

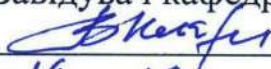
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

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

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри, д.т.н. професор

 В.О. Некрасов
«16» 12/ 2025 р.

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

Концептуальне проєктування суховантажного судна
вантажопідйомністю 9000 тонн
та дослідження його ефективності і надійності

Виконав:

студент 6112м групи

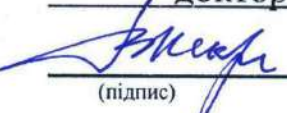

(підпис)

Дюков Владислав Олегович

Керівник роботи:

доктор техн. наук, професор

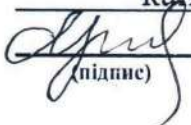
(посада, науковий ступень вчене звання)


(підпис)

Некрасов В.О.

Рецензент:

канд. техн. наук, професор НУК


(підпис)

Кротов О.І.

Миколаїв – 2025 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., доцент Пащенко Ю.М.

« 12 » 09 2025 року

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

Студенту Дюкову Владиславу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Керівник роботи Некрасов В.О. д.т.н. професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора № від « _____ » _____ 2025

року

2. Термін подання роботи: 20.12.2025 р.

3. Вихідні дані по роботі:

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

3.2 Швидкість (орієнтовна) ~11,4 вузлів

3.3 Дальність плавання 1500 миль

3.4 Район плавання Південний-Неаполь

3.5 Додаткові вимоги проведення оптимізаційних розрахунків з метою визначення оптимальних характеристик балкеру

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 балкеру

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 балкеру

4.1.3.3. Визначення вартості робіт з проектування і побудови балкеру

4.1.4 Систем-орієнтоване проектування балкеру

4.1.4.1. Моделі віртуальних просторів експлуатації балкеру

4.1.4.2 Модель інженерно-навігаційних властивостей балкеру

- 4.1.4.3 Модель експлуатації балкеру
- 4.1.4.3.1 Імовірнісні характеристики надійності балкеру
- 4.1.4.3.2 Імовірнісні характеристики ефективності балкеру
- 4.1.4.3.3 Складні показники ефективності та надійності балкеру
- 4.1.5. Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкеру
- 4.1.6. Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації
- 4.1.7. Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації
- 4.1.8. Концептуальний проєкт балкеру

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

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата			
		Завдання видано		Завдання прийнято	
4.1	Некрасов В.О., професор	12.09.2025			
4.2	Пашенко Ю.М., доцент	12.09.2025			

7. Дата видачі завдання _____ 12.09.2025 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проєктування	Тривалість етапів проєкту (роботи)	Примітка
4.1.	Вибір основних елементів судна та визначення його ефективності		
4.1.1.	Огляд основних тенденцій у розвитку флоту балкерів	17.09.2025	
4.1.2.	Аналіз методів вибору основних елементів балкеру	24.09.2025	
4.1.3.	Продукт-орієнтоване проєктування балкеру	30.09.2025	
4.1.4.	Систем-орієнтоване проєктування балкеру	07.10.2025	
4.1.5.	Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів	14.10.2025	
4.1.6.	Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації	21.10.2025	
4.1.7.	Програмний комплекс для вирішення проблеми оптимізації	28.10.2025	
4.1.8.	Дослідницький проєкт балкеру	05.11.2025	
4.2.	Дослідження морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності		
4.2.1.	Формування теоретичної поверхні балкеру	07.11.2025	
4.2.2.	Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення)	12.11.2025	
4.2.3.	Розрахунок стійкості при великих кутах нахилу	15.11.2025	
4.2.4.	Розрахунок ходовості балкеру	17.11.2025	
4.2.5.	Технічний проєкт балкеру	08.12.2025	
4.2.6.	Пояснювальна записка	14.12.2025	
4.2.7.	Презентація	20.12.2025	

Студент _____ Дюков Владислав Олегович
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи _____ Некрасов Валерій Олександрович
(підпис) (ПІБ)

АНОТАЦІЯ

Дюков В.О. Концептуальне проектування суховантажного судна вантажопідйомністю 9000 тонн та дослідження його ефективності і надійності: кваліфікаційна робота. / Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. 2025. 90 стор.

Робота виконана згідно завданню кафедри теорії та проектування судна.

Метою кваліфікаційної роботи є розгляд усього спектру функціональних операцій балкеру, який працює за схемою послідовних рейсів, визначення характеристик цих операцій на основі використання сучасних ймовірнісних методів дослідження операцій, вибір необхідного критерію ефективності функціональних операцій балкеру для подальшого успішного вирішення задач вибору його основних розмірів та характеристик.

Результатом концептуального проектування став балкер (міні-балкер) вантажопідйомністю 9 000 тонн, архітектурно-конструктивний тип якого був однопалубним судном з чотирма трюмами, бульбоподібним носом, транцевою кормою, машинним відділенням та надбудовами, розташованими в кормі.

На етапі технічного проектування судна розглядалися проекти, що задовольняють вимоги класифікаційного товариства, а також додатково доповнюють отримане концептуальне рішення вимогами до експлуатаційної надійності судна. Для цього, на основі результатів концептуального проектування, була побудована 3D-модель корпусу судна та за допомогою програмного продукту Maxsurf, рекомендованого класифікаційним товариством, виконані розрахунки плавучості та остійності судна.

Дослідження концептуального та технічного проєкту балкеру, призначеного для експлуатації на лінії Південний (Україна) – Неаполь,

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

(Італія) (Чорне море – Середземне море), відповідає проєктному завданню та вимогам Міжнародної морської організації (ІМО) до основних морехідних якостей судна, що забезпечують його ефективність та надійність: плавучість та остійність.

Ключові слова: балкер, продукт-орієнтоване проєктування, систем-орієнтоване проєктування, система ESWBS, CER, модель інженерно-навігаційних властивостей, моделі віртуальних просторів експлуатації балкеру, модель експлуатації балкеру.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		5

ANNOTATION

Vladyslav Dyukov. Conceptual design of a dry cargo ship with a carrying capacity of 9000 tons and research into its efficiency and reliability: qualification work. / Admiral Makarov National University of Shipbuilding. 2025. 90 pp.

The work was carried out in accordance with the task of the Department of Theory and Design of the Vessel.

The purpose of the qualification work is to consider the entire range of functional operations of a bulk carrier operating on a sequential voyage scheme, to determine the characteristics of these operations based on the use of modern probabilistic methods of operations research, to select the necessary criterion for the effectiveness of the functional operations of a bulk carrier for further successful solution of the problems of selecting its main dimensions and characteristics.

The result of the conceptual design was a bulk carrier (mini-bulk carrier) with a carrying capacity of 9,000 tons, the architectural and structural type of which was a single-deck vessel with four holds, a bulbous bow, a transom stern, an engine room and superstructures located in the stern.

At the stage of the technical design of the vessel, projects were considered that meet the requirements of the classification society, and also additionally supplement the obtained conceptual solution with requirements for the operational reliability of the vessel. For this purpose, based on the results of the conceptual design, a 3D model of the ship's hull was built and, using the Maxsurf software product recommended by the classification society, calculations of the ship's buoyancy and stability were performed.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6

The study of the conceptual and technical design of a bulk carrier intended for operation on the Yuzhny (Ukraine) - Naples, (Italy), (Black Sea - Mediterranean Sea) route meets the design task and requirements of the International Maritime Organization (IMO) for the main seagoing qualities of the ship, ensuring its efficiency and reliability: buoyancy and stability.

Keywords: bulk carrier, product-oriented design, systems-oriented design, ESWBS system, CER, model of engineering and navigational properties, models of virtual spaces of bulk carrier operation, model of bulk carrier operation.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

ЗМІСТ

Вступ	Стор. 9
РОЗДІЛ 1. ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНА, ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ	15
1.1. Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів	16
1.2. Аналіз методів вибору основних елементів балкеру ..	19
1.3. Продукт-орієнтоване проектування балкерів	28
1.3.1. Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт - ESWBS	28
1.3.2. Формування CER для будівництва балкеру	29
1.3.3. Визначення вартості робіт з проектування і побудови балкеру	33
1.4. Систем-орієнтоване проектування балкеру	35
1.4.1. Моделі віртуальних просторів експлуатації балкеру	35
1.4.2. Модель інженерно-навігаційних властивостей балкеру	43
1.4.3. Модель експлуатації балкеру	45
1.5. Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів	52
1.6. Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації	56
1.7. Програмний комплекс для вирішення проблеми оптимізації	58
1.8. Дослідницький проєкт балкеру	64
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ СУДНА, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ТОВАРИСТВА ДО ЙОГО НАДІЙНОСТІ	70
2.1. Формування теоретичної поверхні балкеру	70
2.2. Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення), забезпечення вимог класифікаційного товариства до вантажної марки балкеру	73
2.3. Розрахунок стійкості балкеру при великих кутах нахилу, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його остійності	76
2.4. Розрахунок ходовості балкеру	78
2.4.1. Буксирувальний опір та буксирувальна потужність ..	78
2.4.2. Проектування оптимального рушійного комплексу ..	81
ВИСНОВКИ	87
Список використаної літератури	89

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	24.KPM.135.6112M.ПЗ	8

ВСТУП

Актуальність теми. Економічні чинники сприяли розвитку балкерного флоту, що існує на цей час. Сьогодні балкери складають 40 % світового торгового флоту та варіюються в розмірах від міні-балкерів-однотрюмників до гігантських рудовозів дедвейтом понад 300000 тонн. Вони різні та за способом завантаження та вивантаження: одні залежать від берегових портових кранів і споруд, інші мають власні крани і вантажні системи, а деякі, навіть, здатні упаковувати вантаж при вивантаженні. Більшість класифікаційних товариств класифікують «балкер як судно, що перевозить сухий неупакований вантаж». Виходячи з усіх існуючих особливостей, балкари діляться на шість великих груп: міні-балкери; seawaymax; handysize; handymax; panamax; capesize.

Міні-балкери з дедвейтом до 10 000 тонн призначені, в основному, для каботажного плавання у відкритому морі та по внутрішніх водних шляхах. Саме ці судна використовуються для перевезення невеликих партій вантажів як на морі, так і по річках. Такі судна, маючи невеликі розміри, при перевезенні навалочних й насипних вантажів, при плаванні в штормових умовах відчувають суттєву хитавицю та конструктивні навантаження, особливо при перевезенні «важких» вантажів, а інтенсивність проведення операцій завантаження трюму судна збільшує ризик пошкодження його корпусу [10].

Метою кваліфікаційної роботи є розгляд усього спектру функціональних операцій балкеру, який працює за схемою послідовних рейсів, визначення характеристик цих операцій на основі використання сучасних ймовірнісних методів дослідження операцій, вибір необхідного критерію ефективності функціональних операцій балкеру для подальшого успішного вирішення задач вибору його основних розмірів та характеристик. Мета роботи досягається розв'язанням **наступних задач:**

- визначити основні тенденції розвитку світового флоту балкерів;

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- проаналізувати методи вибору основних елементів балкеру;
- дослідити продукт-орієнтоване проєктування балкерів, зокрема: розширити систему структурного підрозділу суднобудівних робіт – ESWBS, створити CER для будівництва балкеру, визначити вартість робіт з його проєктування та побудови;
- дослідити систем-орієнтоване проєктування балкеру;
- сформулювати задачі оптимізаційного вибору основних розмірів; описати алгоритм розв’язання задачі оптимізації;
- створити програмний комплекс для розв’язання проблеми оптимізації та виконати дослідницький проєкт балкеру;
- сформувати теоретичні поверхні балкеру;
- виконати такі розрахунки: 1) розрахунок статички (елементів теоретичного креслення), забезпечення вимог класифікаційного товариства до вантажної марки балкеру; 2) розрахунок стійкості балкеру при великих кутах нахилу, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його остійності; 3) розрахунок ходовості балкеру, забезпечення вимог класифікаційного товариства до міцності гребного валу та гребного гвинта балкеру.

Об’єктом дослідження є міні-балкер вантажопідйомністю 9000 тонн, а **предметом** – процес проєктування судна та дослідження його ефективності і надійності.

Вибір конструктивного рішення балкеру здійснюється на основі вивчення сукупності операцій, які реалізуються в процесі проєктування, будівництва, обслуговування та використання цього судна за призначенням.

Зазвичай процеси створення та використання балкеру за призначенням називають процесами його функціонування, а операції, що супроводжують процеси функціонування – функціональними операціями. Функціональні операції організовані таким чином, щоб призначення цього судна (його місія) було досягнуто з найбільшим позитивним ефектом.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	10
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Відповідно до цих орієнтирів будується процес прийняття рішень при проєктуванні балкеру. Прийняття рішень під час проєктування судна стає більш ефективним, коли детально вивчаються його функціональні операції, а на основі цього створюються критерії для оцінки ефективності цих операцій. Використовуючи ці критерії, приймаються рішення про вибір основних розмірів балкеру.

Методи побудови моделей функціонування та вибору основних елементів балкеру під час його проєктування зазвичай використовуються при концептуальному проєктуванні.

Концептуальне проєктування будь-якого судна здійснюється на початковому етапі процесу проєктування, коли здійснюється пошук такого конструктивного рішення судна, в результаті якого визначаються основні розміри та характеристики судна, необхідні для досягнення поставлених цілей його експлуатації.

Пошук конструктивного рішення суттєво залежить від умов будівництва судна та його обслуговування під час експлуатації. Тому на початковому етапі проєктування неминуче виникають два напрямки пошуку: продукт-орієнтоване та системно-орієнтоване проєктування. При цьому зусилля продукт-орієнтованого проєктування спрямовані на раннє визначення витрат на будівництво судна, його обслуговування та підтримку функціональних операцій під час експлуатації, а головною метою системно-орієнтованого проєктування є пошук розмірів та характеристик такого варіанту, який за розумних витрат на етапах виробництва, має найвищу ефективність у заданих умовах активного періоду використання судна [4].

Вибір оптимального варіанту конструктивного рішення здійснюється на етапі концептуального проєктування судна з точки зору його ефективності та надійності. У цьому випадку, як правило, використовується комбінація цих показників, яка характеризує досягнутий рівень ефективності та безпеки плавання судна.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Математичним апаратом для вибору оптимального проектного рішення судна на етапі концептуального проектування є апарат теорії дослідження операцій [11]. Використання цієї теорії забезпечує [4]:

- визначення типу та умов експлуатації судна;
- формування середовища існування судна, що забезпечується створенням віртуальних просторів його існування під час проектування, будівництва, реконструкції та використання за призначенням, тобто – будівництво так званих функціональних просторів судна;
- створення віртуальної моделі судна, що супроводжується формуванням моделей його інженерних та навігаційних (морехідних) властивостей;
- моделювання процесів створення, забезпечення життєдіяльності та ефективного використання судна в просторах експлуатації, тобто – формування так званих завдань функціонування;
- визначення показників ефективності та надійності балкеру при виконанні операцій в просторах експлуатації;
- формування методів вирішення проблем функціонування судна;
- організація процесу пошуку оптимального конструктивного рішення судна шляхом поетапного занурення в простори функціонування та трансформації основних розмірів і характеристик у процесі спрямованої зміни показників ефективності та надійності;
- призначення ознаки зупинки процесу пошуку оптимального конструктивного рішення в момент досягнення комплексним показником ефективності та надійності свого екстремального значення, яке визначає завершення процесу оптимізації конструктивного рішення.

Отже, одним з основних питань концептуального проектування є створення моделей функціонування балкеру певного типу в певних умовах

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

його експлуатації, постановка проблем функціонування та розробка методів їх вирішення.

Всі явища, які супроводжують функціональні операції зі створення та експлуатації суден, є випадковими явищами, то для математичного опису цих явищ наразі використовується апарат теорії ймовірностей. У цій теорії розглядаються три основні об'єкти: випадкові події, випадкові величини та випадкові функції [12].

Тому при виконанні кваліфікаційної роботи виклад загальних проблем функціонування розглянутого балкеру супроводжується побудовою моделей функціонування, формулюванням проблем функціонування та пошуком методів вирішення цих проблем на основі використання вищезазначених об'єктів теорії ймовірностей.

У концептуальному проектуванні розглядається вся сукупність операцій зі створення та експлуатації балкеру. Причому кожна з операцій має дві основні характеристики – ресурс експлуатації та час експлуатації. Типові періоди часу, що розглядаються в концептуальному проектуванні, включають термін служби судна, рік його експлуатації, час кругового рейсу та інші, а узагальненим показником ресурсу зазвичай є вартість праці та матеріальних складових операції [4].

