

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 9000 тонн
та дослідження його ефективності і надійності

Виконав:

 студент 6112м групи

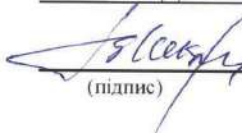
(підпис)

Клесов Костянтин Олександрович

Керівник роботи:

доктор техн. наук, професор

(посада, науковий ступень вчене звання)

 **Некрасов В.О.**
(підпис)

Рецензент:

старший викладач кафедри Будівельної механіки та
конструкції корпусу корабля НУК

 **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 » 09 2024 року

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

Студенту Клесову Костянтину Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Концептуальне проектування балкера вантажопідйомністю 9000 тонн та дослідження його ефективності і надійності

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

Затверджені наказом ректора № від « » 2024 року

2. Термін подання роботи: 20.11.2024 р.

3. Вихідні дані по роботі:

3.1 Вантаж Пшениця, $\mu_v = 850 \text{ кг/м}^3$

3.2 Швидкість 11,4 вузлів

3.3 Дальність плавання 1500 миль

3.4 Район плавання Південний-Неаполі

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 балкеру

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 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 проект 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 проекту (роботи)	Примітка
4.1.	Вибір основних елементів судна та визначення його ефективності		
4.1.1.	Огляд основних тенденцій у розвитку флоту балкерів	17.09.2024	
4.1.2.	Аналіз методів вибору основних елементів балкера	24.09.2024	
4.1.3.	Продукт-орієнтоване проектування балкера	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 проект балкера	05.11.2024	
4.2.	Дослідження морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності		
4.2.1.	Формування теоретичної поверхні балкера	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 балкера	17.11.2024	
4.2.5.	Технічний проект балкера	08.12.2024	
4.2.6.	Пояснювальна записка	14.12.2024	
4.2.7.	Презентація	20.12.2024	

Студент  Клесов Костянтин Олександрович
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи  Некрасов Валерій Олександрович
(підпис) (ПІБ)

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
					Концептуальне проектування балкера вантажопідйомністю 9000 т та дослідження його морехідних якостей	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Кльосов К.О.					4	
Консульт.		Некрасов В.О.				НУК		
Керівник		Некрасов В.О.						
Зав. кафедр.		Некрасов В.О.						

АНОТАЦІЯ

У відповідності до завдання Кафедри теорії та проектування суден в даній дипломній роботі реалізовано дослідження двох етапів процесу проектування судна – концептуального (дослідного, оптимізаційного) та технічного проектування балкера для експлуатації на лінії Південний - Неаполь (Чорне море - Середземне море).

Розглянуто сучасні тенденції розвитку світового флоту балкерів. Виконано аналіз сучасного стану балкерного флоту у діапазоні дедвейту від 10 до 15 тисяч тон для суден, які були побудовані за останні 10 років (з 2013 по 2023 роки). На основі аналізу визначено залежності головних розмірів балкерів від їх дедвейту. Діапазони зміни головних розмірів надано у вигляді графіків. Ці дані були використані як для визначення основних елементів та характеристик проектного балкера в першому наближенні при грубій оцінці його елементів, так і для формування початкової точки пошуку оптимальних значень елементів балкера в оптимізаційній задачі проектування.

Під час розробки концептуального проекту виконано:

- формування моделей експлуатації та інженерно-навігаційних якостей балкера для аналізу його функціональних операцій в умовах Чорного та Середземного морів;

- моделювання процесів експлуатації балкера в цих умовах та постановка задач їх функціонування;

- визначення показників ефективності та надійності функціональних операцій балкера на основі використання сучасних методів їх дослідження та відповідних методів вирішення проблем функціонування судна;

- постановку та рішення задачі оптимізаційного вибору основних елементів балкера на основі його поступового «занурення» в робоче середовище з наступною зупинкою процесу оптимізації при досягненні показників ефективності та надійності максимально можливих значень.

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		5

Виходячи з цього, основні розміри балкера були визначені за допомогою відкоригованої програми оптимізації Кафедри теорії та проектування суден, в якій в якості критерію оптимізації був обраний максимальний прибуток за весь час експлуатації судна, і таким чином визначено ефективність транспортних операцій на заданій лінії експлуатації.

Результатом концептуального проекту став балкер вантажопідйомністю 9000 т пшениці, архітектурно-конструктивним типом якого стало однопалубне судно з чотирма трюмами, бульбовим носом, транцевою кормою і надбудовами, а також машинним відділенням, яке розташоване в кормі.

Було досліджено вплив військового часу на характеристики проектного рішення балкера.

На етапі технічного проектування балкера було розроблено частину так званого клас-проекту, тобто проекту, який задовольняє основним вимогам класифікаційного товариства. За результатами розробки встановлено, що отримане концептуальне рішення задовольняє вимогам до експлуатаційної надійності судна.

За результатами концептуального проектування була побудована 3D-модель балкера та за допомогою рекомендованого класифікаційним товариством програмного продукту Maxsurf були виконані розрахунки плавучості, остійності, непотоплюваності та ходовості судна. Характеристики ходовості судна були також покращені за допомогою оптимізації пропульсивного комплексу, в якій було обрано оптимальний гребний гвинт та реалізовано вибір нового більш економічного та екологічного двигуна.

Для того, щоб дати уявлення про зовнішній вигляд спроектованого балкера з його вантажем та надбудовами, 3D-модель балкера була доопрацьована в Maxsurf з використанням рендерінга.

Таким чином, розробка концептуального і технічного проекту балкера, призначеного для експлуатації на лінії Південний – Неаполь, відповідає завданню на проектування кафедри ТПС по забезпеченню економічної ефективності проектного рішення та вимогам Міжнародної морської організації

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	6
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

(ІМО) до основних морехідних якостей судна – плавучість, остійність, непотоплюваність та ходовість, що забезпечують його експлуатаційну надійність.

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

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

ANNOTATION

According to the assignment of the Department of Ship Theory and Design, the present thesis implements research on two stages of ship design process – conceptual (exploratory, optimization) and technical design of a bulk carrier for operation on the Pivdennyi - Napoli route (Black Sea - Mediterranean Sea).

The current trends in the development of the global fleet of bulk carriers are considered. An analysis of the current state of the bulker fleet in the range of deadweight from 10,000 to 15,000 tons was performed for vessels that were built in the last 10 years (from 2013 to 2023). Based on the analysis, dependencies of the main dimensions of bulkers on their deadweight have been identified. The ranges of variation in the main dimensions are presented in the form of graphs. These data have been used both to determine the basic elements and characteristics of the projected bulker in the initial approximation for a rough estimation of its components and to establish the starting point for searching for optimal values of bulker elements in the optimization task of the design.

During the development of the conceptual design, the following tasks were accomplished:

- formation of models for the operation of the bulk carrier and its engineering navigation qualities necessary for analyzing the entire set of functional operations of the vessel in the conditions of its operation in the Black and Mediterranean Seas;

- simulation of bulker operation processes in these conditions and formulation of tasks for their functioning;

- determination of efficiency and reliability indicators of bulker's functional operations based on the use of modern research methods and corresponding methods for solving vessel functioning problems;

- formulation and resolution of the optimization task for the selection of the main elements of the bulker based on its gradual "submersion" into the working environment with subsequent optimization process cessation upon achieving maximum efficiency and reliability indicators.

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

Based on this, the main dimensions of the bulk carrier were determined using the adjusted optimization program of the Department of Ship Theory and Design. The optimization criterion chosen was the maximum profit over the entire vessel's operating time, thus defining the efficiency of transport operations on the specified operating route.

The result of the conceptual design was a bulk carrier with a cargo capacity of 9,000 tons of wheat, whose architectural-constructional type was a single-deck vessel with four holds, a bulbous bow, transom stern, superstructures, and an engine compartment located at the stern.

In the technical design stage of the bulk carrier, a part of the so-called class project was developed, i.e., a project that satisfies the main requirements of the classification society. According to the development results, it was established that the obtained conceptual solution meets the requirements for the operational reliability of the vessel.

As a result of the conceptual design, a 3D model of the bulk carrier was constructed, and using the recommended classification society software Maxsurf, calculations for buoyancy, stability, unsinkability, and maneuverability of the vessel were performed. The ship's handling characteristics were also improved by optimizing the propulsion system, in which the optimal propeller was selected and a new, more economical and environmentally friendly engine was implemented

To provide an idea of the external appearance of the designed bulker with its cargo and superstructures, the 3D model was refined in Maxsurf using rendering.

Thus, the development of the conceptual and technical design of the bulk carrier intended for operation on the Pivdennyi - Napoli route corresponds to the task of the Department of Ship Theory and Design to ensure the economic efficiency of the project solution and the requirements of the International Maritime Organization (IMO) for the basic navigational qualities of the vessel – buoyancy, stability, unsinkability, and maneuverability, ensuring its operational reliability.

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

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

ЗМІСТ

Вступ	12
РОЗДІЛ 1 Вибір основних елементів судна, визначення його ефективності ...	15
1.1 Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів	15
1.1.1 Загальний огляд	15
1.1.2 Огляд наявних статистичних даних щодо основних елементів балкерів	16
1.1.3 Дотримання екологічних вимог	17
1.2 Аналіз методів вибору основних елементів балкера	19
1.2.1 Аналітичний метод.....	19
1.2.2 Метод порівняння	20
1.2.3 Метод послідовних наближень	20
1.2.4 Метод варіацій	22
1.2.5 Градієнтний метод	23
1.2.6 Метод випадкового пошуку	24
1.2.7 Метод Пауелла.....	24
1.2.8 Метод штрафних функцій	25
1.3 Продукт-орієнтоване проектування балкерів	26
1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт – система ESWBS	26
1.3.2 Формування CER для будівництва балкера	28
1.3.3 Визначення вартості робіт з проектування і побудови балкера	32
1.4 Систем-орієнтоване проектування балкера на інтервалах часу його ефективного використання	35
1.4.1 Моделі віртуальних просторів експлуатації балкера	35
1.4.2 Модель інженерно-навігаційних якостей балкера	41
1.4.3 Модель експлуатації балкера	43
1.5 Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера....	49
1.6 Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації.....	53
1.7 Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації	55
1.8 Концептуальний проект балкера	59

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 2 Визначення морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності	68
2.1 Формування теоретичної поверхні балкера	68
2.2 Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення), забезпечення вимог класифікаційного товариства до вантажної марки балкера	72
2.3 Створення цистерн та внутрішніх приміщень судна. Розрахунок місткості балкера.....	76
2.4 Розрахунок навантаження мас, визначення координат центра ваги проектованого балкера та його удиферентування	80
2.4.1 Розрахунок ЦМ навантаження при осадці по КВЛ	80
2.4.2 Розрахунок ЦМ навантаження 100% вантажу і 100% запасів	81
2.4.3 Розрахунок ЦМ навантаження 100% вантажу і 10% запасів	83
2.5 Розрахунок остійності балкера при великих кутах крену, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його остійності	84
2.5.1 Остійність на великих кутах крену для навантаження по КВЛ	85
2.5.2 Остійність на великих кутах крену для навантаження 100% вантажу і 100% запасів	87
2.5.3 Розрахунок остійності пошкодженого судна при затопленні машинного відсіку	88
2.6 Розрахунок ходовості балкера, забезпечення вимог класифікаційного товариства до міцності гребного вала та гребного гвинта балкера	91
2.6.1 Розрахунок буксирувальних опорів і потужності	91
2.6.2 Розрахунок характеристик рушія та вибір двигуна	96
Висновки	102
Список використаних джерел	104

ВСТУП

Вибір варіанта проектного рішення балкера реалізується на основі дослідження цілого ряду операцій, що виконуються при його функціонуванні – проектуванні, будівництві, експлуатації та утилізації. При цьому активна частина функціонування балкера – його експлуатація – організовується таким чином, щоб мета його призначення досягалася з максимально позитивною віддачою. Відповідно до цієї позиції будується процес прийняття рішень з проектування балкерів.

Чим більш детально будуть вивчені функціональні операції балкера та на цій основі отримані показники його функціональної ефективності і побудовані моделі прийняття рішень щодо вибору основних розмірів, тим успішніше буде розроблено проектне рішення.

Тому при сучасному проектуванні суден зазвичай використовуються методи створення моделей їх функціонування і оптимізаційного вибору головних елементів.

Концептуальне проектування будь-якого судна виконується на початковій стадії процесу проектування, коли проводиться пошук такого конструктивного рішення судна, в результаті якого визначаються основні розміри та характеристики судна, що необхідні для досягнення заданої цілі його функціонування.

Пошук проектного рішення значно залежить від умов створення судна і його технічної підтримки під час експлуатації. Тому на початковій стадії проектування необхідно розглядати два напрямки пошуку: продукт-орієнтоване проектування, направлене на створення судна як продукту промисловості, і систем-орієнтоване проектування, направлене на врахування умов експлуатації судна як складної системи.

При цьому, продукт-орієнтоване проектування визначає витрати на створення балкера, його оновлення і технічну підтримку функціональних операцій, а головною метою систем-орієнтованого проектування є отримання таких розмірів і характеристик балкера, які забезпечать найвищу ефективність функціонування

балкера у визначених умовах активного періоду його використання (за розумними витратами у стадіях виробництва, підтримки життєвості і функціональності) [6].

Вибір необхідного (оптимального) варіанту проектного рішення, що здійснюється на етапі концептуального проектування балкера, виконується з точки зору забезпечення максимально можливого рівня його ефективності і надійності. При цьому, як правило, використовується комбінація (комплекс) показників, що характеризує досягнутий рівень ефективності та безпеки плавання судна.

Математичним апаратом вибору оптимального проектного рішення балкера на стадії концептуального проектування є апарат теорії дослідження операцій [12]. Використання цієї теорії забезпечує [6]:

- визначення типу та умов експлуатації балкера;
- формування середовища існування балкера, яке забезпечується шляхом створення віртуальних просторів його існування під час проектування, будівництва, модернізації та використання за призначенням, тобто - побудови так званих просторів функціонування;
- створення віртуальної моделі балкера, яке супроводжується формуванням моделей його інженерних та навігаційних (морехідних) якостей;
- моделювання процесів створення, підтримки життєдіяльності та ефективного використання балкера в просторах функціонування, тобто – формування так званих задач функціонування;
- визначення показників ефективності та надійності балкера при виконанні операцій в просторах функціонування; формування методів вирішення задач функціонування балкера;
- організацію процесу пошуку оптимального проектного рішення судна шляхом поетапного його «занурення» в простори функціонування і трансформації головних розмірів і характеристик для спрямованої зміни показників ефективності та надійності;
- призначення ознаки зупинки процесу пошуку оптимального проектного рішення по моменту досягнення комплексним показником ефективності і надійності свого екстремального значення, що обумовлює закінчення процесу оптимізації проектного рішення.

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таким чином, одними з головних питань концептуального проектування є питання створення моделей функціонування певного типу судна в певних умовах його експлуатації, формулювання задач функціонування і розробки методів їх розв'язання.

Так як всі явища, які супроводжують функціональні операції по створенню і експлуатації суден, є випадковими явищами, то для математичного опису цих явищ в даний час використовується апарат теорії ймовірностей. У цій теорії розглядаються три основних об'єкта: випадкові події, випадкові величини і випадкові функції [10].

Отже, при виконанні даної дипломної роботи виклад загальних проблем функціонування розглянутого балкера супроводжується побудовою моделей функціонування, формулюванням задач функціонування та пошуком методів розв'язання цих проблем на основі використання вищевказаних об'єктів теорії ймовірності.

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		14

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 для перевезення насипних вантажів є важливою складовою морського транспорту та логістики. Вони спеціалізуються на перевезенні різних видів вантажів, таких як зерно, вугілля, руди, цемент, солод і багато інших сипучих матеріалів.

Сучасні балкери відіграють важливу роль у глобальній логістиці і транспортуванні сипучих матеріалів. Вони постійно модернізуються і вдосконалюються, щоб відповідати сучасним вимогам ефективності, безпеки та екологічної стійкості вантажоперевезення на морі.

Серед основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів можна виділити наступні:

1) Збільшення розмірів та потужності:

Зростання глобального торгового обігу і споживчого попиту призводять до збільшення об'ємів вантажів, які необхідно перевозити балкерами. Це вимагає збільшення розмірів і потужності суден. За останні роки спостерігається тенденція до збільшення розмірів балкерів для збільшення їхньої потужності та ефективності перевезень великих обсягів сипучих вантажів, таких як вугілля, руда та зерно.

2) Використання технологій для підвищення ефективності:

Компанії, які експлуатують балкери, вдосконалюють їхні технічні характеристики та використовують сучасні технології для підвищення ефективності перевезень, зниження витрат пального і викидів CO₂.

3) Екологічні вимоги та зелені ініціативи:

Світова спільнота звертає більше уваги на екологічні аспекти судноплавства. Вимоги до викидів та екологічні стандарти стають більш жорсткими, тому багато компаній шукають способи вдосконалення та зелені ініціативи.

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4) Автоматизація та використання штучного інтелекту:

Сучасні балкери використовують автоматизовані системи та штучний інтелект для оптимізації маршрутів, керування енергоспоживанням та управління експлуатацією суден.

5) Глобальні виклики у судноплаванні:

Зміни в геополітиці, нові тарифні обмеження, пандемія COVID-19 та інші глобальні виклики можуть впливати на тенденції у розвитку світового флоту балкерів, викликаючи зміни в торговельних партнерствах і маршрутах.

6) Розвиток LNG-балкерів:

Використання скрапленого природного газу (LNG) як палива для балкерів зростає, оскільки це дозволяє знизити викиди сірковмісних сполук та CO₂, відповідаючи строгим стандартам щодо забруднення.

7) Глобальна нестабільність та вартість пального:

Періодичні зміни у глобальній економіці та коливання цін на нафту можуть впливати на вартість пального та загальні експлуатаційні витрати балкерів.

8) Модернізація старих суден:

Замість викидання застарілих суден з експлуатації, вони можуть бути модернізовані для відповідності сучасним стандартам ефективності та екології.

1.1.2 Огляд наявних статистичних даних щодо основних елементів балкерів

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

Детальний аналіз статистичних даних по різних типах суден представлено в роботі Апостолоса Папаніколау «Ship Design. Methodologies of Preliminary Design» [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.05.П	16
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 Апостолоса 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	<u>Балкери</u>	
Дедвейт, тис. т	DWT	від 5 до 15	від 20 до 50	від 50 до 200
Коефіцієнт утилізації водотоннажності за дедвейтом, %	DWT/Δ	65...80	74...85	80...87
Коефіцієнт загальної повноти	C _B (або δ)	0,65...0,73	0,72...0,86	
Коефіцієнт повздовжньої повноти	C _P (або φ)	0,66...0,74	0,79...0,84	
Коефіцієнт повноти <u>міделшпангоута</u>	C _M (або β)	0,97...0,995	0,990...0,997	
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії	C _w (або α)	0,80...0,86	0,88...0,92	
Відношення	L/B	4,8...8,5	5,0...7,1	
Відношення	B/T	2,1...2,3	2,1...3,2	
Відношення	L/H		10,5...12,8	
Період крену, с		8...12	12...20	

1.1.3 Дотримання екологічних вимог

З метою обмеження викидів в 2011 році Комітет із захисту морського середовища (далі – МЕРС) Міжнародної морської організації (ІМО) прийняв поправку щодо захисту атмосфери від забруднення суднами, долучивши Додаток VI до МАРПОЛ 73/78. Був розроблений індекс проектування енергоефективності (далі – EEDI) для нових суден, а також план управління енергоефективністю суден (далі – SEEMP) для усіх суден. Україна є повноправним членом ІМО і ратифікувала всі її основні конвенції. У зв'язку з цим експлуатація суден

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

здійснюється відповідно до резолюцій, розроблених Комітетом МЕРС ІМО: «Запобігання забрудненню повітря з суден і контроль якості палива» («Prevention of Air Pollution from Ships and Quality Control of Fuel») і «Переглянутий Додаток VI до Конвенції МАРПОЛ», та згідно із Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища».

Основним документом, який регламентує шкідливі викиди в атмосферу від морських транспортних суден, є Додаток VI до МАРПОЛ. Цим документом викиди 39 оксидів сірки SO_x запропоновано унормувати відповідно до вмісту сірки в паливі, а викиди оксидів азоту NO_x – виходячи з типу суднового дизеля.

Додаток VI МАРПОЛ встановлює рівневий підхід до скорочення цих викидів:

- рівень Tier I являє собою межу вмісту оксидів азоту NO_x в викидах дизелів суден, побудованих після 1 січня 2000 року, але до 2011 року;
- рівень Tier II – стандарт за вмістом NO_x для двигунів, встановлених на судах, побудованих з 1 січня 2011 року;
- рівень Tier III – стандарт за вмістом NO_x у викидах двигунів, встановлених на судах, побудованих з 1 січня 2016 року.

Викиди NO_x двигунів рівня Tier II в залежності від номінальної частоти обертання колінчастого вала дизеля n (об/хв), повинні складати [7]:

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

Двигуни рівня Tier III в залежності від номінальної частоти обертання колінчастого вала дизеля n (об/хв) повинні забезпечувати наступні вимоги щодо вмісту NO_x у випускних газах:

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

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18

Виконання вимог рівня Tier II можливе за рахунок зміни конструкції двигуна. Досягнення норм рівня Tier III досягається виробниками суднових двигунів за рахунок використання спеціальних технологій: каталітичного відновлення; рециркуляції випускних газів (Exhaust Gas Recirculation – EGR); перепуск випускних газів (Exhaust Gas Wastegate – EWG); перехід на зріджений природний газ.

Отже, під час здійснення вибору головного двигуна для проектного балкера необхідно обирати двигун, який відповідатиме рівню 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 особливості технічного завдання, один з допоміжних методів може бути прийнятий в якості основного.

1.2.1 Аналітичний метод

Аналітичний метод – це метод математичного аналізу, який широко використовує системи рівнянь, що виражають функціональні залежності між елементами проектного судна і елементами завдання.

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Аналітичний метод, який використовується при практичному проектуванні, як правило, поєднується зі статистичним методом, та широко використовує дані, отримані з досвіду проектування, будівництва та експлуатації суден заданого призначення. Застосовуючи статистичний метод, необхідно дотримуватися таких умов: числові величини, взяті на підставі статистичної обробки, повинні базуватися на цілком певних і перевірених даних по досить великій кількості суден; судна, за якими підбираються статистичні дані, повинні мати однакові призначення та архітектурно-конструктивний тип з проектованим судном і повинні плавати в аналогічних умовах; всі необхідні числові величини повинні бути отримані шляхом обробки одними і тими ж прийомами; використовуючи для першого наближення статистичні значення різних характеристик і показників, не слід базуватися тільки на середніх показниках: необхідно сприймати їх критично, наприклад, з точки зору особливостей завдання і отримання оптимальних експлуатаційно-технічних показників для проектового судна.

1.2.2 Метод порівняння

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

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 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.

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 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

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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

Градієнтні 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.

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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

Недоліки: в загальному випадку напрямки 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 послідовно 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 1.1 показано процедуру реалізації цього методу для цільової функції, яка представлена виразом

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

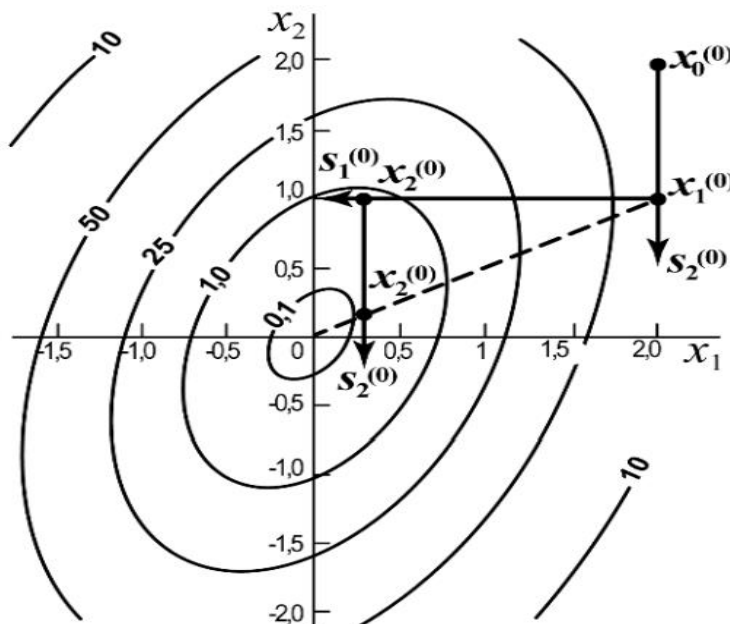


Рисунок 1.1 – Траєкторія пошуку при мінімізації цільової функції методом Пауелла спряжених (перпендикулярних) напрямків

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 задачі без обмежень.

Наприклад, ми хочемо знайти мінімум функції [6]

$$f(\mathbf{x}) = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2$$

з обмеженням

$$h(\mathbf{x}) = x_1 + x_2 - 4 = 0.$$

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 1.2.

