	7.644138
Cost of Ship Design and Building, mln.\$	29.476840
Total Costs for Creation and Operation of Ship, mln. \$	245.93425
Profit of Ship Life Period (24 years), mln.\$	165.113385

Рисунок 1.25 – Характеристики остійності та показники ефективності та надійності балкера

CONSTRAINTS(RESTRICTIONS):

Name	Value	Constraints	Мирний час		Воєнний час	
1 Maximum time of circular trip, hours	367.350	1000.000	367.350	1000.000	373.475	1000.000
2 Maximum length of constructive waterline, m	122.879	200.000	122.879	200.000	122.266	200.000
3 Maximum draught of ship, □	6.618	7.000	6.618	7.000	6.499	7.000
4 Maximum error of displacement calculation, %	0.660	1.000	0.660	1.000	0.733	1.000
5 Maximum full speed, knots	12.413	15.000	12.413	15.000	12.000	15.000
6 Maximum breadth of ship, m	22.520	25.000	22.520	25.000	22.535	25.000
7 Maximum B/d	3.403	3.500	3.403	3.500	3.467	3.500
8 Maximum H/d	1.523	1.600	1.523	1.600	1.539	1.600
9 Maximum L/B	5.456	5.500	5.456	5.500	5.426	5.500
10 Maximum power of main engine, kW	4857.601	5000.000	4857.601	5000.000	3991.105	5000.000
11 Maximum value of block coefficient	0.877	0.900	0.877	0.900	0.870	0.900
12 Maximum value of middle section coefficient	0.979	0.990	0.979	0.990	0.979	0.990
13 Maximum value of waterline coefficient	0.843	0.970	0.843	0.970	0.840	0.970
14 Maximum roll angle from accumulation of people on ship board, deg.	0.010	10.000	0.010	10.000	0.010	10.000
15 Maximum roll under people on board and circulation, deg.	0.650	10.000	0.650	10.000	0.578	10.000
16 Minimum time of circular trip, hours	367.350	100.000	367.350	100.000	373.475	100.000
17 Minimum length of constructive waterline, m	122.879	85.000	122.879	85.000	122.266	85.000
18 Minimum breadth of ship, m	22.520	15.000	22.520	15.000	22.535	15.000
19 Minimum value of initial GM, m	1.569	0.150	1.569	0.150	1.670	0.150
20 Minimum draught of ship, m	6.618	5.000	6.618	5.000	6.499	5.000
21 Minimum full speed, knots	12.413	10.000	12.413	10.000	12.000	10.000
22 Minimum B/d	3.403	2.000	3.403	2.000	3.467	2.000
23 Minimum H/d	1.523	1.300	1.523	1.300	1.539	1.300
24 Minimum L/B	5.456	4.000	5.456	4.000	5.426	4.000
25 Minimum power of main engine, kW	4857.601	1000.000	4857.601	1000.000	3991.105	1000.000
26 Minimum value of block coefficient	0.877	0.700	0.877	0.700	0.870	0.700
27 Minimum value of maximum GZ, m	1.838	0.250	1.838	0.250	1.898	0.250
28 Minimum value of GZ maximum angle, deg.	46.513	30.000	46.513	30.000	46.483	30.000
29 Minimum value of vanishing stability angle, deg.	81.093	60.000	81.093	60.000	81.434	60.000
30 Weather criterion >1	14.297	1.000	14.297	1.000	14.043	1.000
31 Minimum value of roll period, s	15.821	5.000	15.821	5.000	15.344	5.000
32 Maximum error of hull volume for loads, %	0.200	30.000	0.200	30.000	0.225	30.000

Рисунок 1.26 – Значення оптимальних характеристик балкера та значення їх обмежень



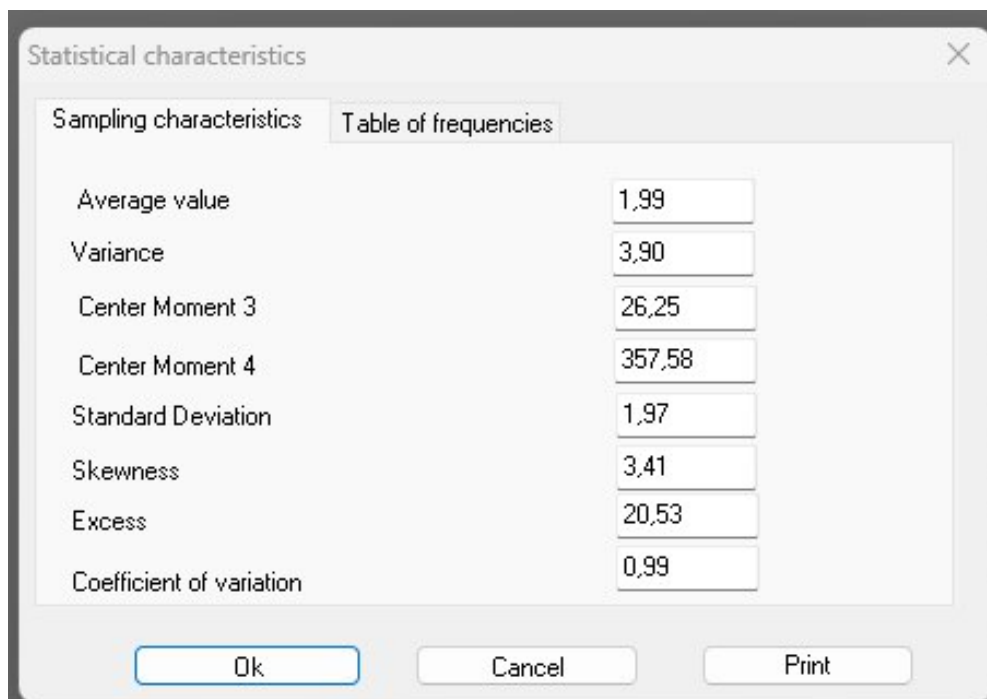


Рисунок 1.27 – Гістограма та параметри розподілу випадкових значень: Довготривалий розподіл інтенсивності моря в зоні експлуатації балкера (Розподіл $h_{3\%} = 1.32 H_{1/3}$, де $H_{1/3}$ - значна висота хвилі)

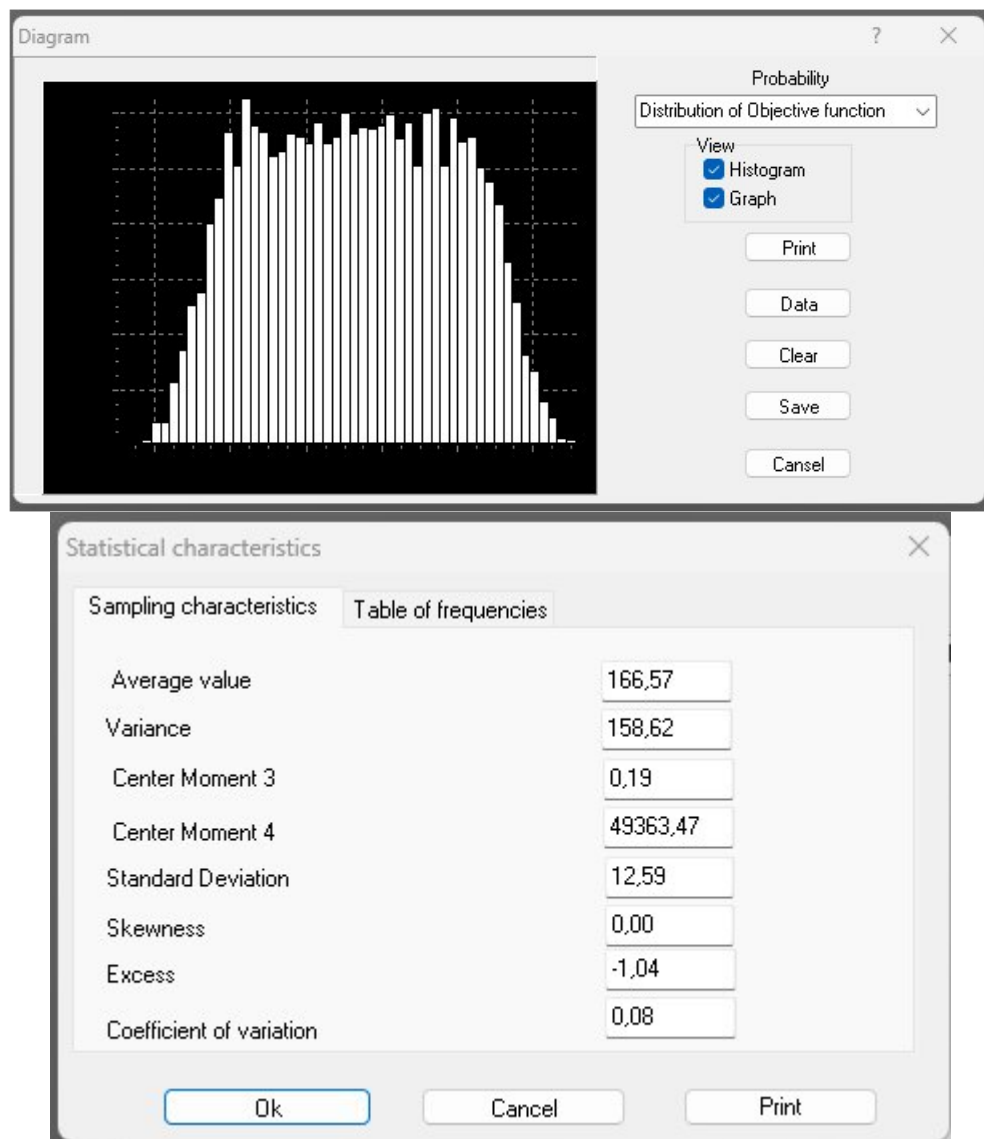


Рисунок 1.28 – Гістограма та параметри розподілу випадкових значень: отримані значення Цільової функції задачі оптимізації

Отже, в результаті рішення оптимізаційної задачі вибору основних елементів проєктованого балкера знайдено максимум цільової функції, а саме максимальний прибуток за весь термін експлуатації балкера. Крім того, цей максимум знаходиться в області пошуку необхідного екстремуму, про що свідчить виконання всіх тривіальних та функціональних обмежень оптимізаційної задачі, які наведені на рисунку 1.26.

Результати розв'язання оптимізаційної задачі наведено у таблиці 1.12.

Таблиця 1.12 – Результати розв’язання оптимізаційної задачі вибору основних елементів балкера вантажопід’ємністю 11 тис. тон пшениці для експлуатації на маршруті Південний – Марсель

Параметри балкера	Одиниці виміру	Рішення задачі оптимізації при OF1=max в мирний час	Рішення задачі оптимізації при OF1=max у воєнний час
1. Головні розміри та характеристики			
Довжина по ватерлінії	м	122,9	122,3
Ширина	м	22,5	22,5
Осадка	м	6,6	6,5
Висота борту	м	10,1	10,0
Коефіцієнт загальної повноти		0,877	0,870
Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута		0,979	0,979
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії		0,843	0,840
Об’ємна водотоннажність	м ³	16056,7	15579,5
Потужність головного двигуна	кВт	4857,6	3991,1
Швидкість	вузли	12,3	12,3
Водотоннажність порожнем	т	4509,5	4375,5
Маса вантажу 1 у прямому півреїсі	т	10999,6	10999,1
Маса вантажу 2 у зворотному півреїсі	т	11001,2	11001,2
Дедвейт	т	11840,6	11711,4
Водотоннажність повна	т	16350,1	16086,9
Маса конструкцій	т	16350,1	16086,9
Маса пропульсивної установки	т	3462,8	3359,9
Маса електричної установки	т	525,0	509,4
Маса системи управління	т	64,2	62,3
Маса допоміжних систем	т	9,9	9,6
Маса обладнання та фурнітури	т	232,1	225,2
Маса баласту	т	215,6	209,2
Маса екіпажу і провізії	т	0,00	0,00
Маса прісної води	т	4,6	4,6
Маса палива та мастила	т	115,0	115,0
Апліката центру ваги	м	721,4	592,7

Апліката центру плавучості	м	6,6	6,5
Поперечний метацентричний радіус	м	3,2	3,2
Початкова метацентрична висота	м	4,9	5,0
Максимальне плече остійності	м	1,6	1,7
Кут максимального плеча остійності	град	1,8	1,9
Кут закату діаграми остійності	град	46,5	46,5
Критерії погоди		81,1	81,4
Період вільної бортової хитавиці	сек	14,3	14,0

2. Показники ефективності та надійності судна		15,821	15,344
Час кругового рейсу	годин		
Фрахтова ставка на вантаж 1 у прямому півреїсі	т	367	373
Вага вантажу 1 у прямому півреїсі	\$/т	35,50	55,50
Фрахтова ставка на вантаж 2 у зворотному Півреїсі	т	11000	10999
Вага вантажу 2 у прямому півреїсі	\$/т	35,50	55,50
Час півреїсу	годин	11001	11000
Число рейсів за рік		184	187
Ймовірність виконання транспортних операцій		23	23
Добовий фрахт	\$/добу	0,982	0,985
Мінімальний Тайм – Чартер	\$/добу	2491,02	11223,66
Мінімальні щоденні витрати фрахтівника	\$/добу	18312,18	31132,88
Мінімально необхідна фрахтова ставка	\$/т	33333,89	46796,51
Наведені витрати	\$/т на рік	23,19	33,10
Дохід від кругового рейсу	мільйон \$	29,49	33,57
Річний дохід	мільйон \$	0,781017	1,220949
Витрати за рік експлуатації	мільйон \$	18,134454	27,973257
Річний прибуток (після сплати податків)	мільйон \$	12,206180	17,447291
Витрати на проектування і будівництво судна	мільйон \$	4,226039	7,644138
Загальна вартість будівництва і експлуатації судна	мільйон \$	28,378980	29,476840
Прибуток за термін служби судна (24 роки)	мільйон \$	233,240140	245693425

В таблиці 1.12 представлені результати вирішення оптимізаційних задач проектування балкера в мирний та воєнний часи. Результати для воєнного часу показали більші витрати та прибутки, обумовлені збільшенням цін на матеріали, обладнання, постачання та страхування, а також зріст фрахтових ставок за рахунок підвищення ризиків експлуатації судна. Однак, в порівнянні з мирним часом головні розміри балкера залишилися практично незмінними, при тому прибуток різко збільшився.

Але після того як на маршрутах транспортування вантажів з України були створені коридори безпеки, фрахтові ставки та інші ринкові ціни створення та експлуатації балкера впали до рівня мирного часу . На рис.1.29 показана така стабілізація фрахтових ставок після створення коридорів безпеки.