Для суднобудівних заводів розбивка конструкції суден стандартизована. Вона регламентується такими стандартами, як SWBS (Ship Work Breakdown System) або ESWBS (Expanded Ship Work Breakdown System), які базуються на відповідному поділі маси судна на частини. У міру будівництва суден суднобудівні заводи накопичують інформацію про маси на розбиття. Відповідно до цих стандартів суднобудівні підприємства накопичують інформацію про вартість деталей та супутніх робіт. Така інформація формує систему співвідношень згідно з оцінками вартості робіт та матеріалів CER (Cost Estimate Relations).

На етапах технічного та концептуального проектування детальна інформація про балкер, природно, відсутня. На цих етапах

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		13

використовуються дані про перерізи робіт з виробництва балкеру та відповідні значення мас ESWBS (Empirical Ship Work Breakdown System), а також дані про перерізи системи ECER (Empirical Cost Estimate Relations), отримані шляхом обробки статистичних даних про побудовані судна.

Визначення емпіричних зв'язків системи розподілу робіт судна (Емпірична система розподілу робіт та матеріалів) та емпіричних зв'язків системи оцінки вартості робіт та матеріалів (Емпірична система оцінки вартості робіт та матеріалів) останнім часом отримало особливу увагу у зв'язку з різким зростанням вартості матеріалів та компонентів, що використовуються при будівництві суден.

Результатом концептуального проектування став балкер (міні-балкер) вантажопідйомністю 9 000 тонн, архітектурно-конструктивний тип якого був однопалубним судном з чотирма трюмами, бульбоподібним носом, транцевою кормою, машинним відділенням та надбудовами, розташованими в кормі. На етапі технічного проектування судна розглядалися так звані клас-проекти, тобто проекти, що задовольняють вимоги класифікаційного товариства, а також додатково доповнюють отримане концептуальне рішення вимогами до експлуатаційної надійності судна. Для цього, на основі результатів концептуального проектування, була побудована 3D-модель корпусу судна та за допомогою програмного продукту Maxsurf, рекомендованого класифікаційним товариством, виконані розрахунки плавучості та остійності судна. 3D-модель корпусу також була вдосконалена в Maxsurf за допомогою рендерингу, щоб дати уявлення про зовнішній вигляд проєктованого балкеру з його вантажем та надбудовами. Таким чином, дослідження концептуального та технічного проєкту балкеру, призначеного для експлуатації на лінії Південний (Україна) – Неаполь, (Італія), (Чорне море - Середземне море), відповідає проєктному завданню та вимогам Міжнародної морської організації (ІМО) до основних морехідних якостей судна, що забезпечують його ефективність та надійність: плавучість та остійність.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		14

					24.КРМ.135.6112М.ПЗ			
Змн.	Арк.З	№ докум.	Підпис№	Дата				
					Розділ 1 Вибір основних елементів судна, визначення його ефективності	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Дюков В.О.							
Консульт.	Пашенко Ю.М.						15	52
Керівник	Некрасов В.О.					НУК		
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.							

РОЗДІЛ 1.
ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНА, ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО
ЕФЕКТИВНОСТІ

**1.1. Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту
балкерів**

Морський транспортний комплекс є багатофункціональною структурою, що задовольняє потреби національної економіки у транспортному забезпеченні. Морські порти є складовою частиною транспортної і виробничої інфраструктури держави з огляду на їх розташування на напрямках міжнародних транспортних коридорів. Від ефективності функціонування морських портів, рівня їх технологічного та технічного оснащення, відповідності системи управління та розвитку інфраструктури сучасним міжнародним вимогам залежить конкурентоспроможність вітчизняного транспортного комплексу на світовому ринку [1].

На сьогодні портова система України налічує 18 морських портів, 13 з яких знаходяться на континентальній території України, і 5 портів – на тимчасово окупованій території АР Крим. Загальна потужність континентальних портів та терміналів становить 313,3 млн. т.

До вагомих переваг морської портової галузі України можна віднести [1]:

- вигідне розташування морських портів, що забезпечує транзитні вантажопотоки;
- наявність потужностей з обробки вантажів;
- достатньо високий експортний потенціал вантажів чорних металів, вугілля, залізорудного концентрату та зернових;
- наявність нормативно-правової бази щодо можливості залучення приватних інвестицій для розвитку портової галузі;
- наявність висококваліфікованих фахівців портової галузі.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		16

У світі існує близько трьох тисяч морських портів, хоча точна кількість може відрізнятися залежно від критеріїв класифікації. Найбільшими морськими портами світу на 2025 рік є Шанхай, Сінгапур та Нінбо-Чжоушань, що підтверджується як обсягами вантажоперевезень, так і рейтингами портів. Китайські порти домінують у світовому рейтингу, але також важливі транспортні вузли, які розташовані в Сінгапурі, Південній Кореї, Нідерландах та США.

Можна відзначити найбільші морські порти світу за вантажообігом та контейнерними перевозками, без яких сучасна торгівля і логістика була б просто неможливою [2, 3]:

- Шанхай (Китай) – 43,500 TEU, очолює рейтинг найбільших контейнерних перевезень й позиціонує себе як найкращий порт у світі як з точки зору морського сполучення, так й автоматизації своїх об'єктів;
- Сінгапур (Сінгапур) – 36,600 TEU, другий за значенням порт у світі, який з'єднує понад 600 портів у 123 країнах;
- Нінбо-Чжоушань (Китай) – 28,720 TEU, має контейнерні термінали, але зарекомендував себе як великий порт для зберігання, доставки та перевалки палива;
- Шеньчжень (Китай), має 140 причалів, у тому числі 51 причал для суден дедвейтом 11 000 тон (DWT) і більше;
- Циндао (Китай) – 22,000 TEU, розташований на так званому Новому шовковому шляху, і його будівництво фінансується виключно двома великими портовими операторами. Це повністю автоматизований порт.
- Пусан (Південна Корея) – 21,590 TEU, у 2022 році став одним із портів, у якому спостерігалось найбільше зростання трафіку через закриття деяких китайських портів через спалахи COVID-19;
- Гонконг (Гонконг) – 20,070 TEU, завдяки відкритому підходу уряду до управління інфраструктурою ми починаємо бачити перші ознаки

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

інновацій, які виділяють цей центр у країні;

- Тяньцзінь (Китай) – 18,350 TEU, цей док є найбільшим у північному Китаї, а також головними воротами до Пекіна.
- Роттердам (Нідерланди) – 14,350 TEU, єдиний європейський порт, який входить до світового рейтингу, є стратегічним пунктом та воротами для товарів на європейський континент на основних світових морських шляхах..

Балкери становлять значну частину світового торговельного флоту, складаючи майже чверть суден, а також понад 10% від загальної кількості. Разом з генеральними вантажними суднами та танкерами, вони формують основну масу морських вантажів, що перевозяться у світі.

Балкери становлять приблизно 10,4% від усього світового торговельного флоту, що робить їх одними з найпоширеніших типів суден. Вони використовуються для перевезення великих партій сипучих вантажів, таких як руда, вугілля, зерно та добрива. Найбільше судноплавство спостерігається в Азії (Східна, Південно-Східна та Південна), Середземномор'ї та Західній Європі. Більшість старих суден (старше 25 років) припадає на малі судна, тоді як великі та надвеликі балкери, як правило, новіші.

За даними UNCTAD STAT 2022, у світі є 102 899 кораблів:

- нафтоналивники – 11 565;
- балкери – 12714, з яких в Греції (1326), в Японії (1041) та Китаї (979).

Балкери складають 53 % світового флоту.

Отже, балкери залишаються важливим інструментом у глобальній логістиці, демонструючи здатність адаптуватися до викликів та потреб сучасного світу.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1.2. Аналіз методів вибору основних елементів балкеру

Головним та важливим питанням під час проєктування будь-якого судна є визначення основних елементів судна, які залежать від навігаційних та експлуатаційних показників.

Для вирішення цієї проблеми зазвичай використовують аналітичний метод, який тісно пов'язаний зі статистичним методом. Аналітичний метод служить інструментом, а статистичний – основою, що дозволяє досягти ефективних результатів. Статистичні дані можуть включати результати проєктування, будівництва та експлуатації суден.

У проєктуванні суден часто застосовують методи порівняння, градієнтного пошуку та випадкового пошуку. Залежно від складності завдання, один із цих методів стає основним. Метод порівняння передбачає аналіз ключових характеристик суден, які порівнюються, таких як конструкція, експлуатаційні показники та інші. Одним з варіантів методу порівняння є метод перерахунку від прототипу, який використовується, коли проєктоване судно має багато спільного з існуючим прототипом.

Важливим та найбільш використовуваним є метод послідовних наближень. Його застосовують, коли для подальшого вдосконалення потрібне попереднє, приблизне рішення. Цей метод характеризується поступовим наближенням до рішення, застосуванням для функцій з невеликою кількістю змінних і послідовним збільшенням точності шляхом поступового введення додаткових змінних.

Метод варіацій дозволяє обирати найбільш оптимальні комбінації компонентів згідно з заданими вимогами. Обмеженням цього методу є обмежена кількість варіантів, які можна розглянути. Прикладом застосування цього методу є ранжування компонентів для балкеру, де враховуються експлуатаційні характеристики, рушійність, керованість, стійкість і відповідність основним співвідношенням встановленим обмеженням.

Метод градієнта, який є економічним, оскільки дозволяє знаходити локальні максимуми. Однак, для досягнення глобального максимуму (екстремуму) потрібні малі ітерації, що збільшує час, необхідний для отримання оптимального рішення. 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.

Метод Пауелла відноситься до методів прямого пошуку, які не використовують похідні [4]. За допомогою цього методу місцезнаходження екстремуму багатовимірної цільової функції $f(\mathbf{x})$ визначається шляхом виконання послідовних одновимірних пошуків, починаючи з початкової точки $\mathbf{x}_0$ (k), вздовж системи створених спряжених (перпендикулярних) напрямків. Перехід від точки $\mathbf{x}_0$ (k) до точки $\mathbf{x}_m$ (k) визначається за формулою

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

На рисунку 1.1. показано процедуру реалізації цього методу для цільової функції, яка представлена виразом:

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

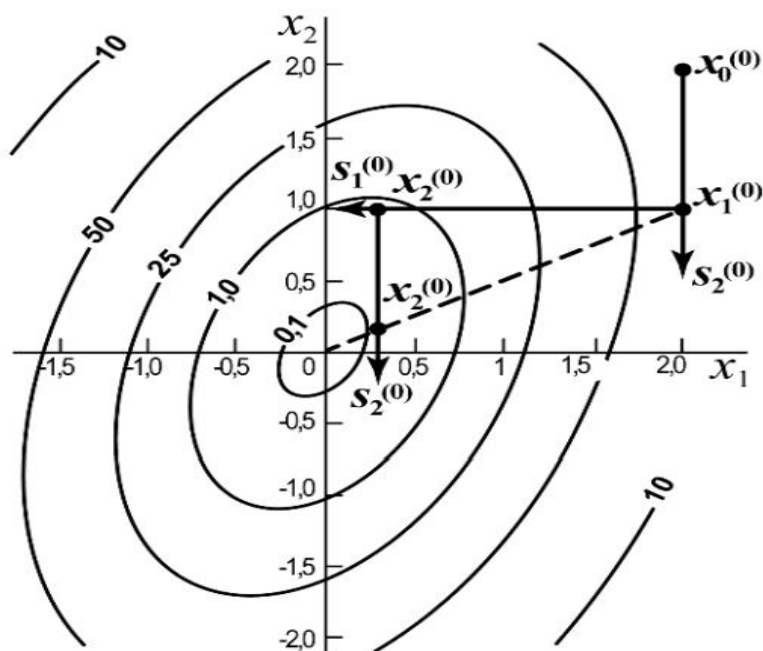


Рис. 1.1. Траєкторія пошуку при мінімізації цільової функції методом Пауелла спряжених (перпендикулярних) напрямків

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]:

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

з обмеженням:

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

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

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

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

Функція $f(x)$ та результат її перетворення у функцію $P(x)$ за допомогою методу штрафу представлені на рисунку 1.2.

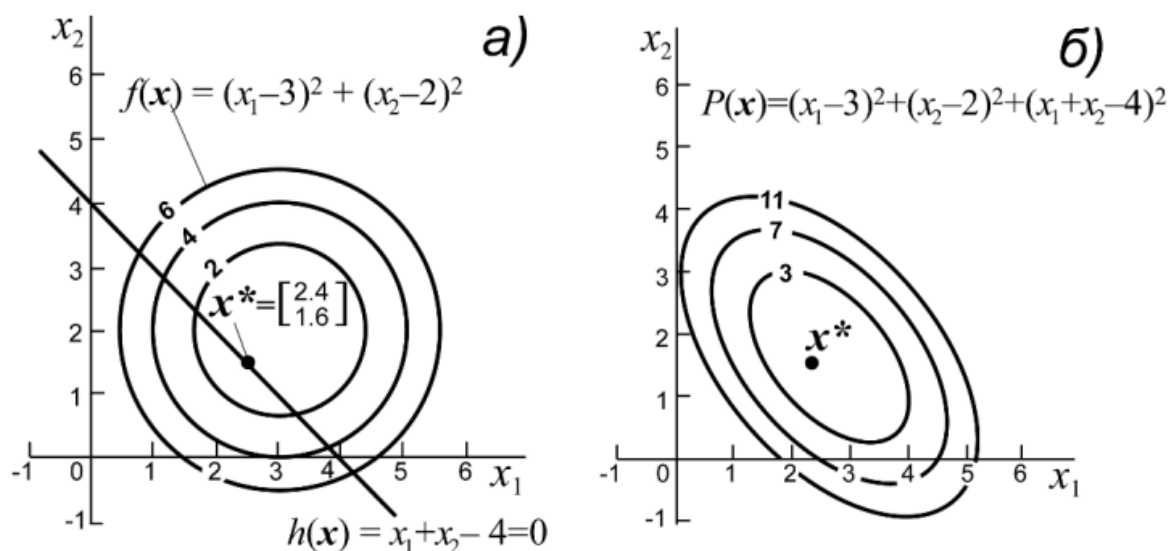


Рис. 1.2. Графічне зображення перетворення задачі нелінійного програмування з обмеженням

(а) у задачу без обмежень; (б) за допомогою методу штрафної функції

В таблиці 1.1. представлені характеристика та правила використання методів вибору основних елементів балкеру.

Таблиця 1.1

Методи вибору основних елементів балкеру

Методи	Характеристика	Правила використання методу
1	2	3
Аналітичний метод	спосіб дослідження, що включає аналіз, розбиття складного на частини для вивчення кожної окремо, а також систематизований підхід до вирішення задачі	Застосування методу включають: - чітке визначення мети дослідження; - перевірку придатності методу для конкретного застосування; - кваліфікацію персоналу; - регулярну оцінку технічних показників та забезпечення порівнянності результатів. Важливо мати чіткі процедури контролю якості, забезпечувати чіткість викладу та своєчасність, та чіткий план поширення результатів.

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Статистичний метод	сукупність прийомів та методів, що використовуються для збору, обробки та аналізу інформації, а також для формування висновків про об'єкт дослідження на основі цих даних	При застосуванні статистичного методу важливо: - враховувати статистичні дані, які отримані на основі перевірених і надійних відомостей, зібраних для значної кількості суден; - судна, які слугують джерелом статистичних даних, повинні мати однакове призначення, архітектурно-конструктивний тип та працювати в умовах, аналогічних умовам експлуатації проєктованого судна; - числові значення мають бути оброблені за однаковими методами аналізу; середні статистичні показники слід використовувати критично, враховуючи специфіку завдання та прагнення досягти оптимальних техніко-експлуатаційних характеристик проєктованого судна.
Метод порівняння	дослідницький прийом, який полягає у зіставленні двох або більше об'єктів, явищ чи процесів для виявлення їхніх спільних рис та відмінностей	Правила застосування включають: - чітке визначення об'єктів дослідження та критеріїв, що дозволяють їх порівнювати; - формулювання однакових питань для всіх об'єктів; - виявлення схожих і відмінних рис та характеристик на основі зібраних даних. Метод порівняння заснований на зіставленні даних технічного завдання з даними проєктів суден, аналогічних проєктованому, а також з даними з будівництва та експлуатації цих суден. На підставі аналізу результатів зіставлення цих даних проводиться вибір головних

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

24.KPM.135.6112M.ПЗ

елементів проєктованого судна.