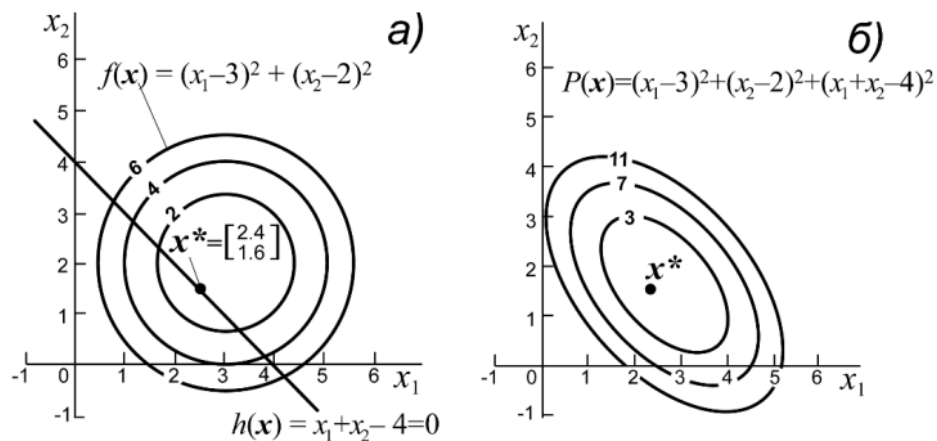


Рисунок 1.2 – Графічне зображення перетворення задачі нелінійного програмування з обмеженням (а) у задачу без обмежень (б) за допомогою методу штрафної функції

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 середини 1960-х використовувалась інша система, яка називалася Бюро суднових 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 1.2.

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	<u>Пропульсивна установка</u>	Включає ваги дизелів, турбін, редукторів, валопроводів і рушіїв
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, дистилаторів, 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).

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		28

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.

Таблиця 1.3 – Типові регресійні рівняння (ECER) концептуального проектування балкера

№ п/п	SWBS	Разделы массы, т	Трудовые затраты, чел.-ч	Материальные затраты, дол.
1	100	Weight ₁₀₀	TF*26.8*Weight ₁₀₀	800*Weight ₁₀₀
2	200	Weight ₂₀₀	TF*23.0*Weight ₂₀₀	20011*Weight ₂₀₀
3	300	Weight ₃₀₀	788.7*Weight ₃₀₀ ^{1,025}	25000*Weight ₃₀₀
4	400	Weight ₄₀₀	719.8*Weight ₄₀₀ ^{0,795}	40000*Weight ₄₀₀
5	500	Weight ₅₀₀	TF*104.7*Weight ₅₀₀	10000*Weight ₅₀₀
6	600	Weight ₆₀₀	210.6*Weight ₆₀₀	10000*Weight ₆₀₀

В даній таблиці TF – коефіцієнт складності судових робіт, які визначаються типом судна (для балкера TF =0,85), Weight_{i00} – маси поділу системи SWBS, визначені по статистичним даним в %-ах по відношенню до водотоннажності судна в повному грузі Weight full для судов та кораблів, дедвейт яких складає відносно малу частину повної водотоннажності, чи по відношенню до маси судна порожнем Weight light для судов, дедвейт яких складає основну частину повної водотоннажності.

Для розглянутого балкера с повною водотоннажністю Weight_{full} = 12750 т та водотоннажністю порожнем Weight_{light} = 3593 т затрати основних складових на його будівництво представлені в табл.1.4

ESWBS	Група	Маса, т	Люд-год на тону	2024
Найменування				\$ Матеріали
Конструкції	100	2741	41,36	2 193 164
Пропульсивна установка	200	333,4	45,56	6 682 278
Електрична установка	300	81,5	761,32	2 037 805
Управління та спостереження	400	6,3	1101,62	250 807
Допоміжні системи	500	147,3	80,36	1 483 489
Обладнання та фурнітура	600	283,2	232,44	2 837 026

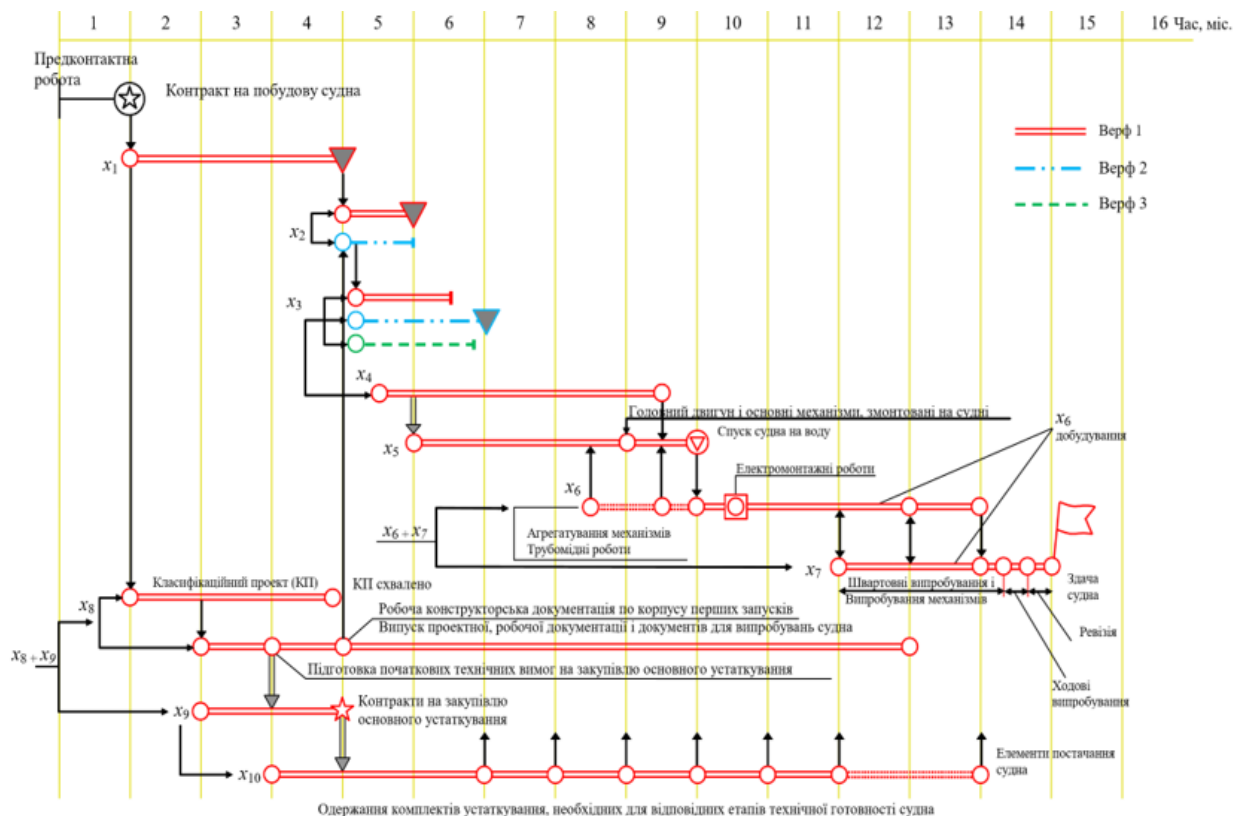


Рисунок 1.3 – Приклад мережевого графіку будівництва проекту судна 17012 на віртуальній верфі [11]

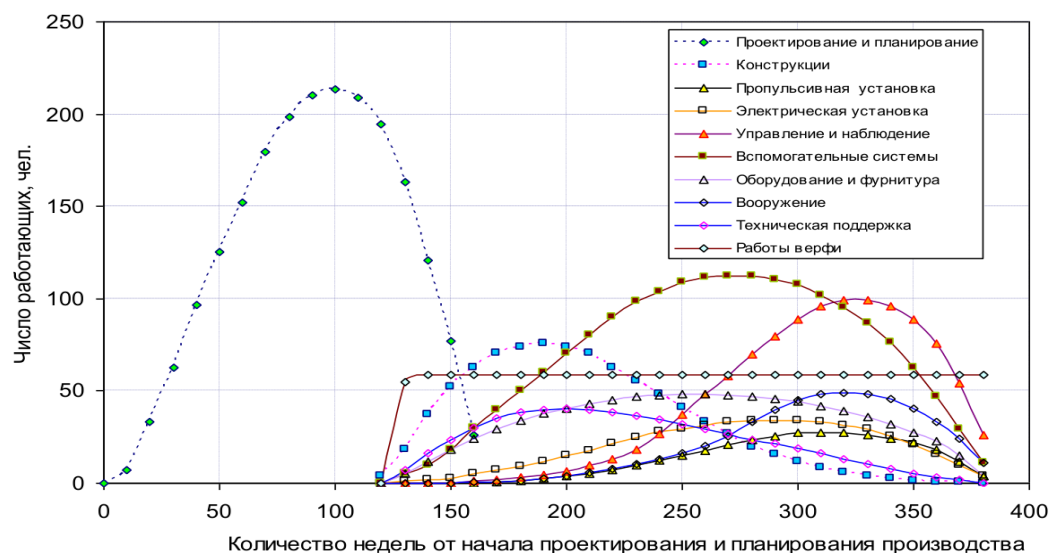


Рисунок 1.4 – Приклад потреби робочої сили при проектуванні, підготовці, будівництві, завершенні, спуску та випробуванні корабля [11]

За даними розрахунків (рисунок 1.4), використовується так званий коефіцієнт типу TF суднобудування, який залежить від типу судна, і коефіцієнт продуктивності PF, який залежить від продуктивності суднобудівного заводу. Ці фактори визначаються за допомогою таблиць 1.3 та 1.4.

Таблиця 1.5 – 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 1.6 – Значення коефіцієнтів продуктивності верфі [11]

No	Країна виробник / Тип судна	Значення факторів продуктивності			
	США	Сталь	Обладнання	Матеріали	Загальні
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 1.5.

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 будування судна за допомогою відповідних коефіцієнтів продуктивності суднобудівного заводу та коефіцієнтів регресії ECER, отриманих на базі ESWBS (таблиці 1.3 – 1.6).

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 1.5.

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

БАЛКЕР														
(Версия ECEC, Апрель 2017)														
Группа	Наименование	Масса, тонн	Цель, час	Производство, чел-час	Работа, чел-час	Накладные, \$	\$ АУП	Работа	Материал	2022	\$ АУП	Материал	Прибыль	Всего
100	Конструкция	2741	41.36	113.383	226.787	226.787	-	2,193,164	2,911,368	2,193,164	-	6,842,278	284,670	2,911,368
200	Промышленная установка	333.4	45.56	15,187	30,373	30,373	-	6,842,278	674,303	6,842,278	-	2,037,805	228,603	7,417,328
300	Электронная установка	81.5	761.32	62,057	124,113	124,113	-	2,037,805	27,844	2,037,805	-	1,483,489	310,033	2,514,634
400	Управление и наблюдение	6.3	1101.62	6,907	13,815	13,815	-	1,483,489	153,085	1,483,489	-	3,410,366	0	3,410,366
500	Вспомогательные системы	147.3	80.36	11,840	23,681	23,681	-	2,857,026	310,033	2,857,026	-	0	0	3,410,366
600	Оборудование и фурнитура	283.2	232.44	85,827	131,653	131,653	-	0	0	0	-	0	0	0
700	Вооружение	0.0	0.00	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0
800	Техническая поддержка	0.0	0.00	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0
900	Работы и страховка	0.0	0.00	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0
1000	Сборы для 1-го корабля серии	3.693	76.69	275,201	550,402	550,402	-	15,794,260	1,658,537	15,794,260	-	13,823	1,658,537	18,553,602
1000-700	Заплата на ПП	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-	0.00%	0.00%	0.00%	-	0.00%	0.00%	0.00%
Техническая поддержка:														
Работы верфи:														
Сборы и страховка:														
Заплата на ПП:														
Производственные затраты (100-700):														
18,243,911														
Оценка рисков:														
Оценка риска репрессий ECEC:														
Оценка риска инженерных переделок:														
Оценка риска работ верфи:														
Оценка риска логистической поддержки:														
Оценка риска графика производства:														
100% риска стоимости 1-го корабля														
29,742,047 \$ без прибыли														
20,439,996 \$ без прибыли														

Рисунок 1.5 – Таблица визначення вартості та тривалості робіт з проектування, планування, підготовки виробництва та створення проектового балкера

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 районі Чорного моря (райони 1,3) і Середземного моря (райони 9,4,3,2). Судно перевозить насипні вантажі з України, порт Південний, до Італії, порт Неаполь. Відстань між портами становить 1500 милі. Візуалізація маршруту представлена на рисунку 1.6.

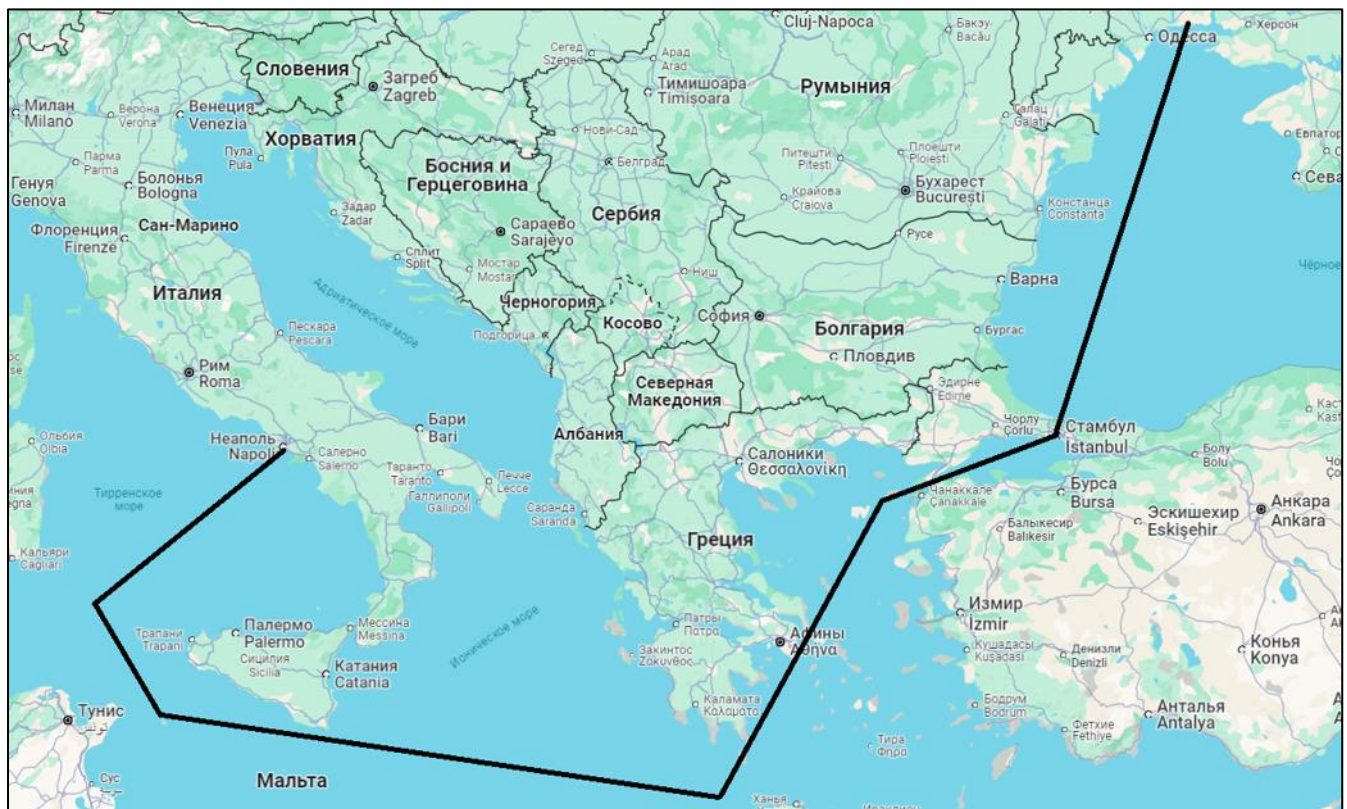


Рисунок 1.6 – Район експлуатації балкера

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 1.7 та 1.8 відповідно.

Таблиця 1.7 – 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, ВЕСЬ РІК						Середземне море, ВЕСЬ 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 1.8 – 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, що розглядається, віднесений до суден послідовних рейсів. При цьому, за умовою завдання, балкер використовуватиметься 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 1.9.

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 1.9 – 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 RF. 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 1.10 [6].

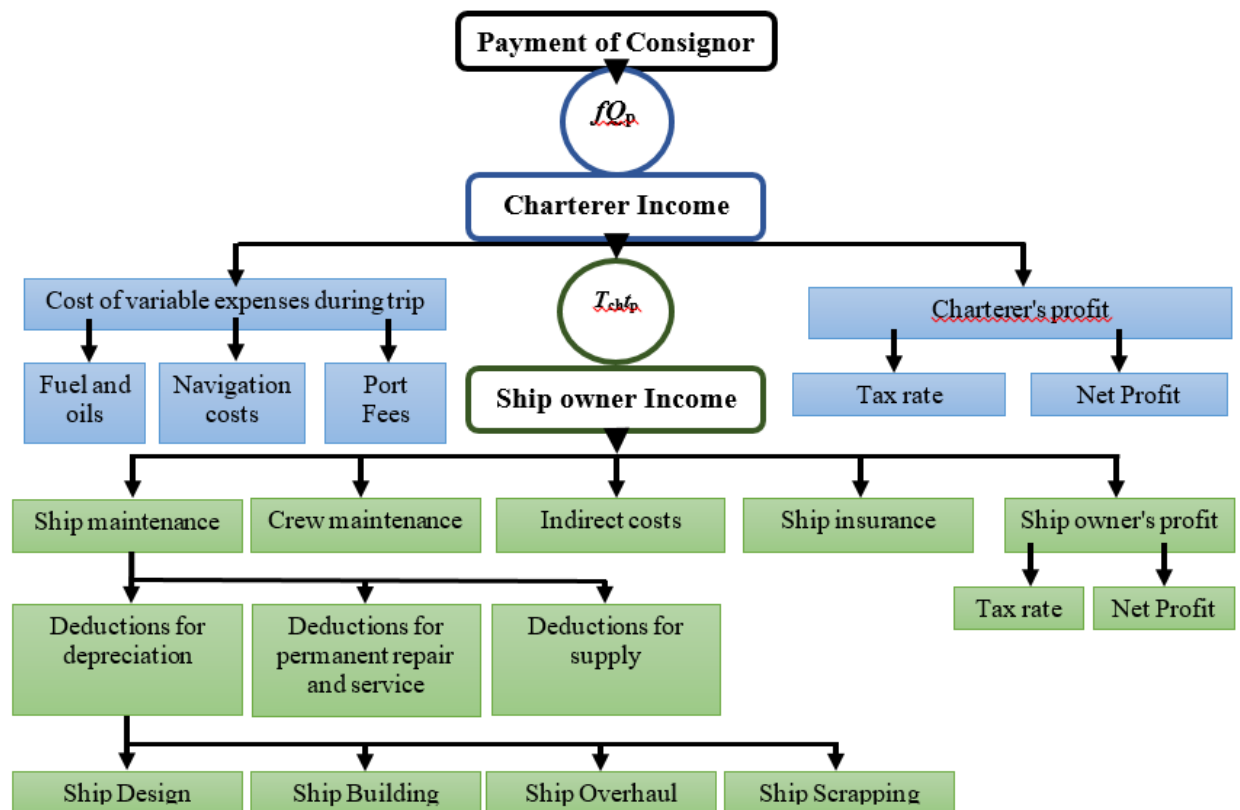


Рисунок 1.10 – Розподіл коштів між учасниками транспортної операції одного кругового рейсу: відправником вантажу (Consignor), фрахтувальником (Charterer) і власником судна (Ship Owner)

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 1.10 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:

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

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:

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

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

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

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.

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

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_{stb} – 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 1.10).

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:

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

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		40

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, $|R|$ – 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:

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

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:

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

Властивість керованості судна як сукупність властивостей стійкості на курсі та маневреності також визначається на етапі концептуального проектування. По-перше, 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 $|\ddot{s}|$:

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

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:

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

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 Імовірнісні характеристики надійності балкера

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

- 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]:

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

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

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 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 не реалізацію. 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

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

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

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

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 1.10.

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 P_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

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

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_{ll} – 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; $\prod_{i=1}^I P_i$ – 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.

Імовірність 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

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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]

$$\text{Знайти:} \quad OF\{U, x\} \Rightarrow \text{extr} \quad (1.33)$$

в:

$$E_N(X) \geq 0, \quad N = 1, 2, 3; \quad (1.34)$$

$$F_K(X) \geq [F_K], \quad K = 1, 2, \dots, K \quad (1.35)$$

$$PK_L[PT] \leq [PK_L], \quad L = 1, 2, \dots, L \quad (1.36)$$

$$X \leq X_Q, \quad Q = 1, 2, \dots, Q \quad (1.37)$$

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

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;

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

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

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

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

XQ – 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.

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	51
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 1.7 у вигляді нижніх та верхніх границь для значень наших незалежних змінних.

Таблиця 1.7 – Допустимі значення незалежних змінних

Назва незалежної змінної	Позначення	Початкове значення x_i (згідно ТЗ)	Нижня границя	Верхня границя
			$(x_i)_{\min}$	$(x_i)_{\max}$
Довжина судна, м	x_1	119,7	106	154
Ширина судна, м	x_2	21,1	15	28
Осадка судна, м	x_3	6,4	5,3	10,2
Висота борту, м	x_4	9,5	6,3	14,5
Коефіцієнт загальної повноти	x_5	0,786	0,65	0,86
Швидкість повного ходу, вузли	x_6	11,4	10	19

Розглянуті в таблиці 1.7 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 1.7).

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 1.11 [6].

Критеріями оптимізації є екстремуми цільової функції (1.31).