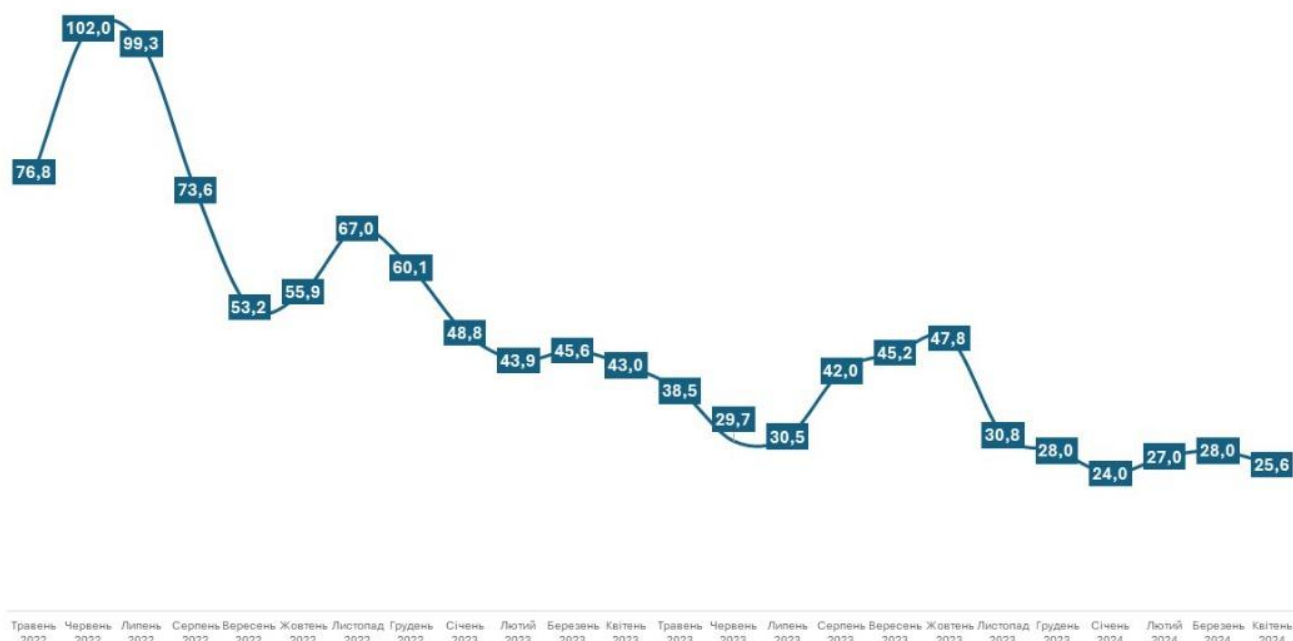
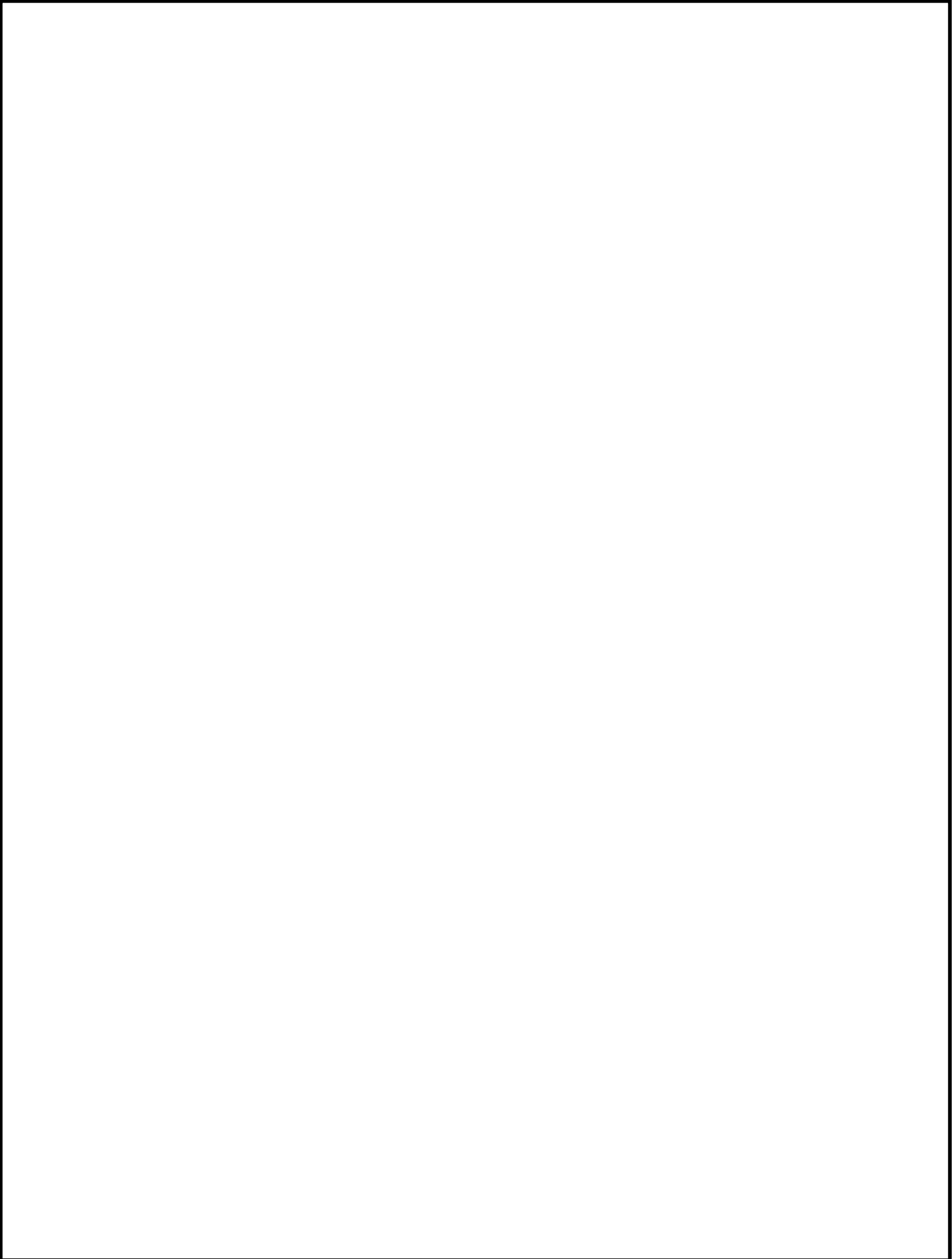


Рисунок 1.29 - Графік змін фрахтових ставок у період воєнного часу



					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ							
Змн.	Арк.З	№ докум.	Підпис№	Дата								
					Розділ 2 Визначення морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного				Літ.	Арк.	Аркушів	
Студент		Максименко Є.А.									73	
Консульт.		Некрасов В.О.							НУК			
Керівник		Некрасов В.О.										
Зав. кафедр.		Некрасов В.О.										

РОЗДІЛ 2

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

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 [5].

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	Рішення задачі оптимізації	Дані після трансформації корпусу
Водотоннажність повна, т	Δ	16000	16350	16065
Довжина по ватерлінії, м	L_{DWL}	123	122,9	122,9
Ширина, м	B	22,4	22,5	22,5
Осадка, м	d	6,6	6,6	6,6
Висота борту, м	D	-	10,1	10,0
Коефіцієнт загальної повноти	C_B (або δ)	0,873	0,877	0,877
Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута	C_M (або β)	-	0,979	0,979
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії	C_W (або α)	-	0,873	0,880

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

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	74
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

балкера для конструктивної ватерлінії (КВЛ) при значенні $VCG = 6,4$ м (див. розділ 1, рисунок 1.23). Результати даного розрахунку представлені на рисунку 2.3.

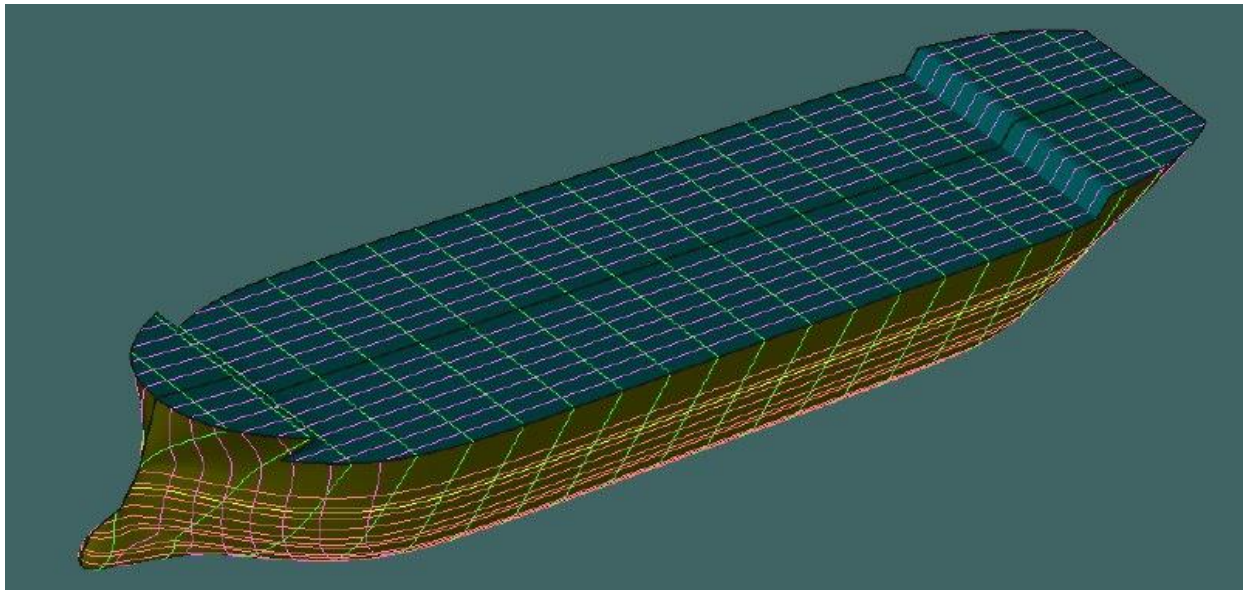
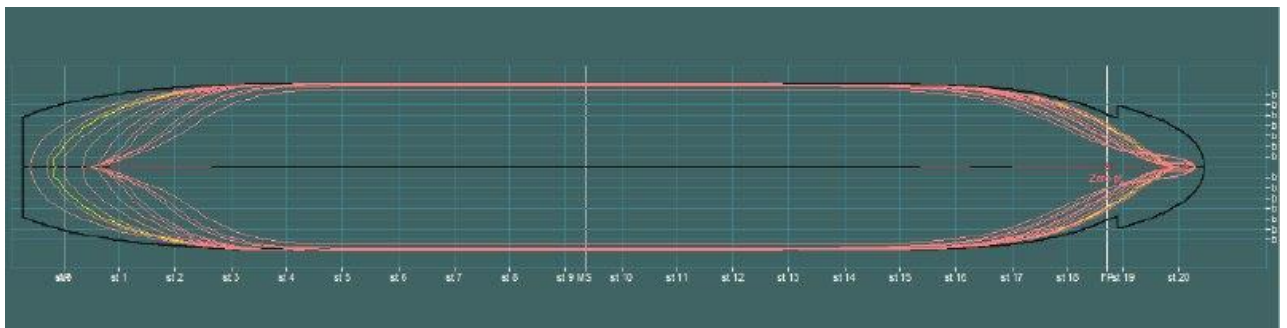


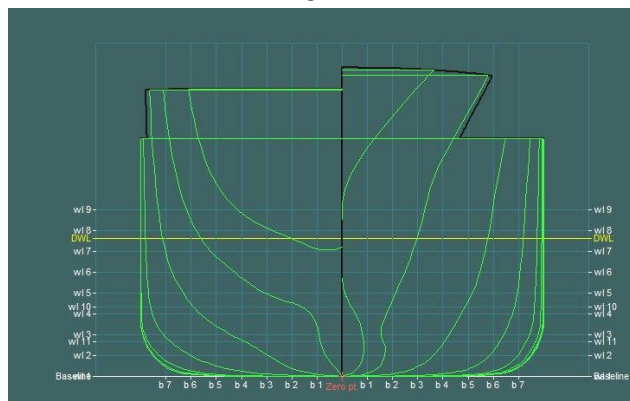
Рисунок 2.1 – Створена 3D модель теоретичної поверхні корпусу балкера



напівширота



бік



корпус

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	75
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Рисунок 2.2 – Проекції теоретичної поверхні корпусу балкера

Hydrostatics at DWL			
	Measurement	Value	Units
1	Displacement	16065	t
2	Volume (displaced)	15987,458	m³
3	Draft Amidships	6,600	m
4	Immersed depth	6,600	m
5	WL Length	122,900	m
6	Beam max extents on WL	22,500	m
7	Wetted Area	4019,582	m²
8	Max sect. area	179,451	m²
9	Waterpl. Area	2559,172	m²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,798	
11	Block coeff. (Cb)	0,877	
12	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,979	
13	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,880	
14	LCB length	63,541	from zero pt. (+ve fwd) m
15	LCF length	59,387	from zero pt. (+ve fwd) m
16	LCB %	49,602	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
17	LCF %	46,360	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
18	KB	4,143	m
19	KG fluid	6,400	m
20	BMt	5,918	m
21	BML	156,220	m
22	GMt corrected	3,661	m
23	GML	153,963	m
24	KMt	10,061	m
25	KML	160,363	m
26	Immersion (TPc)	26,232	tonne/cm
27	MTc	218,808	tonne.m
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	1130,515	tonne.m
29	Length:Beam ratio	5,451	
30	Beam:Draft ratio	3,013	
31	Length:Vol*0.333 ratio	4,957	
32	Precision	High	113 stations

Density (water) 1,025 tonne/m³

Std. densities 1,025 tonne/m³ - Std. Metric sea water (1025.0 kg/m³)

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 кресленика судна використовується програмне забезпечення Maxsurf Stability Advanced. Для тогощоб 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 2.9. Результати виконаного розрахунку представлені на рисунках 2.10-2.13.