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Метод градієнта	чисельний метод оптимізації, який використовується для знаходження мінімуму (або максимуму) функції шляхом багаторазового крокування в напрямку, протилежному градієнту	Застосування методу: - 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.
Метод випадкового пошуку	група методів числової оптимізації, які не вимагають обчислення градієнту для розв'язання задач оптимізації; випадковий пошук можна використовувати для функцій, що не є неперервними або диференційованими	Метод випадкового пошуку застосовують, визначивши початкову точку в просторі змінних, задавши довжини пробного та робочого кроків, а потім обчислюючи координати для вектору пошуку. Алгоритм включає обчислення координат точок, порівняння результатів на кожному кроці та перехід до наступної точки за певними правилами, доки не буде досягнуто критерію зупинки.

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Метод послідовних наближень	зручний інструмент для пошуку коренів нелінійних рівнянь у ситуаціях, коли точний аналітичний розв'язок знайти складно або неможливо	Цей метод на прикладі найважливішого окремого завдання – визначення головних елементів проєктованого 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 проєктованого судна D і потужність головних двигунів Ne , 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,

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
		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. Потім, поставивши поруч додаткові параметри, що характеризують ходовість судна (величина змоченої поверхні, коефіцієнти опору, число Фруда), визначають за допомогою перевірених на практиці емпіричних формул або даних модельних і натурних випробувань буксирувальної потужності судна і потужність головних механізмів у другому наближенні. Якщо знайдена таким шляхом буксирувальна потужність збігається з даними, отриманими в першому наближенні, то задача розрахунку потужності в другому наближенні вважається вирішеною; в іншому випадку слід визначити нові значення головних елементів судна і повторювати розрахунки до тих пір, поки не будуть співпадати значення потужності, знайдені в двох суміжних наближеннях. Якщо необхідне подальше уточнення головних елементів проектного судна, то можна ввести нові змінні величини, які не були враховані в першому рішенні, і знову вирішувати завдання за допомогою ряду послідовних наближень.

1	2	3
Метод варіацій	дає змогу обрати найбільш вигідніші комбінації з основного набору компонентів згідно вимог	Застосовуючи метод, можна зводити результати розрахунку елементів судна по всіх варіантах в одну таблицю, що дозволить зіставити характеристики судна, отримані для різних варіантів, і вибрати оптимальний варіант шляхом аналізу цих характеристик. Істотним недоліком методу варіацій, який обмежує кількість варіантів, є великий обсяг робіт. В окремих випадках це обмеження може призвести до того, що в варіантний ряд не буде включений оптимальний варіант головних елементів судна.
Метод Пауелла	це класичний приклад методу прямого пошуку, що не залежить від похідних, і є важливим інструментом в арсеналі числової оптимізації	Потужний ітеративний алгоритм оптимізації для пошуку мінімуму (або максимуму) функції, який справді належить до методів без похідних і використовує метод спряжених напрямків, щоб ефективно знаходити мінімум багатовимірної функції, не обчислюючи градієнт, що робить його ідеальним для складних функцій, де похідні важко або неможливо знайти.
Метод штрафних функцій	метод оптимізації, який перетворює задачу з обмеженнями на задачу без обмежень, додаючи до цільової функції штрафний член за порушення обмежень	Метод є фундаментальним і часто використовується як основа для складніших, сучасних алгоритмів оптимізації. Переваги: концептуальна простота, можливість використання стандартних методів оптимізації без обмежень. Недоліки: чутливість до вибору μ , проблеми з чисельною стійкістю при малих μ , велика кількість ітерацій.

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

1.3. Продукт-орієнтоване проєктування балкерів

1.3.1. Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт - ESWBS

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

Для ведення економічних розрахунків оцінки судна та нових проєктних рішень необхідно базуватись ESWBS або Розширеній структурі розподілу корабельних робіт. ESWBS є доповненою версією BSCI або Бюро судових консолідованих показників.

Складові структури судна згідно системи ESWBS наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Складові структури судна згідно системи ESWBS [5]:

Номер групи	Назва ESWBS	Характеристика групи
Група 100	Конструкції	Включає вагу обшивки, набору, палуб, перегородок, надбудов і фундаментів
Група 200	Пропульсивна установка	Включає вагу дизелів, турбін, редукторів, валопроводів і рушіїв
Група 300	Електрична установка	Включає вагу обладнання для вироблення електроенергії, силових кабелів, освітлювальних систем і аварійних систем електропостачання
Група 400	Управління та моніторинг	Включає вагу навігаційної системи, системи внутрішнього зв'язку, протипожежної системи, системи спостереження, радіолокаторів, гідролокатором, радіо-приймачів та інших систем управління і контролю
Група 500	Допоміжні системи	Включає вагу систем кондиціонування, вентиляції, охолодження і пожежогасіння, дистильаторів, вантажних трубопроводів і систем

		рульового управління
Група 600	Устаткування і фурнітура	Включає вагу слухних речей, ізоляції, фарбування, обладнання та фурнітури житлових приміщень, санітарних приміщень, офісів, медичних приміщень, сходів, комор, пральнь і майстерень

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Група 700	Озброєння	Включає вагу 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 тощо
Група M	Запаси	Включає вагу додаткових систем, змін та інших доповнень
Група 800	Інтеграція /Інжиніринг	Невагова категорія. Включає такі елементи, як креслення судна, 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 судна, його спуску і випробувань. Сюди входять будівельні ліси, страхування, елементи спуску, корабля, здавальних випробувань тощо

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 [5].

1.3.2. Формування ECER для будівництва балкери

ECER є певною системою, яка виконує певні прогнози вартості

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

будівництва та експлуатації судна впродовж всього життя судна. Проектування з допомогою цієї системи починається з групи 1000 та закінчується групою 100, тим самим служить основою для визначення кінцевого терміну будівництва судна. Вищезазначені групи розраховують значення прогнозів вартості будівництва та експлуатації нового судна за допомогою рівнянь регресії, а саме емпіричного співвідношення для оцінки витрат.

Таблиця 1.3 показує, як виглядають регресійні рівняння (ECERs) на рівні 2-го розряду SWBS, що відповідає стадії попереднього проектування. У кожному конкретному випадку формування оцінок витрат за виробництво кораблебудівної продукції конкретної верфі ці ECERs можуть бути взяті лише для формування першого наближення. Різні користувачі моделі витрат PODAC повинні використовувати ці ECERs разом зі своїми власними вартісними даними для розробки власних уявлень таких рівнянь, призначених на вирішення проблем вартості власної верфі [5].

Типові регресійні рівняння для даного концептуального проектування балкеру представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Типові регресійні рівняння [5]:

№	SWBS	Витрати на оплату праці, людино-години	Матеріальні витрати, дол.
1	100	$TF * DF * 177 * Weight_{100}^{0.862}$	$800 * Weight_{100}$
2	200	$TF * DF * 365 * Weight_{200}^{0.704}$	$15000 + 15000 * Weight_{200}$
3	300	$682 * Weight_{300}^{1.025}$	$20000 * Weight_{300}$
4	400	$1605 * Weight_{400}^{0.795}$	$20000 * Weight_{400}$
5	500	$TF * 34.8 * Weight_{500}^{1.24}$	$7000 + 10000 * Weight_{500}$
6	600	$310 * Weight_{600}^{0.949}$	$5000 + 7000 * Weight_{600}$

В таблиці TF – коефіцієнт складності судових робіт, які визначаються типом судна (для балкеру $TF = 0,85$), $Weight_{100}$ – маси поділу системи SWBS, визначені по статистичним даним в %-ах по відношенню до водотоннажності судна при повній вазі $Weight_{full}$ для судов та кораблів, дедейт яких складає відносно малу частину повної водотоннажності, чи

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

по відношенню до маси судна порожнем $Weight_{light}$ для судов, де дві третини яких складає основну частину повної водотоннажності.

Коефіцієнти також мають вагомий вплив на остаточний результат, а все тому що коефіцієнт TF залежить від типу проектуемого судна, в той час як коефіцієнт DF залежить від продуктивності суднобудівного заводу.

Значення коефіцієнтів TF для різних суден та значення коефіцієнтів продуктивності верфі DF наведені в таблицях 1.4 та 1.5.

Таблиця 1.4

Значення коефіцієнта TF для різних суден [5]

№	Тип корабля	Значення TF коефіцієнту
1	2	3
1	Танкер для сирої нафти	0.80
2	Цистерна для перевезення нафтопродуктів	1.13
3	Танкер-хімовоз	1.25
4	Танкер з подвійним корпусом	0.90
5	Балкер	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 1.5

Значення коефіцієнтів продуктивності верфі DF [5]

№	Країна-виробник/ тип судна	Значення факторів продуктивності			
		Сталь	Обладнання	Матеріали	Загальні
США					
1	Бойові кораблі (дуже великі)	5.00	-	-	-
2	Бойові кораблі (великі)	2.50	-	1.21	1.56
3	Подвійне використання	1.70	1.24	1.14	-
4	Сучасна комерційна компанія США (велика)	0.90	0.90	1.00	0.90
5	Сучасна комерційна компанія 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 (великі)	0.76	-	0.85	0.331
2	Південна Корея (великі)	0.71	-	0.72	0.283
3	Японія	-	-	-	0.198
4	Китай	-	-	-	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 проєктування і побудови балкеру

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.

Вартість робіт з проєктування визначається за допомогою алгоритму визначення вартості та тривалості робіт з основних етапів проєктування, побудови та планування подальшого виробництва.

Основними даними для роботи алгоритму є тип судна, який застосовується через коефіцієнт T_F ; повна водотоннажність M_{full} та обрану швидкість згідно технічного завдання.

Інші дані визначаються виключно даними конкретного суднобудівного виробництва та його станом на момент побудови судна за допомогою коефіцієнтів продуктивності та регресії ECER.

Визначення вартості проєктувальних робіт та побудови балкеру представлено в таблиці 1.6.

[illegible][illegible]

1.4. Систем-орієнтоване проєктування балкеру

1.4.1. Моделі віртуальних просторів експлуатації балкеру

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 [4].

Географічний простір суднових операцій. Географічний простір експлуатації судна формується завдяки поєднанню середовищ географічної експлуатації, погодних (навігаційних) умов, виробничих та фінансових відносин.

Географічне положення залежить від відстані між портами. В даному випадку, географічне положення залежить від відстані між портами Південний (Україна) та Неаполь (Італія), що охоплює акваторію Середземного моря.

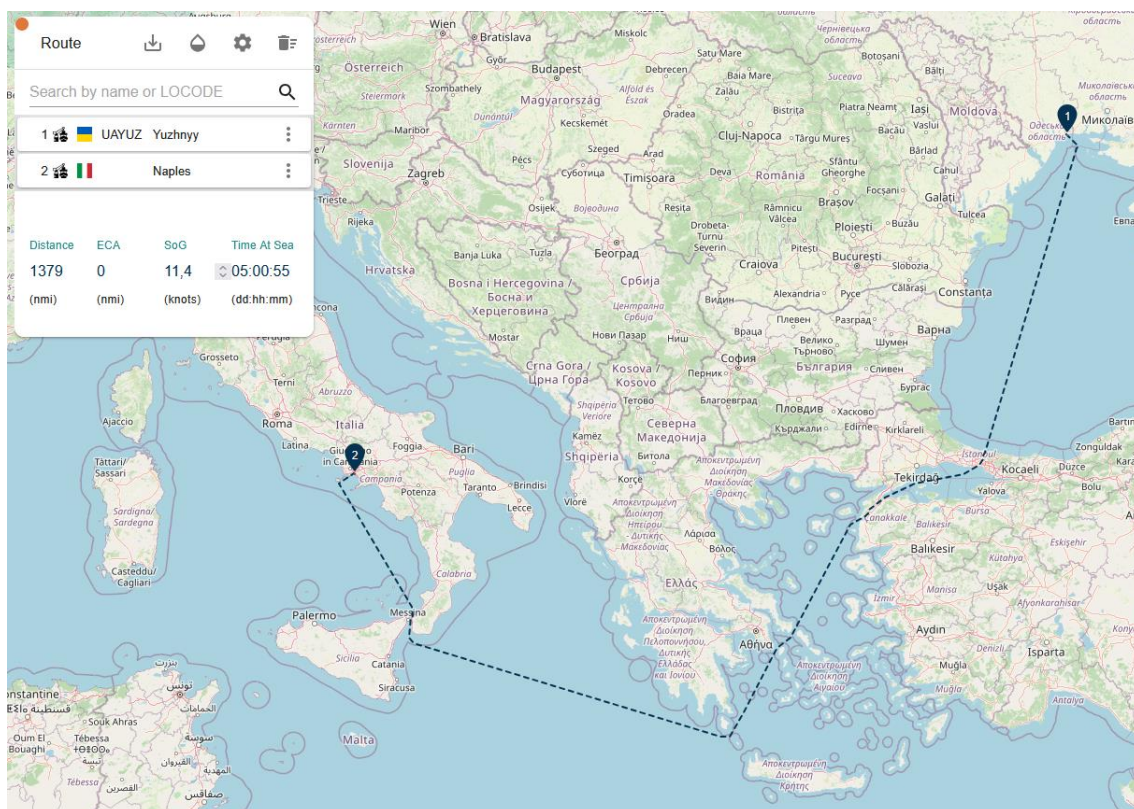


Рис. 1.3. Район експлуатації (Aquaplot Explorer)

На рисунку 1.3 показано інтерфейс морського маршрутизатора або системи відстеження суден, що відображає маршрут між двома портами:

- маршрут пролягає від порту UAYUZ Yuzhnyy (Україна, Одеська область) до Naples (Неаполь, Італія);
- загальна відстань маршруту становить 1379 морських миль (nmi);
- розрахункова тривалість переходу морем становить 5 днів. Середня швидкість судна під час цього переходу розрахована як 11,4 вузлів (knots).

Простір погодних умов району експлуатації. Основними складовими погодних умов є дії морських течій, вітру, хвиль, льодових умов. Положення судна та значення швидкості залежить від показників течії та дії вітру, які в свою чергу, є випадковими функціями від часу та положення судна під час маршрутних операцій. Завдяки довгострокових або режимних розподілів середніх швидкостей вітру та характеристик висот хвиль можна визначати інтенсивність впливу вітру та хвиль або за допомогою закону Вейбулла або Логнормальний розподіл.

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 [6]

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

Дані про довгострокові характеристики хвилювання
Чорного та Середземного морів [6]

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 h _{3%} , м	Район 1		Висота хвиль h _{3%} , м	Район 3		Висота хвиль h _{3%} , м	Район 4		Висота хвиль h _{3%} , м	Район 9		Висота хвиль h _{3%} , м	Район 3		Висота хвиль h _{3%} , 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

Для проєкту використовуємо Aquaplot Explorer [14], який показує напрями вітру, насиченість вітрів, температуру на транзитних територіях маршруту та тиск (дивитись рис.1.4, 1.5.,1.6.). Показники: Weather Overlat:Wind; Level:300 M.