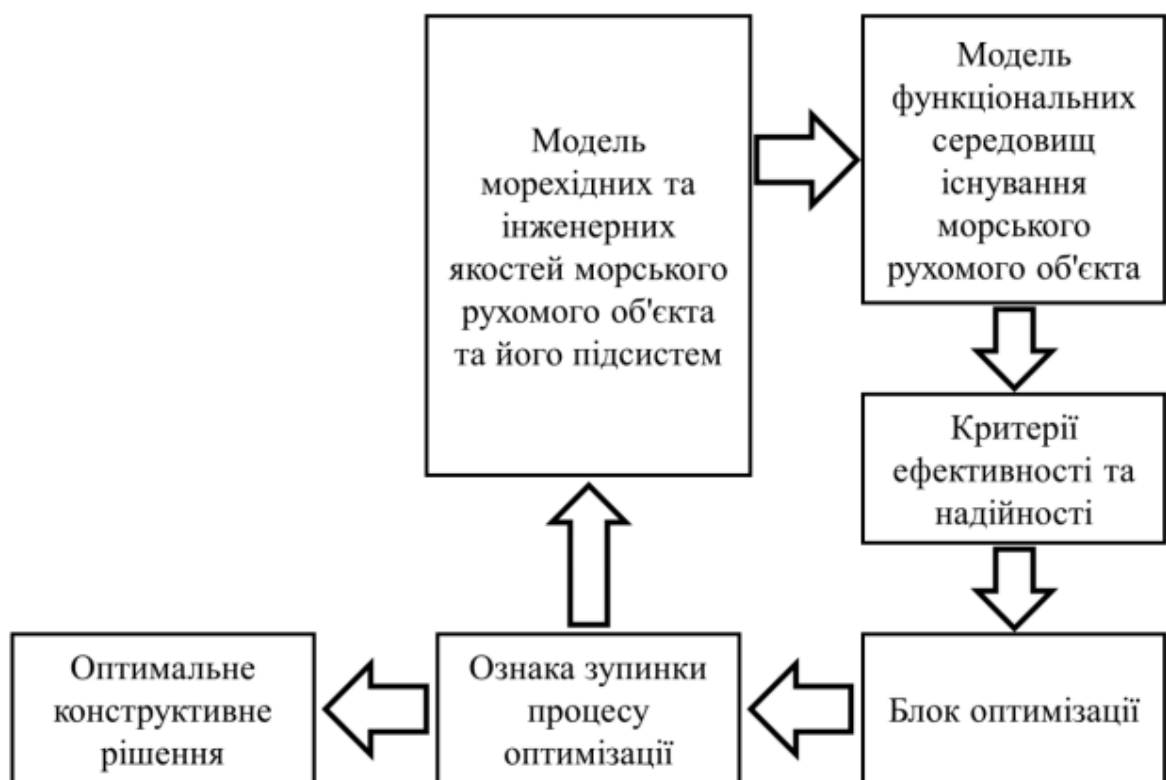


Рисунок 1.11 – Структурна схема пошуку оптимального рішення проблеми

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 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

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

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

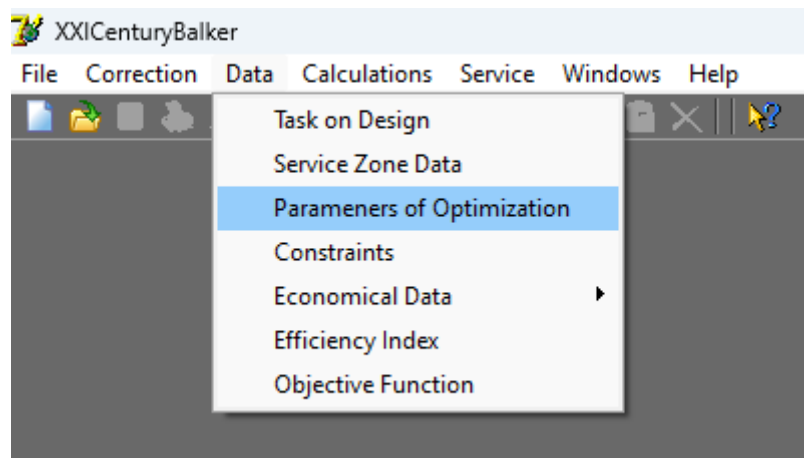
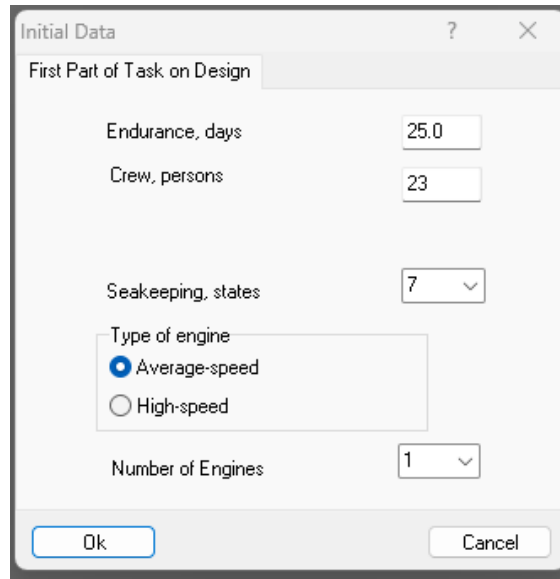


Рисунок 1.12 – Головне вікно програми



Initial Data

First Part of Task on Design

Endurance, days: 25.0

Crew, persons: 23

Seakeeping, states: 7

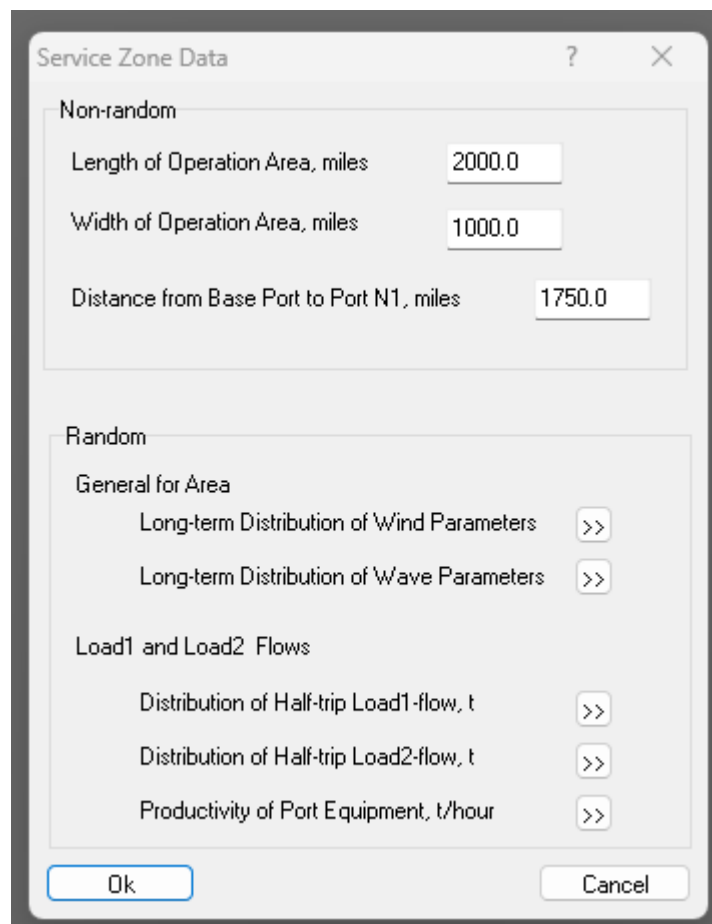
Type of engine:

- ☒ Average-speed
- ☐ High-speed

Number of Engines: 1

Ok Cancel

Рисунок 1.13 – 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 1.14 – 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 Integralness 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 1.15 – 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 1.16 – Вікно введення початкових значень незалежних змінних

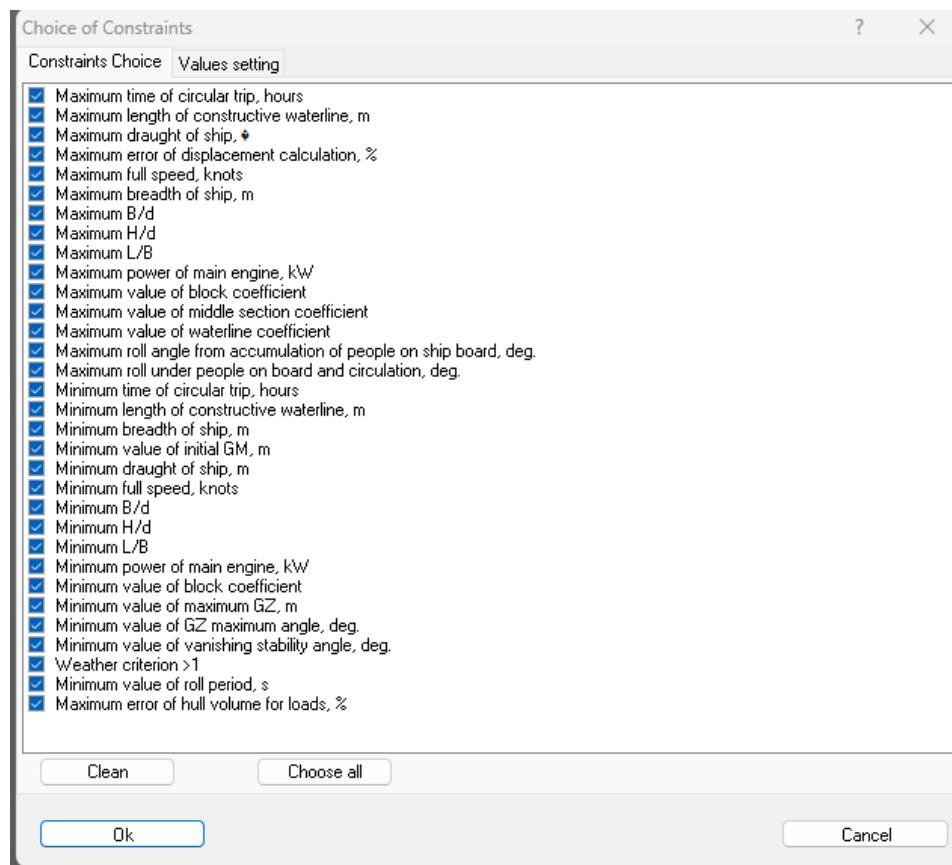


Рисунок 1.17 – Вікно вибору обмежень

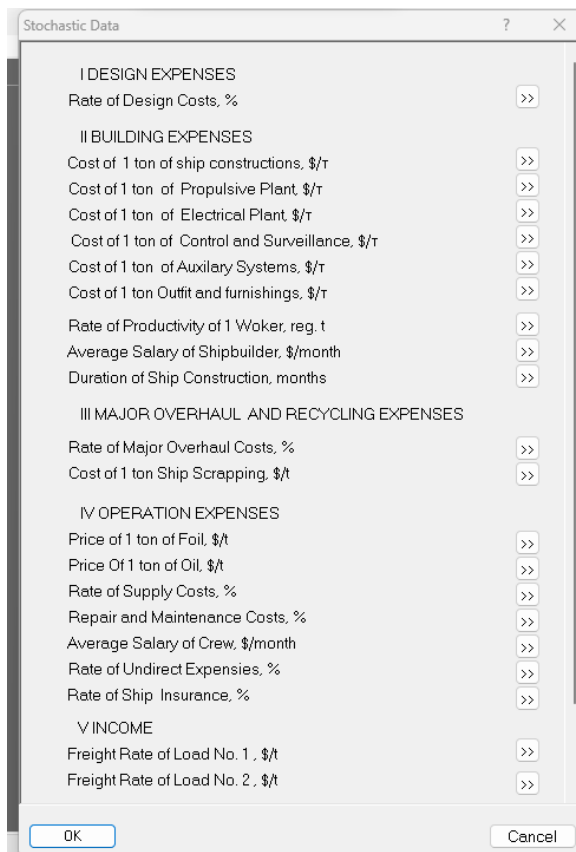


Рисунок 1.18 – Вікно стохастичних економічних даних

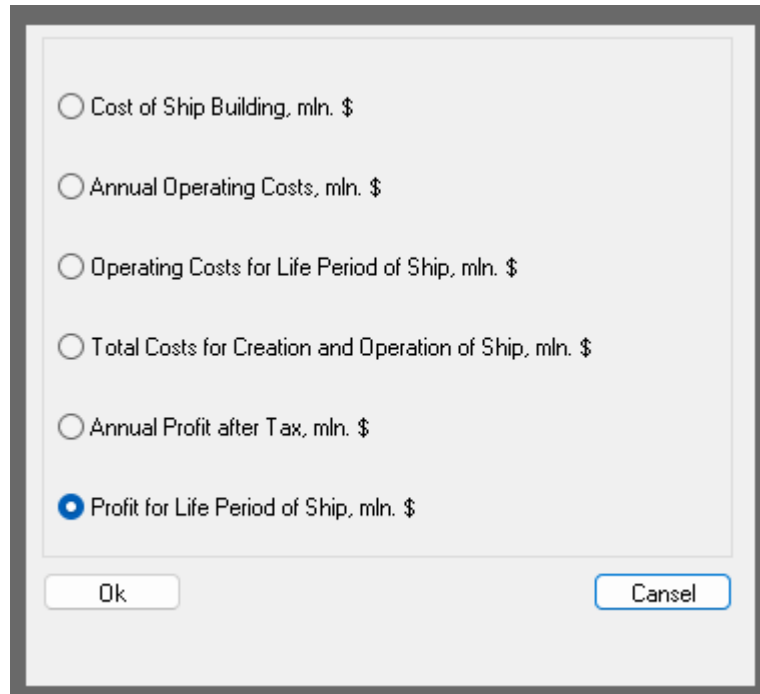


Рисунок 1.19 – Вікно показників економічної ефективності

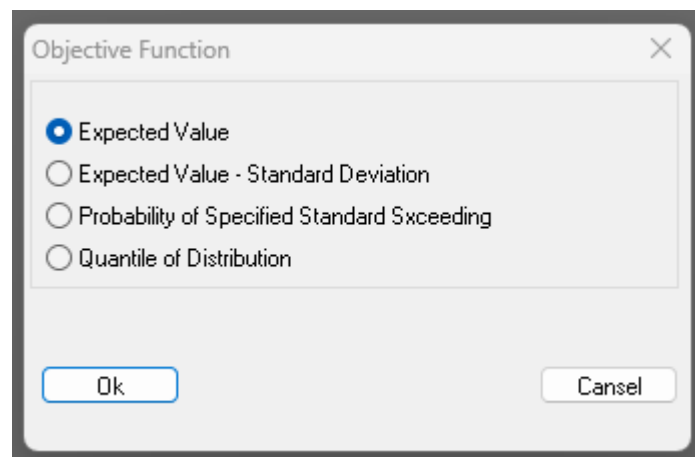


Рисунок 1.20 – Вікно цільових функцій

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 1.21 наведено вхідні дані проектного завдання та вибір цільової функції в оптимізаційній задачі.

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Calculation Date: 11/21/2024 Calculation Time: 2:09:58 PM

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	15
Crew, men	13
Seakeeping, states	7
Type of main engine	Average-speed
Engine number	1

Рисунок 1.21 – Дані проектного завдання

Main Dimensions:

Length, m.....	120.8
Breadth, m.....	20.1
Draught, m.....	6.8
Depth, m.....	9.2
Block coefficient γ_b	0.751
Middle section coefficient γ_m	0.979
Waterline area coefficient C_w	0.789
Volume Displacement V , m^3	12321.3

Model of Main Engine

Power of Main Engine N_e , kW	2093.9
Speed V_s , knots	11.7

Mass of constructions, t.....	2718.0
Mass of propulsion plant, t.....	331.4
Mass of electrical plant, t.....	40.5
Mass of control system, t.....	6.2
Mass of auxsiliary system, t.....	146.5
Mass of equipment and furniture, t.....	240.0
Mass of ballast, t.....	0.00
Light displacement, t.....	3482.6
Mass of crew and provisions, t	2.2
Mass of freshwater, t.....	39.0
Mass of ship fuel and oil, t.....	186.4
Mass of Load 1 in HalfTrip 1, t	9040.3
Mass of Load 2 in HalfTrip 2, t	9040.1
Deadweight, t.....	9267.9
Displacement full, t.....	12750.6

Рисунок 1.22 – Отримані оптимальні значення основних розмірів та масового навантаження балкера

На рисунку 1.22 наведено головні розміри та масове навантаження проектного балкера, які отримані в результаті розв’язку оптимізаційної задачі вибору його головних елементів.

Vertical ship gravity center, m.....	6.1
Vertical ship buoyancy center, m.....	3.5
Transversal metacentric radius, m.....	4.1
Initial metacentric height, m.....	1.5
Maximum righting lever arm, m.....	1.3
Angle of maximum lever arm, deg.....	45.0
Angle of vanishing stability, deg.....	78.4
Criteria of stability.....	11.7
Angle of heel from people accumulation on side of ship, deg.....	0.0
Heeling angle from people accumulation during circulation, deg.....	0.5
Period of free rolling, sec.....	14.501

INDEXES OF SHIP EFFICIENCY AND RELIABILITY:

(Corresponding to the Type of Objective Function)

Time of Circular Trip, hours	288
Freight rate of Load 1 in HalfTrip 1, \$/t	39.75
Value of Load 1 in HalfTrip 1, t	9040
Freight rate of Load 2 in HalfTrip 2, \$/t	39.50
Value of Load 2 in HalfTrip 2, t	9040
Time of HalfTrip 2, hours.....	144
Number of Circular Trip per year	30
Probability of Transport Operations Fulfillment	0.985
Daily cost of the ship, \$/day	7527.63
Minimum Time-Charter, \$/day	21176.22
Minimum Freighter daily expenses, \$/day	29088.12
Minimum needed Freight rate, \$/t	19.34
Reduced Costs, \$/t per year	19.65
Income from Trip, mln.\$	0.716410
Income per year, mln.\$	21.206661
Expenses per operation year, mln.\$	10.715289
Annual Profit (after taxes), mln.\$	7.409503
Cost of Ship Design and Building, mln.\$	18.353913
Total Costs for Creation and Operation of Ship, mln. \$	203.739078
Profit of Ship Life Period (24 years), mln.\$	160.045265

Рисунок 1.24 – Характеристики остійності та показники ефективності та надійності балкера

CONSTRAINTS(RESTRICTIONS):

Name	Value	Constraints
1 Maximum time of circular trip, hours	288.471	3000.000
2 Maximum length of constructive waterline, m	120.766	150.000
3 Maximum draught of ship,	6.760	7.500
4 Maximum error of displacement calculation, %	0.951	1.000
5 Maximum full speed, knots	11.706	15.000
6 Maximum breadth of ship, m	20.099	25.000
7 Maximum B/d	2.973	3.900
8 Maximum H/d	1.360	4.000
9 Maximum L/B	6.009	6.000
10 Maximum power of main engine, kW	2093.910	8000.000
11 Maximum value of block coefficient	0.751	0.900
12 Maximum value of middle section coefficient	0.979	0.980
13 Maximum value of waterline coefficient	0.789	0.970
14 Maximum roll angle from accumulation of people on ship board, deg.	0.007	10.000
15 Maximum roll under people on board and circulation, deg.	0.516	10.000
16 Minimum time of circular trip, hours	288.471	14.000
17 Minimum length of constructive waterline, m	120.766	90.000
18 Minimum breadth of ship, m	20.099	16.000
19 Minimum value of initial GM, m	1.488	0.150
20 Minimum draught of ship, m	6.760	5.000
21 Minimum full speed, knots	11.706	10.000
22 Minimum B/d	2.973	2.000
23 Minimum H/d	1.360	1.250
24 Minimum L/B	6.009	4.000
25 Minimum power of main engine, kW	2093.910	1000.000
26 Minimum value of block coefficient	0.751	0.740
27 Minimum value of maximum GZ, m	1.256	0.250
28 Minimum value of GZ maximum angle, deg.	45.000	30.000
29 Minimum value of vanishing stability angle, deg.	78.410	60.000
30 Weather criterion >1	11.711	1.000
31 Minimum value of roll period, s	14.501	5.000
32 Maximum error of hull volume for loads, %	0.159	25.000

Рисунок 1.25 – Значення оптимальних характеристик балкера та значення їх обмежень

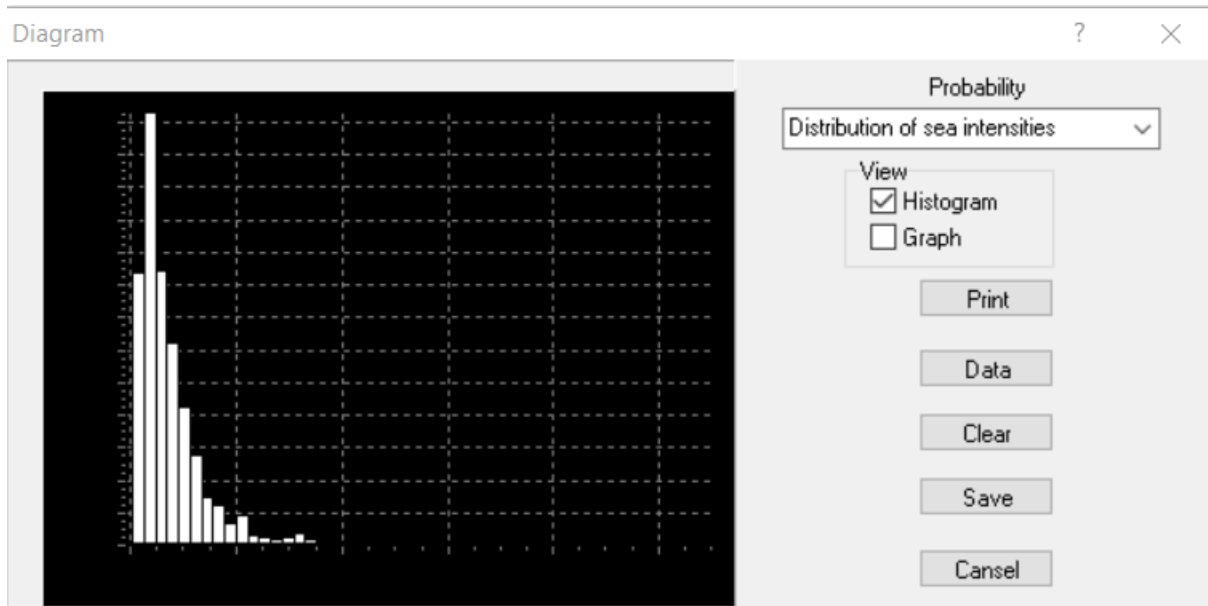


Рисунок 1.26 – Гістограма розподілу випадкових значень:
Довготривалий розподіл інтенсивності моря в зоні експлуатації балкера
(Розподіл $h_{3\%} = 1.32 H_{1/3}$, де $H_{1/3}$ - значна висота хвилі)

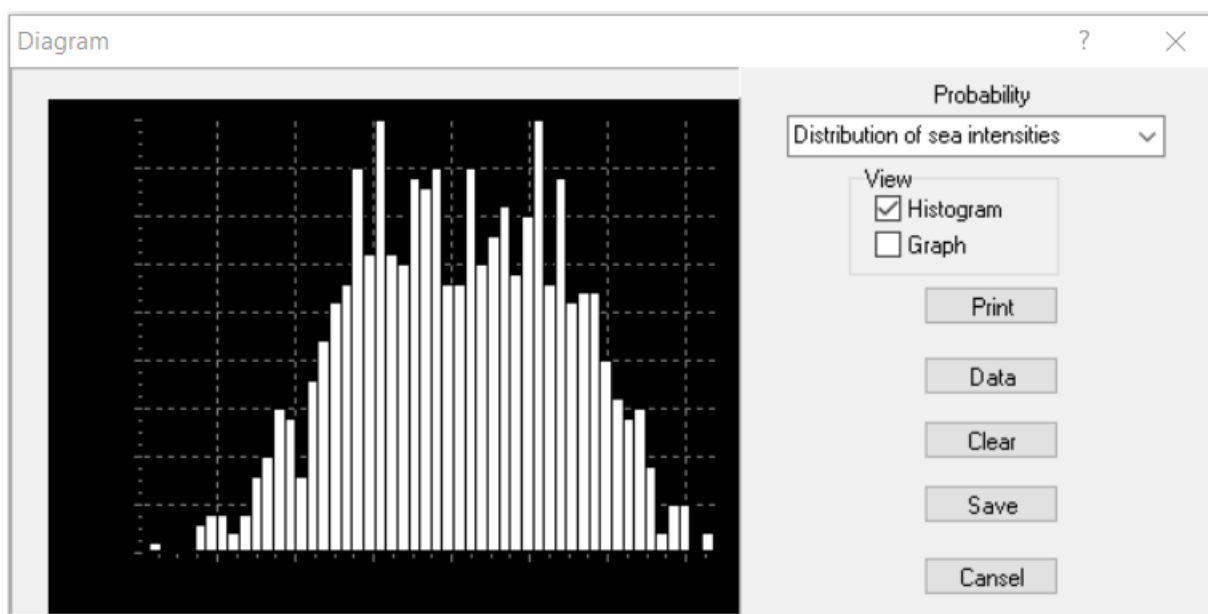


Рисунок 1.27 – Гістограма розподілу випадкових значень: отримані значення
Цільової функції задачі оптимізації

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 1.25.