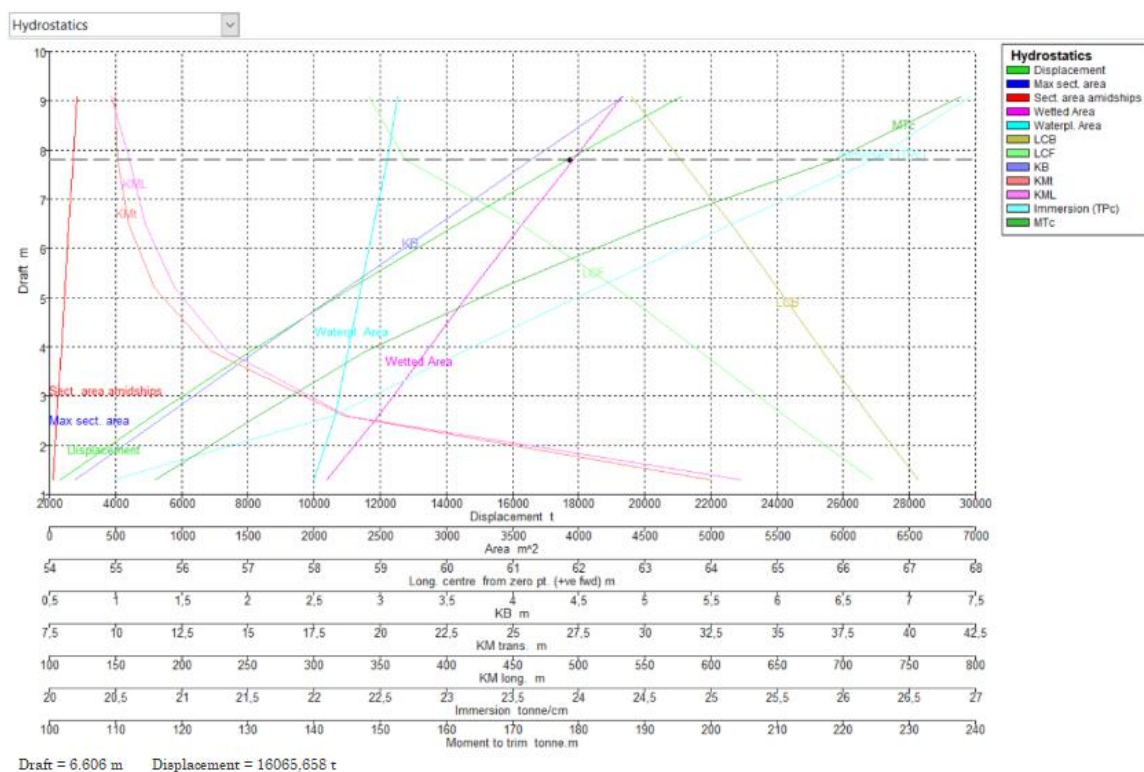


Рисунок 2.10 – Гідростатичні криві

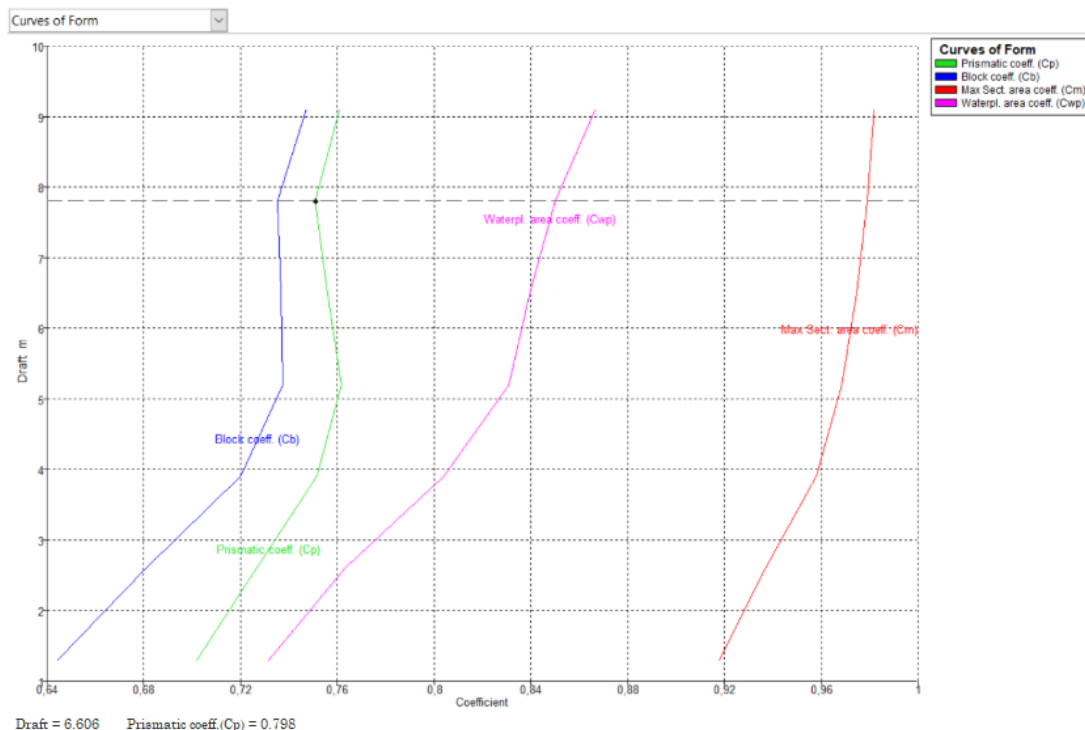


Рисунок 2.12 – Криві форми

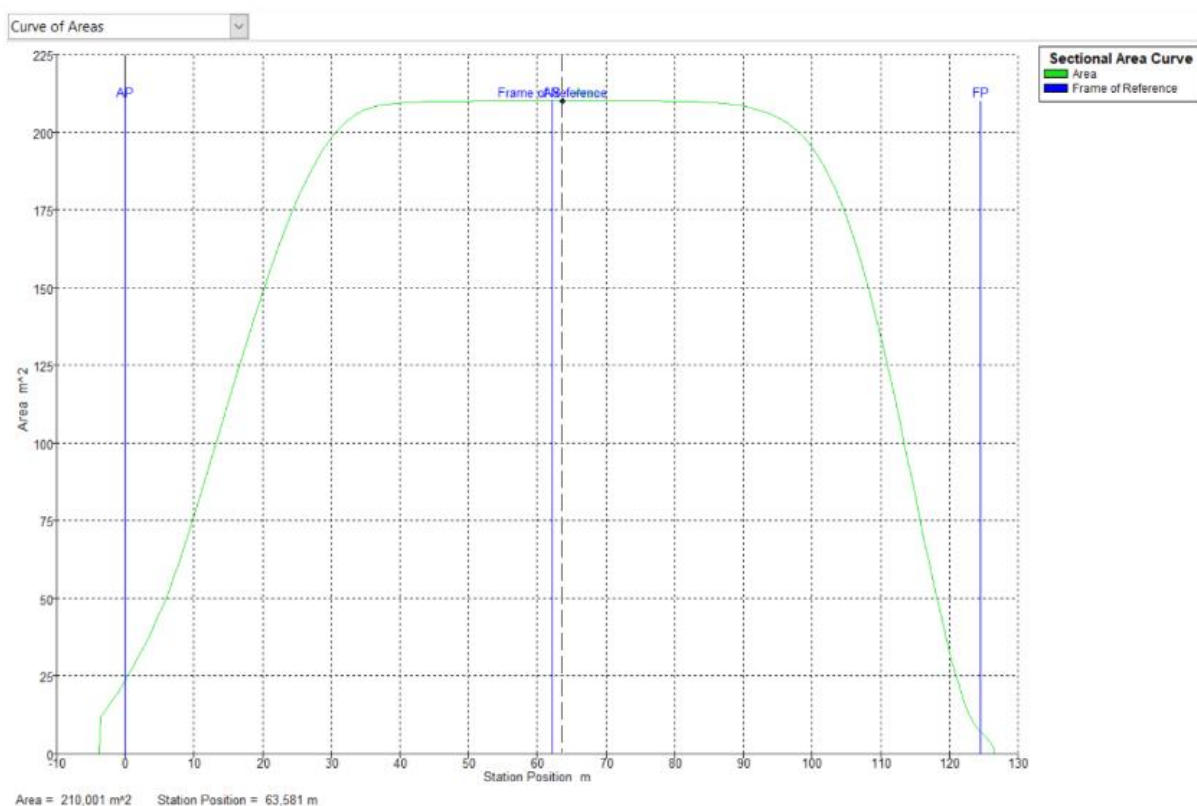


Рисунок 2.12 – Криві площі

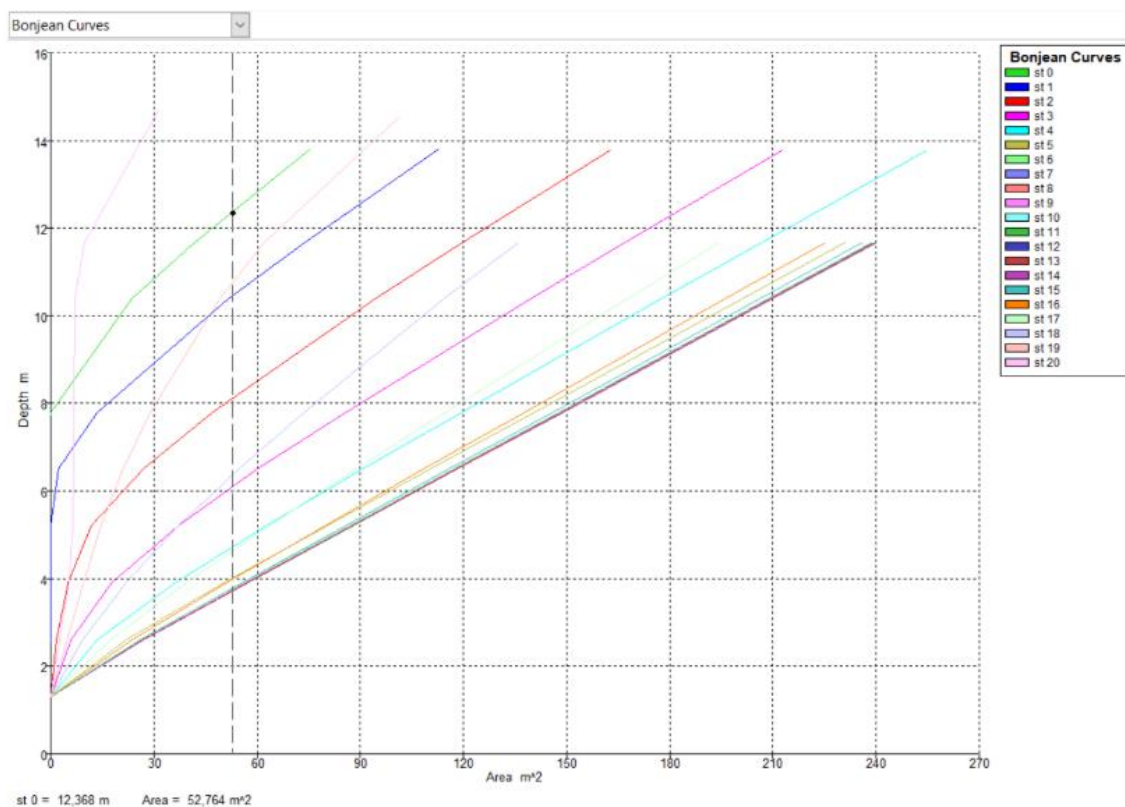


Рисунок 2.13 - Криві Бонжана

Наведене в таблиці 2.1 значення висоти борту повинно відповідати вимогам «Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України»[13]. 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 $L=122,9$ м, тож значення мінімального надводного борту $F_{\min} = (D-d)_{\min} = 1,78$ м.

З даних таблиці 2.1 визначаємо значення отриманої висоти надводного борту проектного балкера: $D-d = 10,10 - 6,6 = 3,50$ м.

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

Розраховуємо значення максимально допустимої осадки проектного балкера: $d_{\max} = D - (D-d)_{\min} = 10,10 - 1,78 = 8,32$ м.

2.3 Створення цистерн та внутрішніх приміщень судна. Розрахунок місткості балкера

Розрахунок місткості проектного балкера виконано в програмному модулі Maxsurf Stability Advanced [5].

Для цього в таблиці Room Definition були створені (див. рисунки 2.15-2.21):

- трюми для перевезення вантажу;
- цистерни баластної системи (в подвійному дні);
- цистерни антикренової системи (в подвійних бортах);
- цистерни палива та мастила;
- цистерни прісної води;
- машинне відділення;
- коридор трубопроводів;
- приміщення рульового механізму;
- приміщення підрулюючого пристрою;
- інші приміщення та кофердами.

Після створення усіх цистерн та приміщень, був проведений розрахунок їх місткості (Tank Calibration). Частина результатів розрахунку наведено на рисунку 2.22, а саме розрахунок місткості трюмів для перевезення вантажу. Для кращої орієнтації у даних результати розрахунку були зведені до таблиці 2.2. В таблиці вказано практичний об'єм цистерн, тобто вже з урахуванням їх коефіцієнтів проникності.

Таблиця 2.2 – Місткість вантажних трюмів та цистерн

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		80

Найменування приміщення	Практичний об'єм	Питома навантажувальна кубатура вантажу	Щільність рідкого вантажу	Максимальна вага вантажу, що розміщується
	V	μ_B	ρ_B	P_B
	м ³	м ³ /т	т/м ³	т
Трюми для перевезення вантажу	13 289,567	1,1765 (або 0,85 т/м ³)	-	11 146,132
Цистерни баластної системи	3 530,781	-	1,025	3 619,050
Цистерни антикренової системи	3 011,450	-	1,025	3 086,736
Цистерни палива	599,953	-	0,84	503,961
Цистерни мастила	38,220	-	0,92	35,162
Цистерни прісної води	171,682	-	1	171,682

Завданням на дипломний проект було визначено, що необхідно виконати концептуальне проектування балкера для перевезення пшениці (питома вага $\mu_B = 850 \text{ кг/м}^3$) вантажопідйомністю 11 тисяч тон.

За результатами розрахунку при 100% завантаженні пшеницею отримали загальну місткість трюмів, яка дорівнює 11 146 т.

Отже, вимоги технічного завдання щодо вантажопід'ємності балкера виконано.

За результатами рішення оптимізаційної задачі (див. розділ 1, рисунок 1.22) отримали, що для здійснення кругового рейсу між портами Південний та Марсель необхідно мати наступні запаси: прісної води – 75 т; палива та мастила – 453,8 т. Отже, місткість отриманих цистерн задовольняє цим вимогам.

	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m	A.Port m	A.Stbd. m	A.Top m	A.Bott. m	Formed
1	HOLD 1	Tank	98	100	0,85			92,402	112,698	-10	10	10,382	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
2	HOLD 1	Linked Tank	100	100	0,85		none	96,4	108,8	-8	8	11,5	10,382	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
3	HOLD 2	Tank	98	100	0,85			70,001	92,398	-10	10	10,382	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
4	HOLD 2	Linked Tank	100	100	0,85		none	74	88,4	-8	8	11,5	10,382	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
5	HOLD 3	Tank	98	100	0,85			47,602	69,99	-10	10	10,382	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
6	HOLD 3	Linked Tank	100	100	0,85		none	51,6	66	-8	8	11,5	10,382	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
7	HOLD 4	Tank	98	100	0,85			25,201	47,598	-10	10	10,382	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
8	HOLD 4	Linked Tank	100	100	0,85		none	29,2	43,6	-8	8	11,5	10,382	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
9	DoubleBottom 1 stbd	Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	92,4	112,7	1	13	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
10	DoubleBottom 1 port	Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	92,4	112,7	-13	-1	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
11	DoubleBottom 2 stbd	Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	70	92,4	1	13	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
12	DoubleBottom 2 port	Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	70	92,4	-13	-1	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
13	DoubleBottom 3 stbd	Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	47,6	70	1	13	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
14	DoubleBottom 3 port	Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	47,6	70	-13	-1	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
15	DoubleBottom 4 stbd	Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	25,2	47,6	1	13	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
16	DoubleBottom 4 port	Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	25,2	47,6	-13	-1	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
17	DoubleBottom 5	Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	8,4	25,2	1	13	1	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
18	DoubleBottom 5	Linked Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	8,4	25,2	-13	-1	1	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
19	DoubleBottom 5	Linked Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	8,4	23,1	-1	1	1	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
20	Fore Peak VIB	Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	121,1	128	-5	5	4,5	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
21	Aft Peak VIB	Tank	98	100	1,025	Water Ballast	none	-4,265	8,4	-13	13	9	3	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
22	DoubleSide 1 stbd	Tank	98	100	1,025	Sea Water		92,402	112,698	0	15	13	-1	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
23	DoubleSide 1 port	Tank	98	100	1,025	Sea Water		92,402	112,698	-15	0	13	-1	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
24	DoubleSide 2 stbd	Tank	98	100	1,025	Sea Water		70,001	92,398	0	15	13	-1	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
25	DoubleSide 2 port	Tank	98	100	1,025	Sea Water		70,001	92,398	-15	0	13	-1	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
26	DoubleSide 3 stbd	Tank	98	100	1,025	Sea Water		47,602	69,99	0	15	13	-1	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
27	DoubleSide 3 port	Tank	98	100	1,025	Sea Water		47,602	69,99	-15	0	13	-1	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
28	DoubleSide 4 stbd	Tank	98	100	1,025	Sea Water		25,202	47,598	0	15	13	-1	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
29	DoubleSide 4 port	Tank	98	100	1,025	Sea Water		25,201	47,598	-15	0	13	-1	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
30	Diesel Store 1 stbd	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	8,4	19,6	4	10	13	9	DITTO	8	DITTO	DITTO	Yes
31	Diesel Store 1 port	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	8,4	19,6	-10	-4	13	9	-8	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
32	Diesel Store 2 stbd	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	3	8,4	2	8	13	9	DITTO	7	DITTO	DITTO	Yes
33	Diesel Store 2 port	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	3	8,4	-8	-2	13	9	-7	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
34	Lube Oil stbd	Tank	100	100	0,92	Lube Oil	none	20,3	24,5	7	10,5	10,4	9	DITTO	10	DITTO	DITTO	Yes
35	Lube Oil port	Tank	100	100	0,92	Lube Oil	none	20,3	24,5	-10,5	-7	10,4	9	-10	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
36	Fresh Water stbd	Tank	98	100	1	Fresh Water	none	-4,265	1,8	3	13	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
37	Fresh Water port	Tank	98	100	1	Fresh Water	none	-4,265	1,8	-13	-3	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
38	Engine Room	Compartment	85	85			none	8,4	25,2	-13	13	9	1	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
39	Pipe Tunnel	Compartment	85	85			none	25,2	112,7	-1	1	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
40	Pipe Tunnel	Linked Compar	85	85			none	23,1	25,2	-1	1	1	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
41	Fore Peak	Compartment	85	85			none	113,9	128,402	-13	13	14	4,5	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
42	Thruster Room	Compartment	85	85			none	113,9	121,1	-10	10	4,5	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
43	Fore Cofferdam 1	Compartment	85	85			none	112,7	113,9	0	13	14	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
44	Fore Cofferdam 2	Compartment	85	85			none	112,7	113,9	-13	0	14	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
45	Aft Room 1	Compartment	85	85			none	20,3	24,5	0	7	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
46	Aft Room 2	Compartment	85	85			none	20,3	24,5	-7	0	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
47	Aft Room 3	Compartment	85	85			none	20,3	24,5	7	13	13	10,4	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
48	Aft Room 4	Compartment	85	85			none	20,3	24,5	-13	-7	13	10,4	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
49	Aft Room 5	Compartment	85	85			none	8,4	19,6	-4	4	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
50	Aft Room 6	Compartment	85	85			none	3	8,4	-2	2	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
51	Aft Cofferdam 1	Compartment	85	85			none	24,5	25,2	0	13	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
52	Aft Cofferdam 2	Compartment	85	85			none	24,5	25,2	-13	0	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
53	Aft Cofferdam 3	Compartment	85	85			none	20,3	24,5	10,5	13	10,4	9	-10	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
54	Aft Cofferdam 4	Compartment	85	85			none	20,3	24,5	-13	-10,5	10,4	9	DITTO	-10	DITTO	DITTO	Yes
55	Aft Cofferdam 5	Compartment	85	85			none	19,6	20,3	0	13	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
56	Aft Cofferdam 6	Compartment	85	85			none	19,6	20,3	-13	0	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
57	Aft Cofferdam 7	Compartment	85	85			none	8,4	19,6	10	13	13	9	8	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
58	Aft Cofferdam 8	Compartment	85	85			none	8,4	19,6	-13	-10	13	9	DITTO	-8	DITTO	DITTO	Yes
59	Aft Cofferdam 9	Compartment	85	85			none	3	8,4	8	13	13	9	7	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
60	Aft Cofferdam 10	Compartment	85	85			none	3	8,4	-13	-8	13	9	DITTO	-7	DITTO	DITTO	Yes
61	Aft Cofferdam 11	Compartment	85	85			none	1,8	3	-13	13	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
62	Steer Gear Room	Compartment	85	85			none	-4,265	1,8	-3	3	13	9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes

Рисунок 2.9 – Побудова цистерн та приміщень на вкладці Room Definition

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

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

2.4.1 Розрахунок ЦМ навантаження при осадці по КВЛ

Дані по масах вантажу, палива та мастила, прісної води, екіпажу та провізії для даного виду навантаження були взяті із результатів рішення оптимізаційної задачі пошуку головних елементів балкера (див. розділ 1, рисунок 1.22). Створена

таблиця навантаження мас «Design Draft» представлена на рисунку 2.10.Результати удиферентування представлені на рисунку 2.11.