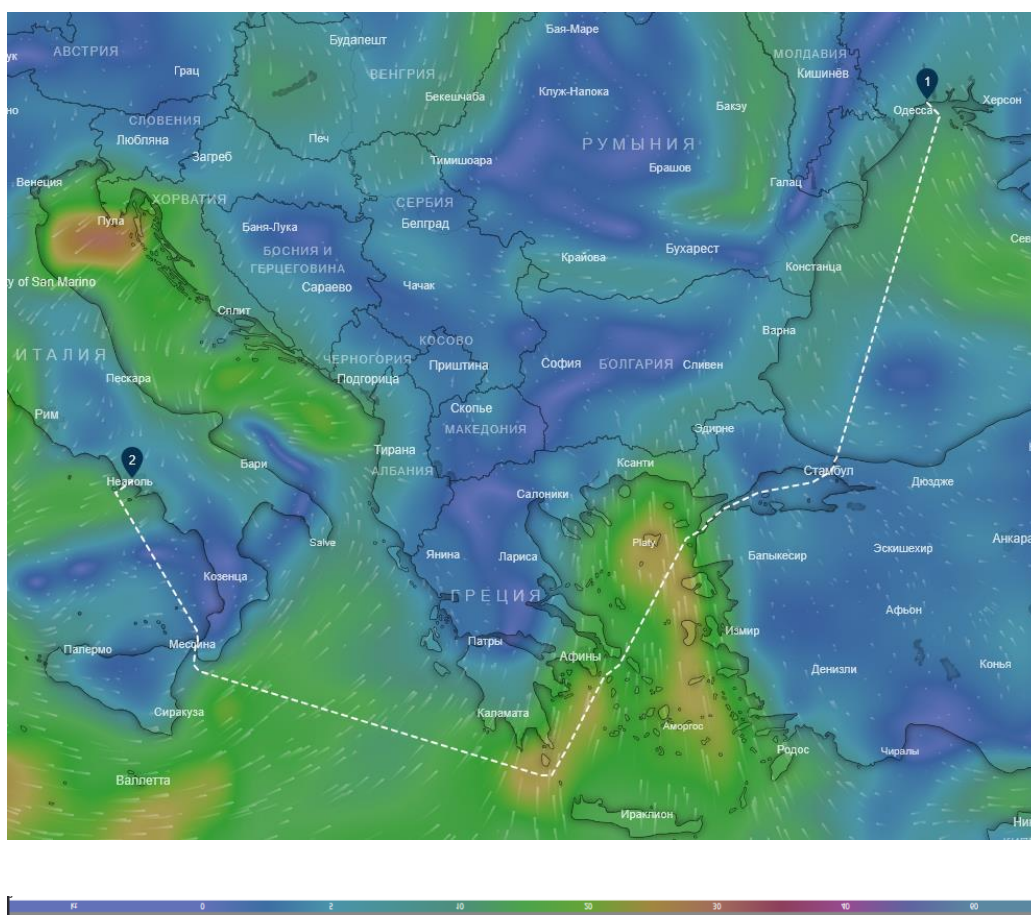


Рис. 1.4. Насиченість вітру на акваторії та території маршруту (20 МРh)

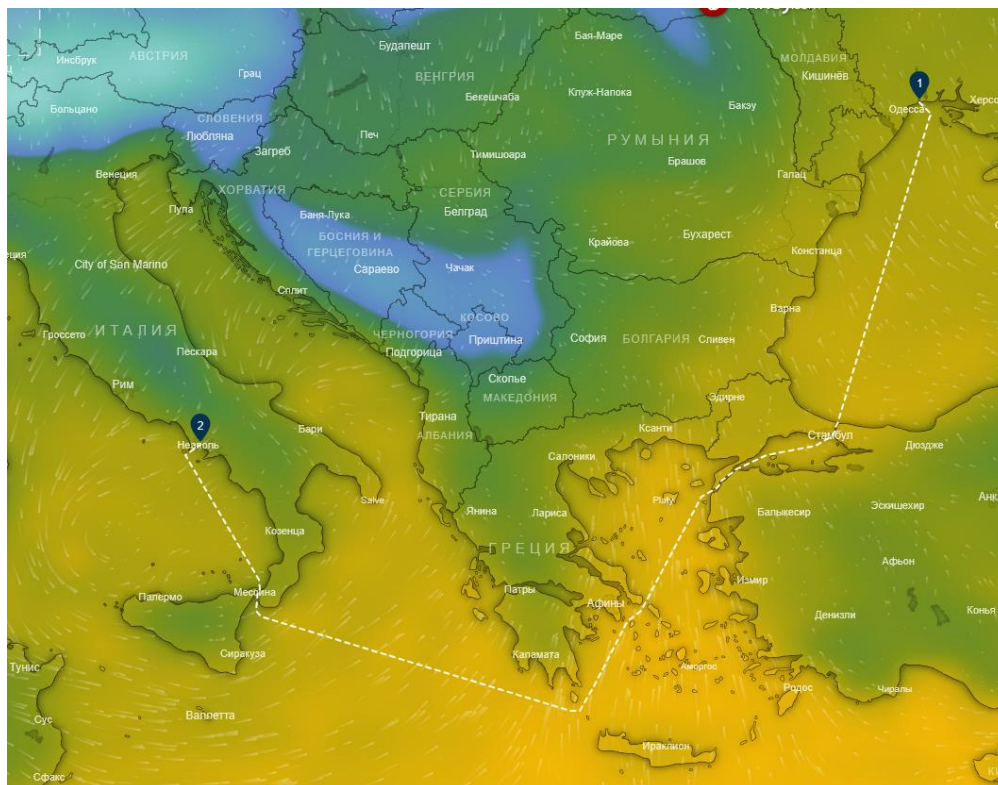


Рис. 1.5. Карта температурного поширення на транзитних територіях (18⁰С)

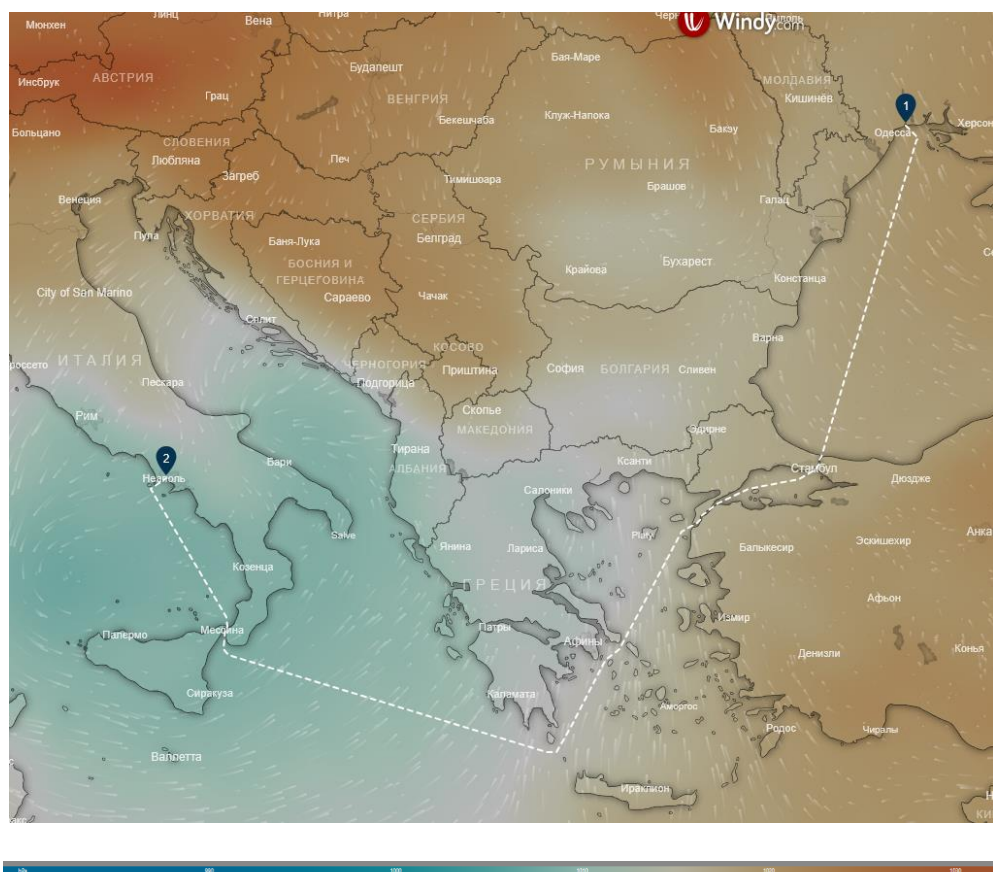


Рис. 1.6. Карта земного тиску 0-1030 hPa (1015)

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

24.KPM.135.6112M.ПЗ

Простір виробничих відносин робочого процесу. Даний простір характеризує основні види функціональних операцій судна та портових служб. Існують інші типи основних функціональних операцій судна шлях послідовного маршруту, такі як: транспортування вантажів на вільних лініях експлуатації (бродяги), маршрутом за розкладом, службового використання та для відпочинку і туризму.

Судна послідовного маршруту здійснюють кругові рейси від порту до порту. На зворотному шляху, як правило, йдуть з баластом. 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,

$t_{stb} = S_{bp}/v_b$ – час морського переходу на зворотному шляху.

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:

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

На рисунку 1.7 показана модель кругового рейсу балкера, який розглядається в проекті.

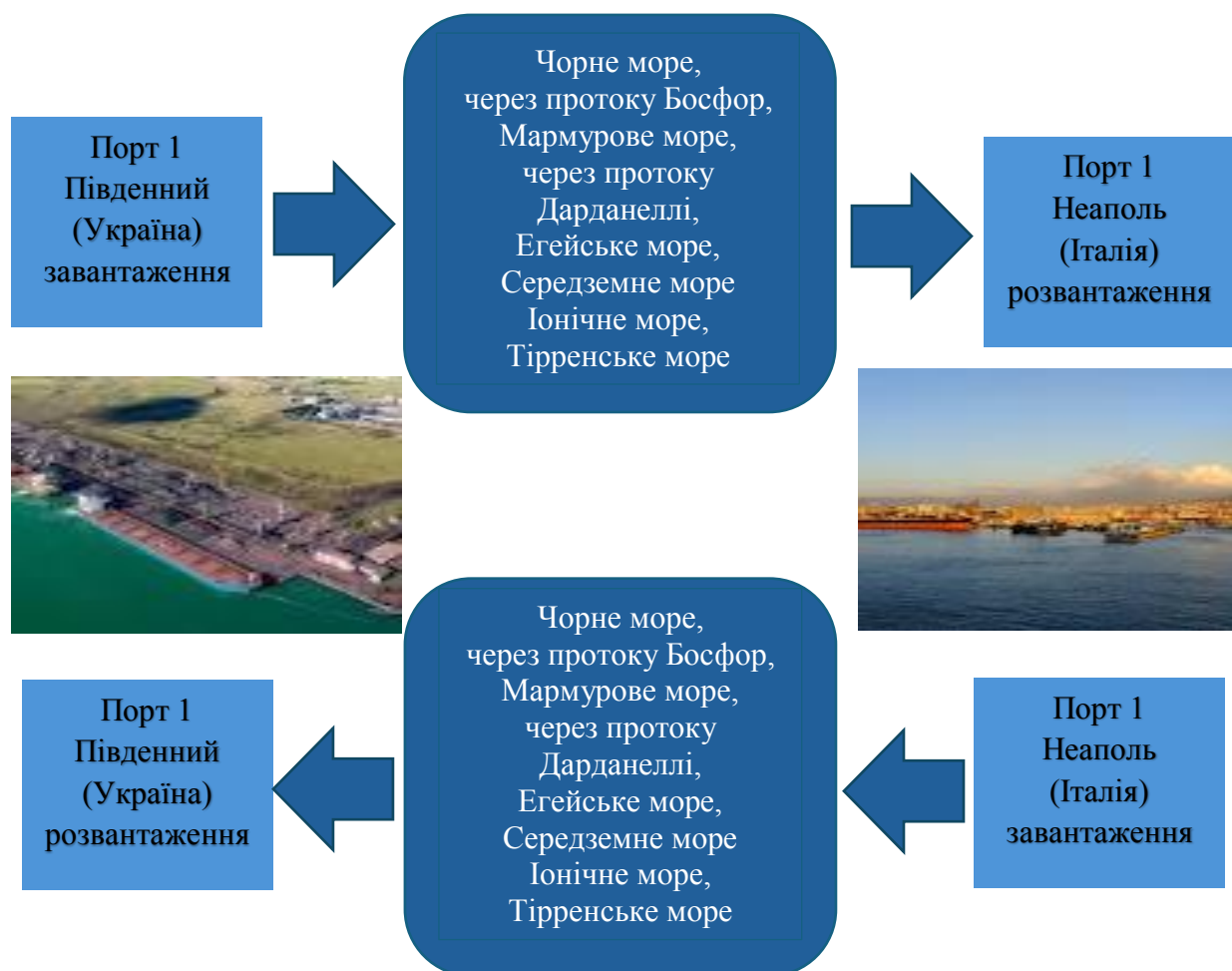


Рис. 1.7. Модель кругового рейсу балкера

Простір фінансових відносин робочого процесу. База фінансової частини віртуального простору це становище транспортного ринку і розподілу фінансових ресурсів між вантажовідправником, фрахтувальником та судновласником.

Для комерційного транспортного судна найбільш загальною характеристикою стану ринку перевезень є ймовірність укладання довгострокового контракту чи фрахту PF. Якщо така операція відбулася, то розподіл коштів між учасниками транспортних операцій: відправником вантажу, фрахтувальником і власником судна, може бути представлений схемою, яка наведена на рисунку 1.8 [6].

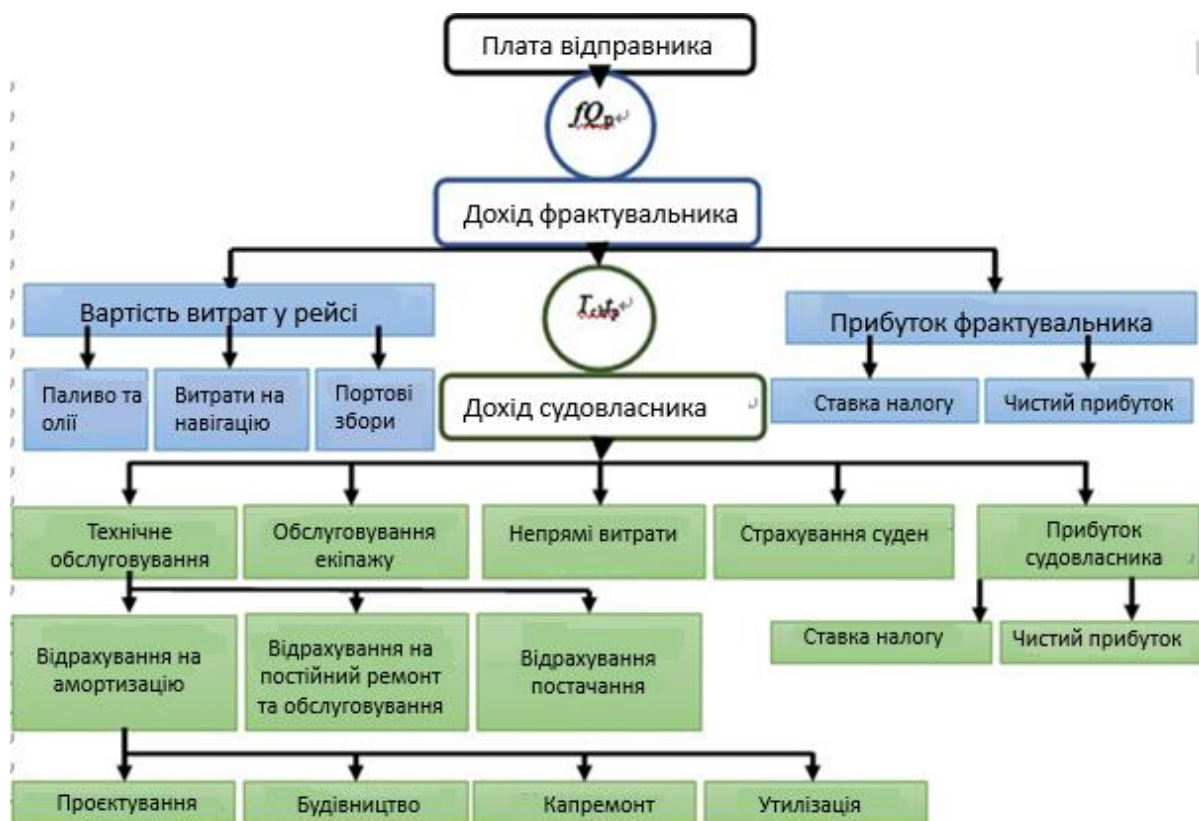


Рис. 1.8. Розподіл фінансів між учасниками транспортних операцій одного послідовного рейсу: вантажовідправником (Consignor) фрахтувальником (Charterer) и судновласником (Ship Owner)

Схема на рисунку 1.8 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 балкеру (рисунок 6) вводять такі позначення:

$$I_l = f Q_p, \quad (1.2)$$

де I_l – дохід фрахтувальника (або дохід судновласника, якщо фрахтувальник та судновласник – одна особа);

f – фрахтова ставка;

Q_p – кількість вантажу в рейсі судна:

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

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

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

$$P_{ch} = P_{ch} + \Delta P_{ch}, \quad (1.4)$$

P_{ch} – витрати на паливо та мастило:

$$P_{ch} = P_{ch} \cdot (P_{ch} + P_{ch} + P_{ch} + P_{ch}), \quad (1.5)$$

$$P_{ch} = P_{ch1} + P_{ch2};$$

$$P_{ch} = P_{ch1} + P_{ch2};$$

ΔP_{ch} – додаткові змінні витрати фрахтувальника, включаючи витрати на навігацію P_{ch} , витрати на завантаження/розвантаження P_{ch} , P_{ch} , портові збори P_{ch} та інші витрати, які пов'язані з рейсом.

$$P_{ch} \cdot (P_{ch} / 24) = P_{ch}$$

$$(1.6)$$

P_{ch} – дохід судновласника.