Результати розв'язання оптимізаційної задачі наведено у таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Результати розв'язання оптимізаційної задачі вибору основних елементів балкера вантажопід'ємністю 9 тис. тон пшениці для експлуатації на маршруті Південний – Неаполь

Параметри балкера	Одиниці виміру	Рішення задачі оптимізації при OF1=max
1. Головні розміри та характеристики		
Довжина по ватерлінії	м	120,8
Ширина	м	20,1
Осадка	м	6,8
Висота борту	м	9,2
Коефіцієнт загальної повноти		0,751
Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута		0,979
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії		0,789
Об'ємна водотоннажність	м ³	12 321,30
Потужність головного двигуна	кВт	2 093,00
Швидкість	вузли	11,70
Водотоннажність порожнем	т	3 482,60
Маса вантажу 1 у прямому півреїсі	т	9 040,30
Маса вантажу 2 у зворотному півреїсі	т	9 040,30
Дедвейт	т	9 267,90
Водотоннажність повна	т	12 750,60
Маса конструкцій	т	2 718,00
Маса пропульсивної установки	т	331,40
Маса електричної установки	т	40,50

Маса системи управління	т	6,20
Маса допоміжних систем	т	146,50
Маса обладнання та фурнітури	т	240,00
Маса баласту	т	0,00
Маса екіпажу і провізії	т	2,20
Маса прісної води	т	39,00
Маса палива та мастила	т	186,40
Апліката центру ваги	м	6,10
Апліката центру плавучості	м	3,50
Поперечний метацентричний радіус	м	4,10
Початкова метацентрична висота	м	1,50
Максимальне плече остійності	м	1,30
Кут максимального плеча остійності	град	45,00
Кут закату діаграми остійності	град	78,00
Критерії погоди		11,70
Період вільної бортової хитавиці	сек	14,501
2. Показники ефективності та надійності судна		
Час кругового рейсу	годин	288,00
Фрахтова ставка на вантаж 1 у прямому півреїсі	\$/т	39,75
Вага вантажу 1 у прямому півреїсі	т	9 040
Фрахтова ставка на вантаж 2 у зворотному півреїсі	\$/т	39,50
Вага вантажу 2 у прямому півреїсі	т	9 040,00
Час півреїсу	годин	144,00
Число рейсів за рік		30,00
Ймовірність виконання транспортних операцій		0,985
Добовий фрахт	\$/добу	7 527,63
Мінімальний Тайм – Чартер	\$/добу	21 176,22
Мінімальні щоденні витрати фрахтівника	\$/добу	29 088,12
Мінімально необхідна фрахтова ставка	\$/т	19,34
Наведені витрати	\$/т на рік	19,65
Дохід від кругового рейсу	мільйон \$	0,716410
Річний дохід	мільйон \$	21,206661
Витрати за рік експлуатації	мільйон \$	10,715289
Річний прибуток (після сплати податків)	мільйон \$	7,409503
Витрати на проектування і будівництво судна	мільйон \$	18,353913
Загальна вартість будівництва і експлуатації судна	мільйон \$	203,739078
Прибуток за термін служби судна (24 роки)	мільярд \$	160,045265

					24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	№	Дата				
						Літ.		Арк.	Аркушів
Студент		Кльосов К.О..						67	
Консульт.		Некрасов В.О.				НУК			
Керівник		Некрасов В.О.							
Зав. кафедр.		Некрасов В.О.							
Розділ 2 Визначення морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного									

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 рішенням 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	13 140	12 750	12 751
Довжина по ватерлінії, м	L_{DWL}	119,7	120,8	120,8
Ширина, м	B	21,1	20,1	20,1
Осадка, м	d	6,4	6,8	6,8
Висота борту, м	D	-	9,2	9,1
Коефіцієнт загальної повноти	C_B (або δ)	0,786	0,751	0,75
Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута	C_M (або β)	-	0,979	0,979
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії	C_W (або α)	-	0,789	0,856

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

У програмному продукті Maxsurf Modeler було здійснено розрахунок (Data/Calculate Hydrostatics) гідростатичних параметрів отриманого корпусу

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

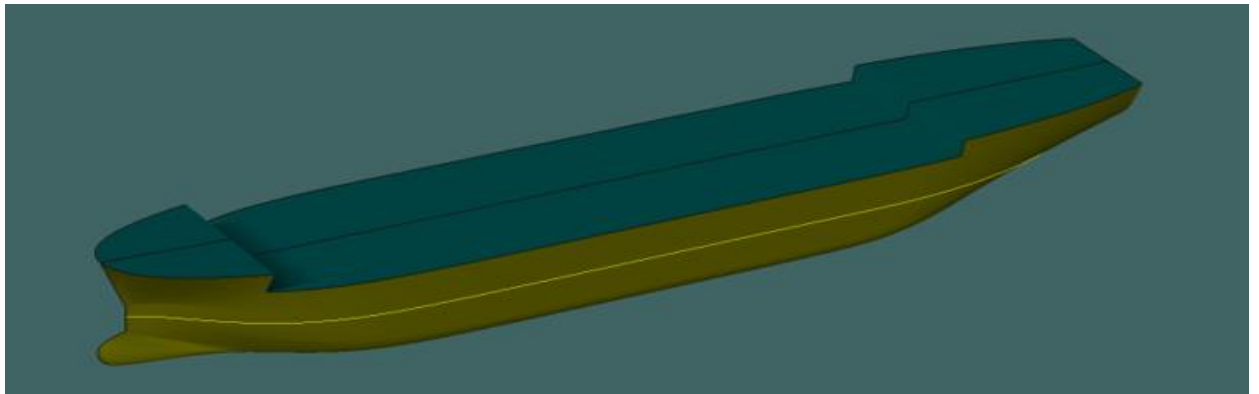
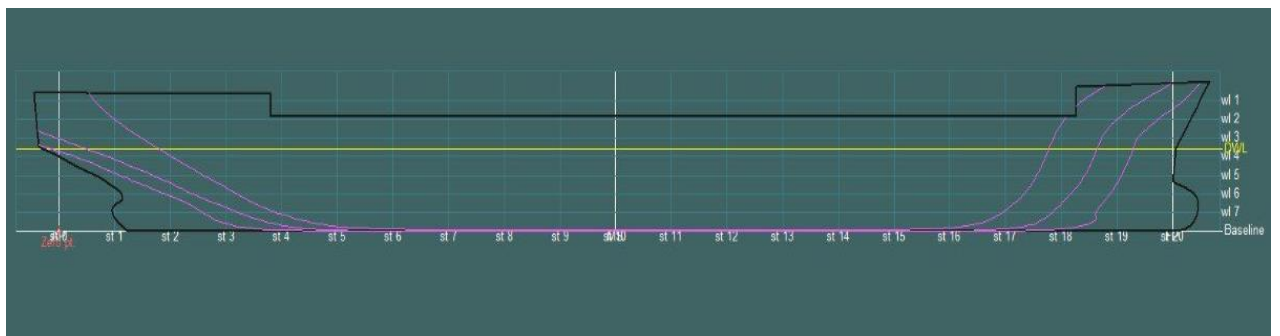
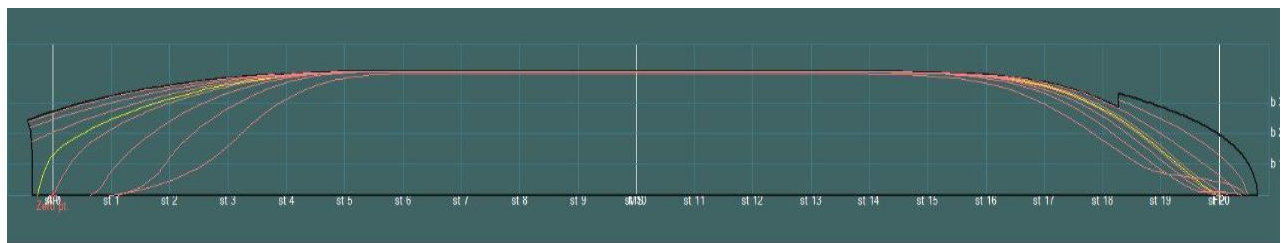


Рисунок 2.1 – Створена 3D модель теоретичної поверхні корпусу балкера



а)



б)

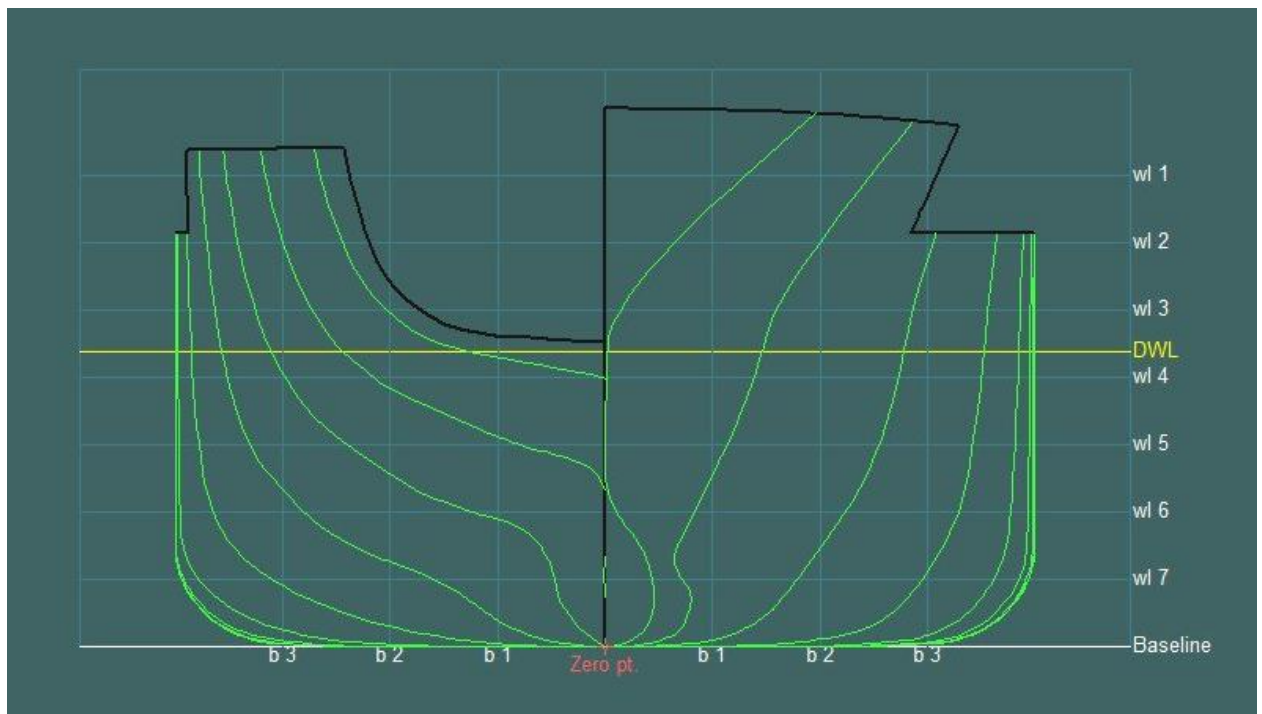


Рисунок 2.2 – Проекції теоретичної поверхні корпусу балкера: а) бік; б) напівширота; в) корпус

Hydrostatics at DWL			
	Measurement	Value	Units
1	Displacement	12711	t
2	Volume (displaced)	12401,175	m ³
3	Draft Amidships	6,800	m
4	Immersed depth	6,800	m
5	WL Length	120,800	m
6	Beam max extents on WL	20,100	m
7	Wetted Area	3298,337	m ²
8	Max sect. area	133,810	m ²
9	Waterpl. Area	2078,055	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,767	
11	Block coeff. (Cb)	0,751	
12	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,979	
13	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,856	
14	LCB length	-57,894	from fwd perp. (+ve fwd) m
15	LCF length	-61,186	from fwd perp. (+ve fwd) m
16	LCB %	-47,925	from fwd perp. (+ve fwd) % Lwl
17	LCF %	-50,651	from fwd perp. (+ve fwd) % Lwl
18	KB	3,597	m
19	KG fluid	6,100	m
20	BMt	4,944	m
21	BML	157,787	m
22	GMt corrected	2,440	m
23	GML	155,283	m
24	KMt	8,540	m
25	KML	161,383	m
26	Immersion (TPc)	21,300	tonne/cm
27	MTc	166,148	tonne.m
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	541,379	tonne.m
29	Length-Beam ratio	6,010	
Density (water) 1,025 tonne/m ³			
Std. densities 1,025 tonne/m ³ - Std. Metric sea water (1025.0 kg/m ³)			
VCG 6,1 m			
Recalculate Select Rows ... Активация Win Close Перейти до розділу			

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

Після отримання теоретичної поверхні корпусу балкера в цьому ж програмному модулі були також побудовані (див. рисунки 2.4-2.7):

- надбудова (разом з ходовим містком, щоглою та димоходом);
- водонепроникні перебірки;
- стінки трюмів для перевезення вантажу;
- 3D модель усього балкера.

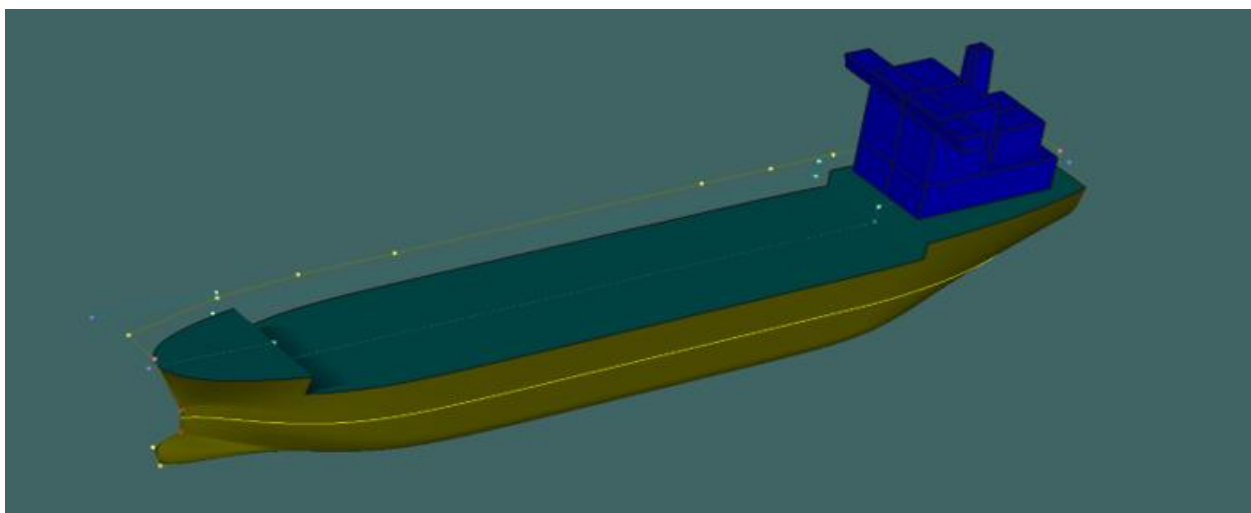


Рисунок 2.4 – Надбудова балкера

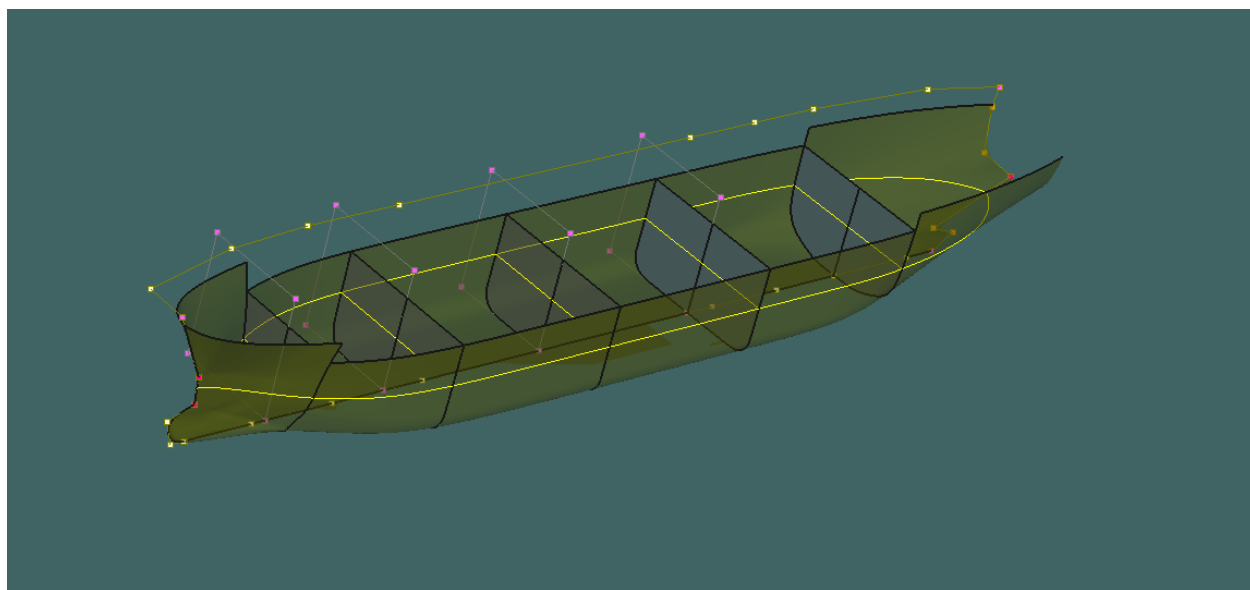


Рисунок 2.5 – Водонепроникні перебірки балкера

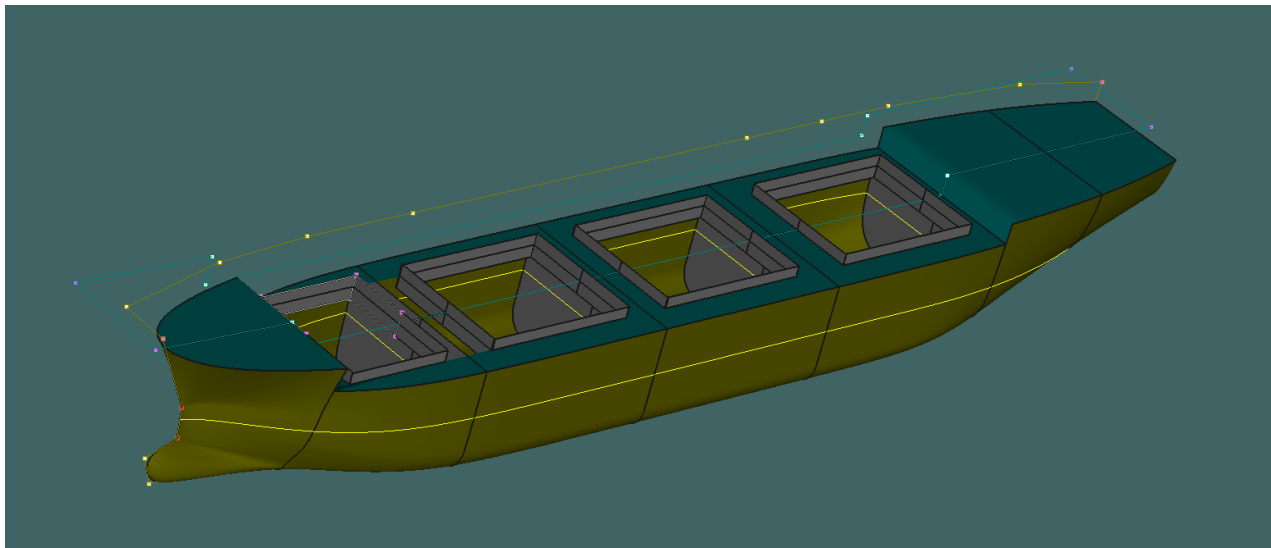


Рисунок 2.6 – Стінки трюмів для перевезення вантажу

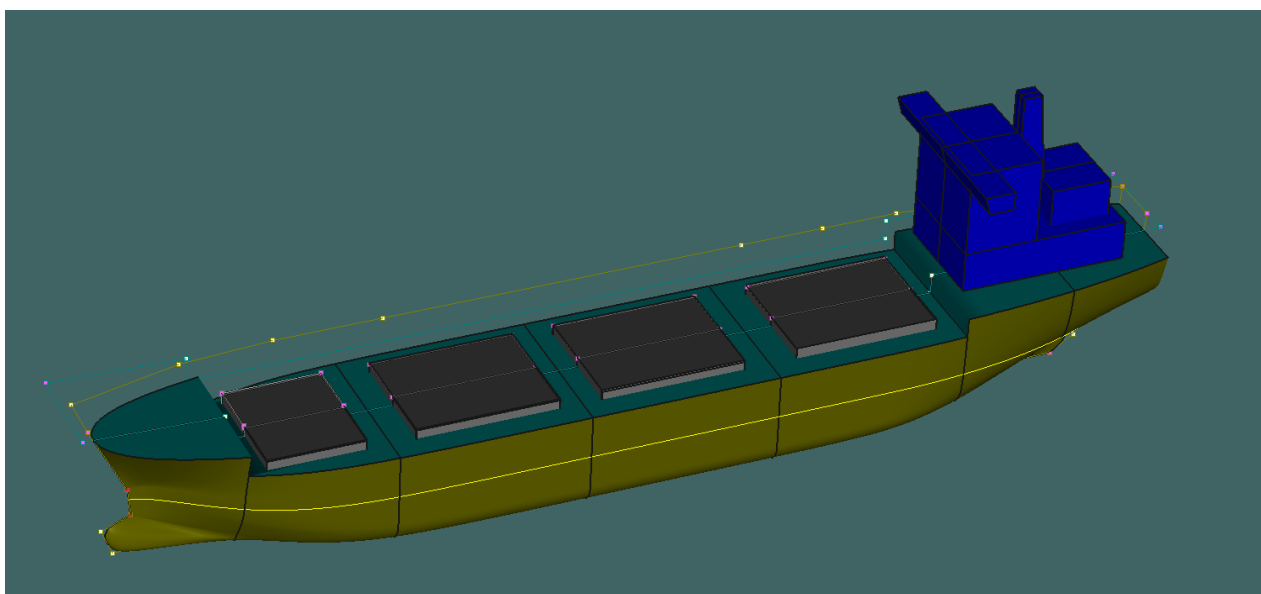


Рисунок 2.7 – 3D модель усього балкера

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

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

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		72

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 2.8. Результати виконаного розрахунку представлені на рисунках 2.9-2.13.

Рисунок 2.8 – Вікно введення діапазону значень осадки судна

	Draft Amidships m	0,500	1,211	1,922	2,633	3,344	4,056	4,767	5,478	6,189	6,900
1	Displacement t	689,0	1867	3130	4440	5780	7150	8549	9978	11435	12921
2	Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Draft at FP m	0,500	1,211	1,922	2,633	3,344	4,056	4,767	5,478	6,189	6,900
4	Draft at AP m	0,500	1,211	1,922	2,633	3,344	4,056	4,767	5,478	6,189	6,900
5	Draft at LCF m	0,500	1,211	1,922	2,633	3,344	4,056	4,767	5,478	6,189	6,900
6	Trim (+ve by stern)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	WL Length m	116,24	117,64	118,28	117,66	116,87	116,52	116,16	117,68	119,34	121,03
8	Beam max extents	18,152	19,382	19,951	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100
9	Wetted Area m²	1543,1	1784,9	1982,6	2171,9	2358,0	2544,5	2726,1	2909,5	3095,6	3284,8
10	Waterpl. Area m²	1522,1	1686,2	1770,5	1819,5	1858,1	1898,7	1939,7	1979,6	2018,5	2057,6
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,690	0,711	0,721	0,735	0,750	0,761	0,773	0,771	0,769	0,767
12	Block coeff. (Cb)	0,637	0,660	0,673	0,695	0,718	0,734	0,749	0,751	0,751	0,751
13	Max Sect. area coe	0,923	0,928	0,933	0,946	0,957	0,965	0,970	0,974	0,977	0,979
14	Waterpl. area coeff.	0,721	0,740	0,750	0,769	0,791	0,811	0,831	0,837	0,841	0,846
15	LCB from zero pt. (	63,108	62,668	62,288	61,935	61,597	61,269	60,947	60,628	60,305	59,974
16	LCF from zero pt. (	62,805	62,055	61,400	60,777	60,170	59,584	59,013	58,408	57,769	57,081
17	KB m	0,266	0,642	1,016	1,389	1,760	2,132	2,505	2,880	3,256	3,635
18	KG m	6,800	6,800	6,800	6,800	6,800	6,800	6,800	6,800	6,800	6,800
19	BMt m	52,157	24,617	16,561	12,349	9,760	8,077	6,896	6,022	5,350	4,818
20	BML m	1476,1	641,12	412,15	306,00	248,03	213,28	190,18	173,34	160,48	150,62
21	GMt m	45,623	18,459	10,777	6,938	4,720	3,409	2,601	2,102	1,807	1,652
22	GML m	1469,5	634,96	406,37	300,59	242,99	208,61	185,88	169,42	156,94	147,45
23	KMt m	52,423	25,259	17,577	13,738	11,520	10,209	9,401	8,902	8,607	8,452
24	KML m	1476,3	641,76	413,17	307,39	249,79	215,41	192,68	176,22	163,74	154,25
25	Immersion (TPc) to	15,602	17,284	18,148	18,650	19,046	19,462	19,882	20,292	20,691	21,090
26	MTc tonne.m	85,235	99,779	107,05	112,33	118,22	125,54	133,76	142,28	151,06	160,37
27	RM at 1deg = GMt.	548,62	601,40	588,62	537,58	476,18	425,31	388,01	366,01	360,52	372,55
28	Max deck inclinatio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
29	Trim angle (+ve by	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Рисунок 2.9 – Результати розрахунку в табличному виді