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Light Ship	1	4905,500	4905,500			58,550	0,000	6,400	0,000	
2	Total Light Ship			4905,900			58,550	0,000	6,400	0,000	
3	HOLD 1	99,99%	2542,217	2542,000	2990,843	2990,588	101,618	0,000	6,506	0,000	Maximum
4	HOLD 2	99,42%	3201,705	3183,000	3766,711	3744,706	81,200	0,000	6,454	0,000	Maximum
5	HOLD 3	98,02%	3200,506	3137,000	3765,301	3690,588	58,796	0,000	6,385	0,000	Maximum
6	HOLD 4	98,01%	3201,705	3138,000	3766,711	3691,765	36,400	0,000	6,385	0,000	Maximum
7	Total Cargo	98,8%	11146,132	11 000,000	14289,567	14117,647	67,953	0,000	6,429	0,000	
8	DoubleBottom 1 stbd	0%	287,129	0,000	280,126	0,000	93,311	1,145	0,000	0,000	Maximum
9	DoubleBottom 1 port	0%	287,129	0,000	280,126	0,000	93,311	-1,145	0,000	0,000	Maximum
10	DoubleBottom 2 stbd	0%	438,504	0,000	427,809	0,000	76,389	3,011	0,000	0,000	Maximum
11	DoubleBottom 2 port	0%	438,504	0,000	427,809	0,000	76,389	-3,011	0,000	0,000	Maximum
12	DoubleBottom 3 stbd	0%	440,553	0,000	429,807	0,000	61,144	3,176	0,000	0,000	Maximum
13	DoubleBottom 3 port	0%	440,553	0,000	429,807	0,000	61,144	-3,176	0,000	0,000	Maximum
14	DoubleBottom 4 stbd	0%	394,146	0,000	384,533	0,000	45,539	1,398	0,000	0,000	Maximum
15	DoubleBottom 4 port	0%	394,146	0,000	384,533	0,000	45,539	-1,398	0,000	0,000	Maximum
16	DoubleBottom 5	0%	56,060	0,000	54,692	0,000	20,602	0,000	0,000	0,000	Maximum
17	Fore Peak WB	0%	38,024	0,000	37,097	0,000	122,933	0,000	0,000	0,000	Maximum
18	Aft Peak WB	0%	404,303	0,000	394,442	0,000	8,012	0,000	3,000	0,000	Maximum
19	Total Water Ballast	0%	3619,050	0,000	3530,781	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
20	DoubleSide 1 stbd	0%	322,370	0,000	314,507	0,000	100,842	8,667	2,000	0,000	Maximum
21	DoubleSide 1 port	0%	322,372	0,000	314,509	0,000	100,842	-8,667	2,000	0,000	Maximum
22	DoubleSide 2 stbd	0%	412,737	0,000	402,670	0,000	81,104	10,069	2,000	0,000	Maximum
23	DoubleSide 2 port	0%	412,738	0,000	402,671	0,000	81,104	-10,069	2,000	0,000	Maximum
24	DoubleSide 3 stbd	0%	416,884	0,000	406,716	0,000	58,797	10,088	2,000	0,000	Maximum
25	DoubleSide 3 port	0%	416,884	0,000	406,716	0,000	58,797	-10,088	2,000	0,000	Maximum
26	DoubleSide 4 stbd	0%	391,368	0,000	381,822	0,000	37,743	9,940	2,000	0,000	Maximum
27	DoubleSide 4 port	0%	391,368	0,000	381,838	0,000	37,743	-9,940	2,000	0,000	Maximum
28	Total Antiheeling Water	0%	3086,736	0,000	3011,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
29	Diesel Store 1 stbd	99,77%	164,374	164,000	195,684	195,238	14,373	6,534	10,743	0,000	Maximum
30	Diesel Store 1 port	99,77%	164,374	164,000	195,684	195,238	14,373	-6,534	10,743	0,000	Maximum
31	Diesel Store 2 stbd	55,93%	87,606	49,000	104,293	58,333	5,782	4,758	9,982	63,951	Maximum
32	Diesel Store 2 port	55,93%	87,606	49,000	104,293	58,333	5,782	-4,758	9,982	63,951	Maximum
33	Lube Oil stbd	79,06%	17,581	13,900	19,110	15,109	22,454	8,628	9,553	11,187	Maximum
34	Lube Oil port	79,06%	17,581	13,900	19,110	15,109	22,454	-8,628	9,553	11,187	Maximum
35	Total Fuel & Oil	84,17%	539,123	453,800	638,173	537,360	13,013	0,000	10,506	150,277	
36	Fresh Water stbd	43,69%	85,841	37,500	85,841	37,500	-0,876	5,009	9,883	61,209	Maximum
37	Fresh Water port	43,69%	85,841	37,500	85,841	37,500	-0,876	-5,009	9,883	61,209	Maximum
38	Total Fresh Water	43,69%	171,682	75,000	171,682	75,000	-0,876	0,000	9,883	122,427	
39	Crew and Provision	1	3,000	3,000			18,000	0,000	18,000	0,000	User Specifie
40	Total Loadcase			16883,700	21641,653	14730,007	63,448	0,000	6,540	272,705	
41	FS correction								0,015		
42	VCG fluid								6,555		

Рисунок 2.10 – Таблиця навантаження судна при осадці по КВЛ

Equilibrium	Design Draft	Intact
Assembly	Design	
	Hold	
	Hull	
	Structure	
	Waterproof Sections	
	Compartmentation	
Properties		
1	Draft Amidships m	6,653
2	Displacement t	16884
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	6,635
5	Draft at AP m	6,691
6	Draft at LCF m	6,673
7	Trim (+ve by stern) m	0,038
8	WL Length m	122,854
9	Beam max extents on WL m	22,500
10	Wetted Area m²	3985,465
11	Waterpl. Area m²	2565,867
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,798
13	Block coeff. (Cb)	0,877
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,979
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,882
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	63,447
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,264
18	KB m	4,183
19	KG fluid m	6,555
20	BMt m	5,868
21	BML m	155,788
22	GMt corrected m	3,496
23	GML m	153,416
24	KMt m	10,051
25	KML m	159,971
26	Immersion (TPc) tonne/cm	26,300
27	MTc tonne.m	220,393
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1091,089
29	Max deck inclination deg	0,0176
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0,0176

Рисунок 2.11– Результати удиферентування судна при осадці по КВЛ

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ
					82

Судно удиферентоване, якщо виконується умова $x_g = x_c$ або $\Delta T = \frac{L}{2000}$:

$$\Delta T = \frac{0,01 \cdot D \cdot (x_g - x_c)}{M} = \frac{0,01 \cdot 16884 \cdot (63,448 - 63,447)}{220,393} = 0,0008 \text{ м,}$$

$$\frac{L}{2000} = \frac{122,9}{2000} = 0,061 \text{ м.}$$

Отримали $\Delta T = 0,0008 < 0,061$. Отже, судно удиферентовано.

2.4.2 Розрахунок ЦМ навантаження 100% вантажу і 100% запасів

Для даного виду навантаження передбачено, що вантажні трюми заповнені на 100% пшеницею, а також на 100% заповнені цистерни палива і мастила та цистерни прісної води. Створена таблиця навантаження мас «Cargo_100%+100%_Fuel_Oil_FWater» представлена на рисунку 2.12. Результати удиферентування представлені на рисунку 2.13.

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1 Light Ship	1	4905,500	4905,500			58,550	0,000	6,400	0,000	
2 Total Light Ship			4905,500			58,550	0,000	6,400	0,000	
3 HOLD 1	100%	2542,217	2542,217	2990,843	2990,843	101,618	0,000	6,506	0,000	Maximum
4 HOLD 2	100%	3201,705	3201,705	3766,711	3766,711	81,200	0,000	6,483	0,000	Maximum
5 HOLD 3	100%	3200,506	3200,506	3765,301	3765,301	58,796	0,000	6,483	0,000	Maximum
6 HOLD 4	100%	3201,705	3201,705	3766,711	3766,711	36,400	0,000	6,483	0,000	Maximum
7 Total Cargo	100%	11146,132	11146,132	14289,567	14289,567	67,761	0,000	6,488	0,000	
8 DoubleBottom 1 stbd	0%	287,129	0,000	280,126	0,000	92,633	1,198	0,000	0,000	Maximum
9 DoubleBottom 1 port	0%	287,129	0,000	280,126	0,000	92,633	-1,198	0,000	0,000	Maximum
10 DoubleBottom 2 stbd	0%	438,504	0,000	427,809	0,000	70,233	3,428	0,000	0,000	Maximum
11 DoubleBottom 2 port	0%	438,504	0,000	427,809	0,000	70,233	-3,428	0,000	0,000	Maximum
12 DoubleBottom 3 stbd	0%	440,553	0,000	429,807	0,000	47,833	1,587	0,000	0,000	Maximum
13 DoubleBottom 3 port	0%	440,553	0,000	429,807	0,000	47,833	-1,587	0,000	0,000	Maximum
14 DoubleBottom 4 stbd	0%	394,146	0,000	384,533	0,000	25,433	1,002	0,000	0,000	Maximum
15 DoubleBottom 4 port	0%	394,146	0,000	384,533	0,000	25,433	-1,002	0,000	0,000	Maximum
16 DoubleBottom 5	0%	58,000	0,000	54,892	0,000	8,833	0,000	0,000	0,000	Maximum
17 Fore Peak WB	0%	38,024	0,000	37,097	0,000	121,300	0,000	0,000	0,000	Maximum
18 Aft Peak WB	0%	404,303	0,000	394,442	0,000	7,800	0,000	3,000	0,000	Maximum
19 Total Water Ballast	0%	3619,050	0,000	3530,781	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
20 DoubleSide 1 stbd	0%	322,370	0,000	314,507	0,000	92,634	9,979	2,000	0,000	Maximum
21 DoubleSide 1 port	0%	322,372	0,000	314,509	0,000	92,634	-9,979	2,000	0,000	Maximum
22 DoubleSide 2 stbd	0%	412,737	0,000	402,670	0,000	70,234	10,089	2,000	0,000	Maximum
23 DoubleSide 2 port	0%	412,738	0,000	402,671	0,000	70,234	-10,089	2,000	0,000	Maximum
24 DoubleSide 3 stbd	0%	416,884	0,000	406,716	0,000	47,834	10,087	2,000	0,000	Maximum
25 DoubleSide 3 port	0%	416,884	0,000	406,716	0,000	47,834	-10,087	2,000	0,000	Maximum
26 DoubleSide 4 stbd	0%	391,368	0,000	381,822	0,000	25,435	8,788	2,000	0,000	Maximum
27 DoubleSide 4 port	0%	391,384	0,000	381,838	0,000	25,434	-8,788	2,000	0,000	Maximum
28 Total Antiheeling Water	0%	3086,736	0,000	3011,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
29 Diesel Store 1 stbd	100%	164,374	164,374	195,684	195,684	14,367	6,533	10,747	0,000	Maximum
30 Diesel Store 1 port	100%	164,374	164,374	195,684	195,684	14,367	-6,533	10,747	0,000	Maximum
31 Diesel Store 2 stbd	100%	87,606	87,606	104,293	104,293	5,780	4,758	10,756	0,000	Maximum
32 Diesel Store 2 port	100%	87,606	87,606	104,293	104,293	5,780	-4,758	10,756	0,000	Maximum
33 Lube Oil stbd	100%	17,581	17,581	19,110	19,110	22,454	8,628	9,700	0,000	Maximum
34 Lube Oil port	100%	17,581	17,581	19,110	19,110	22,454	-8,628	9,700	0,000	Maximum
35 Total Fuel & Oil	100%	539,123	539,123	638,173	638,173	12,104	0,000	10,682	0,000	
36 Fresh Water stbd	100%	85,841	85,841	85,841	85,841	-0,919	5,204	10,872	0,000	Maximum
37 Fresh Water port	100%	85,841	85,841	85,841	85,841	-0,919	-5,204	10,872	0,000	Maximum
38 Total Fresh Water	100%	171,682	171,682	171,682	171,682	-0,919	0,000	10,872	0,000	
39 Crew and Provision	1	3,000	3,000			18,000	0,000	18,000	0,000	User Specified
40 Total Loadcase			17211,837	21641,653	15099,422	62,751	0,000	6,629	0,000	
41 FS correction									0,000	
42 VCG fluid									6,629	

Рисунок 2.12 – Таблиця навантаження судна 100% вантажу і 100% запасів

Equilibrium Cargo: 100%+100% Intact		
1	Draft Amidships m	6.653
2	Displacement t	17212
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	6.660
5	Draft at AP m	6.677
6	Draft at LCF m	6.798
7	Trim (+ve by stem) m	0.547
8	WL Length m	122.915
9	Beam max extents on WL m	22.500
10	Wetted Area m ²	4026.736
11	Waterpl. Area m ²	2581.097
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.718
13	Block coeff. (Cb)	0.848
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.977
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.857
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	62.737
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	58.887
18	KB m	4.252
19	KG fluid m	6.629
20	BMT m	5.801
21	BML m	155.702
22	GMT corrected m	3.423
23	GMIL m	153.324
24	KML m	10.053
25	KML m	159.652
26	Immersion (TPC) tonne/cm	26.456
27	MTc tonne.m	224.301
28	RM at 1deg = GMT Disp.sin(1) tonne.m	1088.076
29	Max deck inclination deg	0.2516
30	Trim angle (+ve by stem) deg	0.2516

Properties	
1	Stability
2	Equilibrium
3	Specified
4	Limit KG
5	Flood km
6	Long. strength

Рисунок 2.13 – Результати удиферентування судна при навантаженні 100% вантажу і 100% запасів

Судно удиферентоване, якщо виконується умова $x_g = x_c$ або $\Delta T = \frac{L}{2000}$:

$$\Delta T = \frac{0,01 \cdot D \cdot (x_g - x_c)}{M} = \frac{0,01 \cdot 17211,8 \cdot (62,751 - 62,737)}{224,301} = 0,011 \text{ м,}$$

$$\frac{L}{2000} = \frac{122,9}{2000} = 0,061 \text{ м.}$$

Отримали $\Delta T = 0,0011 < 0,061$. Отже, судно удиферентовано.

2.4.3 Розрахунок ЦМ навантаження 100% вантажу і 10% запасів

Для даного виду навантаження передбачено, що вантажні трюми заповнені на 100% пшеницею, а також на 10% заповнені цистерни палива і мастила та цистерни прісної води.

Для виконання умови удиферентування судна заповнили дві кормові цистерни баластної системи:

- цистерну DoubleBottom5 заповнили на 100%;
- цистерну AftPeakWB заповнили на 80%.

Створена таблиця навантаження мас «Cargo_100%+10%_Fuel_Oil_FWater» представлена на рисунку 2.14. Результати удиферентування представлені на рисунку 2.15

Рисунок 2.14 – Таблиця навантаження судна 100% вантажу і 10% запасів

Рисунок 2.15– Результати удиферентування судна при навантаженні 100% вантажу і 10% запасів

Судно удиферентоване, якщо виконується умова $x_g = x_s$ або $\Delta T = \frac{L}{2000}$
Отримали $x_g = x_s = 63,464$ м. Отже, судно удиферентовано.

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 2.16, та натиснути кнопку «почати розрахунок», попередньо вибравши варіант навантаження (Loadcase).