У виразах (1.5) та (1.6):

P_{ch} – ціна палива;

$P_{ch} = (1,02 \dots 1,04)$ – коефіцієнт, який враховує мастильні матеріали;

P_{ch} , P_{ch} , P_{ch} , P_{ch} – значення щогодинної витрати палива при русі судна в морі та його стоянці в портах;

P_{ch} – тривалість кругового рейсу;

P_{ch1} , P_{ch2} , P_{ch} , P_{ch1} , P_{ch2} , P_{ch} – компоненти P_{ch} (дивись (1.1));

P_{ch} – тайм-чартерний еквівалент, який включає витрати судновласника на обслуговування судна P_{ch} , утримання екіпажу P_{ch} ,

непрямі витрати $\Pi_{\text{нп}}$, страхування судна $\Pi_{\text{ст}}$ та прибуток судновласника до оподаткування $\Pi_{\text{оподаткування}}$ (дивись рисунок 1.6).

Таким чином, сумарні витрати $\Pi_{\text{с}}$ 1-го кругового рейсу судна послідовних рейсів, що розглядається, можна представити формулою

$$\Pi_{\text{с}} = \Pi_{\text{нп}} + \Delta \Pi_{\text{ст}} + \Pi_{\text{оподаткування}} + \Pi_{\text{нп}} + \Pi_{\text{ст}} + \Pi_{\text{оподаткування}},$$

(1.7)

та основні характеристики ефективності цього 1-го кругового рейсу – сумарний дохід $\Pi_{\text{д}}$ та сумарний прибуток $\Pi_{\text{п}}$ учасників транспортної операції – виразами:

$$\Pi_{\text{д}} = \Pi_{\text{нп}} + \Pi_{\text{ст}}; \quad \Pi_{\text{п}} = \Pi_{\text{нп}} + \Pi_{\text{ст}} + \Pi_{\text{оподаткування}} \quad (1.8)$$

1.4.2. Модель інженерно-навігаційних властивостей 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 [7].

Властивість місткості визначається необхідними обсягами суднових приміщень і площами палуб для розміщення механізмів, обладнання, систем, вантажів, що транспортуються. 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:

$$VC \geq |VC|; \quad AC \geq |AC| \quad (1.9)$$

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 $\rho g L B d_{CB}$ в положенні рівноваги судна на тихій воді:

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

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:

$$\square > 1; \quad h_0 > 0,05 \square; \quad \square_{\square} > 30 \text{ deg.}; \quad \square_{\square} > 60 \text{ deg.}; \dots \quad (1.13)$$

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

$$\square \square P = \square \square \square. \quad (1.14)$$

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Властивість керованості судна як сукупність властивостей стійкості на курсі та маневреності також визначається на етапі концептуального проєктування. 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 $|D_C|$:

$$D_C \leq |D_C|$$

(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 $\dot{\varphi}$ і прискорення $\ddot{\varphi}$ при русі судна під впливом вітрохвильових режимів району експлуатації не перевищують встановлені критичні значення $|s|$, $|\dot{\varphi}|$ та $|\ddot{\varphi}|$:

$$\varphi < |\varphi|, \quad \dot{s} < |\dot{s}|, \quad \ddot{\varphi} < |\ddot{\varphi}|.$$

(1.16)

Модель інженерно-навігаційних властивостей судна, створена для використання на етапі концептуального проєктування, 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 проєктування судна.

1.4.3. Модель експлуатації балкеру

Модель експлуатації (функціонування) балкеру створена для

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

дослідження операцій, що здійснюються судном на інтервалах ефективного періоду його життя.

Основна функціональна операція судна – транспортування вантажу – представляється круговим рейсом, який наведено на рисунку 1.5.

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 vd , швидкість руху на зворотному шляху vb і часи морських переходів $tst = tstd + tstb$, визначаються рішеннями диференціального рівняння руху судна в умовах району його експлуатації.

У загальному випадку таке рівняння подається у такому вигляді:

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

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):

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	46
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$m_{\text{судна}} = m_{\text{вантаж}} + m_{\text{палива та олії}} + m_{\text{прісної води}} + m_{\text{провізії}} + m_{\text{екіпажу з багажем тощо}} + m_{\text{інше}} + \dots, \quad (1.19)$$

тут $m_{\text{вантаж}}$ – маса вантажу; $m_{\text{палива та олії}}$ – маса палива та олії; $m_{\text{прісної води}}$ – маса прісної води; $m_{\text{провізії}}$ – маса провізії; $m_{\text{екіпажу}}$ – 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. 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. 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 [5].

1.4.3.1 Ймовірнісні характеристики надійності балкеру

Операція транспортування вантажу F під час кругового рейсу балкеру 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 [8]:

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

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 1.5, 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 нереалізацію.

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

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

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

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

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

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 балкеру

Вантажно-розвантажувальні операції балкеру та транспортування вантажу моделюються шляхом розв'язування рівнянь переносу маси та руху тіл у рідині. Складання таких рівнянь здійснюється за допомогою схеми рисунка 1.6. Розв'язання рівнянь виконується методом статистичних перевірок. Отримане рішення, яке спрямоване на реалізацію фінансових відносин комерційного використання судна, представлено схемою на рисунку 1.6.

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

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

де I_l – отриманий дохід, E_l – витрати.

Тут P_l , I_l та E_l є випадковими величинами. Випадковість цих значень визначається варіаціями фрахових 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:

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

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

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

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

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

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

1.4.3.3 Складні показники ефективності та надійності балкеру

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	51
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 [5]:

$$OF_1 = \sum_{l=1}^L P_{ll} (\bar{I}_l - \bar{E}_l) - \bar{B}; \quad (1.29)$$

$$OF_2 = \frac{\sum_{l=1}^L (\bar{E}_l) + \bar{B}}{\prod_{i=1}^I P_i}, \quad (1.30)$$

де P_{ll} – ймовірність отримання прибутку за l-ий круговий рейс; $\bar{\square}_{\square}$ – середній дохід за l-ий круговий рейс; $\bar{\square}_{\square}$ – середні витрати за l-ий круговий рейс; $\bar{\square} = \bar{\square}_{\square\square\square\square\square\square\square}$ – середня вартість створення (тобто проєктування 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 проєктне рішення на досягнення максимального прибутку в процесі експлуатації судна, другий OF_2 мінімізується для досягнення мінімальних витрат при виконанні судном базового набору своїх функціональних операцій.

Ймовірність отримання прибутку за l-ий круговий рейс P_{ll} 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 балкеру. За відсутності вищезазначених статистичних даних можемо зробити припущення про укладання контракту чи фрахту на

увесь термін експлуатації балкеру, 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 балкеру, що розглядається, як комплексний показник ефективності та надійності вибирається показник, представлений формулою (1.31).

1.5. Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкеру

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 [5].

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

Вони працюють 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, проєктними, 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 проєктування 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 та 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 (балкеру чи іншого судна) або їх сукупності (флоту) формують наступним чином [5]

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

в:

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

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

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

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

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 проєктування, 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 проєктування балкеру 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 балкеру, оптимальні значення яких потрібно визначити.

За незалежні змінні оптимізаційної задачі концептуального проєктування балкеру приймаються наступні параметри:

$x_1 = L$ – довжина балкеру;

$x_2 = B$ – ширина балкеру;

$x_3 = d$ – осадка балкеру;

$x_4 = D$ – висота борту балкеру;

$x_5 = C_B$ – коефіцієнт загальної повноти;

$x_6 = V$ – швидкість повного ходу балкеру.

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

Таблиця 1.9

Допустимі значення незалежних змінних

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

Розглянуті в таблиці 1.9 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.

Функціональні обмеження – це вимоги до інженерних і навігаційних якостей балкеру (місткості, міцності, остійності, непотоплюваності,

ходовості), 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 1.9 [5].

Критеріями оптимізації є екстремуми цільової функції (1.31).

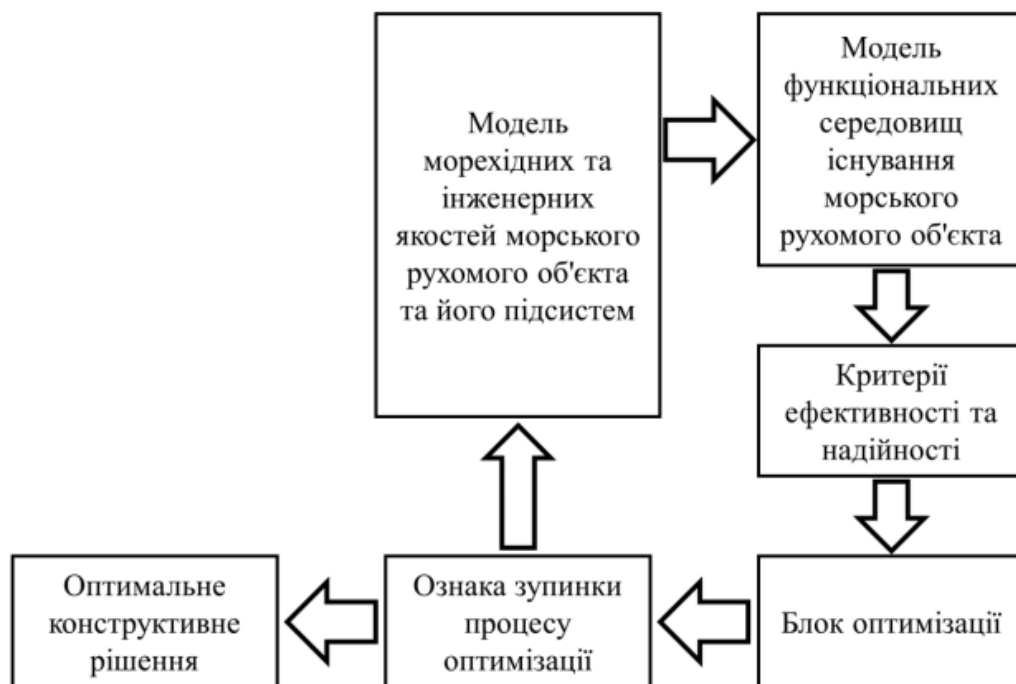


Рис. 1.9. Структурна схема пошуку оптимального рішення проблеми

За цією схемою рухомий морський об'єкт проходить кілька етапів, які називаються «зануреннями», під час яких він взаємодіє з середовищем, в якому живе. На кожному з цих етапів, за допомогою спеціальних моделей, виконуються основні операції, які він повинен виконувати. Під час кожного «занурення» визначаються показники, які показують, наскільки добре об'єкт пристосований до середовища та наскільки ефективно він виконує свої основні функції. Після цього в спеціальному блоку порівнюються різні варіанти проектів і вибирається найкращий шлях

до досягнення основної мети. Процес закінчується, коли виконуються всі необхідні умови для оптимізації.

Кожен етап пошуку передбачає перетворення ймовірнісних властивостей випадкових величин, які відображають стохастичний характер цін на компоненти об'єкта (наприклад, його експлуатаційні витрати, зміни погодних умов під час експлуатації тощо), у ймовірнісні характеристики результату операції (наприклад, показники отриманого прибутку, витрат на проектування, будівництво та експлуатацію тощо). Вважається, що при переході випадкових величин до різних значень, розділених у часі, вони залишаються представниками відповідних ділянок безперервних процесів Маркова [6].

Комплексний підхід до дослідження роботи рухомих морських об'єктів, оцінка їх ефективності з урахуванням показників продуктивності та надійності, а також створення найкращих проектних рішень як для окремих суден, так і для їх груп, призначених для досягнення певних практичних завдань, рекомендується застосовувати при розробці та збудуванні суден, або при виборі судна з існуючої 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. Моделюється середовище існування судна, яке враховує можливості порту та інших послуг судна, включаючи його утилізацію в кінці терміну служби. Погодні умови в районі експлуатації судна визначаються довготривалими розподілами характеристик вітру, хвиль і течій.

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

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

1.7. Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації

Нижче наведено інтерфейс програми для вибору основних розмірів балкеру для експлуатації в басейнах Чорного та Середземного морів (рисунки 1.10 - 1.18).

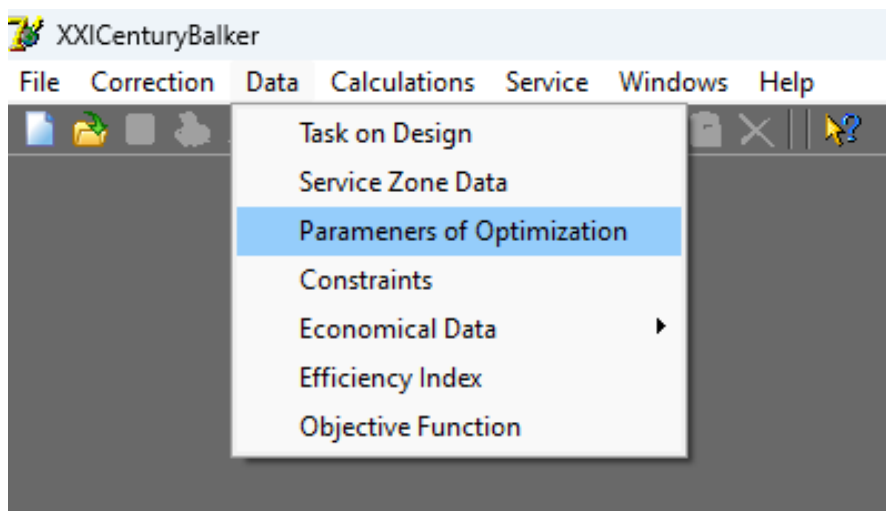


Рис. 1.10. Основні команди для вводу початкових даних

Initial Data

First Part of Task on Design

Endurance, days 25.0

Crew, persons 15

Seakeeping, states 7

Type of engine

☒ Average-speed

☐ High-speed

Number of Engines 1

Ok Cancel

Рис. 1.11. Вікно проєктного завдання

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 1500

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

Рис. 1.12. Вікно даних області 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 0.01000000 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

Рис. 1.13. Вікно даних параметрів оптимізації

Parameters of solution search

Parameters Variables Values

Name	Initial	Normalizing
Length L, m - X1	120.010	130.000
Breadth B, m - X2	20.074	19.500
Draught d, m - X3	8.101	8.300
Depth H, m - X4	10.738	11.000
Block coefficient Cb - X5	0.781	0.800
Full Speed, knots - X6	11.715	12.000