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

24.ДРМ.135.6112М.05.П

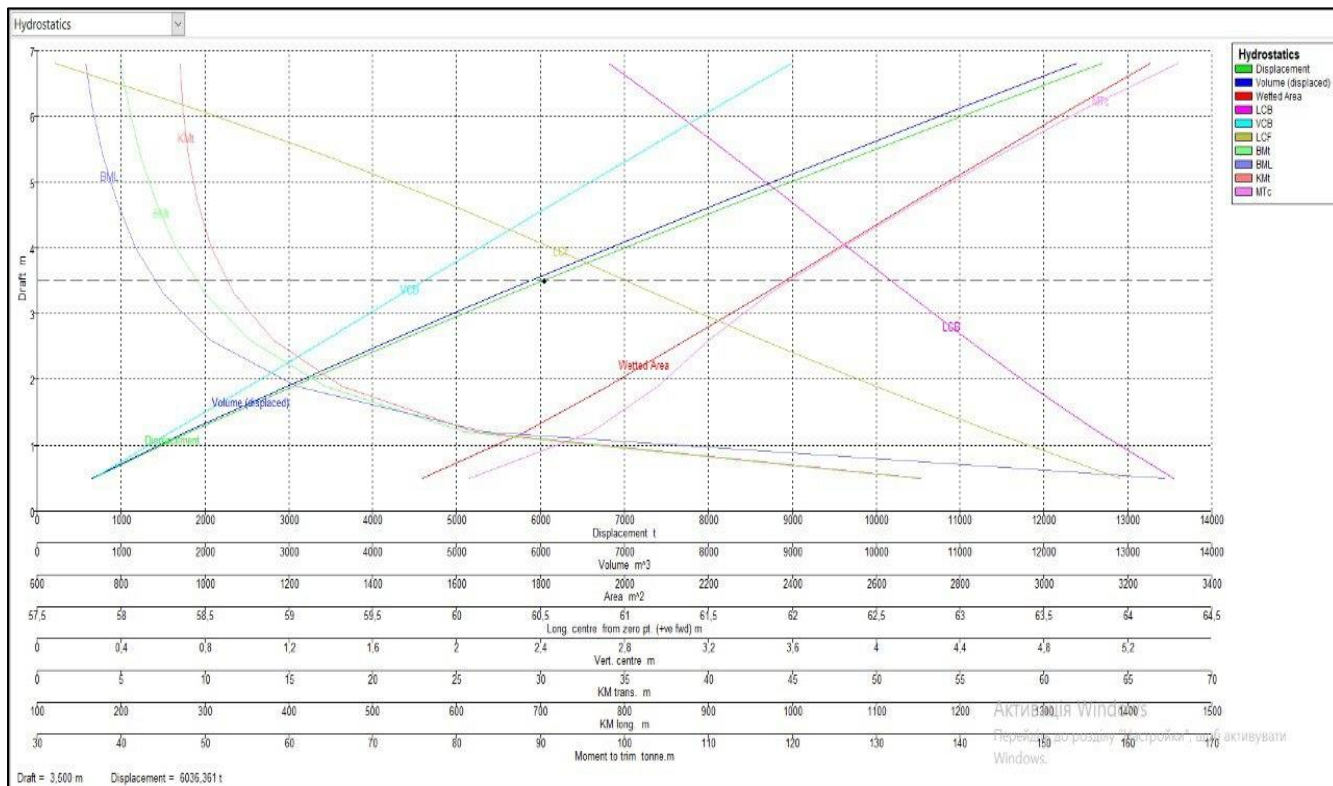


Рисунок 2.10 – Гідростатичні криві

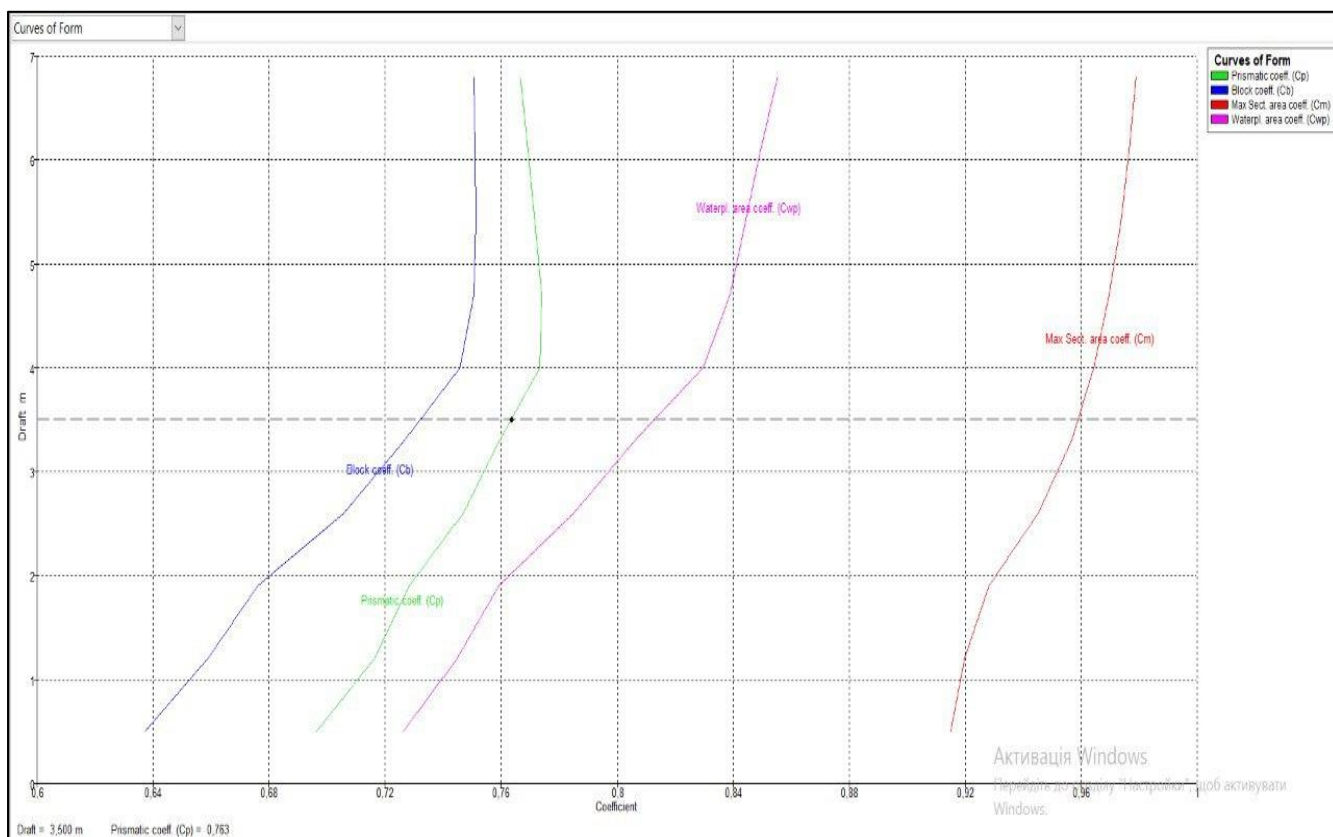


Рисунок 2.11 – Криві форми

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

24.ДРМ.135.6112М.05.П

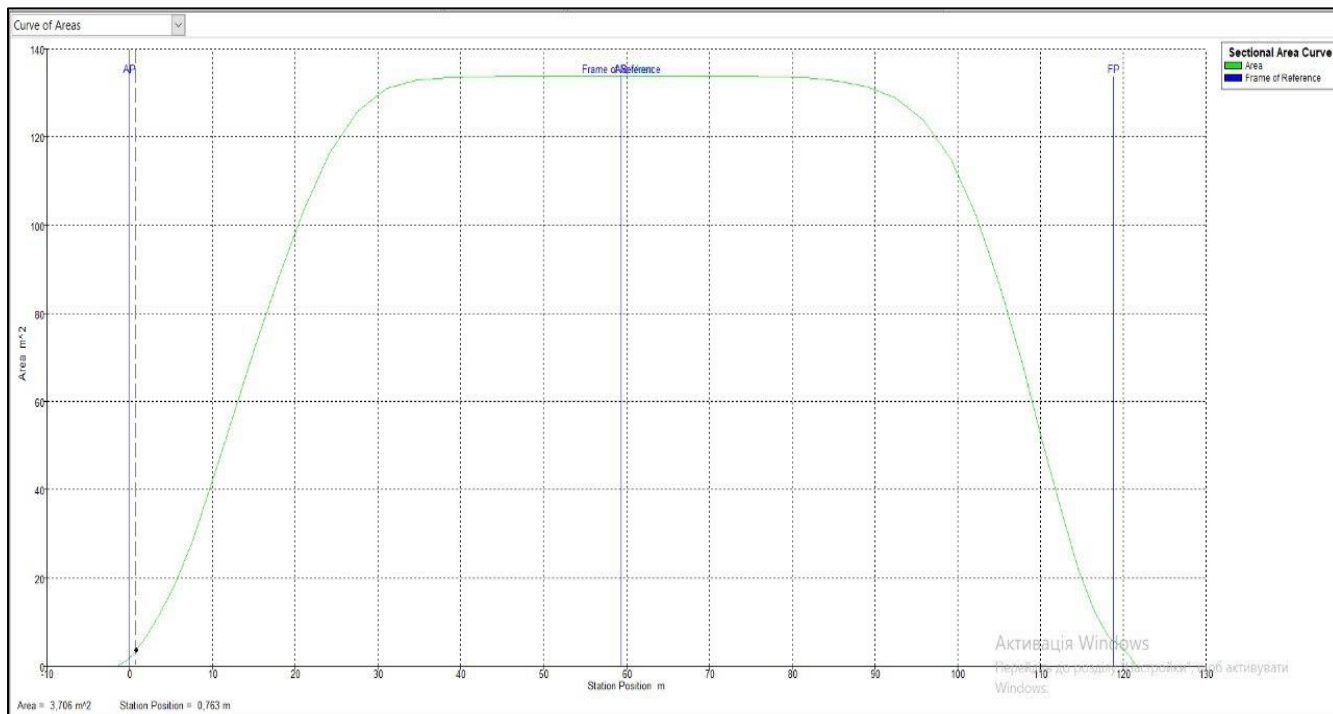


Рисунок 2.12 – Криві площі

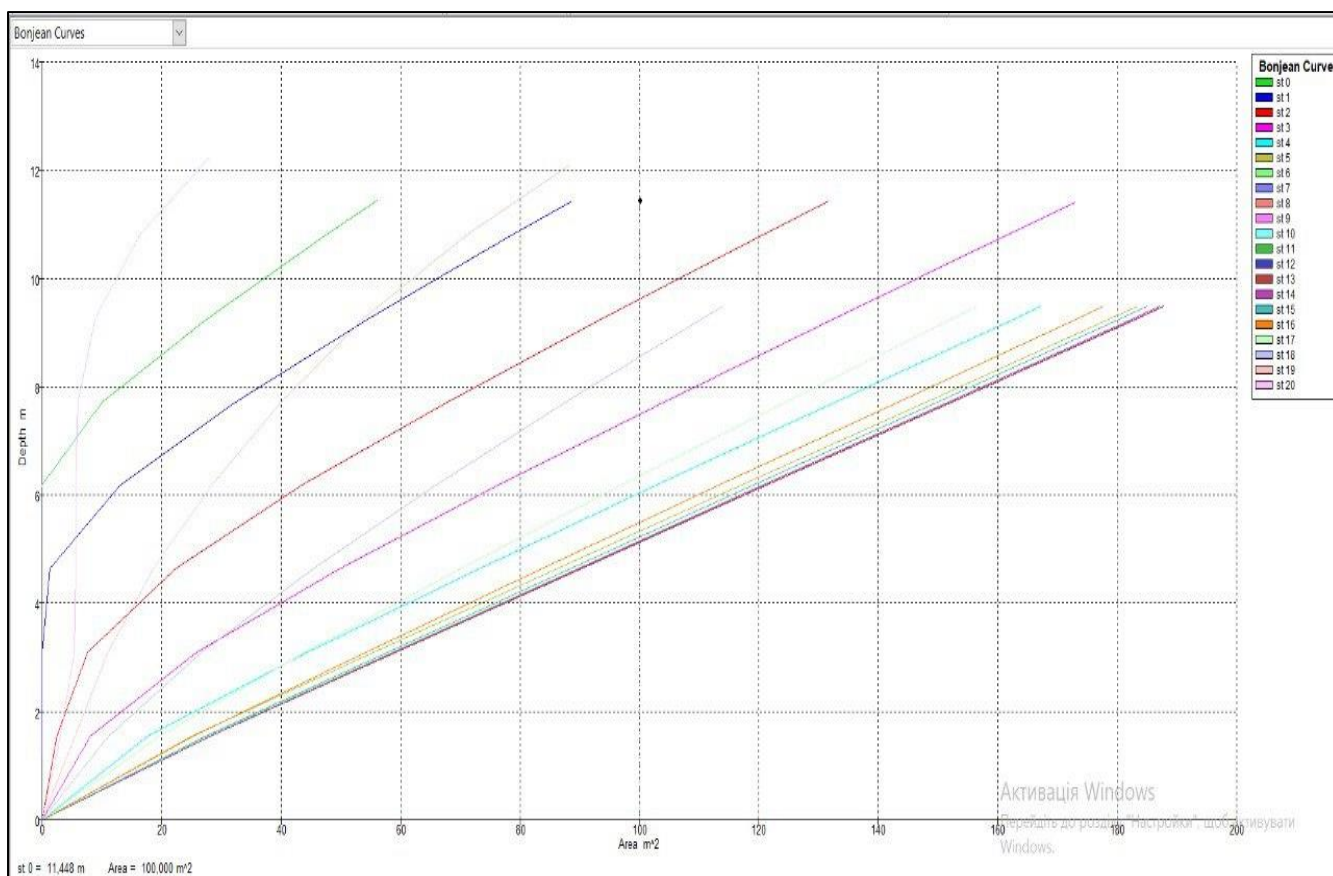


Рисунок 2.13 – Криві Бонжана

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 $L=120,8$ 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: $D-d = 9,2 - 6,8 = 2,4$ м.

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

Розраховуємо значення максимально допустимої осадки проектного балкера: $d_{\max} = D - (D-d)_{\min} = 9,2 - 1,78 = 7,42$ 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 2.15-2.16):

- 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;

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	76
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- приміщення рульового механізму;
- приміщення підрулюючого пристрою;
- інші приміщення та кофердами.

Після створення усіх цистерн та приміщень, був проведений розрахунок їх місткості (Tank Calibration). Частину результатів розрахунку наведено на рисунку 2.16, 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

Найменування приміщення	Практичний об'єм	Питома навантажувальна кубатура	Щільність рідкого вантажу	Максимальна вага вантажу, що розміщується
				P_B
				т
Трюми для перевезення вантажу	10 728,926	1,1765	-	9 119,587
		(або 0,85 т/м ³)		
Цистерни баластної системи	2 227,524	-	1,025	1 871,120
Цистерни антикренової системи	3 023,433	-	1,025	2 738,717
Цистерни палива	795,909	-	0,84	668,564
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 9 тисяч тон.

За результатами розрахунку при 100% завантаженні пшеницею отримали загальну місткість трюмів, яка дорівнює 9 119,58 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 Неаполь необхідно мати наступні запаси: прісної води – 39 т; палива та мастила – 186,4 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	Afterpeak	Tank	100	100	1.025	Water Balla	none	-2,61	7	-9,8	9,8	11	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
2	Engine room	Compartment	85	85			none	7	22	-9,8	9,8	11	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
3	Hold 1	Tank	98	100	0.85		none	22	42,237	-9	9	9,3	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
4	Hold 2	Tank	98	100	0.85		none	42,237	65,837	-9	9	9,3	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
5	Hold 3	Tank	98	100	0.85		none	65,837	89,437	-9	9	9,3	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
6	Hold 4	Tank	98	100	0.85		none	89,437	108,037	-6,5	6,5	9,3	2	-9	9	DITTO	DITTO	Yes
7	DB Hold 1	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	18,637	42,237	-11	11	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
8	DB Hold 2	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	42,237	65,837	-11	11	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
9	DB Hold 3	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	65,837	89,437	-11	11	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
10	DB Hold 4	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	89,437	108,037	-11	11	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
11	DB Engine Room	Tank	100	100	0.84	Diesel	none	4,637	18,637	-11	11	2	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
12	DS Hold 1 P	Tank	98	100	1.025	Water Balla	none	22	42,237	-11	-9	9,2	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
13	DS Hold 1 S	Tank	98	100	1.025	Water Balla	none	22	42,237	9	11	9,2	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
14	DS Hold 2 P	Tank	98	100	1.025	Water Balla	none	42,237	65,837	-11	-9	9,2	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
15	DS Hold 2 S	Tank	98	100	1.025	Water Balla	none	42,237	65,837	9	11	9,2	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
16	DS Hold 3 P	Tank	98	100	1.025	Water Balla	none	65,837	89,437	-11	-9	9,2	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
17	DS Hold 3 S	Tank	98	100	1.025	Water Balla	none	65,837	89,437	9	11	9,2	2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
18	DS Hold 4 P	Tank	98	100	1.025	Water Balla	none	89,437	108,037	-11	-6,5	9,2	2	DITTO	-9	DITTO	DITTO	Yes
19	DS Hold 4 S	Tank	98	100	1.025	Water Balla	none	89,437	108,037	6,5	11	9,2	2	9	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
20	Forepeak	Tank	98	100	1.025	Water Balla	none	108,037	120,468	-9,8	9,8	12,5	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes

Рисунок 2.14 – Побудова цистерн та приміщень на вкладці Room Definition

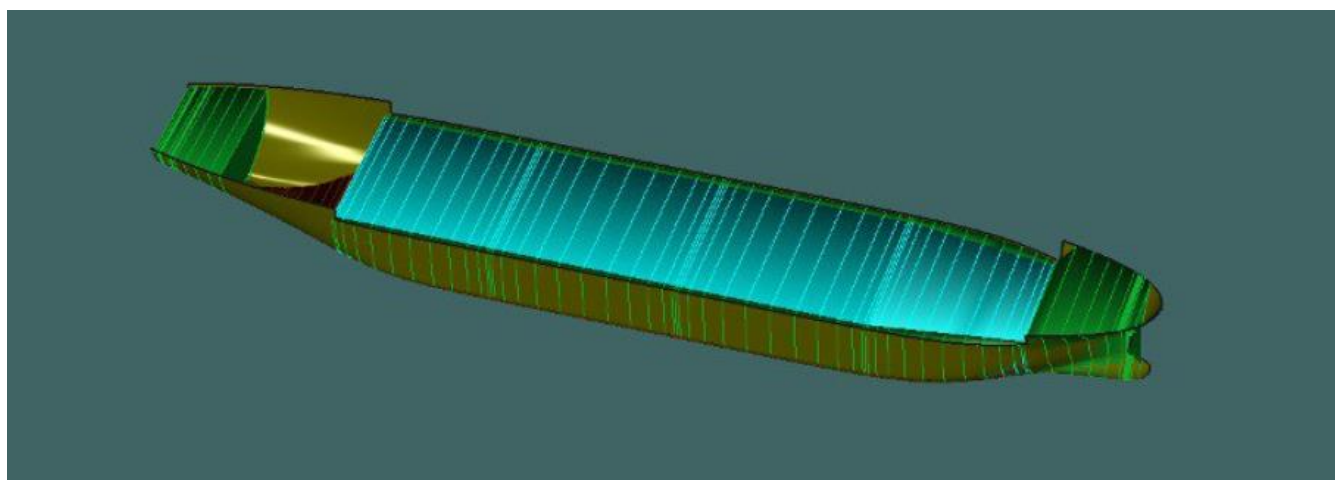


Рисунок 2.15 – Побудова трюмів для перевезення

Trim: 0 m; Heel: 0 deg to starboard										
	Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
27	Hold 1	7,300	0,000	100,000	2603,862	2213,282	32,126	0,000	5,653	0,000
28		7,154	0,146	98,000	2551,784	2169,017	32,126	0,000	5,580	8359,905
29		7,147	0,153	97,900	2549,181	2166,804	32,126	0,000	5,576	8359,905
30		7,000	0,300	95,887	2496,767	2122,252	32,126	0,000	5,503	8359,905
31		6,500	0,800	89,032	2318,277	1970,536	32,127	0,000	5,253	8359,905
32		6,000	1,300	82,177	2139,787	1818,819	32,127	0,000	5,003	8359,905
33		5,500	1,800	75,323	1961,296	1667,102	32,128	0,000	4,753	8359,905
34		5,000	2,300	68,468	1782,806	1515,385	32,129	0,000	4,502	8359,905
35		4,500	2,800	61,613	1604,316	1363,668	32,130	0,000	4,252	8359,905
36		4,000	3,300	54,758	1425,825	1211,952	32,132	0,000	4,002	8359,905
37		3,500	3,800	47,903	1247,335	1060,235	32,134	0,000	3,752	8359,905
38		3,000	4,300	41,048	1068,845	908,518	32,137	0,000	3,502	8359,905
39		2,500	4,800	34,194	890,354	756,801	32,140	0,000	3,252	8359,905
40		2,000	5,300	27,339	711,864	605,084	32,146	0,000	3,002	8359,905
41		1,500	5,800	20,484	533,378	453,371	32,155	0,000	2,751	8356,413
42		1,000	6,300	13,634	355,016	301,764	32,169	0,000	2,501	8326,952
43		0,500	6,800	6,800	177,061	150,502	32,192	0,000	2,250	8241,480
44		0,074	7,226	1,000	26,039	22,133	32,223	0,000	2,037	8112,100
45		0,000	7,300	0,000	0,000	0,000	32,231	0,000	2,000	0,000
46	Hold 2	7,300	0,000	100,000	3039,019	2583,166	54,037	0,000	5,650	0,000
47		7,154	0,146	98,000	2978,239	2531,503	54,037	0,000	5,577	9749,160
48		7,147	0,153	97,900	2975,200	2528,920	54,037	0,000	5,573	9749,160
49		7,000	0,300	95,890	2914,128	2477,009	54,037	0,000	5,500	9749,160
50		6,500	0,800	89,041	2705,976	2300,080	54,037	0,000	5,250	9749,160
51		6,000	1,300	82,192	2497,824	2123,150	54,037	0,000	5,000	9749,160
52		5,500	1,800	75,342	2289,672	1946,221	54,037	0,000	4,750	9749,160
53		5,000	2,300	68,493	2081,520	1769,292	54,037	0,000	4,500	9749,160
54		4,500	2,800	61,644	1873,368	1592,363	54,037	0,000	4,250	9749,160
55		4,000	3,300	54,795	1665,216	1415,434	54,037	0,000	4,000	9749,160
56		3,500	3,800	47,945	1457,064	1238,504	54,037	0,000	3,750	9749,160
57		3,000	4,300	41,096	1248,912	1061,575	54,037	0,000	3,500	9749,160
58		2,500	4,800	34,247	1040,760	884,646	54,037	0,000	3,250	9749,160
59		2,000	5,300	27,397	832,608	707,717	54,037	0,000	3,000	9749,160
60		1,500	5,800	20,548	624,456	530,788	54,037	0,000	2,750	9749,160
61		1,000	6,300	13,699	416,304	353,858	54,037	0,000	2,500	9749,160
62		0,500	6,800	6,849	208,152	176,929	54,037	0,000	2,250	9749,160
63		0,073	7,227	1,000	30,390	25,832	54,037	0,000	2,036	9749,160
64		0,000	7,300	0,000	0,000	0,000	54,037	0,000	2,000	0,000
65	Hold 3	7,300	0,000	100,000	3039,019	2583,166	77,637	0,000	5,650	0,000
66		7,154	0,146	98,000	2978,239	2531,503	77,637	0,000	5,577	9749,160
67		7,147	0,153	97,900	2975,200	2528,920	77,637	0,000	5,573	9749,160
68		7,000	0,300	95,890	2914,128	2477,009	77,637	0,000	5,500	9749,160
69		6,500	0,800	89,041	2705,976	2300,080	77,637	0,000	5,250	9749,160
70		6,000	1,300	82,192	2497,824	2123,151	77,637	0,000	5,000	9749,160
71		5,500	1,800	75,342	2289,672	1946,221	77,637	0,000	4,750	9749,160
72		5,000	2,300	68,493	2081,520	1769,292	77,637	0,000	4,500	9749,160
73		4,500	2,800	61,644	1873,368	1592,363	77,637	0,000	4,250	9749,160
74		4,000	3,300	54,795	1665,216	1415,434	77,637	0,000	4,000	9749,160
75		3,500	3,800	47,945	1457,064	1238,504	77,637	0,000	3,750	9749,160
76		3,000	4,300	41,096	1248,912	1061,575	77,637	0,000	3,500	9749,160
77		2,500	4,800	34,247	1040,760	884,646	77,637	0,000	3,250	9749,160
78		2,000	5,300	27,397	832,608	707,717	77,637	0,000	3,000	9749,160
79		1,500	5,800	20,548	624,456	530,788	77,637	0,000	2,750	9749,160
80		1,000	6,300	13,699	416,304	353,858	77,637	0,000	2,500	9749,160
81		0,500	6,800	6,849	208,152	176,929	77,637	0,000	2,250	9749,160
82		0,073	7,227	1,000	30,390	25,832	77,637	0,000	2,036	9749,160
83		0,000	7,300	0,000	0,000	0,000	77,637	0,000	2,000	0,000
84	Hold 4	7,300	0,000	100,000	2047,026	1739,972	98,174	0,000	5,670	0,000
85		7,155	0,145	98,000	2006,085	1705,173	98,173	0,000	5,597	5036,729
86		7,148	0,152	97,900	2004,038	1703,433	98,173	0,000	5,594	5036,729
87		7,000	0,300	95,859	1962,266	1667,926	98,171	0,000	5,520	5036,729
88		6,500	0,800	88,958	1820,999	1547,849	98,166	0,000	5,269	5036,729
89		6,000	1,300	82,057	1679,732	1427,772	98,160	0,000	5,018	5036,729
90		5,500	1,800	75,156	1538,465	1307,695	98,153	0,000	4,768	5036,729
91		5,000	2,300	68,255	1397,198	1187,618	98,145	0,000	4,517	5036,729
92		4,500	2,800	61,354	1255,935	1067,545	98,134	0,000	4,265	5035,762
93		4,000	3,300	54,455	1114,717	947,510	98,122	0,000	4,014	5029,665
94		3,500	3,800	47,562	973,603	827,562	98,106	0,000	3,762	5021,895
95		3,000	4,300	40,675	832,630	707,736	98,088	0,000	3,511	5006,418
96		2,500	4,800	33,803	691,962	588,168	98,065	0,000	3,259	4982,344
97		2,000	5,300	26,950	551,677	468,926	98,037	0,000	3,006	4955,239
98		1,500	5,800	20,124	411,953	350,160	98,003	0,000	2,754	4902,521
99		1,000	6,300	13,348	273,229	232,245	97,963	0,000	2,502	4831,369
100		0,500	6,800	6,631	135,733	115,373	97,915	0,000	2,251	4744,217
101		0,076	7,224	1,000	20,470	17,400	97,869	0,000	2,038	4641,913

Рисунок 2.16 – Розрахунок місткості трюмів

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ

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 2.17. Результати удиферентування представлені на рисунку 2.18