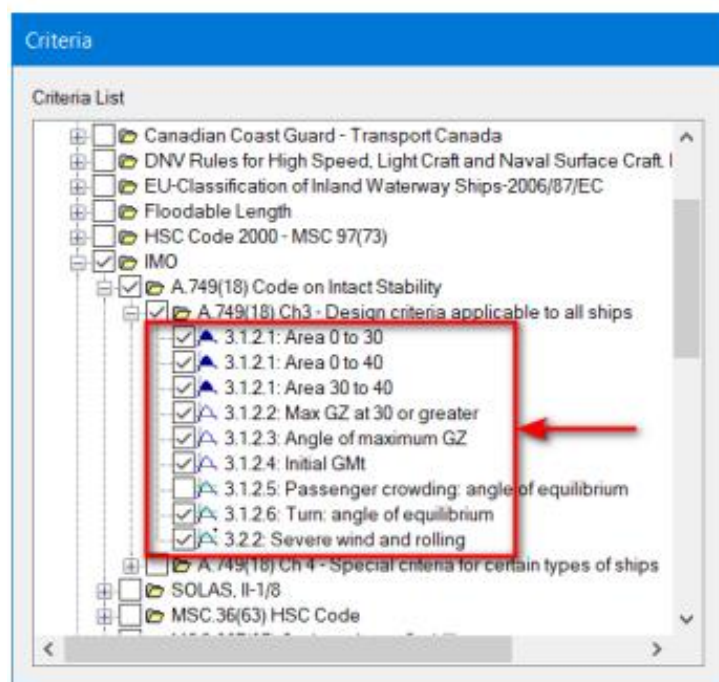


Рисунок 2.16– Вибір критеріїв розрахунку остійності

2.5.1 Остійність на великих кутах крену для навантаження по КВЛ

Даний розрахунок виконувався з використанням таблиці навантаження мас «Design Draft», яка була представлена на рисунку 2.10.

Результати розрахунку представлені на рисунку 2.17.

Діаграма остійності показана на рисунку 2.18.

Результати перевірки критеріїв остійності представлені на рисунку 2.19.

	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	120,0
1	GZ m	-1,403	-1,106	-0,622	0,000	0,622	1,106	1,403	1,454	1,277	0,942	0,514	0,038	-0,453	-0,929	-1,360	-1,719
2	Area under GZ curve from zero	24,6171	11,9726	3,1718	0,0000	3,1759	11,9563	24,6812	39,1698	52,9853	64,1800	71,5138	74,2972	72,2220	65,2929	53,7954	38,3595
3	Displacement t	16882	16883	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884
4	Draft at FP m	7,868	7,853	6,653	6,653	6,653	7,120	7,760	8,751	9,216	11,544	18,011	31,016	n/a	19,826	6,824	2,429
5	Draft at AP m	7,794	7,781	6,653	6,653	6,653	7,786	7,796	8,085	8,621	9,476	11,082	15,706	n/a	2,295	-2,291	-3,945
6	WL Length m	122,312	122,643	122,794	122,944	122,941	122,641	122,311	123,281	125,219	125,677	125,294	124,482	123,176	121,198	117,237	117,251
7	Beam max extents on WL m	21,966	22,351	22,863	22,500	22,863	22,352	19,964	17,378	14,947	13,546	12,824	12,460	12,394	12,650	13,774	15,141
8	Wetted Area m²	4473,124	4262,689	3987,067	3985,466	3987,057	4262,773	4473,497	4637,268	4714,794	4756,143	4786,766	4812,975	4835,291	4852,732	4854,442	4859,68
9	Waterpl. Area m²	2165,329	2336,508	2597,747	2565,869	2597,730	2336,645	2165,233	1885,977	1644,545	1472,692	1364,910	1307,650	1292,991	1320,421	1393,015	1496,37
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,757	0,755	0,752	0,751	0,752	0,755	0,757	0,761	0,759	0,763	0,770	0,778	0,788	0,801	0,820	0,818
11	Block coeff. (Cb)	0,759	0,745	0,718	0,834	0,818	0,746	0,759	0,775	0,709	0,736	0,756	0,779	0,802	0,774	0,730	0,693
12	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	63,464	63,464	63,447	63,447	63,448	63,454	63,459	63,478	63,491	63,504	63,516	63,526	63,532	63,534	63,531	63,526
13	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,377	58,753	59,474	59,264	59,475	58,749	59,378	60,532	60,845	60,739	60,490	60,144	59,699	59,102	58,441	58,582
14	Max deck inclination deg	30,0023	20,0005	10,0000	0,0176	10,0000	20,0005	30,0022	40,0036	50,0043	60,0044	70,0038	80,0023	90,0000	99,9970	109,9935	119,989
15	Trim angle (+ve by stern) deg	-0,4456	-0,1575	-0,0108	0,0176	-0,0112	-0,1536	-0,4436	-0,7667	-1,1940	-1,8720	-3,1857	-7,0111	-90,0000	-8,0160	-4,1875	-2,9311

Рисунок 2.17 – Результати розрахунку остійності на великих кутах крену в табличній формі для варіанта навантаження «Design Draft»

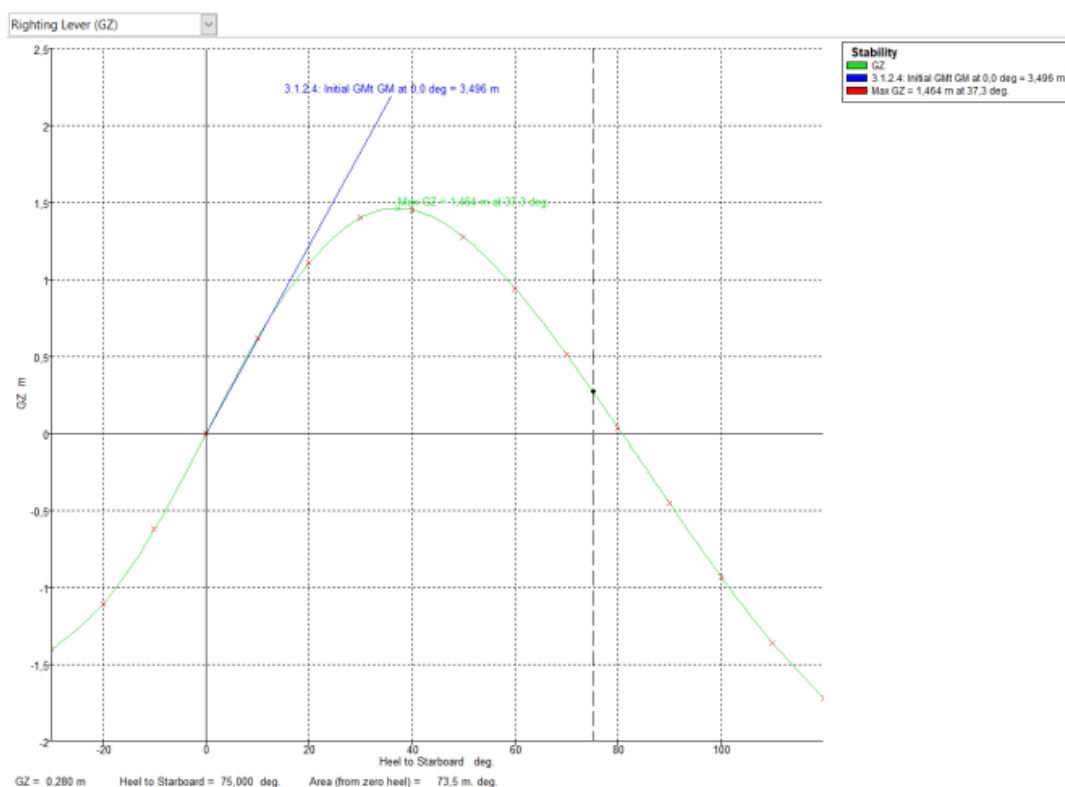


Рисунок 2.18 – Діаграма остійності для варіанта навантаження «Design Draft»

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	80,8	deg			
7		shall not be less than ($\geq$)	3,1513	m.deg	24,6812	Pass	+683,21
8							
9	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		from the greater of					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first downflooding angle	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	80,8	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	5,1566	m.deg	39,1698	Pass	+659,61
17							
18	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
19		from the greater of					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
23		first downflooding angle	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	80,8	deg			
25		shall not be less than ($\geq$)	1,7189	m.deg	14,4886	Pass	+742,90
26							
27	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
28		in the range from the greater of					
29		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
30		to the lesser of					
31		spec. heel angle	90,0	deg			
32		angle of max. GZ	37,3	deg	37,3		
33		shall not be less than ($\geq$)	0,200	m	1,464	Pass	+632,00
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	37,3		
36							
37	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than ($\geq$)	25,0	deg	37,3	Pass	+49,09
39							
40	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
41		spec. heel angle	0,0	deg			
42		shall not be less than ($\geq$)	0,150	m	3,496	Pass	+2230,67
43							

Рисунок 2.19– Перевірка критеріїв остійності для варіанта навантаження «Design Draft»

2.5.2 Остійність на великих кутах крену для навантаження 100% вантажу і 100% запасів

Даний розрахунок виконувався з використанням таблиці навантаження мас «Cargo_100%+100%_Fuel_Oil_FWater», яка була представлена на рисунку 2.12

Результати розрахунку представлені на рисунку 2.20.

Діаграма остійності показана на рисунку 2.21.

Результати перевірки критеріїв остійності представлені на рисунку 2.22.

	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	120,0
1	GZ m	-1,326	-1,062	-0,609	0,000	0,609	1,062	1,325	1,353	1,171	0,839	0,420	-0,044	-0,519	-0,979	-1,393	-1,731
2	Area under GZ curve from zero	23,6833	11,6450	3,1182	0,0000	3,1222	11,6283	23,7423	37,3271	50,0962	60,2443	66,5948	68,5006	65,6822	58,1673	46,2469	30,5802
3	Displacement t	17210	17212	17212	17212	17212	17212	17212	17212	17212	17212	17212	17212	17212	17212	17212	17212
4	Draft at FP m	8,590	7,970	7,724	7,711	7,725	7,972	8,592	9,523	10,900	13,087	17,282	29,505	n/a	18,340	6,133	1,988
5	Draft at AP m	8,283	8,193	8,214	8,256	8,214	8,191	8,282	8,735	9,519	10,766	13,116	19,870	n/a	6,333	-0,402	-2,744
6	WL Length m	122,971	121,604	121,260	121,116	121,260	121,605	122,272	122,943	117,077	117,655	117,387	124,667	124,467	121,603	117,729	117,643
7	Beam max extents on WL m	19,563	22,465	22,863	22,500	22,863	22,465	19,562	17,218	14,925	13,381	12,682	12,370	12,345	12,725	13,809	15,178
8	Wetted Area m ²	4519,730	4311,008	4027,825	4026,727	4027,818	4311,012	4520,038	4697,105	4776,458	4818,235	4848,801	4874,992	4898,043	4918,026	4929,235	4922,956
9	Waterpl. Area m ²	2137,386	2342,253	2612,691	2581,067	2612,676	2342,196	2137,298	1873,134	1639,480	1470,129	1362,964	1305,466	1290,011	1315,270	1388,833	1507,040
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,768	0,761	0,749	0,748	0,749	0,761	0,768	0,775	0,772	0,776	0,782	0,790	0,799	0,812	0,830	0,822
11	Block coeff. (Cb)	0,680	0,648	0,719	0,818	0,719	0,648	0,680	0,790	0,720	0,754	0,773	0,794	0,717	0,781	0,738	0,689
12	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	62,754	62,743	62,740	62,740	62,741	62,747	62,758	62,765	62,773	62,782	62,791	62,798	62,804	62,807	62,808	62,806
13	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,660	58,400	59,096	58,888	59,097	58,401	59,659	60,900	61,186	61,093	60,867	60,561	60,173	59,677	58,953	58,779
14	Max deck inclination deg	30,0002	20,0002	10,0024	0,2504	10,0024	20,0002	30,0002	40,0008	50,0012	60,0014	70,0014	80,0009	90,0000	99,9986	109,9966	119,9940
15	Trim angle (+ve by stern) deg	-0,1411	0,1024	0,2253	0,2504	0,2249	0,1009	-0,1429	-0,3625	-0,6356	-1,0679	-1,9167	-4,4258	-9,0000	-5,5093	-3,0050	-2,1708

Рисунок 2.20 – Результати розрахунку остійності на великих кутах крену в табличній формі для варіанта навантаження 100% вантажу і 100% запасів

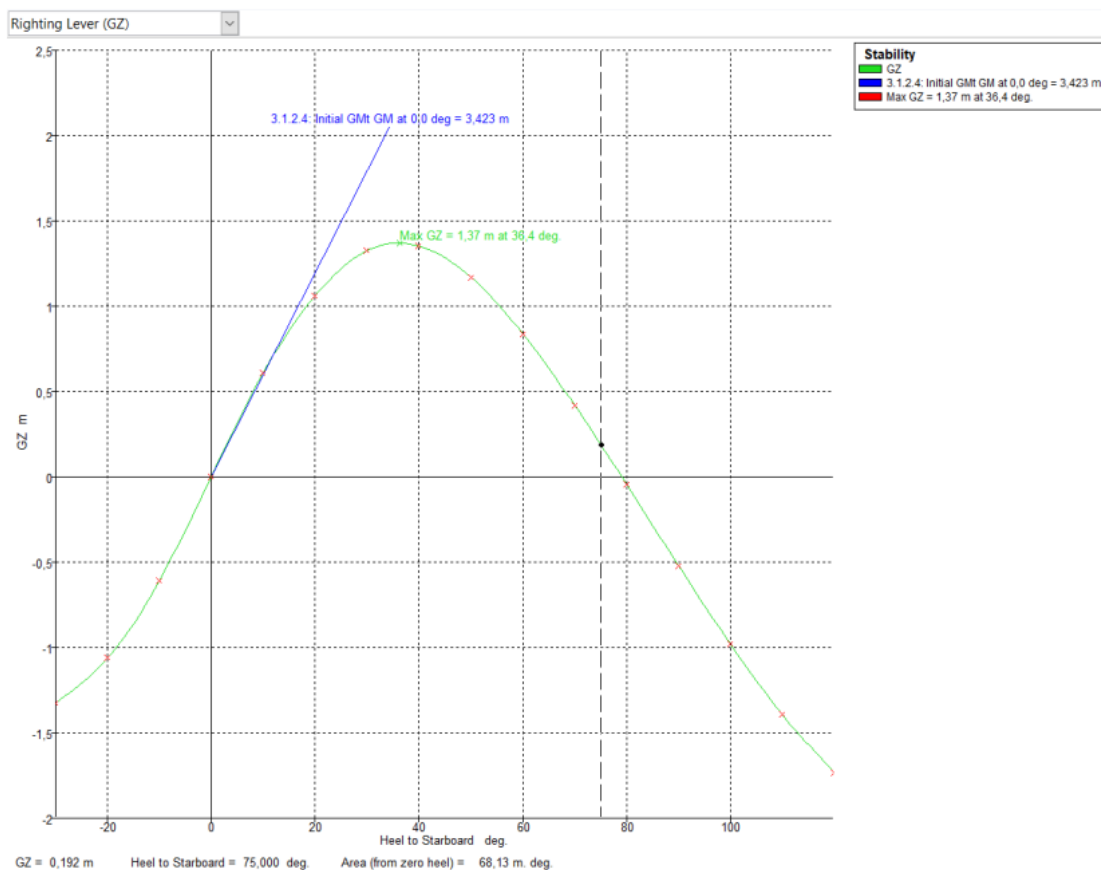


Рисунок 2.21 – Діаграма остійності для варіанта навантаження 100% вантажу і 100% запасів

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	79,1	deg			
7		shall not be less than ($\geq$)	3,1513	m.deg	23,7423	Pass	+653,41
8							
9	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		from the greater of					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first downflooding angle	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	79,1	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	5,1566	m.deg	37,3271	Pass	+623,87
17							
18	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
19		from the greater of					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
23		first downflooding angle	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	79,1	deg			
25		shall not be less than ($\geq$)	1,7189	m.deg	13,5848	Pass	+690,32
26							
27	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
28		in the range from the greater of					
29		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
30		to the lesser of					
31		spec. heel angle	90,0	deg			
32		angle of max. GZ	36,4	deg	36,4		
33		shall not be less than ($\geq$)	0,200	m	1,370	Pass	+585,00
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	36,4		
36							
37	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than ($\geq$)	25,0	deg	36,4	Pass	+45,46
39							
40	A.749(18) Ch3 - Design criteria	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
41		spec. heel angle	0,0	deg			
42		shall not be less than ($\geq$)	0,150	m	3,423	Pass	+2182,00
43							

Рисунок 2.22 – Перевірка критеріїв остійності для варіанта навантаження 100% вантажу і 100% запасів

2.5.3 Розрахунок остійності пошкодженого судна при затопленні машинного відсіку

Щоб виконати розрахунок остійності пошкодженого судна необхідно обрати критерії розрахунку (Analysis => Criteria), як показано на рисунку 2.23. 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 2.24. Щоб почати розрахунок необхідно натиснути кнопку «почати розрахунок», попередньо вибравши варіант навантаження (Loadcase) та створений пошкоджений стан (DCase).