Ok Cancel

Рис. 1.14. Вікно незалежних змінних

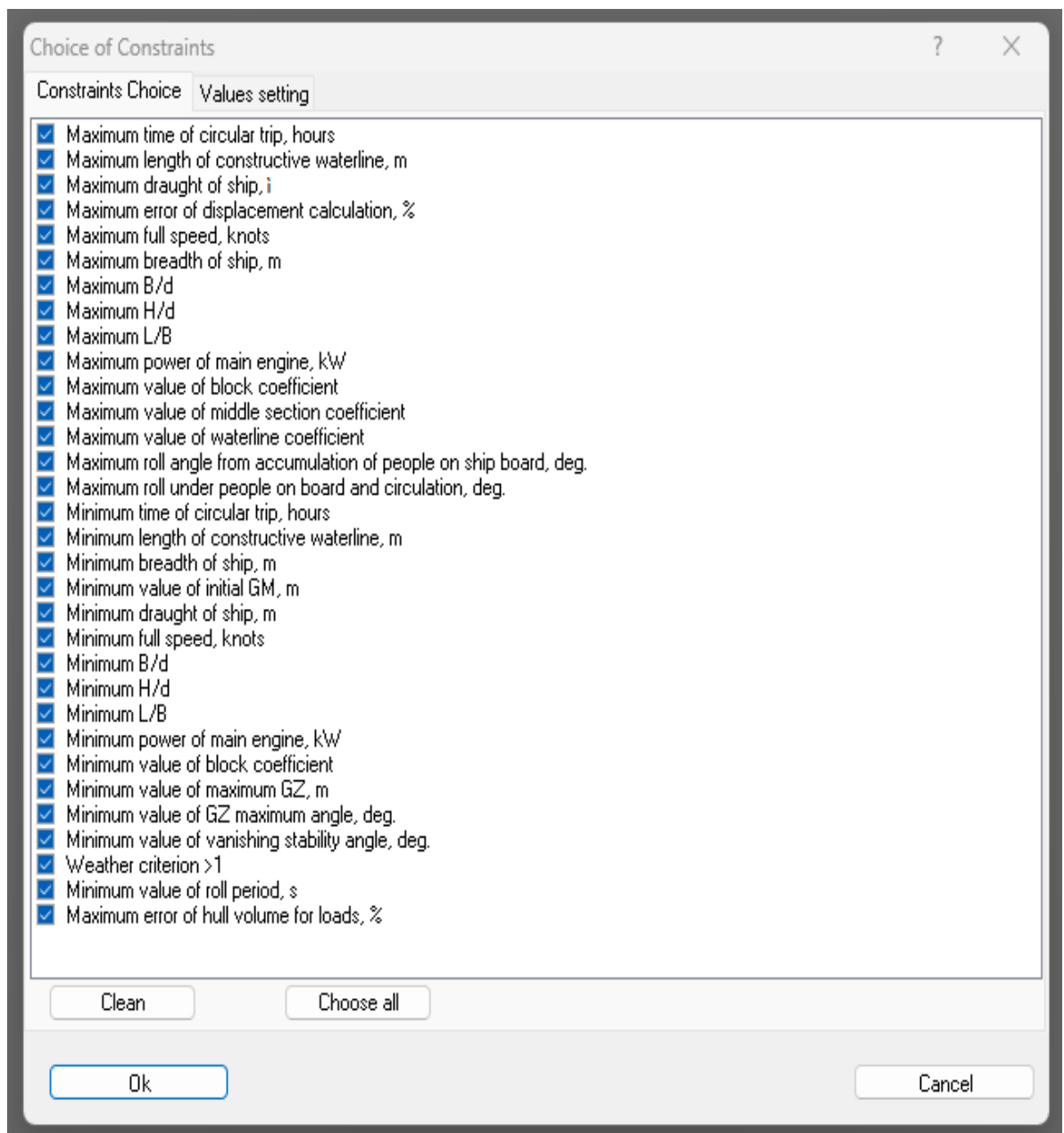


Рис. 1.15. Вікно вибору мінімальних та максимальних значень

Stochastic Data
?
X

I DESIGN EXPENSES

Rate of Design Costs, %

>>

II BUILDING EXPENSES

Cost of 1 ton of ship constructions, \$/t

>>

Cost of 1 ton of Propulsive Plant, \$/t

>>

Cost of 1 ton of Electrical Plant, \$/t

>>

Cost of 1 ton of Control and Surveillance, \$/t

>>

Cost of 1 ton of Auxiliary Systems, \$/t

>>

Cost of 1 ton Outfit and furnishings, \$/t

>>

Rate of Productivity of 1 Woker, reg. t

>>

Average Salary of Shipbuilder, \$/month

>>

Duration of Ship Construction, months

>>

III MAJOR OVERHAUL AND RECYCLING EXPENSES

Rate of Major Overhaul Costs, %

>>

Cost of 1 ton Ship Scrapping, \$/t

>>

IV OPERATION EXPENSES

Price of 1 ton of Foil, \$/t

>>

Price Of 1 ton of Oil, \$/t

>>

Rate of Supply Costs, %

>>

Repair and Maintenance Costs, %

>>

Average Salary of Crew, \$/month

>>

Rate of Undirect Expensies, %

>>

Rate of Ship Insurance, %

>>

OK

Cancel

Рис. 1.16. Стохастичні дані економічної частини

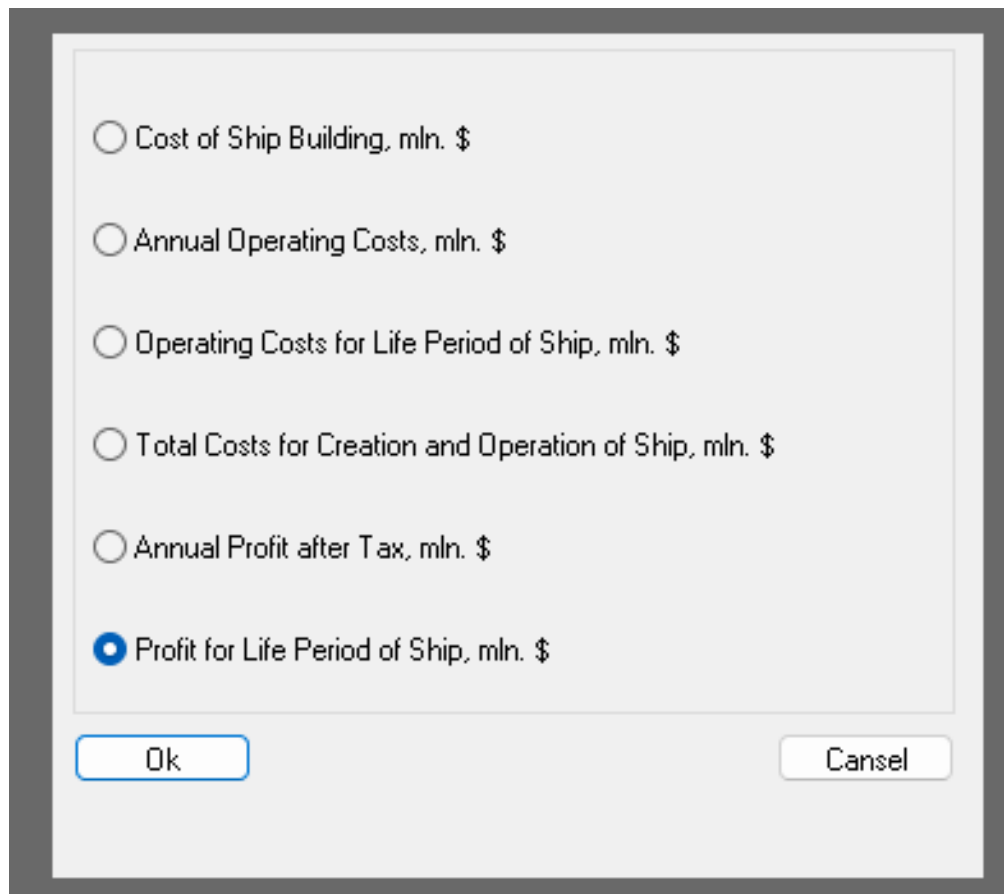


Рис. 1.17. Вікно вибору головного розрахункового показника ефективності

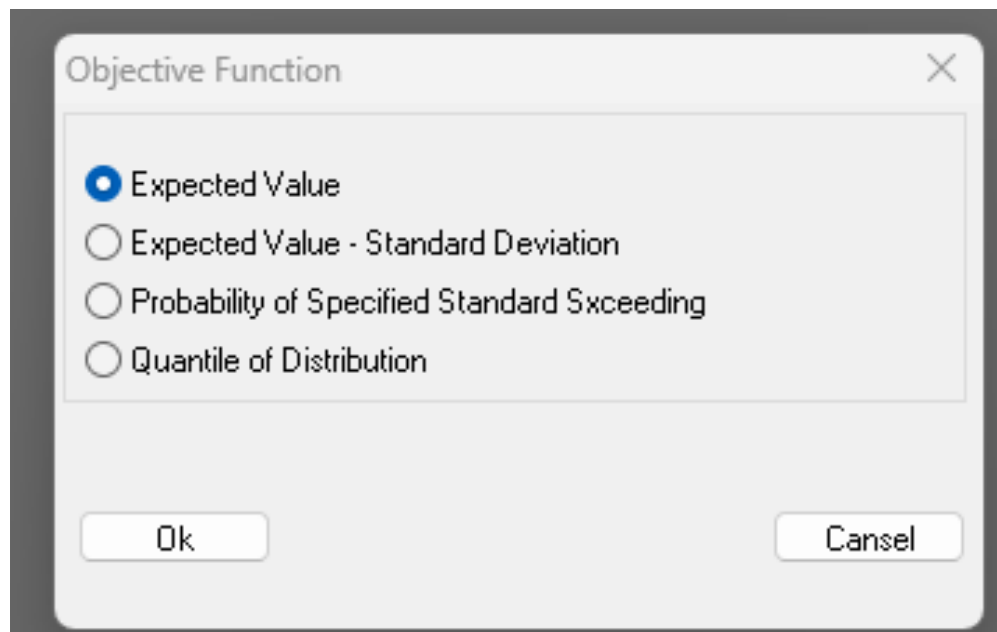


Рис. 1.18. Вікно вибору цільової функції

1.8. Концептуальний проєкт балкеру

Calculation Date: 11/30/2025 Calculation Time: 10:54:43 AM
 DESIGN ASSIGNMENT
 Objective Function Type 6
 1. Cost of Ship Building, mln. \$
 2. Annual Operating Costs, mln. \$
 3. Operating Costs for Life Period of Ship, mln. \$
 4. Total Costs for Creation and Operation of Ship, mln. \$
 5. Annual Profit after Tax, mln. \$
 6. Profit for Life Period of Ship, mln. \$
 Extremum of Objective Function (1: minimum, -1: maximum)..... -1
 Endurance, days 25
 Crew, men 15
 Seakeeping, states 7
 Type of main engine Average-speed
 Engine number 1

Рис. 1.19. Початкові дані проєкту

CALCULATION RESULTS:

Main Dimensions:

Length, m..... 114.0
 Breadth, m..... 19.1
 Draught, m..... 7.7
 Depth, m..... 10.2
 Block coefficient C_b 0.742
 Middle section coefficient C_m 0.979
 Waterline area coefficient C_w 0.785
 Volume Displacement V , m^3 12402.0
 Volume of cargo holds, m^3 10271.9

 Model of Main Engine 3516B
 Power of Main Engine N_e , kW 1686.8
 Speed V_s , knots 11.1

 Mass of constructions, t..... 2734.1
 Mass of propulsion plant, t..... 332.8
 Mass of electrical plant, t..... 40.7
 Mass of control system, t..... 6.3
 Mass of auxiliary system, t..... 147.1
 Mass of equipment and furniture, t..... 241.0
 Mass of ballast, t..... 0.00
 Light displacement, t..... 3501.8
 Mass of crew and provisions, t 3.0
 Mass of freshwater, t..... 75.0
 Mass of ship fuel and oil, t..... 250.5
 Mass of Load 1 in Half Trip 1, t 8999.4
 Mass of Load 2 in Half Trip 2, t 9000.1
 Deadweight, t..... 9327.9
 Displacement full, t..... 12829.7

Vertical ship gravity center, m.....	6.4
Vertical ship buoyancy center, m.....	4.0
Transversal metacentric radius, m.....	3.2
Initial metacentric height, m.....	0.8
Maximum righting lever arm, m.....	0.9
Angle of maximum lever arm, deg.....	47.3
Angle of vanishing stability, deg.....	80.9
Criteria of stability.....	14.3
Angle of heel from people accumulation on side of ship, deg....	0.0
Heeling angle from people accumulation during circulation, deg.	0.9
Period of free rolling, sec.....	19.092

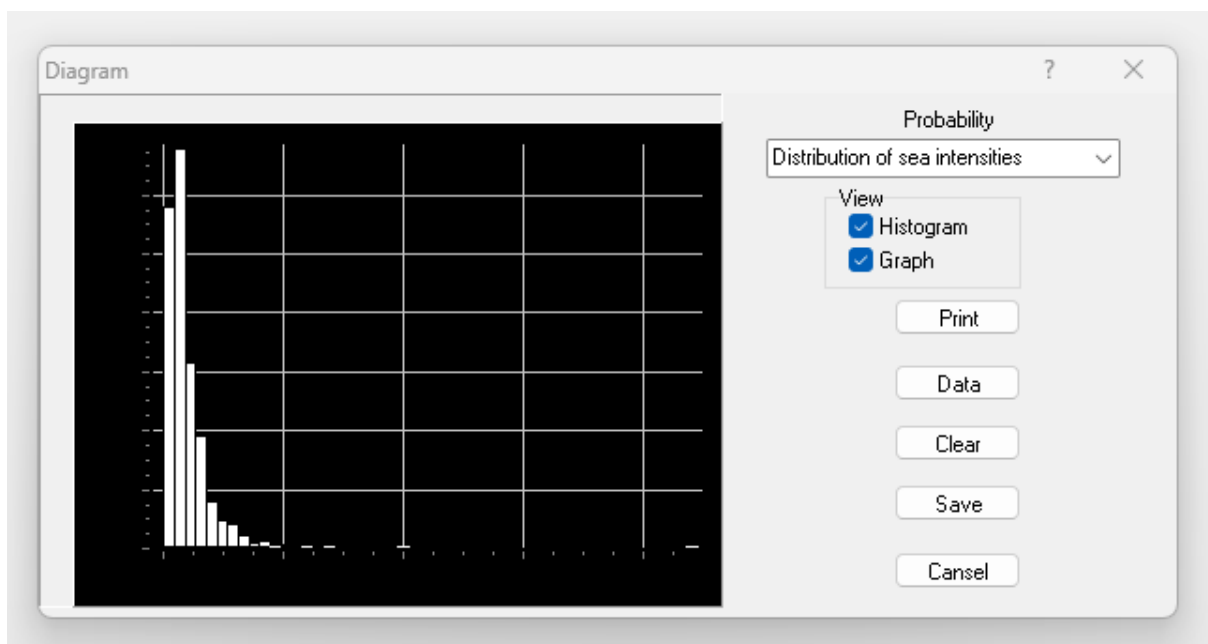
Рис. 1.20. Оптимізовані основні розміри та масові навантаження проекту

INDEXES OF SHIP EFFICIENCY AND RELIABILITY: (Corresponding to the Type of Objective Function)	
Time of Circular Trip, hours	353
Freight rate of Load 1 in Half Trip 1, \$/t	25.50
Value of Load 1 in Half Trip 1, t	8999
Freight rate of Load 2 in Half Trip 2, \$/t	25.50
Value of Load 2 in Half Trip 2, t	9000
Time of Half Trip 2, hours.....	177
Number of Circular Trip per year	24
Probability of Transport Operations Fulfillment	0.985
Daily cost of the ship, \$/day	1510.89
Minimum Time-Charter, \$/day	12330.52
Minimum Freighter daily expenses, \$/day	17590.80
Minimum needed Freight rate, \$/t	14.39
Reduced Costs, \$/t per year	14.52
Income from Trip, mln.\$	0.458921
Income per year, mln.\$	11.115877
Expenses per operation year, mln.\$	7.092242
Annual Profit (after taxes), mln.\$	3.314722
Cost of Ship Design and Building, mln.\$	14.990178
Total Costs for Creation and Operation of Ship, mln. \$	108.024523
Profit of Ship Life Period (24 years), mln.\$	71.597986

Рис. 1.21. Оптимізовані показники ефективності та надійності проекту

Name	Value	Constraints
1 Maximum time of circular trip, hours	353.450	3500.000
2 Maximum length of constructive waterline, m	114.021	350.000
3 Maximum draught of ship, m	7.692	25.500
4 Maximum error of displacement calculation, %	0.917	1.000
5 Maximum full speed, knots	11.126	15.000
6 Maximum breadth of ship, m	19.059	60.000
7 Maximum B/d	2.478	4.500
8 Maximum H/d	1.326	1.500
9 Maximum L/B	5.982	7.000
10 Maximum power of main engine, kW	1686.817	8000.000
11 Maximum value of block coefficient	0.742	0.850
12 Maximum value of middle section coefficient	0.979	0.990
13 Maximum value of waterline coefficient	0.785	0.970
14 Maximum roll angle from accumulation of people on ship board, deg.	0.015	10.000
15 Maximum roll under people on board and circulation, deg.	0.903	10.000
16 Minimum time of circular trip, hours	353.450	60.000
17 Minimum length of constructive waterline, m	114.021	95.000
18 Minimum breadth of ship, m	19.059	12.000
19 Minimum value of initial GM, m	0.772	0.500
20 Minimum draught of ship, m	7.692	5.000
21 Minimum full speed, knots	11.126	10.000
22 Minimum B/d	2.478	2.000
23 Minimum H/d	1.326	1.300
24 Minimum L/B	5.982	5.000
25 Minimum power of main engine, kW	1686.817	500.000
26 Minimum value of block coefficient	0.742	0.600
27 Minimum value of maximum GZ, m	0.945	0.250
28 Minimum value of GZ maximum angle, deg.	47.271	30.000
29 Minimum value of vanishing stability angle, deg.	80.861	60.000
30 Weather criterion >1	14.305	1.000
31 Minimum value of roll period, s	19.092	5.000
32 Maximum error of hull volume for loads, %	3.074	5.000