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	3482,600	3482,600			55,200	0,000	7,700	0,000	User Specified
2	Total Lightship			3482,600			55,200	0,000	7,700	0,000	
3	Hold 1	100%	2213,282	2213,282	2603,862	2603,862	32,126	0,000	5,653	0,000	Maximum
4	Hold 2	100%	2583,166	2583,166	3039,019	3039,019	54,037	0,000	5,650	0,000	Maximum
5	Hold 3	100%	2583,166	2583,166	3039,019	3039,019	77,637	0,000	5,650	0,000	Maximum
6	Hold 4	95,2%	1739,972	1656,453	2047,026	1948,769	98,165	0,000	5,496	5036,733	Maximum
7	Total cargo	99,08%	9119,587	9036,069	10728,926	10630,669	63,506	0,000	5,622	5036,733	
8	DB Engine Room	98%	53,254	52,189	63,398	62,130	15,170	0,000	1,200	0,000	Maximum
9	DB Hold 1	21,8%	615,363	134,149	732,576	159,701	32,572	0,000	0,303	10648,090	Maximum
10	DB Hold 2	0%	739,662	0,000	880,550	0,000	42,371	0,000	0,000	0,000	Maximum
11	DB Hold 3	0%	736,107	0,000	876,318	0,000	65,971	0,000	0,000	0,000	Maximum
12	DB Hold 4	0%	395,351	0,000	470,656	0,000	89,526	0,000	0,000	0,000	Maximum
13	Total Fuel	7,34%	2539,738	186,338	3023,497	221,832	27,698	0,000	0,555	10648,090	
14	Afterpeak	0%	597,377	0,000	582,806	0,000	6,485	0,000	0,228	0,000	Maximum
15	DS Hold 1 P	0%	133,158	0,000	129,911	0,000	27,174	-9,185	2,000	0,000	Maximum
16	DS Hold 1 S	0%	133,158	0,000	129,911	0,000	27,174	9,185	2,000	0,000	Maximum
17	DS Hold 2 P	0%	179,179	0,000	174,809	0,000	42,371	-9,514	2,000	0,000	Maximum
18	DS Hold 2 S	0%	179,179	0,000	174,809	0,000	42,371	9,514	2,000	0,000	Maximum
19	DS Hold 3 P	0%	175,214	0,000	170,941	0,000	65,971	-9,516	2,000	0,000	Maximum
20	DS Hold 3 S	0%	175,214	0,000	170,941	0,000	65,971	9,516	2,000	0,000	Maximum
21	DS Hold 4 P	0%	138,785	0,000	135,400	0,000	89,543	-9,407	2,000	0,000	Maximum
22	DS Hold 4 S	0%	138,785	0,000	135,400	0,000	89,543	9,407	2,000	0,000	Maximum
23	Forepeak	0%	888,667	0,000	866,992	0,000	108,789	0,000	0,000	0,000	Maximum
24	Total Ballast	0%	2738,717	0,000	2671,919	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
25	Crew	1	2,200	2,200			13,837	0,000	20,600	0,000	User Specified
26	Freshwater	1	3,900	3,900			53,537	0,000	5,900	0,000	User Specified
27	Total Loadcase			12711,107	16424,342	10852,500	60,694	0,000	6,120	15684,824	
28	FS correction								1,234		
29	VCG fluid								7,354		

Рисунок 2.17 – Таблиця навантаження судна при осадці по КВЛ

1	Draft Amidships m	6,801
2	Displacement t	12711
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	6,721
5	Draft at AP m	6,881
6	Draft at LCF m	6,804
7	Trim (+ve by stern) m	0,160
8	WL Length m	121,003
9	Beam max extents on WL m	20,100
10	Wetted Area m^2	3257,845
11	Waterpl. Area m^2	2081,055
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,764
13	Block coeff. (Cb)	0,742
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,978
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,856
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	60,690
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	57,466
18	KB m	3,599
19	KG fluid m	7,354
20	BMt m	4,947
21	BML m	158,661
22	GMt corrected m	1,192
23	GML m	154,906
24	KMt m	8,545
25	KML m	162,260
26	Immersion (TPc) tonne/cm	21,331
27	MTc tonne.m	165,743
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	264,325
29	Max deck inclination deg	0,0772
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0,0772

Рисунок 2.18 – Результати удиферентування судна при осадці по КВЛ

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

$$\Delta T = \frac{0,01 \cdot D \cdot (x_g - x_c)}{M} = \frac{0,01 \cdot 12711 \cdot (60,691 - 60,690)}{166,498} = 0,0007 \text{ м,}$$

$$\frac{L}{2000} = \frac{121}{2000} = 0,060 \text{ м.}$$

Отримали $\Delta T = 0,0007 < 0,060$. 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 2.19. Результати удиферентування представлені на рисунку 2.20.

	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	Lightship	1	3482,600	3482,600			55,200	0,000	7,700	0,000	User Specified
2	Total Lightship			3482,600			55,200	0,000	7,700	0,000	
3	Hold 1	99,53%	2213,282	2202,880	2603,862	2591,623	32,120	0,000	5,635	0,000	User Specified
4	Hold 2	99%	2583,166	2557,335	3039,019	3008,629	54,028	0,000	5,614	0,000	User Specified
5	Hold 3	99%	2583,166	2557,335	3039,019	3008,629	77,628	0,000	5,614	0,000	User Specified
6	Hold 4	99%	1739,972	1722,572	2047,026	2026,556	98,168	0,000	5,634	0,000	User Specified
7	Total Cargo	99,13%	9119,587	9040,122	10728,926	10635,437	63,776	0,000	5,623	0,000	
8	DB Engine Room	98%	53,254	52,189	63,398	62,130	15,170	0,000	1,200	0,000	User Specified
9	DB Hold 1	21,8%	615,363	134,149	732,576	159,701	32,572	0,000	0,303	0,000	User Specified
10	Total Fuel	27,87%	668,618	186,339	795,974	221,832	27,698	0,000	0,555	0,000	
11	DB Hold 2	0%	739,662	0,000	880,550	0,000	42,371	0,000	0,000	0,000	User Specified
12	DB Hold 3	0%	736,107	0,000	876,318	0,000	65,971	0,000	0,000	0,000	User Specified
13	DB Hold 4	0%	395,351	0,000	470,656	0,000	89,526	0,000	0,000	0,000	User Specified
14	Total ballast	0%	1871,120	0,000	2227,524	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
15	DS Hold 1 P	0%	133,158	0,000	129,911	0,000	27,174	-9,185	2,000	0,000	User Specified
16	DS Hold 1 S	0%	133,158	0,000	129,911	0,000	27,174	9,185	2,000	0,000	User Specified
17	DS Hold 2 P	0%	179,179	0,000	174,809	0,000	42,371	-9,514	2,000	0,000	User Specified
18	DS Hold 2 S	0%	179,179	0,000	174,809	0,000	42,371	9,514	2,000	0,000	User Specified
19	DS Hold 3 P	0%	175,214	0,000	170,941	0,000	65,971	-9,516	2,000	0,000	User Specified
20	DS Hold 3 S	0%	175,214	0,000	170,941	0,000	65,971	9,516	2,000	0,000	User Specified
21	DS Hold 4 P	0%	138,785	0,000	135,400	0,000	89,543	-9,407	2,000	0,000	User Specified
22	DS Hold 4 S	0%	138,785	0,000	135,400	0,000	89,543	9,407	2,000	0,000	User Specified
23	Afterpeak	0%	597,377	0,000	582,806	0,000	6,485	0,000	0,228	0,000	User Specified
24	Forepeak	0%	888,667	0,000	866,992	0,000	108,789	0,000	0,000	0,000	User Specified
25	Total Ballast	0%	2738,717	0,000	2671,919	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
26	Crew	1	2,200	2,200			13,837	0,000	20,600	0,000	User Specified
27	Freshwater	1	39,000	39,000			53,537	0,000	5,900	0,000	User Specified
28	Total Loadcase			12750,260	16424,342	10857,269	60,867	0,000	6,119	0,000	
29	FS correction								0,000		
30	VCG fluid								6,119		

Рисунок 2.19 – Таблиця навантаження судна 100% вантажу і 100% запасів

1	Draft Amidships m	6.822
2	Displacement t	12751
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	6.815
5	Draft at AP m	6.830
6	Draft at LCF m	6.823
7	Trim (+ve by stern) m	0.015
8	WL Length m	120.878
9	Beam max extents on WL m	20.100
10	Wetted Area m²	3260.913
11	Waterpl. Area m²	2078.987
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.766
13	Block coeff. (Cb)	0.750
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.979
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.856
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	60.873
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	57.559
18	KB m	3.609
19	KG fluid m	6.119
20	BMT m	4.929
21	BML m	157.638
22	GMt corrected m	2.418
23	GML m	155.127
24	KMt m	8.537
25	KML m	161.247
26	Immersion (TPc) tonne/cm	21.310
27	MTc tonne.m	166.498
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	538.049
29	Max deck inclination deg	0.0074
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0.0074

Рисунок 2.20 – Результати удиферентування судна при навантаженні 100% вантажу і 100% запасів

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

$$\Delta T = \frac{0,01 \cdot D \cdot (x_g - x_c)}{M} = \frac{0,01 \cdot 12751 \cdot (60,887 - 60,873)}{166,498} = 0,010 \text{ м,}$$

$$\frac{L}{2000} = \frac{120,878}{2000} = 0,060 \text{ м.}$$

Отримали $\Delta T = 0,010 < 0,060$. 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 2.21. Результати удиферентування представлені на рисунку 2.22

	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	Lightship	1	3482,600	3482,600			55,200	0,000	7,700	0,000	User Specified
2	Total Lightship			3482,600			55,200	0,000	7,700	0,000	
3	Hold 1	100%	2213,282	2213,282	2603,862	2603,862	32,126	0,000	5,653	0,000	Maximum
4	Hold 2	100%	2583,166	2583,166	3039,019	3039,019	54,037	0,000	5,650	0,000	Maximum
5	Hold 3	100%	2583,166	2583,166	3039,019	3039,019	77,637	0,000	5,650	0,000	Maximum
6	Hold 4	95,43%	1739,972	1660,455	2047,026	1953,477	98,170	0,000	5,504	5036,729	Maximum
7	Total Cargo	99,13%	9119,587	9040,070	10728,926	10635,377	63,522	0,000	5,624	5036,729	
8	DB Engine Room	35%	53,254	18,639	63,398	22,189	15,280	0,000	0,618	200,705	Maximum
9	DB Hold 1	0%	615,363	0,000	732,576	0,000	19,047	0,000	0,000	0,000	Maximum
10	DB Hold 2	0%	739,662	0,000	880,550	0,000	42,677	0,000	0,000	0,000	Maximum
11	DB Hold 3	0%	736,107	0,000	876,318	0,000	66,315	0,000	0,000	0,000	Maximum
12	DB Hold 4	0%	395,351	0,000	470,656	0,000	89,755	0,000	0,000	0,000	Maximum
13	Total fuel	0,73%	2539,738	18,639	3023,497	22,189	15,280	0,000	0,618	200,705	
14	Afterpeak	0%	597,377	0,000	582,806	0,000	6,485	0,000	0,228	0,000	Maximum
15	DS Hold 1 P	0%	133,158	0,000	129,911	0,000	27,174	-9,185	2,000	0,000	Maximum
16	DS Hold 1 S	0%	133,158	0,000	129,911	0,000	27,174	9,185	2,000	0,000	Maximum
17	DS Hold 2 P	0%	179,179	0,000	174,809	0,000	42,716	-9,515	2,000	0,000	Maximum
18	DS Hold 2 S	0%	179,179	0,000	174,809	0,000	42,716	9,515	2,000	0,000	Maximum
19	DS Hold 3 P	0%	175,214	0,000	170,941	0,000	66,316	-9,516	2,000	0,000	Maximum
20	DS Hold 3 S	0%	175,214	0,000	170,941	0,000	66,316	9,516	2,000	0,000	Maximum
21	DS Hold 4 P	0%	138,785	0,000	135,400	0,000	89,836	-9,386	2,000	0,000	Maximum
22	DS Hold 4 S	0%	138,785	0,000	135,400	0,000	89,836	9,386	2,000	0,000	Maximum
23	Forepeak	0%	888,667	0,000	866,992	0,000	108,789	0,000	0,000	0,000	Maximum
24	Total Ballast	0%	2738,717	0,000	2671,919	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
25	Crew	1	2,200	2,200			13,837	0,000	20,600	0,000	User Specified
26	Freshwater	1	3,900	3,900			53,537	0,000	5,900	0,000	User Specified
27	Total Loadcase			12547,409	16424,342	10657,566	61,129	0,000	6,195	5237,434	
28	FS correction								0,417		
29	VCG fluid								6,613		

Рисунок 2.21 – Таблиця навантаження судна 100% вантажу і 10% запасів

1	Draft Amidships m	6,729
2	Displacement t	12547
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	6,799
5	Draft at AP m	6,659
6	Draft at LCF m	6,727
7	Trim (+ve by stern) m	-0,140
8	WL Length m	120,440
9	Beam max extents on WL m	20,100
10	Wetted Area m^2	3232,351
11	Waterpl. Area m^2	2069,373
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,766
13	Block coeff. (Cb)	0,744
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,979
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,855
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	61,132
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	57,798
18	KB m	3,557
19	KG fluid m	6,613
20	BMt m	4,990
21	BML m	157,863
22	GMt corrected m	1,935
23	GML m	154,807
24	KMt m	8,547
25	KML m	161,420
26	Immersion (TPc) tonne/cm	21,211
27	MTc tonne.m	163,504
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	423,643
29	Max deck inclination deg	0,0675
30	Trim angle (+ve by stern) deg	-0,0675

Рисунок 2.22 – Результати удиферентування судна при навантаженні 100% вантажу і 10% запасів

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

Отримали $x_g = x_c = 61,132$ 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 2.23, та натиснути кнопку «почати розрахунок», попередньо вибравши варіант навантаження (Loadcase).

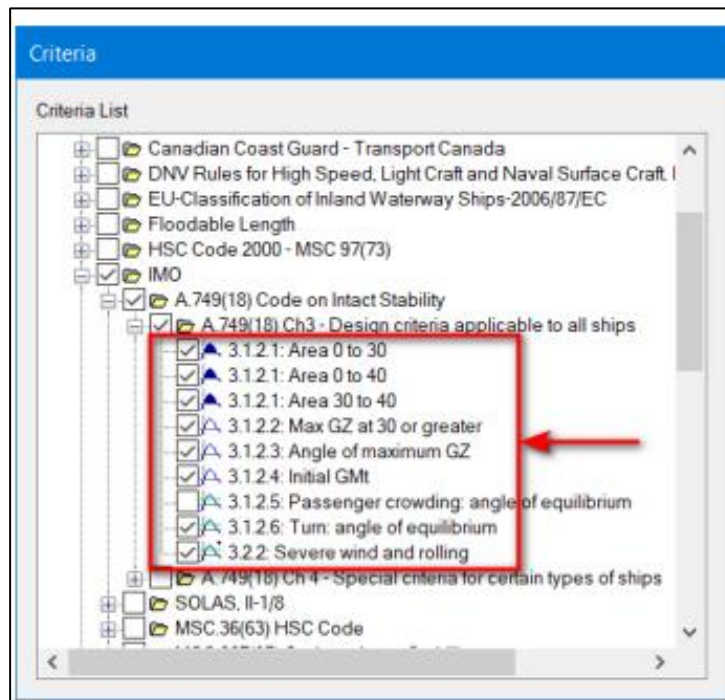


Рисунок 2.23 – Вибір критеріїв розрахунку остійності

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 2.18.

Результати розрахунку представлені на рисунку 2.24.

Діаграма остійності показана на рисунку 2.25.

Результати перевірки критеріїв остійності представлені на рисунку 2.26.

	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	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0
1	GZ m	-0,742	-0,700	-0,404	0,000	0,404	0,700	0,742	0,642	0,438	0,149	-0,192	-0,552	-0,906	-1,233	-1,513	-1,728	-1,854	-1,844	-1,631	-1,238	-0,649	0,000
2	Area under GZ curve from zero heel m.rad	0,2638	0,1353	0,0358	0,0000	0,0359	0,1352	0,2642	0,3865	0,4821	0,5344	0,5312	0,4663	0,3389	0,1516	-0,088	-0,372	-0,687	-1,012	-1,318	-1,571	-1,738	-1,795
3	Displacement t	12750	12751	12750	12749	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750
4	Draft at FP m	6,306	5,974	5,960	5,959	5,960	5,976	6,300	6,799	7,441	8,386	10,159	15,339	n/a	5,199	0,047	-1,698	-2,617	-3,228	-3,752	-3,982	-4,027	-4,035
5	Draft at AP m	9,358	8,787	8,570	8,584	8,570	8,784	9,364	10,518	12,409	15,490	21,360	38,294	n/a	27,351	10,477	4,691	1,703	-0,158	-1,294	-1,905	-2,098	-2,119
6	Wetted Area m²	3872,8	3655,0	3426,3	3410,5	3426,3	3654,7	3872,8	4013,1	4105,2	4154,9	4188,6	4216,8	4242,6	4266,3	4298,6	4327,8	4359,3	4354,4	4305,4	4193,2	4159,0	4159,2
7	Waterpl. Area m²	1470,2	1692,8	1915,6	1903,9	1915,6	1692,9	1470,1	1336,2	1208,4	1097,0	1021,9	978,36	964,54	979,18	1013,7	1080,6	1190,6	1374,7	1523,5	1668,1	1736,2	1724,3
8	Prismatic coeff. (Cp)	0,699	0,681	0,668	0,668	0,669	0,681	0,699	0,711	0,709	0,685	0,670	0,661	0,655	0,668	0,684	0,689	0,691	0,683	0,684	0,682	0,672	0,665
9	Block coeff. (Cb)	0,568	0,542	0,567	0,606	0,567	0,542	0,568	0,581	0,607	0,634	0,641	0,629	0,574	0,540	0,509	0,488	0,508	0,512	0,464	0,468	0,515	0,584
10	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	60,824	60,816	60,820	60,823	60,820	60,821	60,815	60,815	60,806	60,795	60,786	60,782	60,788	60,792	60,803	60,821	60,835	60,845	60,856	60,859	60,863	60,865
11	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	63,242	62,279	61,204	60,901	61,204	62,276	63,248	64,416	65,130	65,488	65,699	65,801	66,064	66,590	67,482	68,002	67,109	65,749	65,865	65,451	64,949	65,060
12	KB m	4,237	4,035	3,852	3,780	3,852	4,034	4,237	4,445	4,643	4,812	4,958	5,089	5,213	5,337	5,467	5,605	5,761	5,951	6,188	6,417	6,598	6,664
13	KG fluid m	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119
14	BMt m	2,327	2,343	4,705	4,607	4,705	3,432	2,326	1,867	1,411	1,051	0,843	0,735	0,705	0,739	0,832	0,986	1,274	1,984	2,718	3,673	4,267	4,260
15	GMt corrected m	-0,276	0,957	2,330	2,268	2,331	0,957	-0,277	-0,858	-1,410	-1,822	-2,027	-2,070	-1,972	-1,751	-1,418	-0,981	-0,378	0,657	1,697	2,906	3,666	3,715
16	Righting moment (trans.) tonne.m	-9461	-8922	-5157	0,000	5157,0	8923,0	9462,2	8180,4	5589,9	1899,1	-2445	-7036	-11555	-15723	-19295	-22037	-23644	-23505	-20796	-15784	-8278	0,000
17	Max deck inclination deg	30,024	20,038	10,075	1,2655	10,075	20,038	30,024	40,019	50,017	60,014	70,010	80,005	90,000	99,994	109,99	119,98	129,98	139,98	149,98	159,97	169,95	179,07
18	Trim angle (+ve by stern) deg	1,4719	1,3566	1,2590	1,2655	1,2588	1,3544	1,4773	1,7930	2,3948	3,4222	5,3859	10,936	-1,91N	10,562	5,0176	3,0785	2,0824	1,4803	1,1851	1,0016	0,9303	0,9243

Рисунок 2.24 – Результати розрахунку остійності на великих кутах крену в табличній формі для варіанта навантаження «Design Draft»

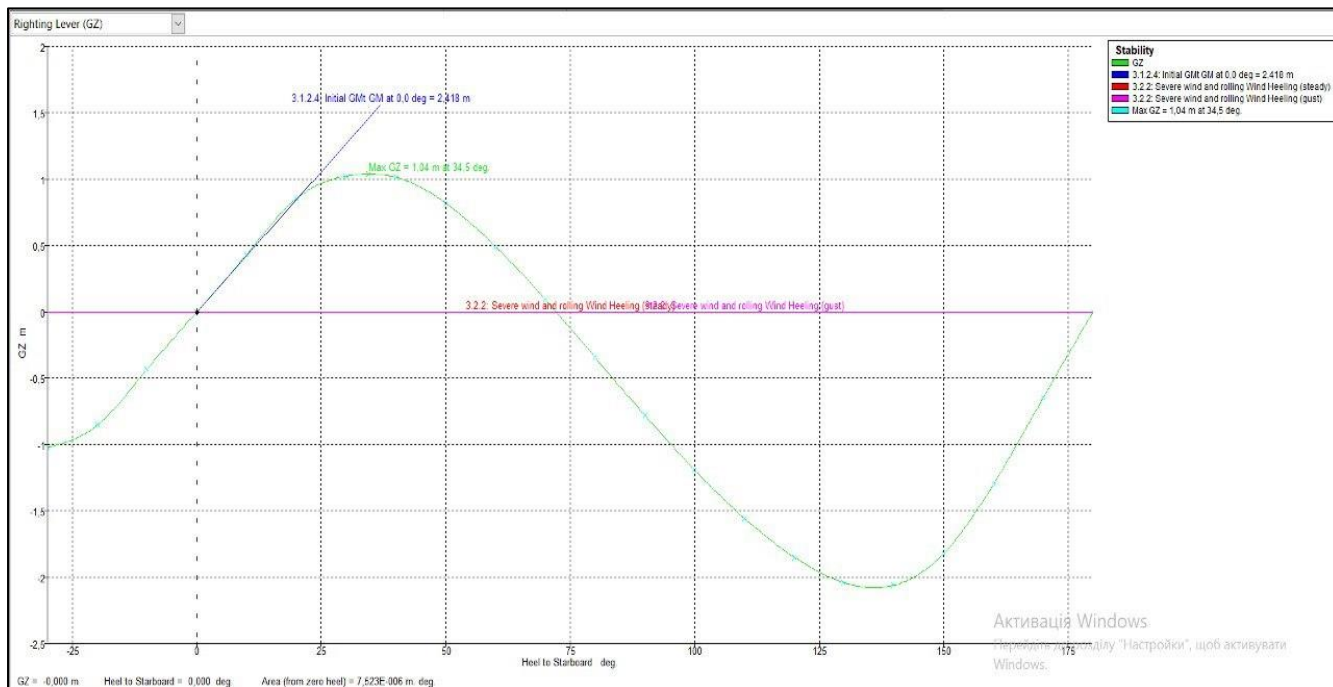


Рисунок 2.25 – Діаграма остійності для варіанта навантаження «Design Draft»

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) Ch3 - Design criter	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	72,1	deg			
7		shall not be less than ($\geq$)	0,0550	m.rad	0,3191	Pass	+480,26
8							
9	A.749(18) Ch3 - Design criter	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	72,1	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	0,0900	m.rad	0,4994	Pass	+454,90
17							
18	A.749(18) Ch3 - Design criter	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	72,1	deg			
25		shall not be less than ($\geq$)	0,0300	m.rad	0,1803	Pass	+500,89
26							
27	A.749(18) Ch3 - Design criter	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	34,5	deg	34,5		
33		shall not be less than ($\geq$)	0,200	m	1,040	Pass	+420,00
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	34,5		
36							
37	A.749(18) Ch3 - Design criter	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than ($\geq$)	25,0	deg	34,5	Pass	+38,18
39							
40	A.749(18) Ch3 - Design criter	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
41		spec. heel angle	0,0	deg			
42		shall not be less than ($\geq$)	0,150	m	2,418	Pass	+1512,00

Рисунок 2.26– 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 2.20

Результати розрахунку представлені на рисунку 2.27.

Діаграма остійності показана на рисунку 2.28.

Результати перевірки критеріїв остійності представлені на рисунку 2.29.

	Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0
1	GZ m	-1,024	-0,855	-0,433	0,000	0,433	0,855	1,023	1,015	0,820	0,493	0,091	-0,344	-0,781	-1,194	-1,558
2	Area under GZ curve from zero heel m.rad	0,3187	0,1518	0,0371	0,0000	0,0372	0,1517	0,3191	0,4994	0,6620	0,7780	0,8297	0,8079	0,7096	0,5366	0,2960
3	Displacement t	12749	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750
4	Draft at FP m	7,498	6,929	6,826	6,814	6,827	6,927	7,500	8,381	9,635	11,614	15,407	26,470	n/a	16,861	5,825
5	Draft at AP m	6,709	6,714	6,794	6,830	6,794	6,717	6,708	6,887	7,279	7,916	9,115	12,563	n/a	0,837	-2,594
6	Wetted Area m²	3629,6	3427,1	3265,2	3260,8	3265,2	3427,2	3629,8	3768,2	3831,5	3864,1	3888,5	3909,6	3927,9	3944,3	3947,2
7	Waterpl. Area m²	1769,4	1968,2	2109,2	2078,9	2109,2	1968,3	1769,3	1565,2	1367,5	1225,0	1134,8	1086,7	1073,8	1093,5	1148,3
8	Prismatic coeff. (Cp)	0,775	0,768	0,765	0,766	0,765	0,768	0,774	0,784	0,790	0,796	0,805	0,816	0,829	0,846	0,871
9	Block coeff. (Cb)	0,546	0,576	0,630	0,750	0,630	0,576	0,546	0,582	0,608	0,626	0,643	0,662	0,683	0,651	0,610
10	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	60,887	60,884	60,873	60,873	60,874	60,877	60,890	60,902	60,912	60,923	60,933	60,940	60,944	60,944	60,941
11	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	56,650	57,169	57,596	57,560	57,597	57,170	56,650	57,886	58,313	58,256	57,992	57,621	57,149	56,404	55,868
12	KB m	4,180	3,909	3,685	3,608	3,685	3,909	4,180	4,466	4,708	4,902	5,062	5,205	5,339	5,473	5,615
13	KG fluid m	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119
14	BMT m	3,425	4,242	5,154	4,929	5,154	4,242	3,425	2,454	1,643	1,178	0,930	0,807	0,767	0,798	0,901
15	GMt corrected m	0,595	1,578	2,605	2,418	2,605	1,578	0,595	-0,557	-1,530	-2,112	-2,411	-2,512	-2,454	-2,250	-1,906
16	Righting moment (trans.) tonne.m	-13049	-10903	-5515	0,000	5515,7	10904	13046	12938	10458	6279,7	1158,8	-4382	-9954	-15222	-19862
17	Max deck inclination deg	30,001	20,000	10,000	0,0074	10,000	20,000	30,001	40,003	50,003	60,004	70,003	80,002	90,000	99,997	109,99
18	Trim angle (+ve by stern) deg	-0,380	-0,103	-0,015	0,0074	-0,015	-0,101	-0,381	-0,720	-1,136	-1,782	-3,031	-6,676	-1,1#N	-7,681	-4,053

Рисунок 2.27 – Результати розрахунку остійності на великих кутах крену в табличній формі для варіанта навантаження 100% вантажу і 100% запасів

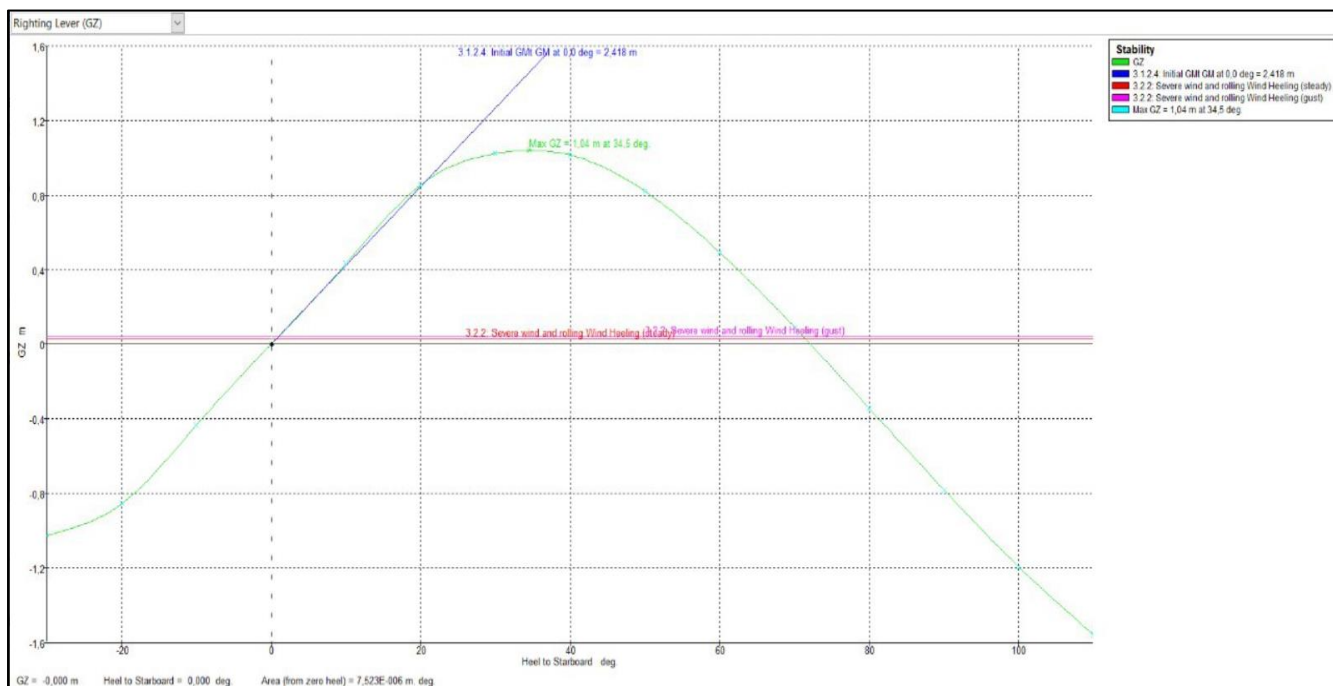


Рисунок 2.28 – Діаграма остійності для варіанта навантаження 100% вантажу і 100% запасів

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

24.ДРМ.135.6112М.05.ПЗ

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) Ch3 - Design criter	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	72,1	deg			
7		shall not be less than ($\geq$)	0,0550	m.rad	0,3191	Pass	+480,26
8							
9	A.749(18) Ch3 - Design criter	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	72,1	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	0,0900	m.rad	0,4994	Pass	+454,90
17							
18	A.749(18) Ch3 - Design criter	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	72,1	deg			
25		shall not be less than ($\geq$)	0,0300	m.rad	0,1803	Pass	+500,89
26							
27	A.749(18) Ch3 - Design criter	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	34,5	deg	34,5		
33		shall not be less than ($\geq$)	0,200	m	1,040	Pass	+420,00
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	34,5		
36							
37	A.749(18) Ch3 - Design criter	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than ($\geq$)	25,0	deg	34,5	Pass	+38,18
39							

Рисунок 2.29 – 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).

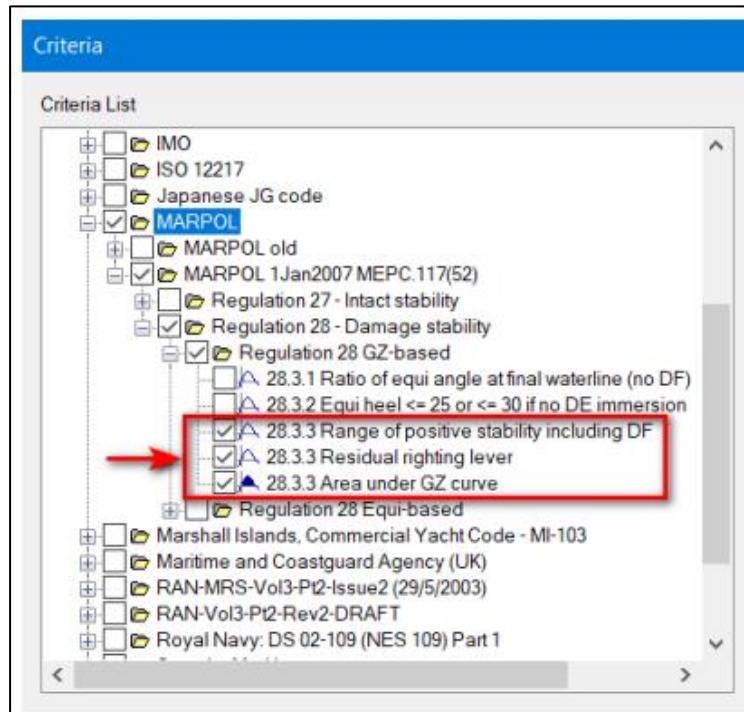


Рисунок 2.30 – Вибір критеріїв розрахунку остійності при пошкодженому стані

Даний розрахунок виконувався з використанням таблиці навантаження мас «Design Draft», яка була представлена на рисунку 2.17.

Зображення пошкодженої відсіку зображено на рисунку 2.32.

Результати розрахунку представлені на рисунку 2.33.

Діаграма остійності показана на рисунку 2.34.

Результати перевірки критеріїв остійності представлені на рисунку 2.35

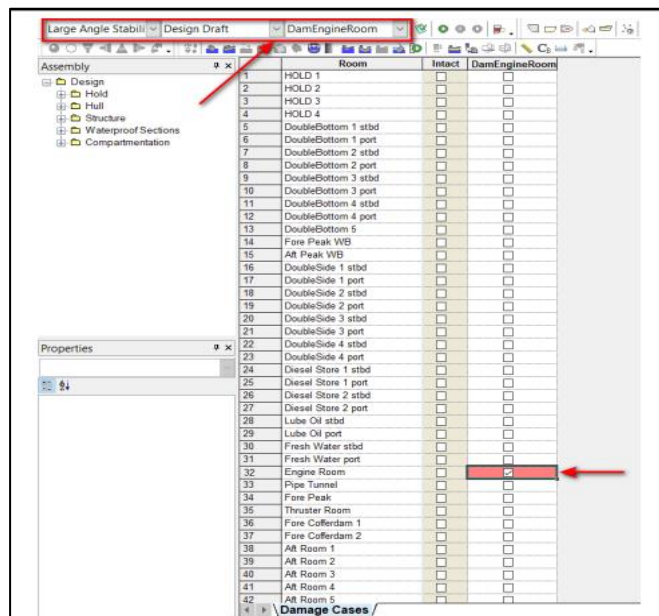


Рисунок 2.31 – Вибір варіанту пошкодження: затоплення машинного відсіку

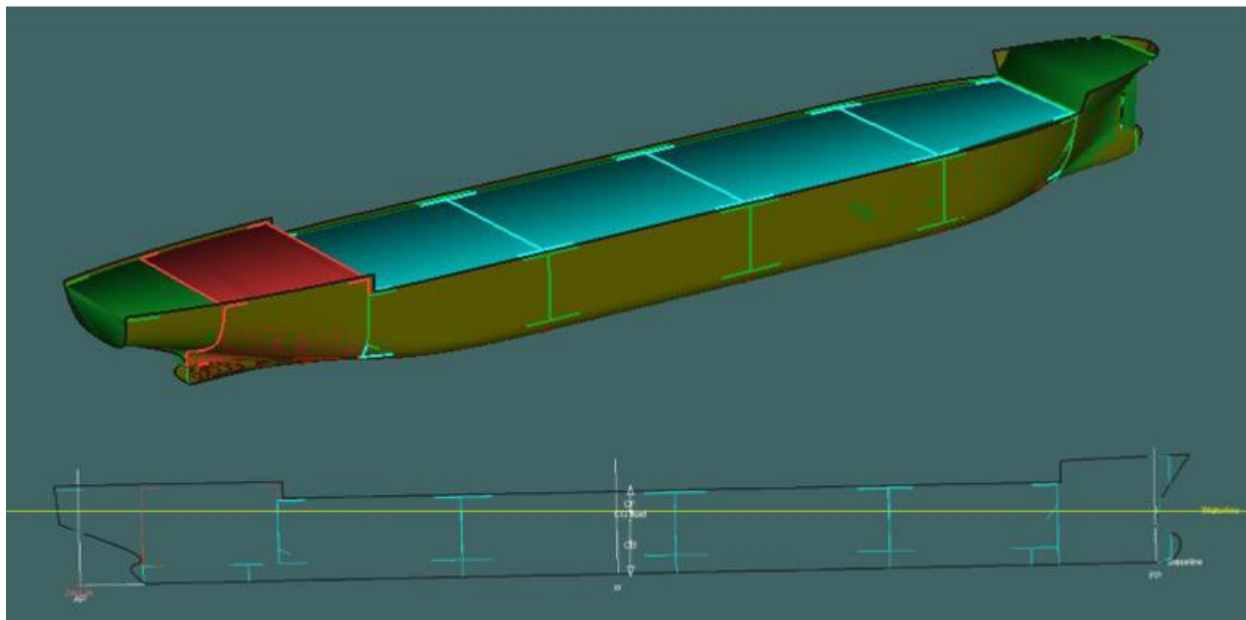


Рисунок 2.32 – Зображення пошкодженого машинного відсіку

	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	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0
1	GZ m	-0,742	-0,700	-0,404	0,000	0,404	0,700	0,742	0,642	0,438	0,149	-0,192	-0,552	-0,906	-1,233	-1,513	-1,728	-1,854	-1,844	-1,631	-1,238	-0,649	0,000
2	Area under GZ curve from zero heel m.rad	0,2638	0,1353	0,0358	0,0000	0,0359	0,1352	0,2642	0,3865	0,4821	0,5344	0,5312	0,4663	0,3389	0,1516	-0,088	-0,372	-0,687	-1,012	-1,318	-1,571	-1,738	-1,795
3	Displacement t	12750	12751	12750	12749	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750	12750
4	Draft at FP m	6,306	5,974	5,960	5,959	5,960	5,976	6,300	6,799	7,441	8,386	10,159	15,339	n/a	5,199	0,047	-1,698	-2,617	-3,228	-3,752	-3,982	-4,027	-4,035
5	Draft at AP m	9,358	8,787	8,570	8,584	8,570	8,784	9,364	10,518	12,409	15,490	21,360	38,294	n/a	27,351	10,477	4,691	1,703	-0,158	-1,294	-1,905	-2,098	-2,119
6	Wetted Area m²	3872,8	3655,0	3426,3	3410,5	3426,3	3654,7	3872,8	4013,1	4105,2	4154,9	4188,6	4216,8	4242,6	4266,3	4298,6	4327,8	4359,3	4354,4	4305,4	4193,2	4159,0	4159,2
7	Waterpl. Area m²	1470,2	1692,8	1915,6	1903,9	1915,6	1692,9	1470,1	1336,2	1208,4	1097,0	1021,9	978,36	954,54	979,18	1013,7	1080,6	1190,6	1374,7	1523,5	1668,1	1736,2	1724,3
8	Prismatic coeff. (Cp)	0,699	0,681	0,668	0,668	0,669	0,681	0,699	0,711	0,709	0,685	0,670	0,661	0,655	0,668	0,684	0,689	0,691	0,683	0,684	0,682	0,672	0,665
9	Block coeff. (Cb)	0,568	0,542	0,567	0,606	0,567	0,542	0,568	0,581	0,607	0,634	0,641	0,629	0,574	0,540	0,509	0,488	0,508	0,512	0,464	0,468	0,515	0,584
10	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	60,824	60,816	60,820	60,823	60,820	60,821	60,815	60,815	60,806	60,795	60,786	60,782	60,788	60,792	60,803	60,821	60,835	60,845	60,856	60,859	60,863	60,865
11	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	63,242	62,279	61,204	60,901	61,204	62,276	63,248	64,416	65,130	65,488	65,699	65,801	66,064	66,990	67,482	68,002	67,109	65,749	65,865	65,451	64,949	65,060
12	KB m	4,237	4,035	3,852	3,780	3,852	4,034	4,237	4,445	4,643	4,812	4,958	5,089	5,213	5,337	5,467	5,605	5,761	5,951	6,188	6,417	6,598	6,664
13	KG fluid m	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119	6,119
14	BMt m	2,327	3,431	4,705	4,607	4,705	3,432	2,326	1,867	1,411	1,051	0,843	0,735	0,705	0,739	0,832	0,986	1,274	1,984	2,718	3,673	4,267	4,260
15	GMt corrected m	-0,276	0,957	2,330	2,268	2,331	0,957	-0,277	-0,858	-1,410	-1,822	-2,027	-2,070	-1,972	-1,751	-1,418	-0,981	-0,378	0,657	1,697	2,906	3,666	3,715
16	Righting moment (trans.) tonne.m	-9461	-8922	-5157	0,000	5157,0	8923,0	9462,2	8180,4	5589,9	1899,1	-2445	-7036	-11555	-15723	-19295	-22037	-23644	-23505	-20796	-15784	-8278	0,000
17	Max deck inclination deg	30,024	20,038	10,075	1,2655	10,075	20,038	30,024	40,019	50,017	60,014	70,010	80,005	90,000	99,994	109,99	119,98	129,98	139,98	149,98	159,97	169,95	179,07
18	Trim angle (+ve by stern) deg	1,4719	1,3566	1,2590	1,2655	1,2588	1,3544	1,4773	1,7930	2,3948	3,4222	5,3859	10,936	-1,411	10,562	5,0176	3,0785	2,0824	1,4803	1,1851	1,0016	0,9303	0,9243

Рисунок 2.33 – Результати розрахунку остійності при пошкодженні машинного відсіку для варіанта навантаження «Design Draft»

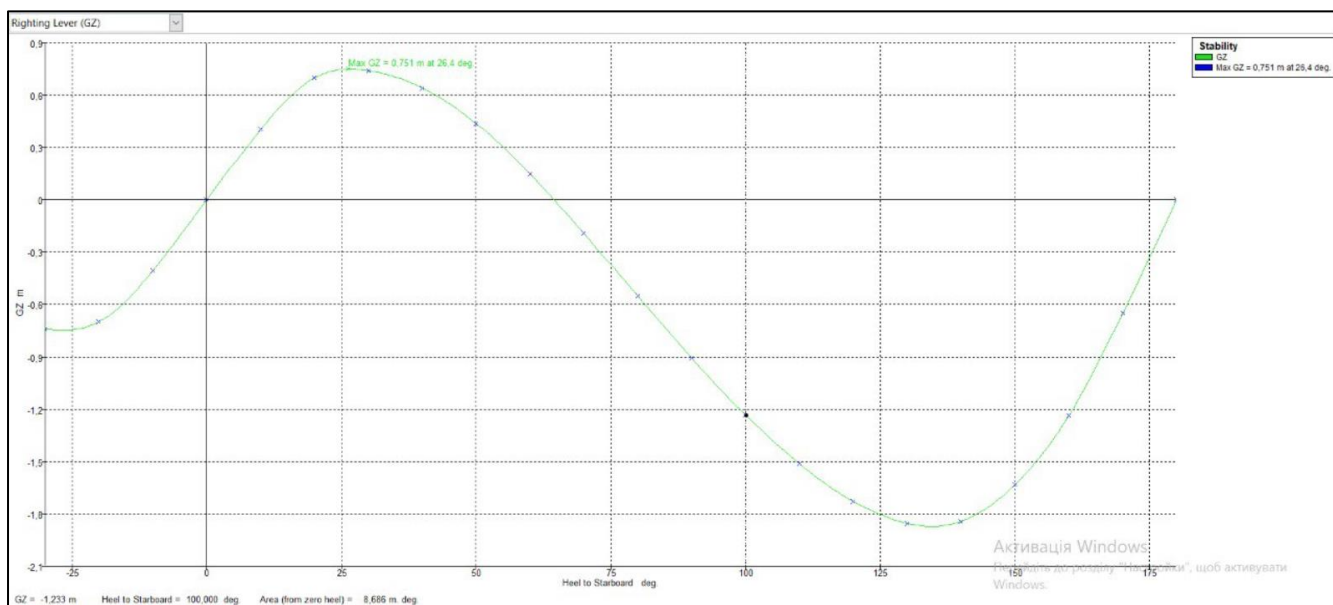


Рисунок 2.34 – Діаграма остійності при пошкодженні машинного відсіку для варіанта навантаження «Design Draft»

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	Regulation 28 GZ-based	28.3.3 Range of positive stability including DF				Pass	
2		from the greater of					
3		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		first downflooding angle	n/a	deg			
6		angle of vanishing stability	64,5	deg	64,5		
7		shall not be less than ($\geq$)	20,0	deg	64,5	Pass	+222,48
8							
9	Regulation 28 GZ-based	28.3.3 Residual righting lever				Pass	
10		in the range from the greater of					
11		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,0)	deg	20,0		
14		angle of max. GZ	26,4	deg			
15		first downflooding angle	n/a	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	0,100	m	0,700	Pass	+600,00
17		Intermediate values					
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		from the greater of					
22		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
23		to the lesser of					
24		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,0)	deg	20,0		
25		first downflooding angle	n/a	deg			
26		angle of vanishing stability	64,5	deg			
27		shall not be less than ($\geq$)	0,0175	m.rad	0,1352	Pass	+672,66
28							

Рисунок 2.35 – 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 2.36.

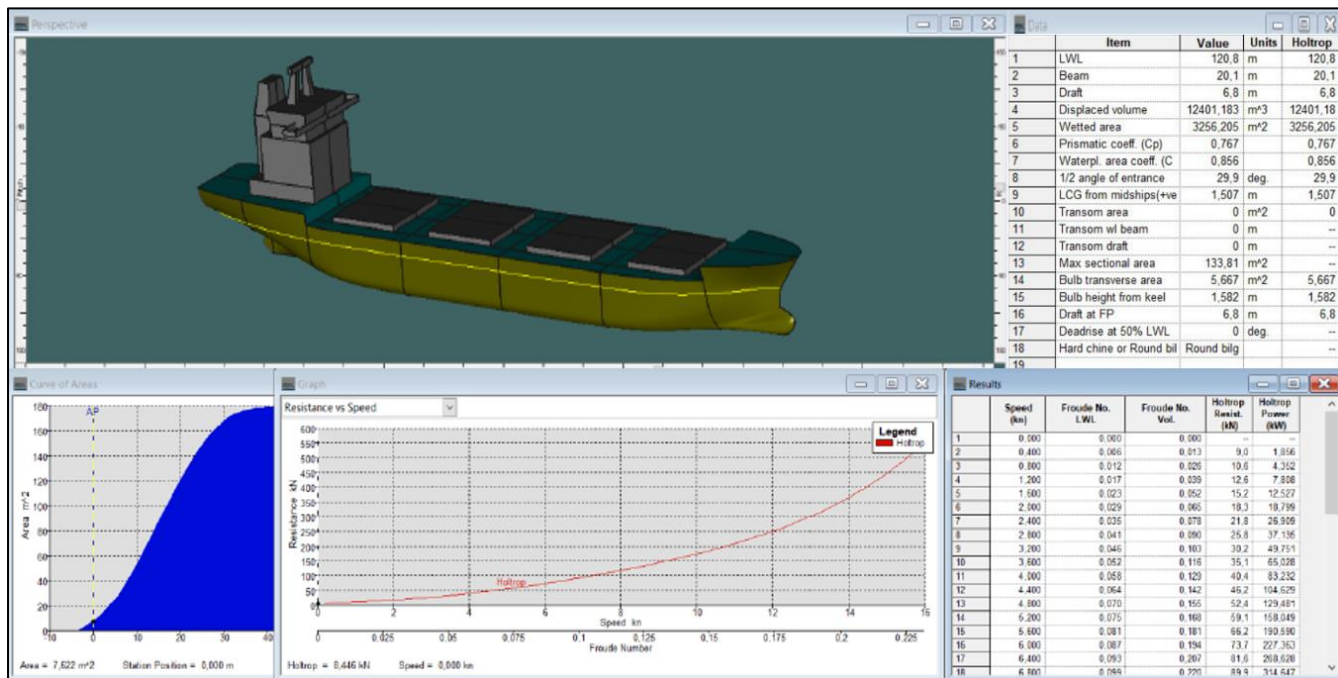


Рисунок 2.36 – Програмний модуль Maxsurf Resistance для розрахунку ходовості
проектovanого балкера

Вихідні дані для розрахунку наведено на рисунку 2.37. Як додаткові вихідні дані були введені такі параметри:

Frontal Area	411 м²
Headwind	10 вузлів
Drag Coefficient	1,3
Appendage Area	15 м²
Nominal App. Length	3 м
Appendage Factor	3

Як параметри розрахунку були обрані:

Analysis/Methods	Holtrop
Analysis/Speeds	0 вузлів
Minimum	
Analysis/Speeds	14 вузлів
Maximum	

	Item	Value	Units	Holtrop
1	LWL	120,8	m	120,8
2	Beam	20,1	m	20,1
3	Draft	6,8	m	6,8
4	Displaced volume	12401,183	m ³	12401,18
5	Wetted area	3256,205	m ²	3256,205
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,767		0,767
7	Waterpl. area coeff. (C)	0,856		0,856
8	1/2 angle of entrance	29,9	deg.	29,9
9	LCG from midships(+ve)	1,507	m	1,507
10	Transom area	0	m ²	0
11	Transom wl beam	0	m	--
12	Transom draft	0	m	--
13	Max sectional area	133,81	m ²	--
14	Bulb transverse area	5,667	m ²	5,667
15	Bulb height from keel	1,582	m	1,582
16	Draft at FP	6,8	m	6,8
17	Deadrise at 50% LWL	0	deg.	--
18	Hard chine or Round bil	Round bilg		--
19				
20	Frontal Area	411	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		Calculate
29	Kinematic viscosity	0,0000011	m ² /s	
30	Water Density	1,026	tonne/	

Рисунок 2.37 – Вихідні дані для розрахунку ходовості проектуваного балкера

За результатами розрахунку отримали значення буксирувального опору та буксирувальної потужності, які представлені на рисунку 2.38.

Для заданої за завданням швидкості 11,4 вузлів розрахунковий буксирувальний опір дорівнює 201,2 кН, при цьому розрахункова буксирувальна потужність дорівнює 1181,6 кВт.