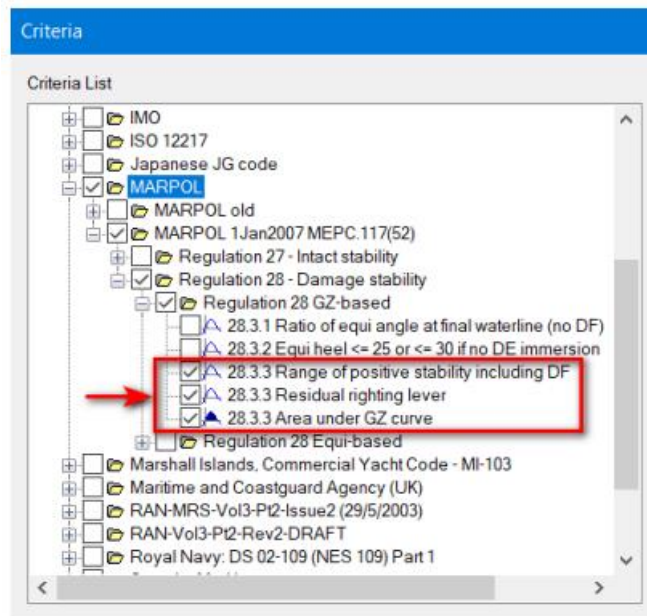


Рисунок 2.23 – Вибір критеріїв розрахунку остійності при пошкодженому стані

Даний розрахунок виконувався з використанням таблиці навантаження мас «Design Draft», яка була представлена на рисунку 2.10.

Зображення пошкодженої відсіку зображено на рисунку 2.24.

Результати розрахунку представлені на рисунку 2.25.

Діаграма остійності показана на рисунку 2.26.

Результати перевірки критеріїв остійності представлені на рисунку 2.27

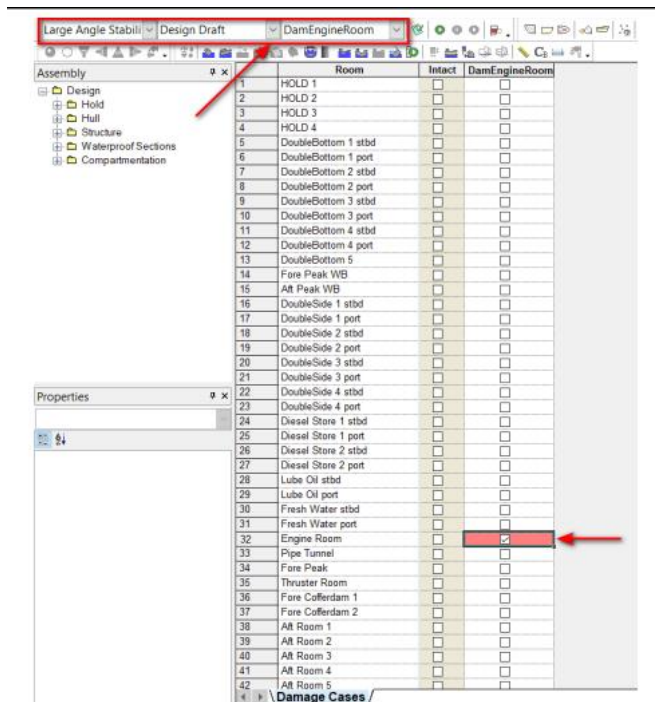


Рисунок 2.24 – Вибір варіанту пошкодження: затоплення машинного відсіку

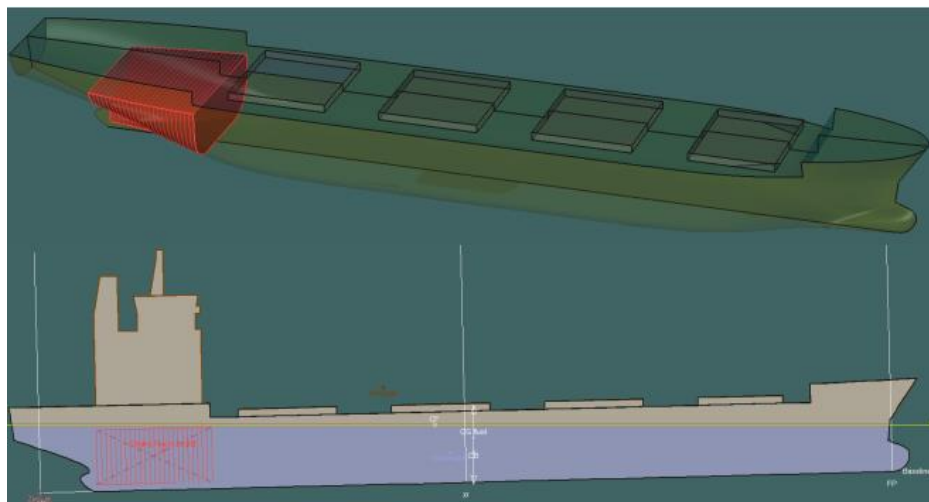


Рисунок 2.25 – Зображення пошкодженого машинного відсіку

	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	120,0
1	GZ m	-1,246	-1,069	-0,650	0,000	0,650	1,069	1,253	1,102	0,822	0,458	0,050	-0,373	-0,784	-1,159	-1,466	
2	Area under GZ curve from zero	23,8884	12,1920	3,3631	0,0000	3,3654	12,1825	23,9243	36,5488	48,4462	58,1524	64,6044	67,1732	65,5634	58,7599	49,9931	36,8314
3	Displacement t	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16884	16885	16884	16884	16884	16884	16884
4	Draft at FP m	6,652	6,171	5,915	5,876	5,916	6,170	6,648	7,334	8,307	10,829	13,741	22,261	n/a	11,335	2,874	0,065
5	Draft at AP m	10,386	9,931	9,910	9,989	9,909	9,932	10,380	11,435	13,145	15,881	21,059	35,922	n/a	21,513	6,622	1,409
6	WL Length m	122,683	122,632	122,427	122,278	122,427	122,632	122,683	122,937	123,141	123,330	123,694	123,382	123,653	123,333	122,012	122,963
7	Beam max extents on WL m	19,406	21,018	22,863	22,500	22,863	21,018	19,409	17,067	14,894	13,260	12,238	11,846	12,539	13,156	13,980	15,321
8	Wetted Area m ²	4735,777	4516,771	4277,168	4186,186	4277,138	4516,803	4735,968	4896,940	4987,458	5028,785	5056,445	5078,058	5097,206	5113,407	5120,485	5125,657
9	Waterpl. Area m ²	1896,863	2142,995	2440,351	2619,056	2440,323	2142,942	1896,766	1700,332	1516,618	1366,620	1268,244	1213,058	1196,258	1216,880	1281,500	1386,718
10	Prismatic coeff (Cp)	0,695	0,679	0,662	0,655	0,662	0,679	0,695	0,707	0,708	0,711	0,713	0,716	0,722	0,733	0,752	0,755
11	Block coeff (Cb)	0,541	0,560	0,557	0,582	0,557	0,559	0,541	0,554	0,579	0,611	0,644	0,668	0,652	0,605	0,573	0,528
12	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	63,407	63,401	63,395	63,395	63,397	63,399	63,399	63,403	63,391	63,386	63,384	63,384	63,386	63,382	63,401	63,414
13	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	63,887	61,261	60,475	57,844	60,476	61,262	63,890	65,159	65,690	65,835	65,814	65,713	65,572	65,412	65,349	65,317
14	Max deck inclination deg	30,0179	20,0341	10,0907	1,4321	10,0906	20,0342	30,0181	40,0124	50,0094	60,0068	70,0042	80,0018	90,0000	99,9990	109,9989	119,9995
15	Trim angle (+ve by stern) deg	1,2581	1,2700	1,3781	1,4321	1,3773	1,2711	1,2621	1,4267	1,7657	2,3240	3,3642	6,2623	90,0000	4,6740	1,7244	0,6187

Рисунок 2.26 – Результати розрахунку остійності при пошкодженні машинного відсіку для варіанта навантаження «Design Draft»

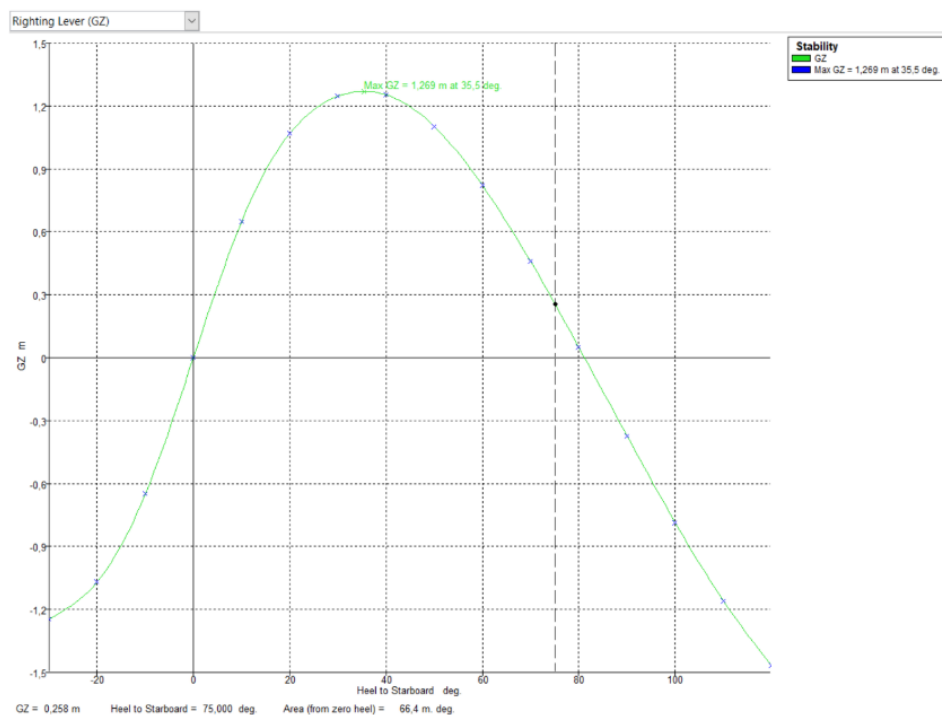


Рисунок 2.27 – Діаграма остійності при пошкодженні машинного відсіку для варіанта навантаження «Design Draft»

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	Regulation 28 GZ-based	28.3.3 Range of positive stability including DF				Pass	
2		<i>from the greater of</i>					
3		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
4		<i>to the lesser of</i>					
5		first downflooding angle	n/a	deg			
6		angle of vanishing stability	81,2	deg	81,2		
7		shall not be less than (>=)	20,0	deg	81,2	Pass	+306,00
8							
9	Regulation 28 GZ-based	28.3.3 Residual righting lever				Pass	
10		<i>in the range from the greater of</i>					
11		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
12		<i>to the lesser of</i>					
13		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,0)	deg	20,0		
14		angle of max. GZ	35,5	deg			
15		first downflooding angle	n/a	deg			
16		shall not be less than (>=)	0,100	m	1,069	Pass	+969,00
17		<i>Intermediate values</i>					
18		angle at which this GZ occurs		deg	20,0		
19							
20	Regulation 28 GZ-based	28.3.3 Area under GZ curve				Pass	
21		<i>from the greater of</i>					
22		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
23		<i>to the lesser of</i>					
24		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,0)	deg	20,0		
25		first downflooding angle	n/a	deg			
26		angle of vanishing stability	81,2	deg			
27		shall not be less than (>=)	1,0027	m.deg	12,1825	Pass	+1114,96
28							

Рисунок 2.28 – 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.

2.6 Розрахунок ходовості балкера, забезпечення вимог класифікаційного товариства до міцності гребного вала та гребного гвинта балкера

2.6.1 Розрахунок буксирувальних опорів і потужності

Розрахунки параметрів ходовості балкера виконані за допомогою програмного модулю Maxsurf Resistance [5].

Загальний вигляд програмного модуля розрахунку ходовості із завантаженою 3D моделлю корпусу проєктованого балкера представлений на рисунку 2.29.

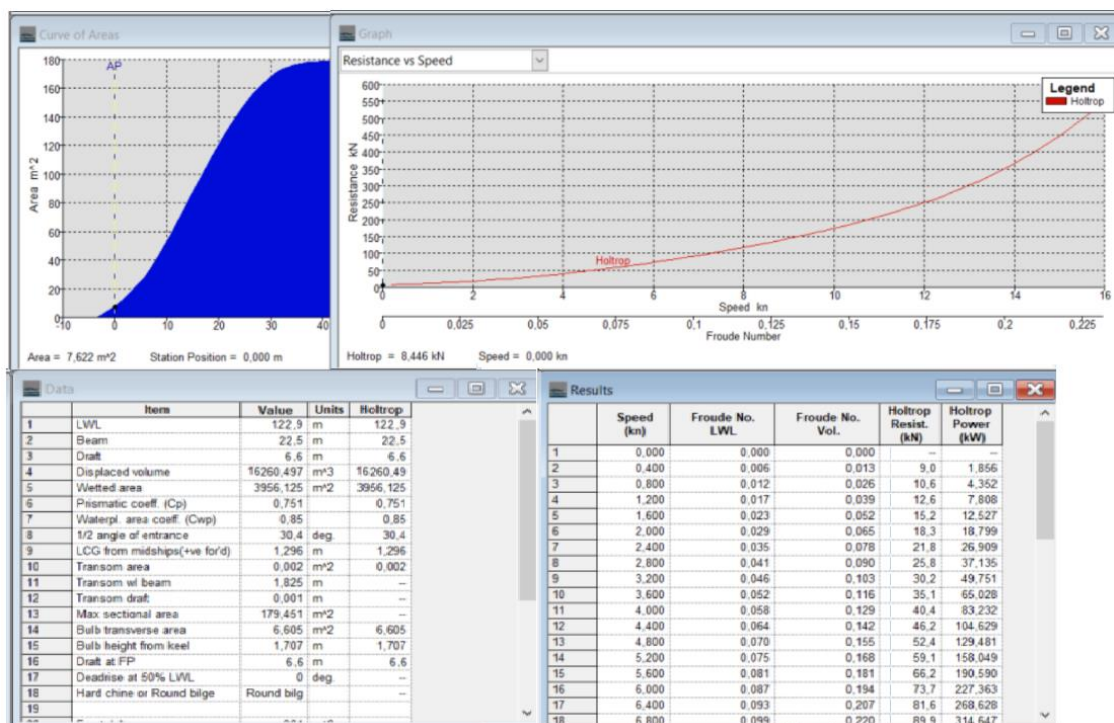


Рисунок 2.29 – Програмний модуль Maxsurf Resistance для розрахунку ходовості проектуваного балкера

Вихідні дані для розрахунку наведено на рисунку 2.30. Як додаткові вихідні дані були введені такі параметри:

Frontal Area	361 м ²
Headwind	10 вузлів
Drag Coefficient	1,3
Appendage Area	15 м ²
Nominal App. Length	3 м
Appendage Factor	3

Як параметри розрахунку були обрані:

Analysis/Methods	Holtrop
Analysis/Speeds Minimum	0 вузлів
Analysis/Speeds Maximum	15 вузлів

Data				
	Item	Value	Units	Holtrop
1	LWL	122,9	m	122,9
2	Beam	22,5	m	22,5
3	Draft	6,6	m	6,6
4	Displaced volume	16260,497	m ³	16260,497
5	Wetted area	3956,125	m ²	3956,125
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,751		0,751
7	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,85		0,85
8	1/2 angle of entrance	30,4	deg.	30,4
9	LCG from midships(+ve for'd)	1,296	m	1,296
10	Transom area	0,002	m ²	0,002
11	Transom wl beam	1,825	m	--
12	Transom draft	0,001	m	--
13	Max sectional area	179,451	m ²	--
14	Bulb transverse area	6,605	m ²	6,605
15	Bulb height from keel	1,707	m	1,707
16	Draft at FP	6,6	m	6,6
17	Deadrise at 50% LWL	0	deg.	--
18	Hard chine or Round bilge	Round bilge		--
19				
20	Frontal Area	361	m ²	
21	Headwind	10	kn	
22	Drag Coefficient	1,3		
23	Air density	0,001	tonne/	
24	Appendage Area	15	m ²	
25	Nominal App. length	3	m	
26	Appendage Factor	3		
27				
28	Correlation allow.	0,0004		Calculated
29	Kinematic viscosity	0,00000118	m ² /s	
30	Water Density	1,026	tonne/	

Рисунок 2.30 – Вихідні дані для розрахунку
ходовості проектованого балкера

За результатами розрахунку отримали значення буксирувального опору та буксирувальної потужності, які представлені на рисунку 2.31.