Рис. 1.22. Розрахункові значення та обмеження оптимізованих показників ефективності проєкту



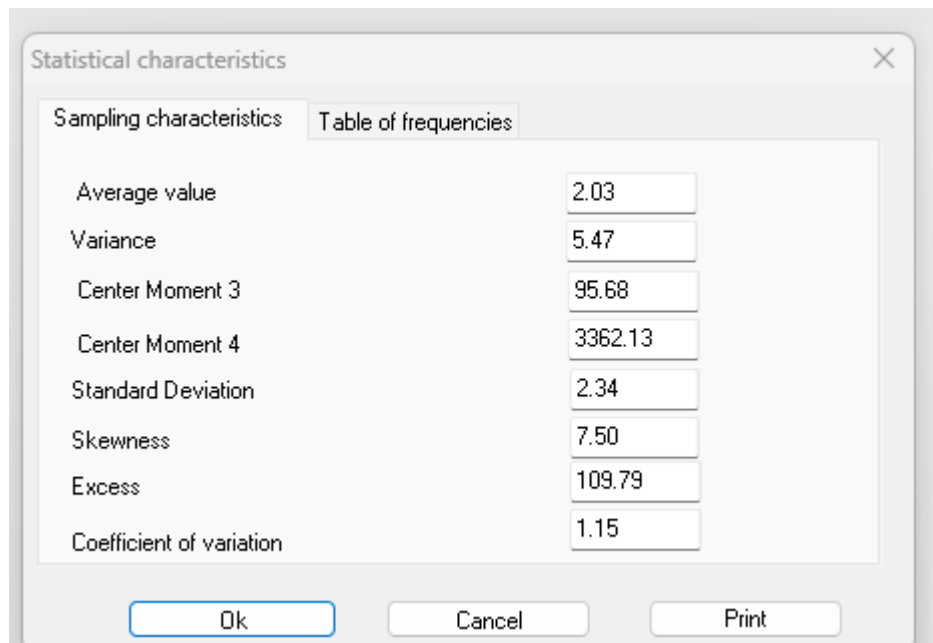
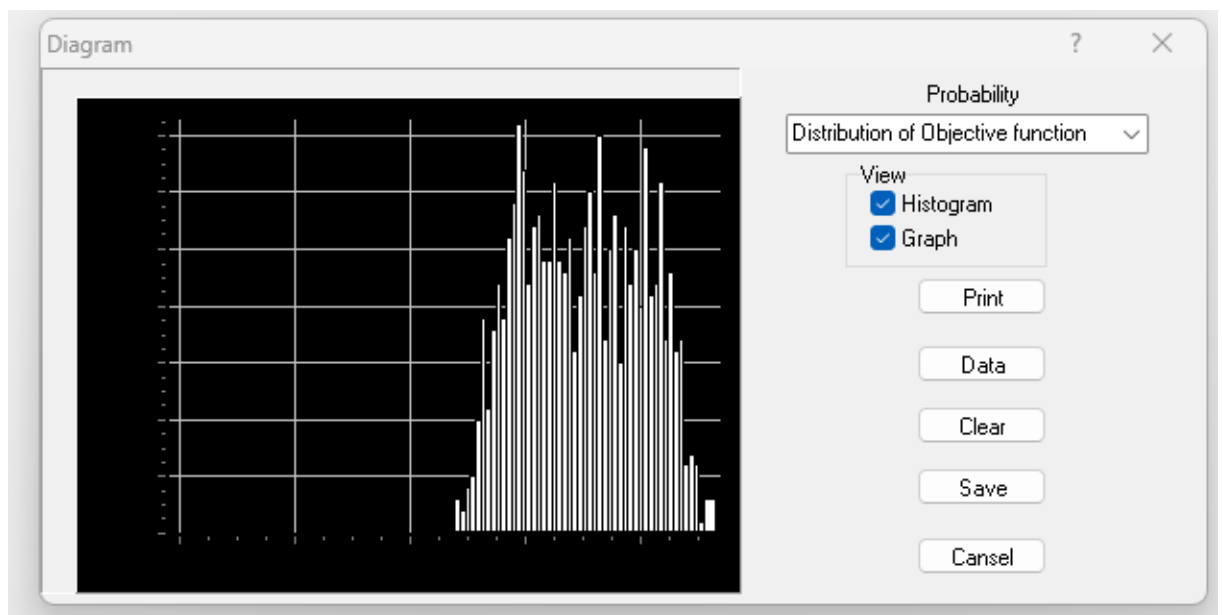


Рис. 1.23. Гістограма та параметри розподілу випадкових значень:
Довготривалий розподіл інтенсивності моря в зоні експлуатації балкеру
(Розподіл $h_{3\%} = 1.32 H_{1/3}$, де $H_{1/3}$ - значна висота хвилі)



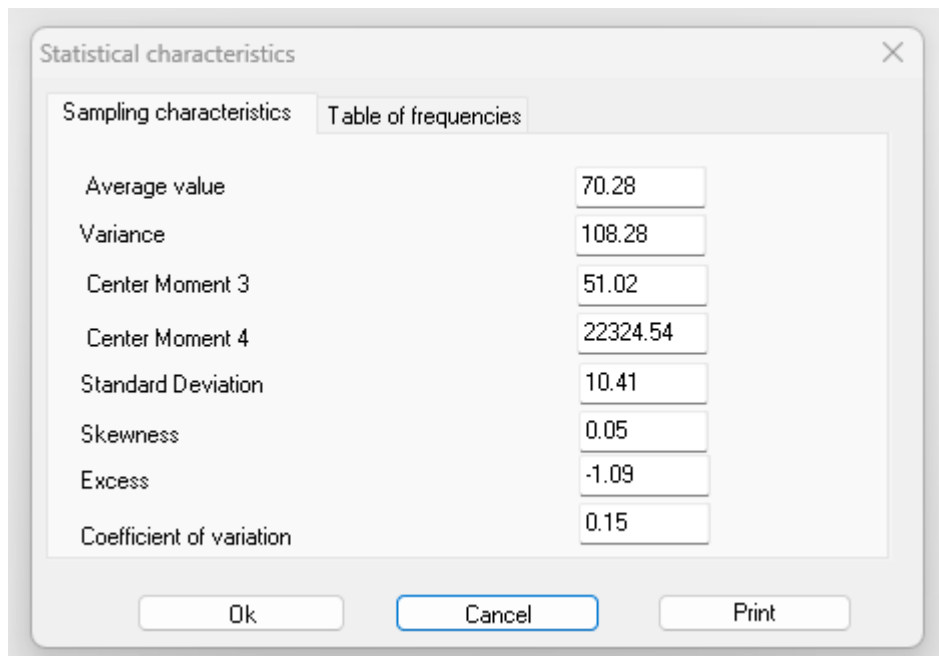


Рис. 1.24. Гістограма та параметри розподілу випадкових значень:
отримані значення Цільової функції задачі оптимізації

Отже, в результаті рішення оптимізаційної задачі вибору основних елементів проєктованого балкеру знайдено максимум цільової функції, а саме максимальний прибуток за весь термін експлуатації балкеру. 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 1.24.

					24.КРМ.135.6112М.ПЗ			
Змн.	Арк.З	№ докум.	Підпис	№	Дата			
						Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Дюков В.О.						69	
Консульт.	Пащенко Ю.М.					НУК		
Керівник	Некрасов В.О.							
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.							
Розділ 2. Дослідження морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності								

РОЗДІЛ 2.

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

2.1. Формування теоретичної поверхні балкеру

Для формування теоретичної поверхні корпусу балкеру використовується програмний продукт Maxsurf Professional, результати роботи якого представлені на рисунку 2.1.

Maxsurf – програмне забезпечення для корабельної архітектури, ідеальне для проектування морських суден. Maxsurf включає можливості моделювання корпусу, прогнозування стійкості, рухів та опору, структурного моделювання, структурного аналізу та експорту для деталізації суден. Maxsurf працює з єдиною параметричною 3D-моделлю, щоб забезпечити безперебійну комунікацію та координацію між різними учасниками проекту [9].

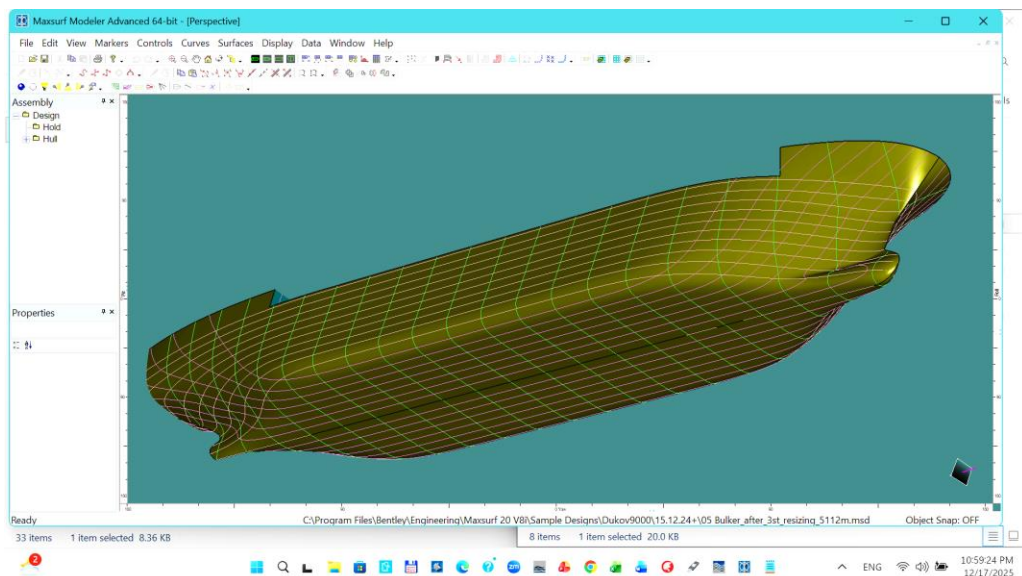


Рис. 2.1. Формування поверхні балкеру в MaxSurf

За допомогою цього ж програмного забезпечення створюємо три проєкції теоретичного креслення балкеру (рис.2.2, а, б, в).

Вікно з результатами розрахунку гідростатичних параметрів отриманого корпусу балкера (для КВЛ) представлено на рис.2.3.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	70
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

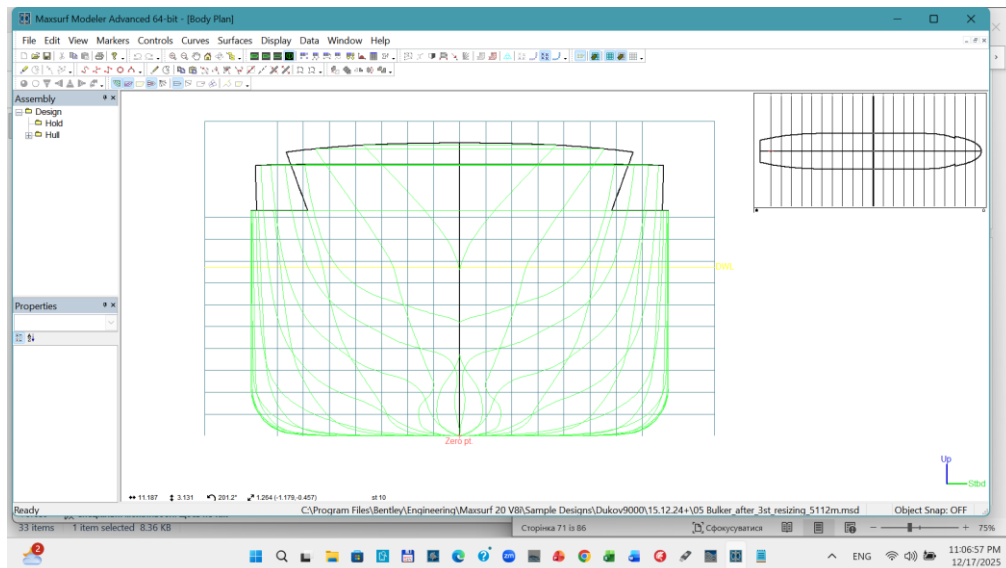
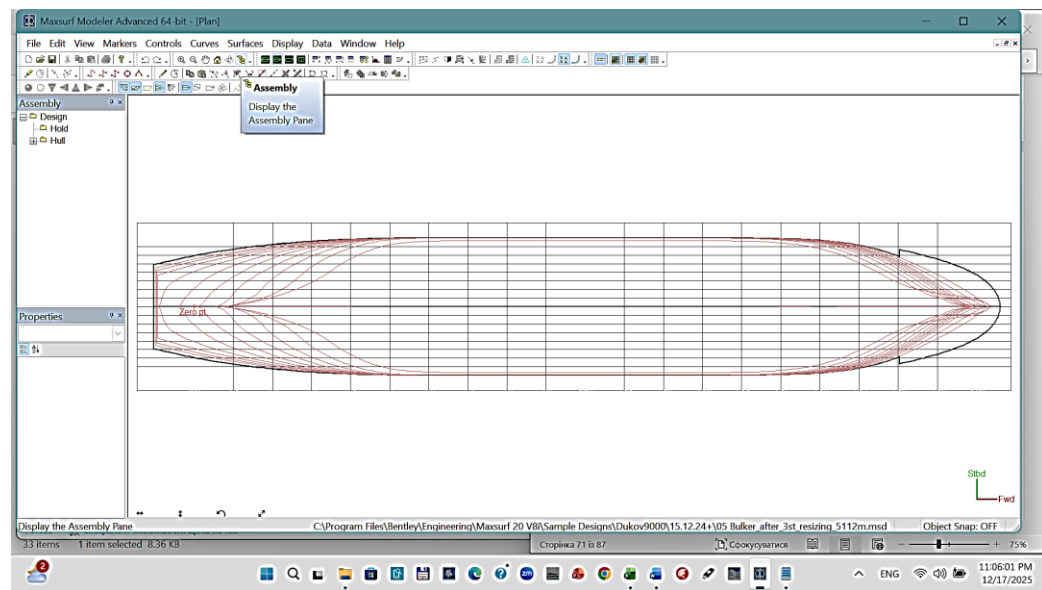
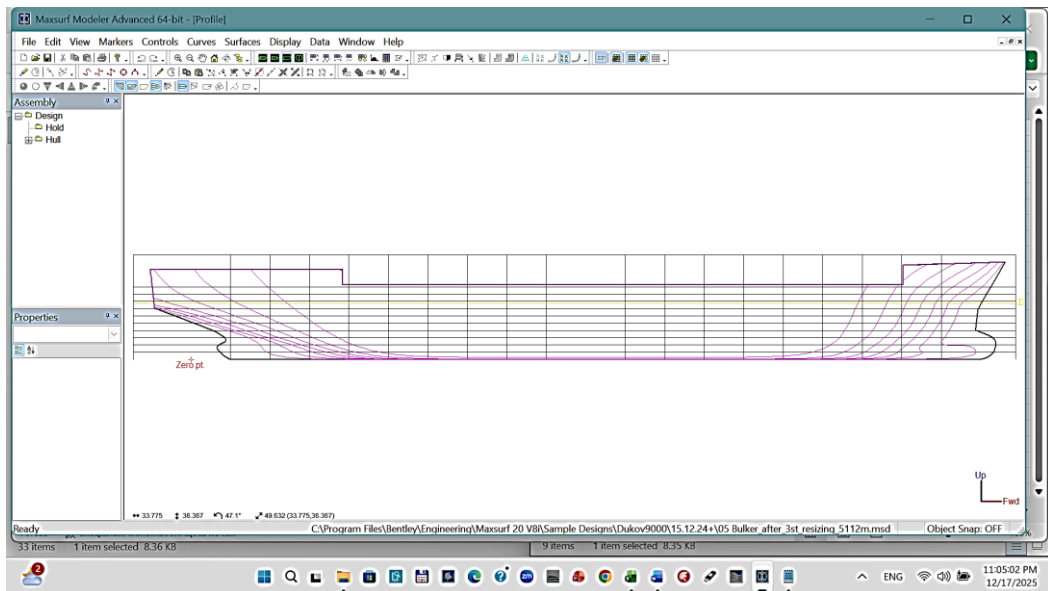