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

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	0,500	0,007	0,017	10,5	2,700
2	0,795	0,012	0,027	11,6	4,761
3	1,090	0,016	0,037	13,0	7,304
4	1,385	0,021	0,047	14,6	10,430
5	1,680	0,025	0,057	16,5	14,240
6	1,975	0,030	0,067	18,5	18,831
7	2,270	0,034	0,078	20,8	24,300
8	2,565	0,038	0,088	23,3	30,741
9	2,860	0,043	0,098	26,0	38,247
10	3,155	0,047	0,108	28,9	46,912
11	3,450	0,052	0,118	32,0	56,827
12	3,745	0,056	0,128	35,3	68,083
13	4,040	0,060	0,138	38,9	80,771
14	4,335	0,065	0,148	42,6	94,980
15	4,630	0,069	0,158	46,5	110,799
16	4,925	0,074	0,168	50,6	128,317
17	5,220	0,078	0,178	55,0	147,622
18	5,515	0,082	0,188	59,5	168,803
19	5,810	0,087	0,198	64,2	191,947
20	6,105	0,091	0,208	69,1	217,145
21	6,400	0,096	0,219	74,3	244,487
22	6,695	0,100	0,229	79,6	274,068
23	6,990	0,104	0,239	85,1	305,986
24	7,285	0,109	0,249	90,8	340,347
25	7,580	0,113	0,259	96,7	377,266
26	7,875	0,118	0,269	102,9	416,868
27	8,170	0,122	0,279	109,3	459,298
28	8,465	0,127	0,289	115,9	504,718
29	8,760	0,131	0,299	122,8	553,314
30	9,055	0,135	0,309	129,9	605,299
31	9,350	0,140	0,319	137,4	660,921
32	9,645	0,144	0,329	145,2	720,463
33	9,940	0,149	0,339	153,4	784,248
34	10,235	0,153	0,349	161,9	852,647
35	10,530	0,157	0,360	171,0	926,079
36	10,825	0,162	0,370	180,5	1005,016
37	11,120	0,166	0,380	190,5	1089,984
38	11,415	0,171	0,390	201,2	1181,570
39	11,710	0,175	0,400	212,5	1280,421
40	12,005	0,179	0,410	224,6	1387,253
41	12,300	0,184	0,420	237,5	1502,833

Рисунок 2.38 – Результати розрахунку ходовості проектного балкера

На малюнках 2.39 та 2.40 представлені відповідно графіки залежності буксирувального опору та буксирувальної потужності від швидкості.

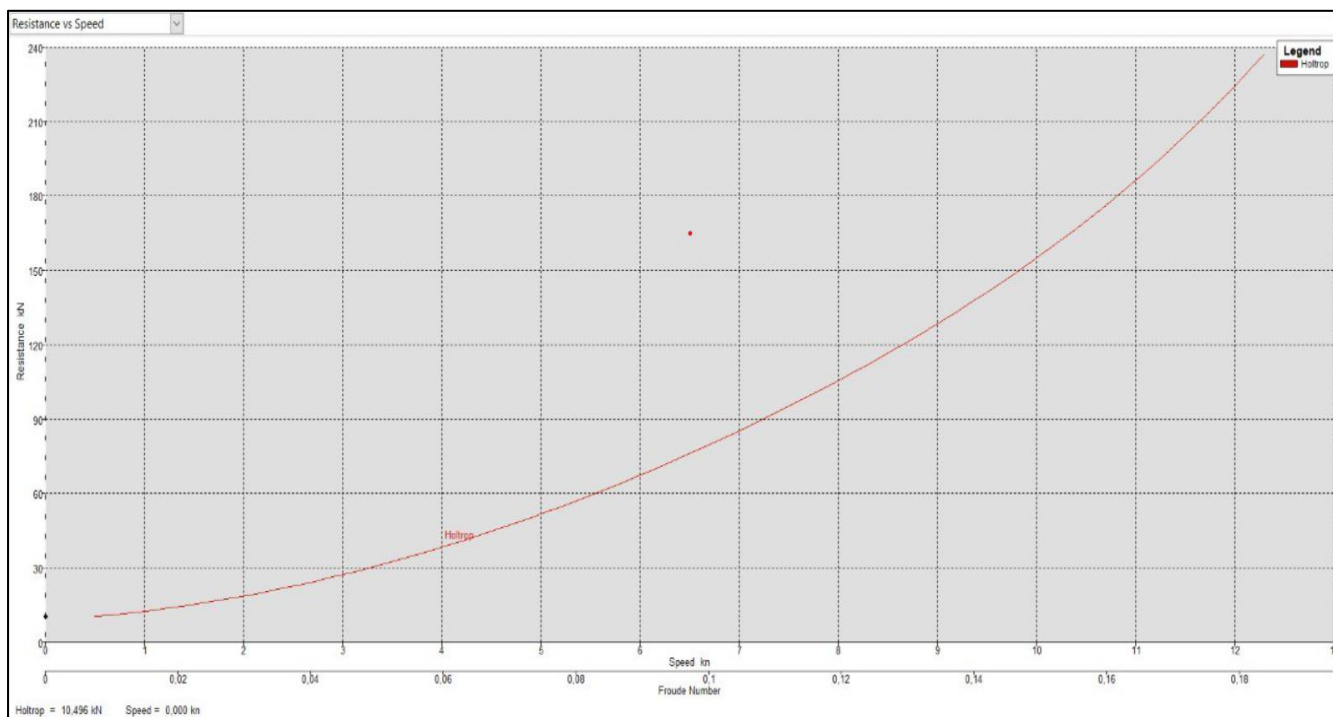


Рисунок 2.39 – Графік залежності буксирувального опору від швидкості балкера $R = f(v_s)$

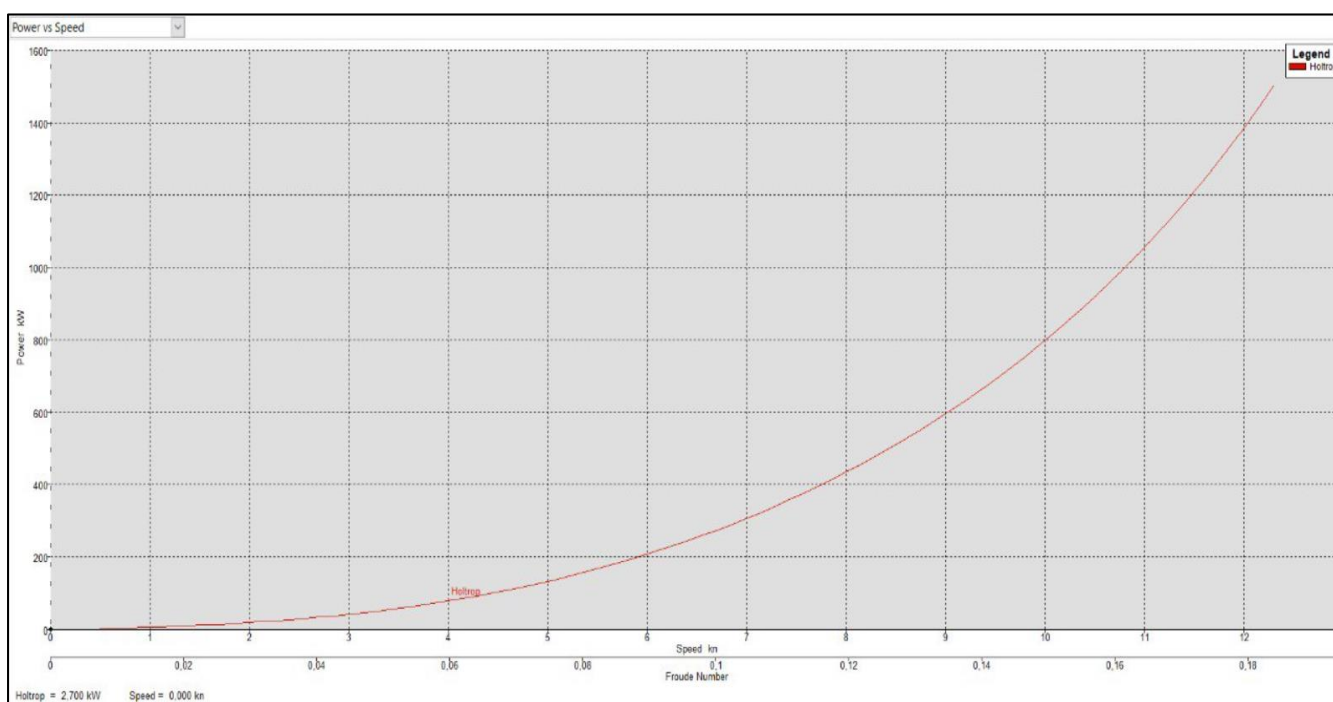


Рисунок 2.40 – Графік залежності буксирувальної потужності від швидкості балкера $P = f(v_s)$

Також був виконаний розрахунок вільної поверхні (Analysis\Calculate Free Surface) при русі балкера зі швидкістю 11,4 вузлів. Результат розрахунку показано на рисунку 2.41.

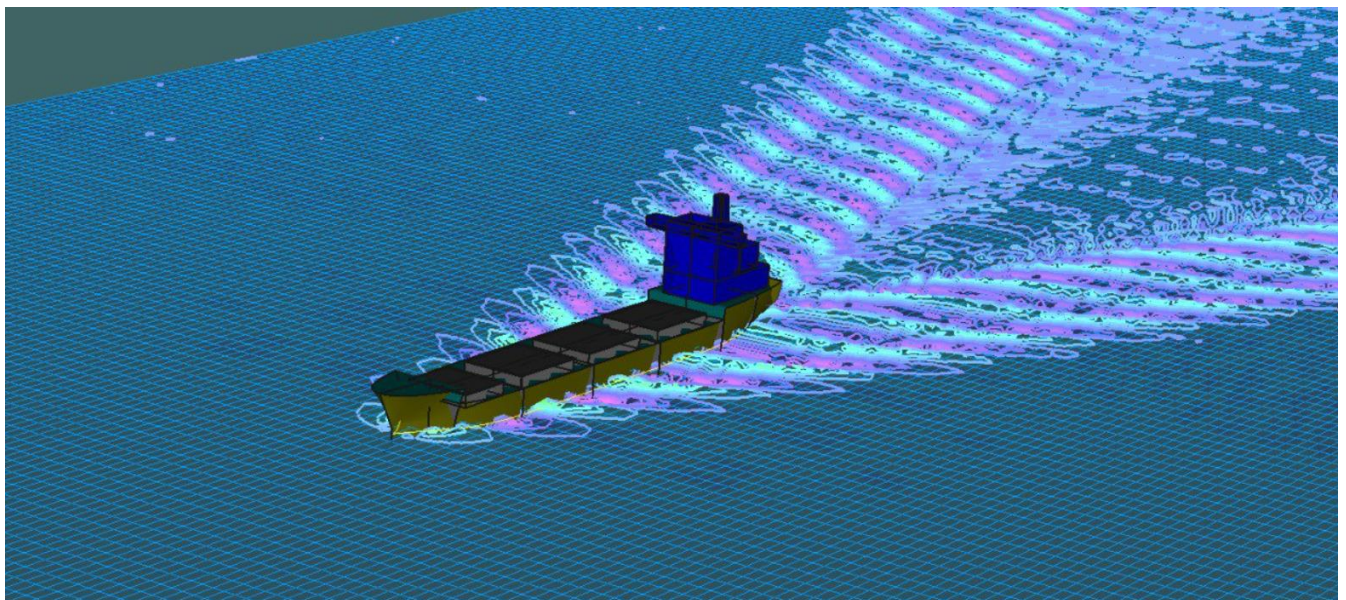
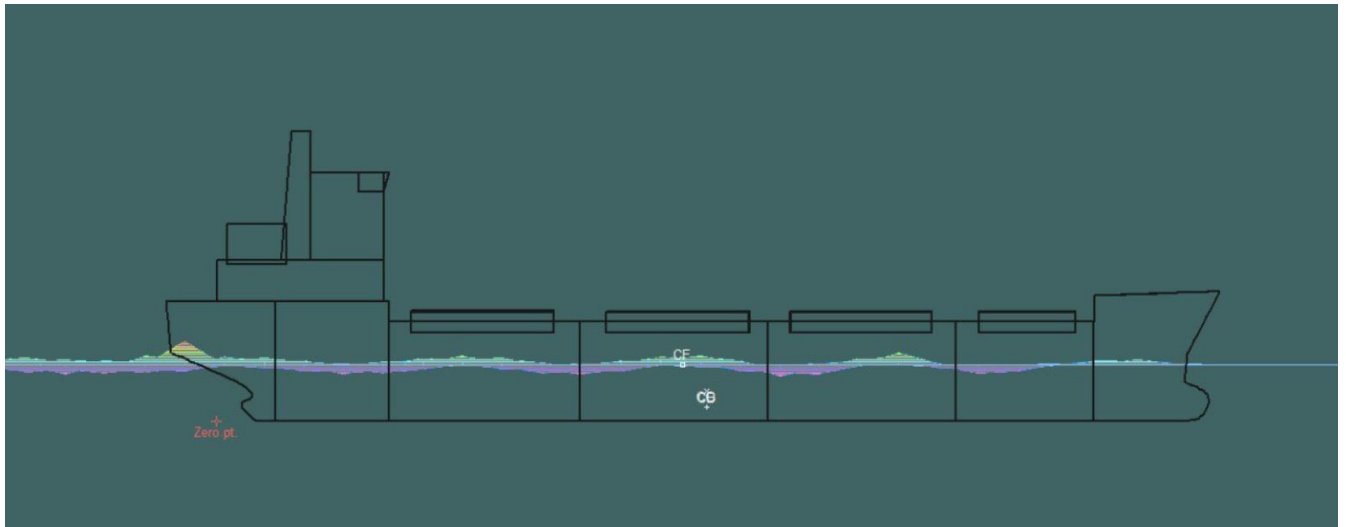


Рисунок 2.41 – Вільна поверхня при швидкості балкера 11,4 вузлів

2.6.2 Розрахунок характеристик рушія та вибір двигуна

Розрахунок характеристик пропульсивного комплексу був виконаний за допомогою слідуючих розрахунків.

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	96
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для даного балкера із заданою розрахунковою швидкістю V , опором буксирування R і потужністю буксирування $P_E = RV$ цілями проектування рушійного комплексу є:

- характеристики гвинта з визначенням високого ККД;
- вибір потужного двигуна для необхідного забезпечення руху балкера із заданою проектною швидкістю.

Схема розташування пропульсивного комплексу показана на рисунку 2.42.

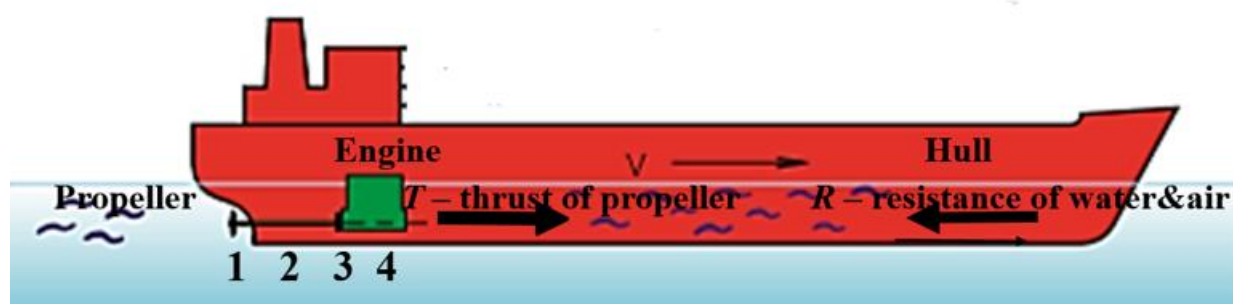


Рис.1.42 2 – Валопровід; 3 – Редуктор; 4 – Двигун;

Вихідні дані для проектування пропульсивного комплексу представлені в таблиці 2.3

Дані про балкер:	Символ	Дані	Одиниця виміру
Швидкість судна	V_s	11,4	вузли
Швидкість судна	$V = 0,514 V_s$	5,86	м/с
Осадка	d	6,8	м
Коефіцієнт загальної повноти	C_b	0,751	
Результати розрахунку опору буксирування			
Щільність води	ρ	1,025	т/м ³
Повний опір руху судна	$R_T(V)$	201	кН
Загальна потужність опору	$P_R = R_T V$	1181	кВт

Таблиця 2.3 Вихідні дані балкера та розрахунки опору буксирування

Визначення гвинта з високим ККД

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		97

Розрахунок визначення характеристики гвинта з високим ККД було виконано за допомогою коефіцієнтів взаємодії гвинта з корпусом (Holtrop and Mennen), які наведені у таблиці 2.4

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

Таблиці 2.4 Коефіцієнти взаємодії гвинта з корпусом

За результатами розрахунку отримали слідуєчі дані для вибору схеми гвинта, які представлені у таблиці 2.5

Значення, необхідні для використання діаграми гвинта:			
Тяга	$T = R_T / (1-t)$	223	кН
Діаметр пропелера	$D = 0,7d$	4,76	м
Швидкість просування гвинта	$V_A = V(1-w)$	5,04	м/с
Коефіцієнт тяги-діаметра	$K_{DT\ opt} = DV_A (\rho/T)^{0.5}$	1,62	

Таблиці 2.5 Значення які необхідні для використання діаграми гвинта

На основі цих даних було підібрано серійну випробувальну діаграму гвинтів серії Т-100 з коефіцієнтом диска $BAR=1,0$, відносним діаметром бобишки $D_{boss}/D=0,18$ і відносною товщиною лопаті $t=0,045$.

Діаграма зображена на рисунку 2.43 Створення діаграми здійснювалось за значенням коефіцієнта тяги-діаметра КДТ опт рівним 1,62.

Значення відносного кроку J , взятого з діаграми, коефіцієнта тяги K_T і ККД гвинта η_p вказані на рисунку 2.43 стрілками. Числові значення цих величин наведено в таблиці 2.6

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		98

Результати використання гвинтової діаграми:		
Коефіцієнт тяги	$K_T = T/(\rho n^2 D^4)$	0,275
Поступь	$J = V_A/(nD)$	0,820
Крокове відношення	P/D	1,260
ККД гвинта	η_0	0,630

Таблиця 2.6 Параметри гвинта

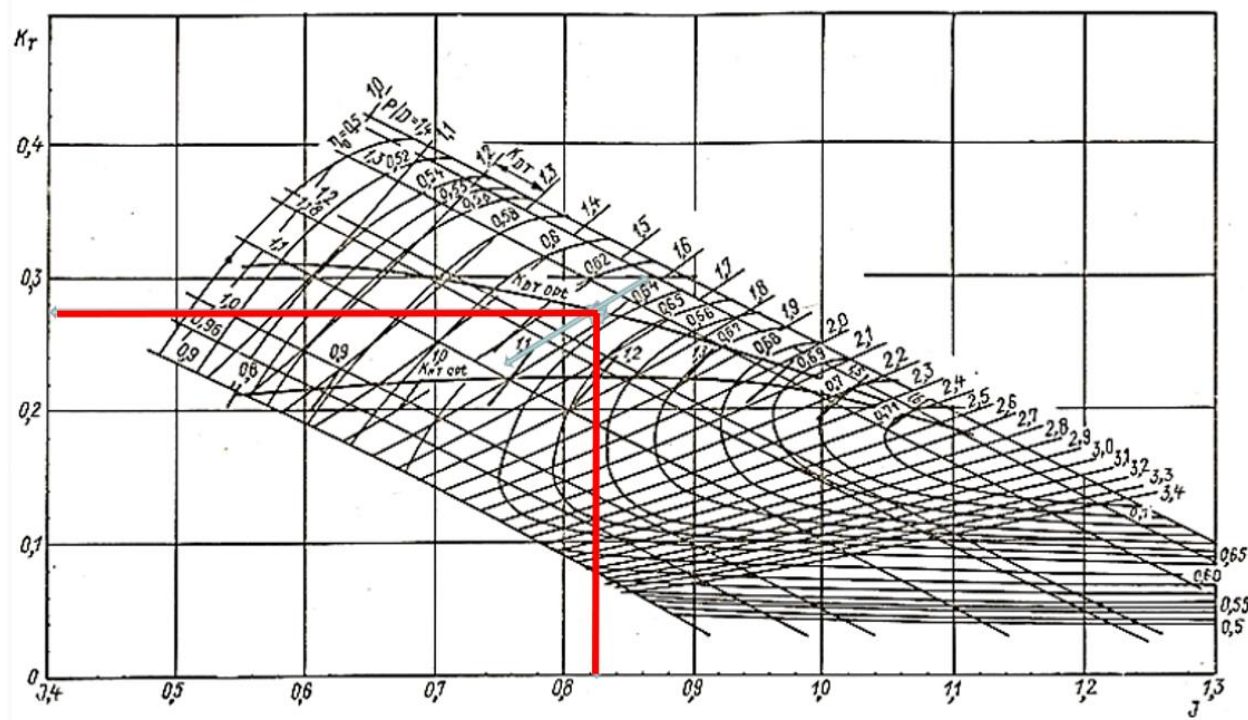


Рисунок 2.43 Вибрана діаграма J-КТ для розрахунку гвинта

На підставі даних таблиці 2.7 визначається оптимальне число обертів гвинта. Числове значення його наведено в таблиці 2.7.

Оптимальна частота обертання гвинта:	$n_{opt} = V_A/(JD)$	1,29	rpm
		77,43	об/хв

Таблиця 2.7 Розрахунок оптимальної частоти обертання гвинта

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

Якщо судно без гвинта, то необхідна потужність для його руху з розрахунковою швидкістю V дорівнює $P_E = RV$. При наявності гребного гвинта

необхідно додатково враховувати втрати потужності в редукторі, в валопроводі, при роботі самого гвинта в нерівномірному зустрічному потоці і при взаємодії гвинта з корпусом судна. Отже, потужність двигуна P_G повинна бути більше P_E .

Згідно проведених розрахунків отримали дані щодо необхідної потужності двигуна, які наведені в таблиці 2.8

Визначення необхідної потужності двигуна:			
Ефективність редуктору	η_G	0,97	
Ефективність валопроводу	η_S	0,98	
Ефективність корпусу	$\eta_H = (1 - t) / (1 - w)$	1,05	
Пропульсивний коефіцієнт	$\eta_D = \eta_H \eta_R \eta_O \eta_S \eta_G$	0,61	
Потрібна потужність двигуна	$P_G = P_E / \eta_D$	1922	кВт

Таблиця 2.8 Визначення необхідної потужності двигуна P_G

Необхідну потужність двигуна підбирають за допомогою каталогу двигунів. Для розглянутого випадку вибираємо каталог двигунів MAN.

Результати необхідного вибору двигуна та необхідного передавального числа коробки передач представлені в таблиці 2.9. Обраний двигун має потужність 2040 кВт, найближчу до необхідної потужності 1922 кВт.

Вибір двигуна і передавального числа коробки передач:			
Обраний двигун з потужністю	P_G^*	2040	кВт
Витрата палива двигуном	q_E^*	500	л/г
Кількість вибраних обертів двигуна	n_E^*	212	об/хв
Передаточне число	n_E^* / n_{opt}	2,74	

Таблиця 2.9 Вибір двигуна і передавального числа коробки передач

Таким чином, основними характеристиками розглянутих елементів пропульсивного комплексу є:

1. Рушій - гвинт діаметром $D=4,76$ м; крокове відношення 1,26; коефіцієнт площі лопатей 1,0; оптимальна кількість обертів 77,43 об/хв і ККД 0,630;

2. Двигун – дизель STX 6S26MC MAN потужністю 2040 кВт; кількість обертів 212 об/хв і витрата палива 500 л/год;

3. Редуктор з передавальним числом 2,74.

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		101

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 – Неаполь (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 та 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.

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 9 000 тонн для перевезення пшениці. Його архітектурно-конструктивний тип – однопалубне судно з чотирма трюмами, бульбовим носом, транцевою кормою, надбудовою та машинним відділенням у кормовій частині.

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	102
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

На етапі технічного проектування було створено клас-проект балкера відповідно до вимог класифікаційного товариства. Під час роботи встановлено, що концептуальне рішення відповідає всім вимогам експлуатаційної надійності.

В результаті виконаного 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. Характеристики ходовості балкера були покращені за допомогою оптимізації пропульсивного комплексу, згідно якого було обрано оптимальний гребний гвинт та реалізовано вибір нового більш економічного та екологічного двигуна.

Таким чином, реалізація концептуального та технічного проектування балкера для маршруту Південний – Неаполь відповідає завданню кафедри щодо забезпечення економічної ефективності проектного 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.05.П	103
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.
3. Marine Power Solutions 2021, Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG, 2021.
4. Maxsurf Enterprise V8i, Bentley Engineering, 2013.
5. Nekrasov, V. Conceptual Designing of Ships: monograph / Valeriy Nekrasov. – Kyiv-Kherson: Oldi-Plus, 2019. – 112 p. (in English).
6. 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.).
7. Papanikolaou A.D. «Ship Design. Methodologies of Preliminary Design», Springer Dordrecht, The Netherlands, 2014, ISBN 978-94-017-8751-2.
8. 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.
9. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – Наука, 1961.–576 с.
10. Некрасов В.А. Оценивание стоимости и сроков постройки кораблей и судов. Учебное пособие по курсу лекций «Модели функционирования судов», Николаев, НУК, 2017 г.
11. Писарук, Н. Н. Исследование операций / Н. Н. Писарук. – БГУ, 2015 – 304 с.
12. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України. – Розробник А.О.Білокурєць, Київ, 2020. Режим доступу: <https://www.shipregister.ua/wp-content/uploads/2022/09/PVM2020.pdf> (Дата звернення 08.11.2024 р.).
13. Справочник по теории корабля: В трех томах. - Судостроение, 1985. -544с.

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		104

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

					24.ДРМ.135.6112М.05.П	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		105