Для заданої за завданням швидкості 12,3 вузлів розрахунковий буксирувальний опір дорівнює 269,1 кН, при цьому розрахункова буксирувальна потужність дорівнює 1716,9 кВт.

Для переходу від буксирувальної потужності до необхідної ефективної потужності головного двигуна необхідно розрахувати та ввести значення загального пропульсивного коефіцієнта (Analysis/Efficiency).

26	10,200	0,145	0,323	173,8	893,920
27	10,500	0,151	0,336	187,0	1000,313
28	10,800	0,157	0,349	201,0	1117,009
29	11,100	0,163	0,362	216,1	1245,323
30	11,400	0,168	0,375	232,4	1456,813
30	11,400	0,171	0,381	248,4	1386,813
31	12,000	0,174	0,388	250,0	1543,299
32	12,300	0,180	0,401	269,1	1716,697
33	12,600	0,186	0,414	290,1	1909,998
34	12,900	0,192	0,427	313,0	2125,279
35	13,200	0,197	0,439	338,2	2365,958
36	13,500	0,203	0,452	366,0	2635,691
37	13,800	0,209	0,465	396,5	2937,607
38	14,100	0,215	0,478	430,0	3274,195
39	14,400	0,221	0,491	466,8	3649,830
40	14,600	0,226	0,504	507,6	4073,314
41	15,000	0,232	0,517	553,5	4555,858

Рисунок 2.31 – Результати розрахунку ходовості проектного балкера

На малюнках 2.32 та 2.33 представлені відповідно графіки залежності буксирного опору та буксирної потужності від швидкості.

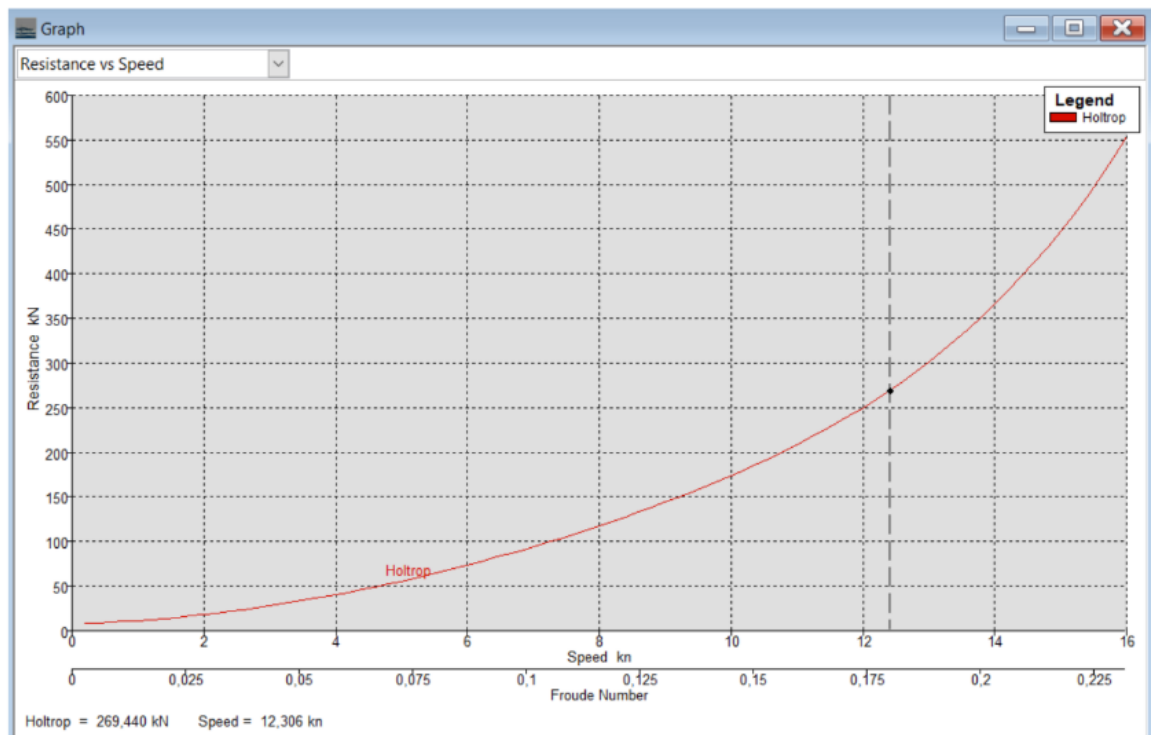


Рисунок 2.32 – Графік залежності буксирного опору від швидкості балкера R

$$= f(v_s)$$

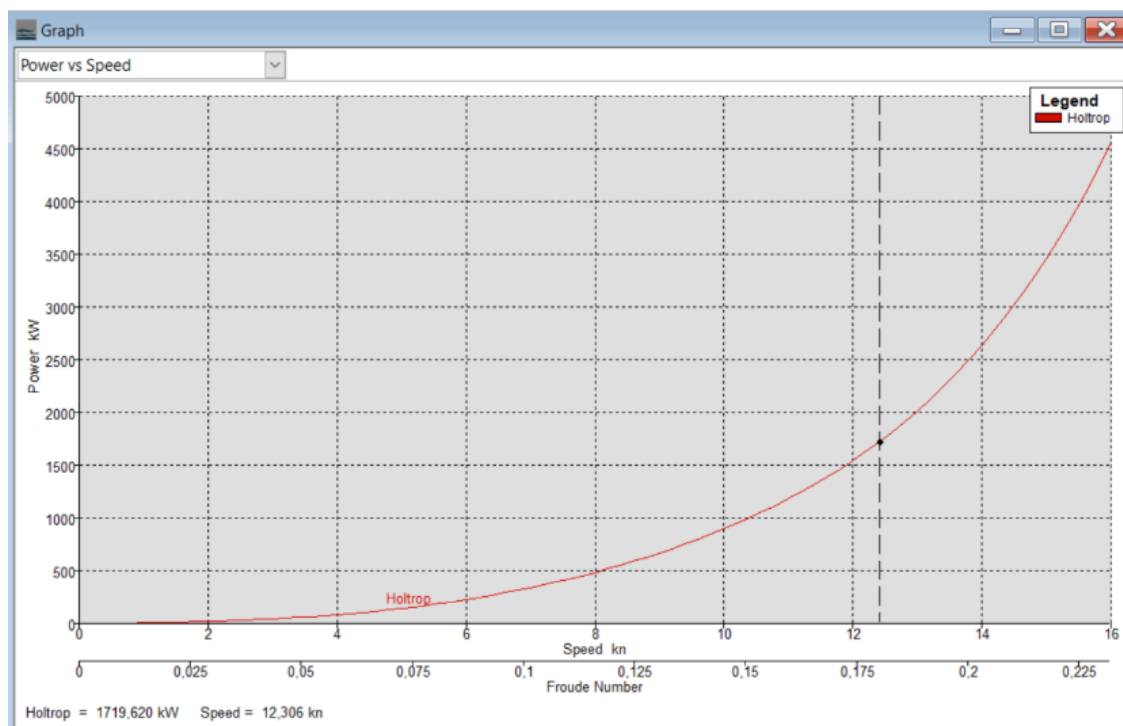


Рисунок 2.33 – Графік залежності буксирувальної потужності від швидкості балкера $P = f(v_s)$

Також був виконаний розрахунок вільної поверхні (Analysis\Calculate Free Surface) при русі балкера зі швидкістю 12,3 вузлів. Результат розрахунку показано на рисунку 2.34.

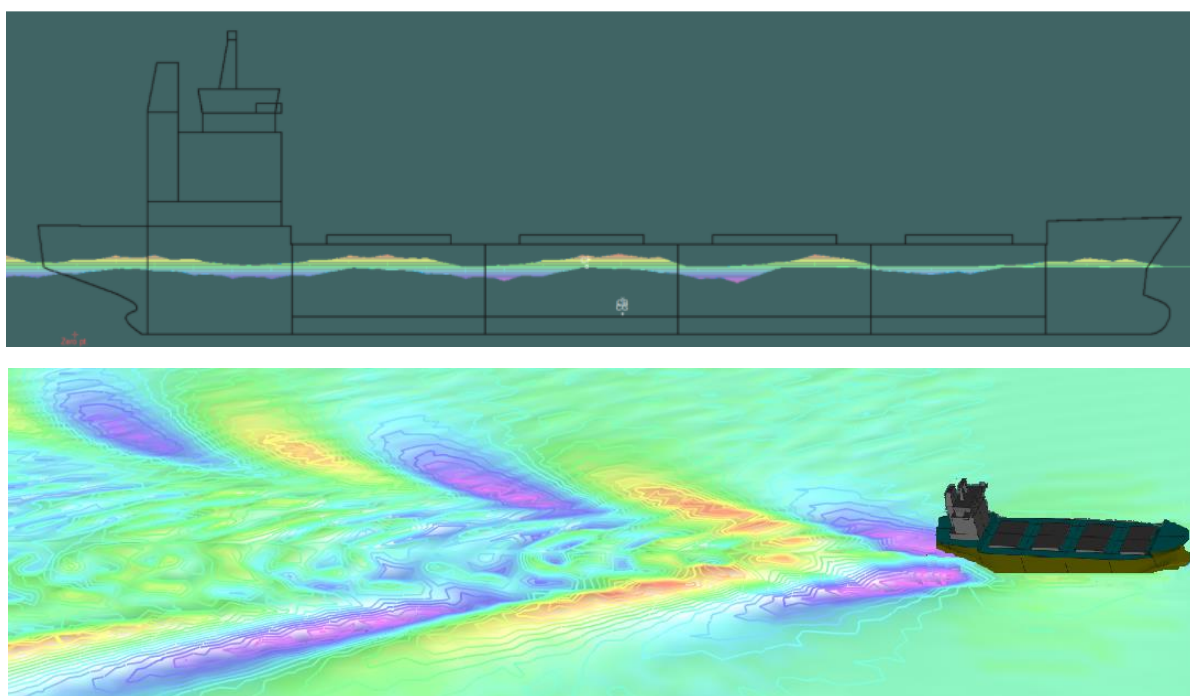


Рисунок 2.34 – Вільна поверхня при швидкості балкера 12,3 вузлів

2.6.2 Розрахунок характеристик рушія та вибір двигуна в програмі HydroComp PropExpert

Розрахунок характеристик рушія був виконаний в програмному модулі HydroComp PropExpert [3]. На рисунку 2.35 зображено вікно програми із відкритою вкладкою Vessel, на якій введені дані щодо характеристик проектуваного балкера та загальні початкові дані для розрахунку.

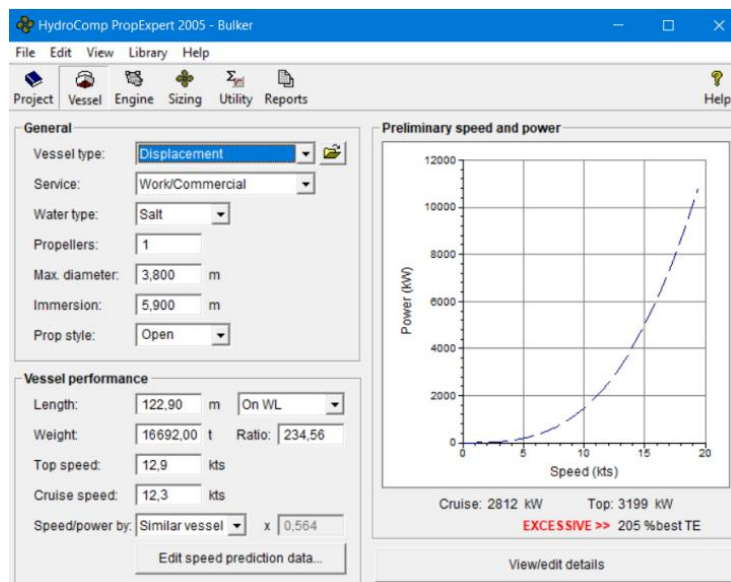


Рисунок 2.35 – Дані про балкер

Для забезпечення розрахункової швидкості 12,3 вузлів було обрано середньооборотний 6-циліндровий дизель МАК серії 6М32Е потужністю 3480 кВт при номінальній кількості обертів 720 об/хв та питомій витраті дизельного палива 180 г/кВт·год згідно з даними із каталогу Marine Power Solutions 2021 [4]. Обраний двигун за рівнем викидів шкідливих речовин відповідає вимогам рівня Tier III згідно Додатку VI до МАРПОЛ 73/78.

На рисунку 2.36 зображено вікно програми із відкритою вкладкою Engine, на якій введені дані щодо характеристик обраного двигуна.

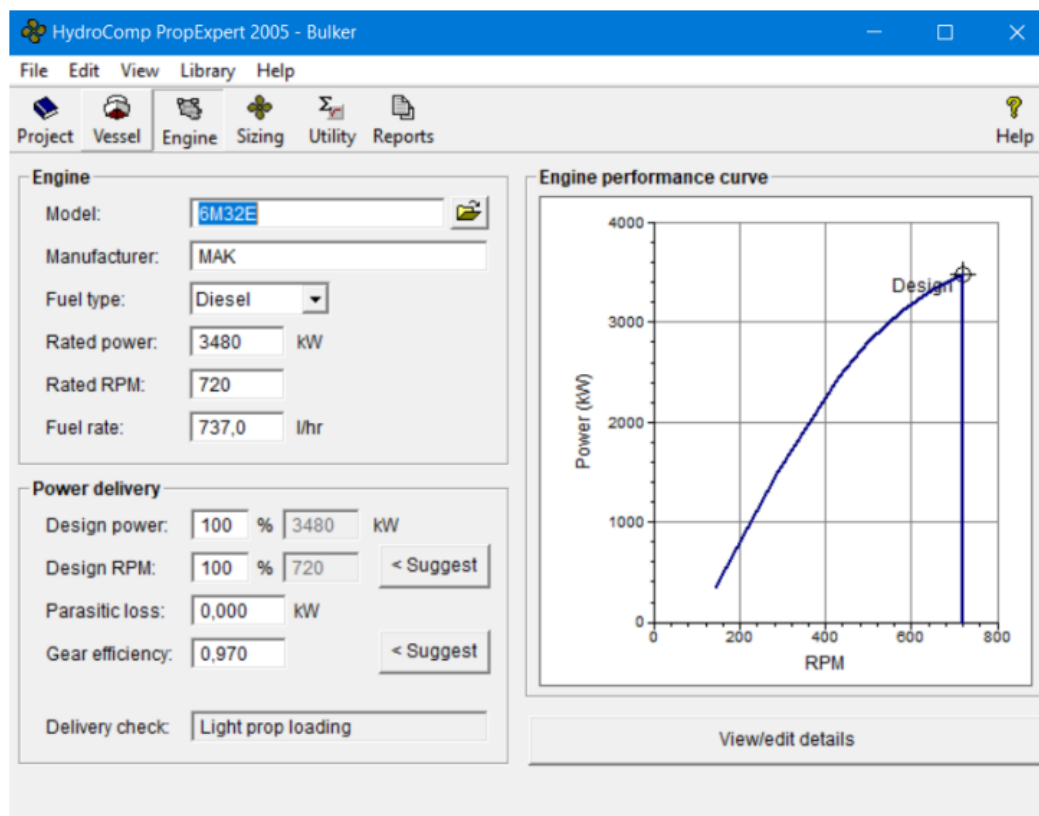


Рисунок 2.36 – Характеристики обраного двигуна

На рисунку 2.37 зображено вікно програми із відкритою вкладкою Sizing, на якій проводився розрахунок та підбір характеристик рушія (суднового гвинта).

На рисунку 2.38 представлено характеристики силового рушійного комплексу.

На рисунку 2.39 зображено вікно програми із відкритою вкладкою Utility, на якій проводився розрахунок та підбір необхідних параметрів валу. А також розраховано витрати палива на годину, які склали 675 л/год при русі балкера із розрахунковою швидкістю 12,3 вузлів протягом 70% часу рейсу та при максимальній швидкості 12,9 вузлів протягом 30% часу рейсу.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

HydroComp PropExpert 2005 - Bulker

File Edit View Library Help

Project Vessel Engine Sizing Utility Reports Help

Propeller

Model:

Manufacturer:

Series: BSeries

Blades: 4

Blade area ratio: Keep 0,700

Diameter: Keep 3,800 m

Pitch: Size 2,990 m

Gear ratio: Size 3,927

Cup type: [None]

Cup drop: 0,000000 m

Material: Mn Bronze

Speed

Calc. sizing for: Top

Design speed: 12,9 kts

Calc'd max. speed: 12,9 kts

Build

Summary results

	Top	Cruise
Speed [kts]	12,9	12,3
Engine RPM	720	690
Power [kW]	3480	3059
Thrust [kN]	341,54	313,21
Cavitation	OK	OK
Strength	OK	OK

Details

Factors: T: 1,000 P: 1,030

MWR/BTF: M: 0,370 B: 0,050

View details

Рисунок 2.37 – Характеристики обраного суднового гвинта

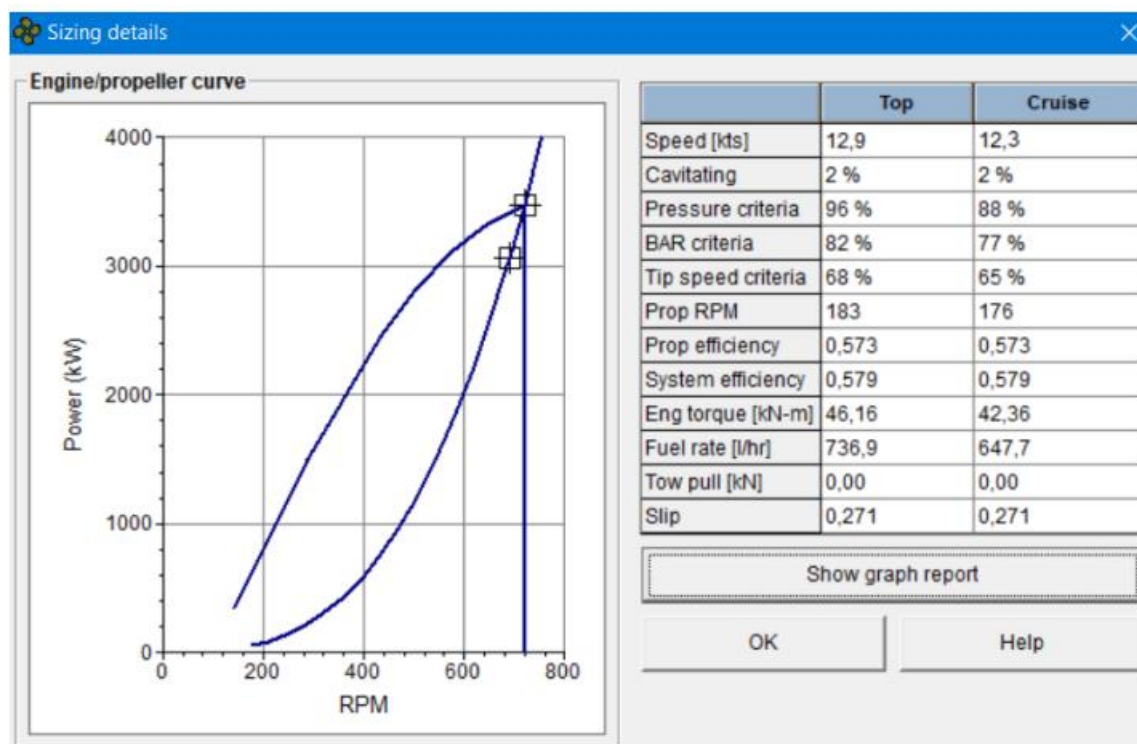


Рисунок 2.38 – Характеристика силового рушійного комплексу

The screenshot shows the 'HydroComp PropExpert 2005 - Bulker' software window. The menu bar includes File, Edit, View, Library, and Help. The toolbar has icons for Project, Vessel, Engine, Sizing, Utility, Reports, and Help. The main interface is divided into three sections:

- Shafting:**
 - Material: Bronze (dropdown)
 - Shear strength: 137895,1 kPa
 - Safety factor: 10 (with <Suggest button)
 - Calc power: 3376 kW
 - Calc shaft RPM: 183
 - Req'd min diam: 0,4020 m
 - SF Top: 10,0
 - SF Cruise: 10,9
- Duty cycle:**
 - Time at Top: 30 % (with <Suggest button)
 - at 12,9 kts
 - Time at Cruise: 70 % (with <Suggest button)
 - at 12,3 kts
 - Hours/year: 1
 - Total annual fuel: 675 liter
- Engine/propeller resonance:**
 - Cylinders: 6
 - Firing frequency: 2160 1/min
 - Blade frequency: 733 1/min
 - Phase check: OK

Рисунок 2.39 – Необхідні параметри валу

За результатами розрахунку отримали оптимальні елементи та характеристики 4-лопатевого гвинта діаметром 3,8 м, який в парі з обраним двигуном МАК серії 6М32Е потужністю 3480 кВт дозволяють досягнути максимальної швидкості балкера 12,9 вузлів та ефективно працювати під час руху балкера з крейсерською швидкістю 12,3 вузлів. На наступному етапі роботи необхідно виконати побудову тривимірної моделі отриманого оптимального гвинта в програмі HydroComp PropCAD [2].

2.6.3 Проектування гвинта в програмі Hydrocomp PropCAD

Побудова тривимірної моделі гребного гвинта балкера виконана в системі автоматизованого проектування HydroComp PropCAD [2]. На рисунку 2.40 зображено стартове діалогове вікно програми із введеними вихідними даними для

нашого проекту гвинта. Основні характеристики гвинта вводяться у вікні Principal characteristics, яке показано на рисунку 2.41.

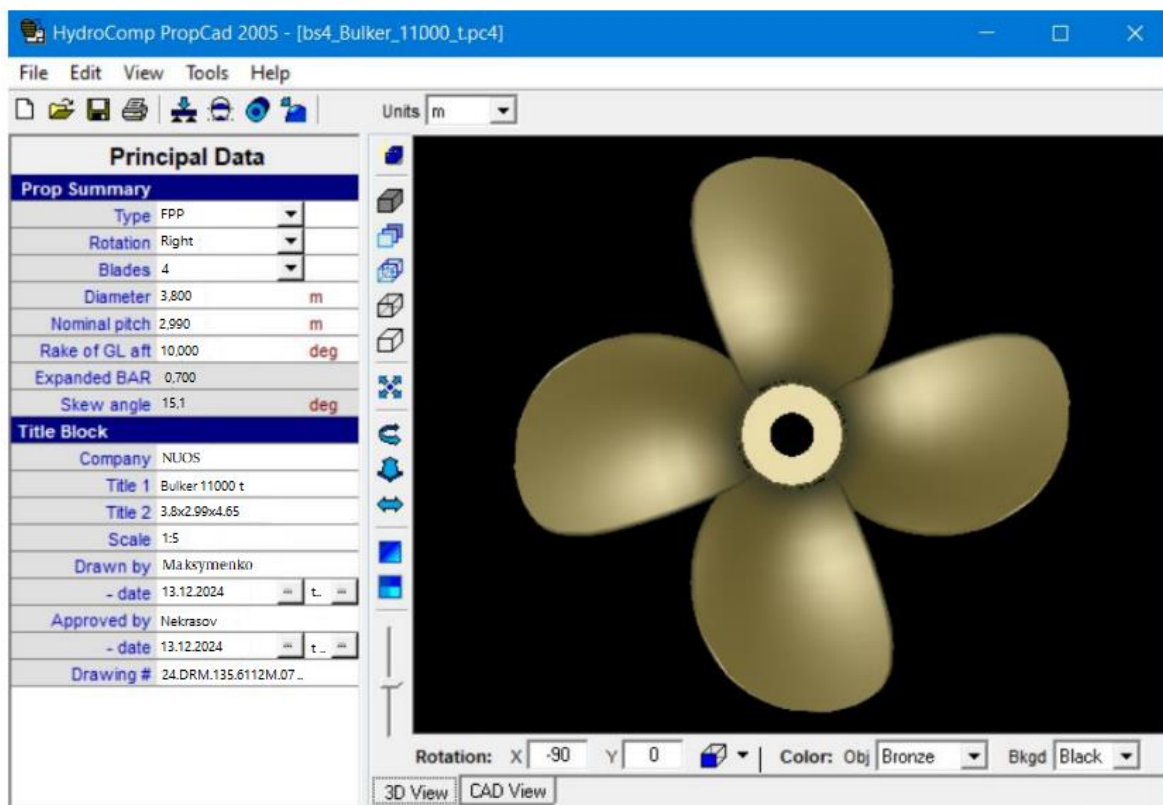


Рисунок 2.40 – Стартове діалогове вікно із вихідними даними

Show	Text	Value	Units
☒	Propeller type	FPP	
☒	Rotation	Right	
☒	Number of blades	4	
☒	Diameter	3,80000	m
☒	Pitch (nominal)	2,99000	m
☒	Expanded area ratio	0,700	
☒	Rake aft	10	Deg
☒	Skew	15,1	Deg
☒	Material type	Mn bronze [2]	
☒	Density	8,3	g/cm3
☒	Design power	3480	kW
☒	Design RPM	720	
☒	Thickness rule	ABS Small	
☒	Required t @ 0,25	4,12806	m
☒	Weight	7924,1	kg
☒	Mass moment of inertia	4227,58	kg-m2
☒	Blade finish tolerance		

Insert
Delete
Copy
Paste
OK
Cancel
Help

Рисунок 2.41 – Основні характеристики гвинта

Вибір параметрів міцності та матеріалу гвинта виконується у вікні Material/strength properties, яке показано на рисунку 2.42. В даному вікні виконується вибір класифікаційного товариства, у відповідності до правил якого будуть виконані розрахунки.

Material/strength properties	
Classification Society:	ABS
Rule parameters	
Thickness rule:	ABS Steel Vessels Under 90 M
Material type:	Mn bronze [2]
Loading:	Free-run
Design conditions	
Material density:	8,3 g/cm3
Design power:	3480 kW
Design RPM:	720
OK Cancel Help	

Рисунок 2.42 – Параметри міцності та матеріал проектного гвинта

Побудова перерізів лопаті виконується у вікні Edit/Section definition. В даній роботі побудова перерізів лопаті була виконана за допомогою автоматизованого засобу побудови програми, який викликається при натисканні кнопки Builder. Для

використання функції автоматизованої побудови внесли ряд необхідних даних для генерації перерізів у вікні Prop Builder, яке показано на рисунку 2.43.

The screenshot shows the 'Prop Builder' window with the following settings:

- Blade geometry:**
 - Sections and r/R: B-series
 - Pitch distribution: Full
 - Expanded BAR: 0,7
 - Outline: BB-series
 - Rake aft: 10 deg
 - Rake distribution: Linear
 - Exp skew at tip/D: 0
 - Skew distribution: BB-series
 - Hub diam/D: 0,2
- Hub/shafting:**
 - Shaft diameter: 0,42 m
 - Hub rule: [User]
 - Shaft taper: 1 / 12
 - Hub length: 1,5 m
- Thickness:**
 - Thickness rule: B-series
 - Tip/edge thickness: 0,01140 m
 - Root thickness: 0,12312 m
 - @ r/R: 0,30
 - Thickness distribution: Linear
- Camber:**
 - Camber/chord (f/c): 0
 - Peak chord-wise position: 0
 - Camber shape: C-shape (arc)
 - Radial f/c distribution: Constant
 - Peak r/R position: 0
- Cupping:**
 - Drop: 0 m
 - Root fairing: 0 to 0
 - Tip fairing: 0 to 0

Buttons at the bottom: Build, Cancel, Help.

Рисунок 2.43 – Дані для побудови перерізів лопаті гвинта

Після введення усіх необхідних даних виконали автоматизовану побудову тривимірної моделі спроектованого гребного гвинта. Результат побудови зображено на рисунку 2.44

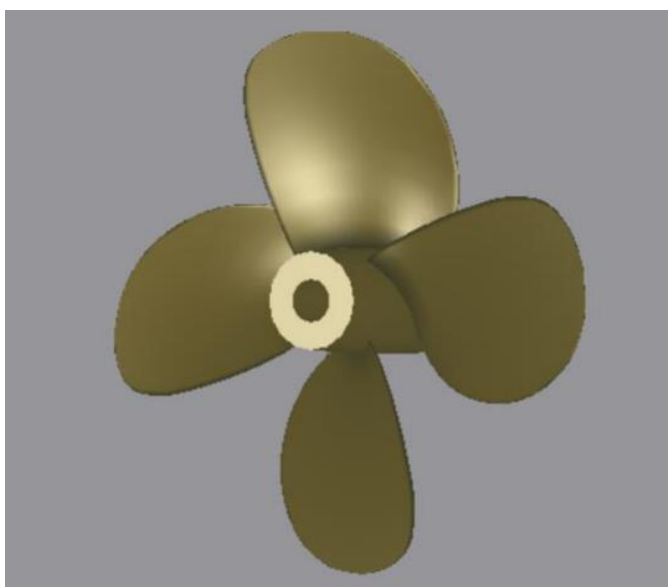


Рисунок 2.44 – Тривимірна модель спроектованого гребного гвинт

Висновок

Згідно із завданням Кафедри теорії та проектування суден, у межах цієї дипломної роботи проведено дослідження двох ключових етапів проектування судна: концептуального (дослідницького та оптимізаційного) та технічного проектування балкера, призначеного для експлуатації на маршруті Південний – Марсель (Чорне море – Середземне море).

На етапі концептуального проектування було виконано такі завдання:

- побудовано моделі експлуатаційних умов та інженерно-навігаційних характеристик балкера для аналізу його роботи в регіоні Чорного й Середземного морів;
- проведено моделювання операцій балкера з визначенням завдань його функціонування у конкретних умовах експлуатації;
- визначено ефективність та надійність основних операцій балкера, використовуючи сучасні аналітичні методи дослідження та вирішення інженерних проблем;
- поставлено й розв'язано задачу оптимізації основних елементів конструкції, застосовуючи поступове «занурення» судна в робоче середовище й припинення оптимізації при досягненні максимально можливих показників ефективності та надійності;
- проведено дослідження впливу воєнного часу на процес рішення балкера з урахуванням фрахтових ставок, цін на паливо та інших поставок.

На основі цього було обрано основні розміри балкера з використанням відкоригованої програми оптимізації Кафедри теорії та проектування суден. Критерієм оптимізації став максимальний прибуток за весь період експлуатації, що дозволило оцінити ефективність транспортних операцій на визначеній лінії.

Результат концептуального проектування: балкер з вантажопідйомністю 11 000 тонн для перевезення пшениці. Його архітектурно-конструктивний тип –

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	105
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

однопалубне судно з чотирма трюмами, бульбовим носом, транцевою кормою, надбудовою та машинним відділенням у кормовій частині.

На етапі технічного проектування було створено клас-проект балкера відповідно до вимог класифікаційного товариства.

В результаті виконаного технічного проектування було побудовано 3D-модель балкера та виконано необхідні розрахунки за допомогою рекомендованого програмного забезпечення Maxsurf. Розрахунки стосувалися характеристик плавучості, остійності, непотоплюваності й ходовості судна. Покращення ходових характеристик реалізовано через проектування гребного гвинта у програмах HydroComp PropExpert і PropCad, а також завдяки вибору нового економічного та екологічного двигуна.

Таким чином, реалізація концептуального та технічного проектування балкера для маршруту Південний – Марсель відповідає завданню кафедри щодо забезпечення економічної ефективності проєктного рішення. Проект також відповідає вимогам Міжнародної морської організації (ІМО) стосовно ключових морехідних якостей судна, таких як плавучість, остійність, непотоплюваність і ходовість, що гарантує надійність його експлуатації.

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	106
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Deschamps, L. Integrating Cost Estimating with the Ship Design Process [Text] / L. Deschamps, C. Greenwell. – USA: SPAR Associates, Inc., 2009. – 24 p.
2. HydroComp PropCAD, 2005.
3. HydroComp PropExpert, Propeller selection program, 2005.
4. Marine Power Solutions 2021, Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG, 2021.
5. Maxsurf Enterprise V8i, Bentley Engineering, 2013.
6. Nekrasov, V. Conceptual Designing of Ships: monograph / Valeriy Nekrasov. – Kyiv-Kherson: Oldi-Plus, 2019. – 112 p. (in English).
7. 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: 23.10.2024 р.)
8. Papanikolaou A.D. «Ship Design. Methodologies of Preliminary Design», Springer Dordrecht, The Netherlands, 2014, ISBN 978-94-017-8751-2.
9. 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.
10. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – Наука, 1961. – 576 с.
11. Некрасов В.А. Оценивание стоимости и сроков постройки кораблей и судов. Учебное пособие по курсу лекций «Модели функционирования судов», Николаев, НУК, 2017 г.
12. Писарук, Н. Н. Исследование операций / Н. Н. Писарук. – БГУ, 2015 – 304 с.

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	107
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

13.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 08.11.2024 р.)

14.Справочник по теории корабля: В трех томах. - Судостроение, 1985. -544с.

15.Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей. – Морской регистр судоходства, – 2006

					24.ДРМ.135.6112М.07.ПЗ	108
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		