Рис. 2.2. Проекції теоретичного креслення балкери (а, б, в)

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

24.KPM.135.6112M.ПЗ

	Measurement	Value	Unit
1	Displacement	12825	t
2	Volume (displaced)	12511.8	m ³
3	Draft Amidships	7.700	m
4	Immersed depth	7.700	m
5	WL Length	114.001	m
6	Beam max extents on WL	19.100	m
7	Wetted Area	3209.72	m ²
8	Max sect. area	144.757	m ²
9	Waterpl. Area	1871.00	m ²
1	Prismatic coeff. (Cp)	0.758	
1	Block coeff. (Cb)	0.746	
1	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.984	
1	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.859	
1	LCB length	54.140	from
1	LCF length	50.382	from
1	LCB %	47.491	from
1	LCF %	44.194	from
1	KB	4.084	m
1	KG fluid	6.400	m
2	BMt	3.948	m
2	BML	127.436	m
2	GMt corrected	1.632	m
2	GML	125.120	m
2	KMt	8.032	m
2	KML	131.520	m
2	Immersion (TPc)	19.178	tonn
2	MTc	147.383	tonn
2	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	365.258	tonn
2	Length:Beam ratio	5.969	
3	Beam:Draft ratio	2.481	

Density (water)

Std. densities

VCG

[Recalculate](#)

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

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

Для розрахунку статики судна використовується програмне забезпечення Hydromax Professional. Розрахунки виконуються поетапно (рисунки 2.4 та 2.5)

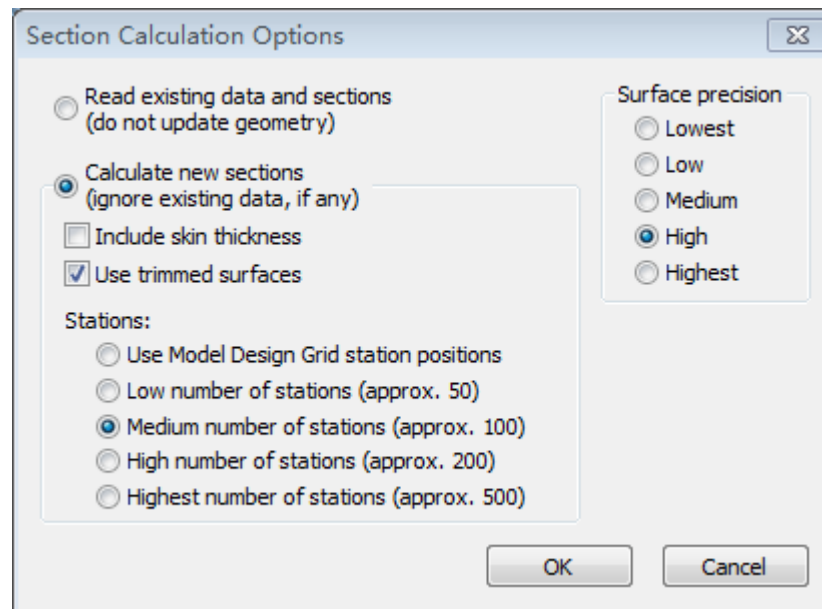
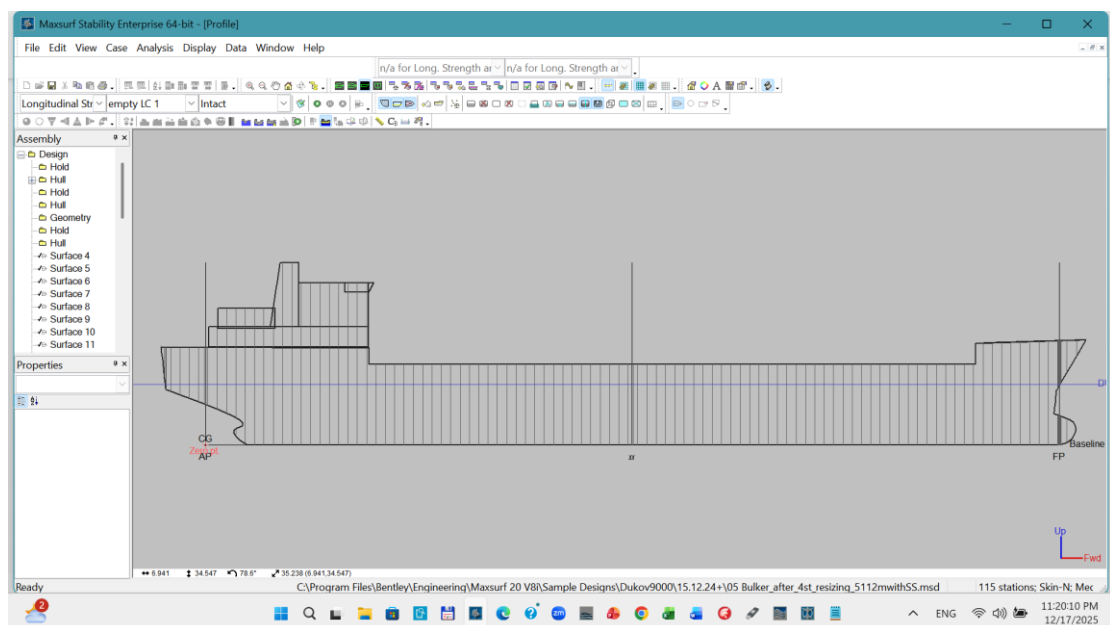
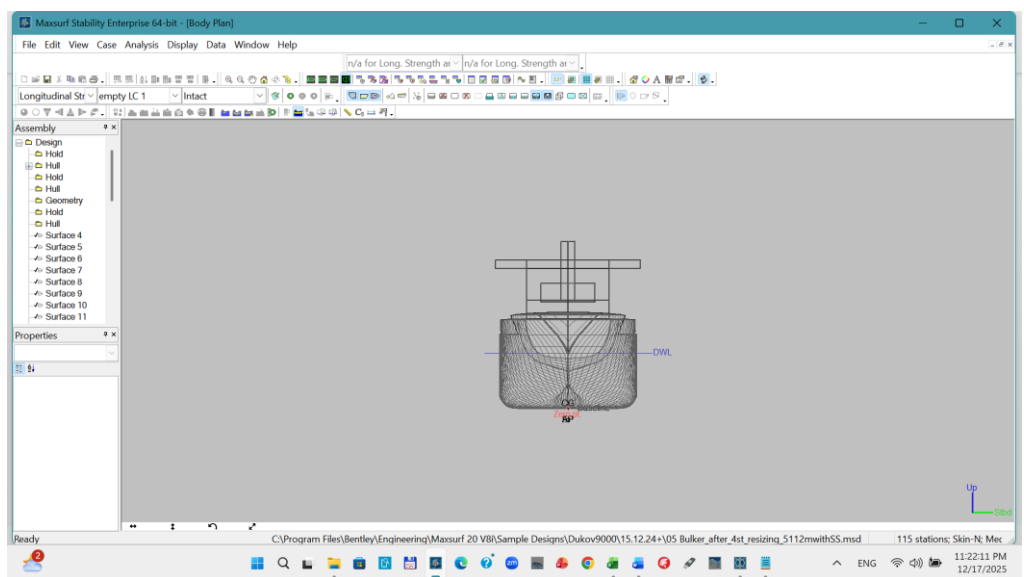
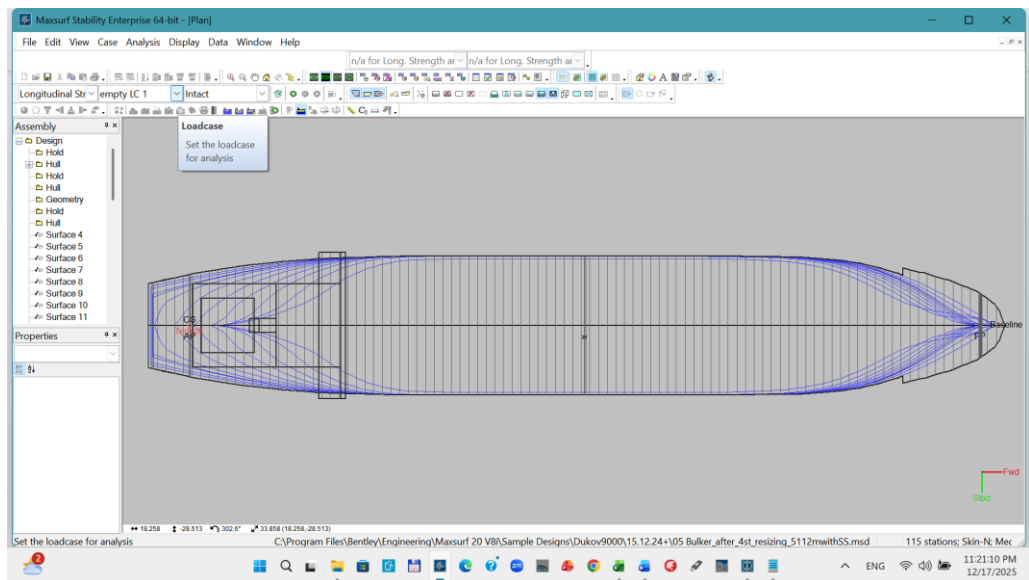


Рис. 2.4. Крок 1. Відкривається mds-файл проєктованого балкеру





Initial draft amidships	0 m
Final draft amidships	9 m
Draft increment	1 m
Number of drafts	10
LCG from zero point	54.437 m
VCG from zero point	6.4 m
OK Cancel	

Рис. 2.5. Крок 2. Встановлення кількості осадок судна

Крок 3. Проводиться розрахунок елементів теоретичного креслення, результати якого представлені в таблиці 2.1 та на рисунку 2.6.

Таблиця 2.1

Розрахункові значення теоретичних кривих балкеру

	Draft Amidships m	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000
1	Displacement t	0.0000	1307	2837	4444	6112	7842	9632	11485	13393	15338
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	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000
4	Draft at AP m	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000
5	Draft at LCF m	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000
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	102.99	106.61	107.14	105.87	105.26	107.80	110.57	113.35	114.21	114.90
8	Beam max extents	0.000	18.381	19.085	19.100	19.100	19.100	19.100	19.100	19.100	19.100
9	Wetted Area m ²	0.000	1500.8	1757.4	2001.4	2242.4	2483.8	2731.1	2987.4	3233.1	3469.8
10	Waterpl. Area m ²	0.000	1432.0	1538.2	1596.4	1657.7	1717.3	1776.3	1837.6	1880.8	1913.8
11	Prismatic coeff. (C)	0.034	0.701	0.720	0.745	0.765	0.762	0.757	0.752	0.760	0.768
12	Block coeff. (Cb)	0.000	0.651	0.677	0.715	0.741	0.743	0.742	0.739	0.749	0.758
13	Max Sect. area co		0.928	0.940	0.960	0.970	0.976	0.980	0.983	0.985	0.987
14	Waterpl. area coeff.	0.000	0.731	0.752	0.789	0.825	0.834	0.841	0.849	0.862	0.872
15	LCB from zero pt. (	33.068	57.843	57.257	56.713	56.186	55.664	55.124	54.550	53.974	53.505
16	LCF from zero pt. (	33.116	57.280	56.258	55.257	54.309	53.310	52.196	50.928	50.295	50.302
17	KB m	3.592	0.530	1.056	1.580	2.104	2.633	3.167	3.705	4.246	4.785
18	KG m	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400
19	BMt m	0.000	26.705	14.587	9.818	7.412	5.969	5.009	4.325	3.805	3.395
20	BML m	87828	628.85	324.64	227.26	184.67	160.23	144.71	134.92	123.93	113.73
21	GMt m	-2.808	20.835	9.243	4.998	3.116	2.202	1.776	1.630	1.651	1.781
22	GML m	87828	622.98	319.30	222.44	180.38	156.47	141.47	132.23	121.78	112.11
23	KMt m	3.592	27.235	15.643	11.398	9.516	8.602	8.176	8.030	8.051	8.181
24	KML m	87828	629.38	325.70	228.84	186.78	162.87	147.87	138.63	128.18	118.51
25	Immersion (TPc) to	0.000	14.678	15.767	16.364	16.992	17.603	18.208	18.836	19.278	19.617
26	MTc tonne.m	0.000	74.780	83.212	90.799	101.26	112.70	125.16	139.48	149.80	157.94
27	RM at 1deg = GMt.	0.000	475.20	457.69	387.62	332.36	301.38	298.54	326.65	385.95	476.66
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

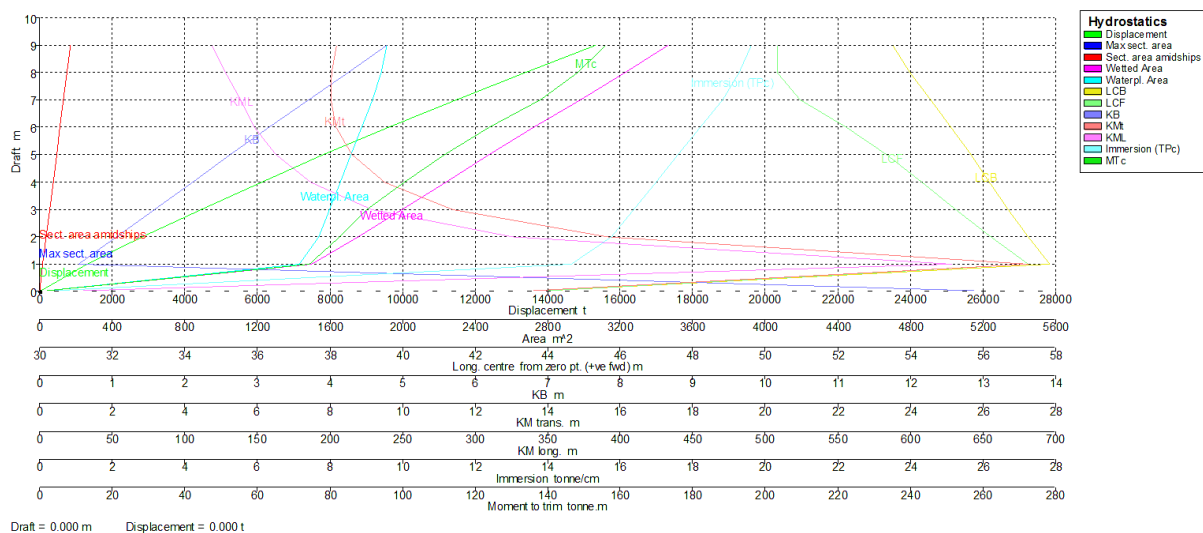


Рис. 2.6. Гідростатичні криві – криві теоретичного креслення судна

2.3. Розрахунок стійкості балкеру при великих кутах нахилу, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його остійності

Відповідно до вимог ІМО, остійність балкеру слід перевіряти за таких варіантів завантаження:

- судно з повним запасом;

Дані завантаження судна представлені на рисунку 2.7. Результати розрахунку остійності при 100% завантаження показані на рисунках 2.7-2.8. Перевірка остійності виконується з використанням вимог до балкеру, результати перевірки представлені в таблиці 2.2.

	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	12830.000	12830.000			54.440	0.000	0.000	0.000	User Spe
2	Total Loadcas			12830.000	0.000	0.000	54.440	0.000	0.000	0.000	
3	FS correction								0.000		
4	VCG fluid								0.000		

1	Draft Amidships m	7.717
2	Displacement t	12830
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	7.843
5	Draft at AP m	7.590
6	Draft at LCF m	7.707
7	Trim (+ve by stern)	-0.253
8	WL Length m	114.06
9	Beam max extents	19.100
10	Wetted Area m²	3164.6
11	Waterpl. Area m²	1868.7
12	Prismatic coeff. (C)	0.753
13	Block coeff. (Cb)	0.733
14	Max Sect. area co	0.984
15	Waterpl. area coeff.	0.858
16	LCB from zero pt. (	54.429
17	LCF from zero pt. (	50.490
18	KB m	4.088
19	KG fluid m	0.000
20	BMT m	3.939
21	BML m	127.03
22	GMt corrected m	8.027
23	GML m	131.11
24	KMt m	8.027
25	KML m	131.11
26	Immersion (TPc) to	19.155
27	MTc tonne.m	154.51
28	RM at 1deg = GMt.	1797.3
29	Max deck inclinatio	0.1333
30	Trim angle (+ve by	-0.133

Рис. 2.7. Дані повного завантаження судна та його рівноваги на тихій волі при цьому навантаженні

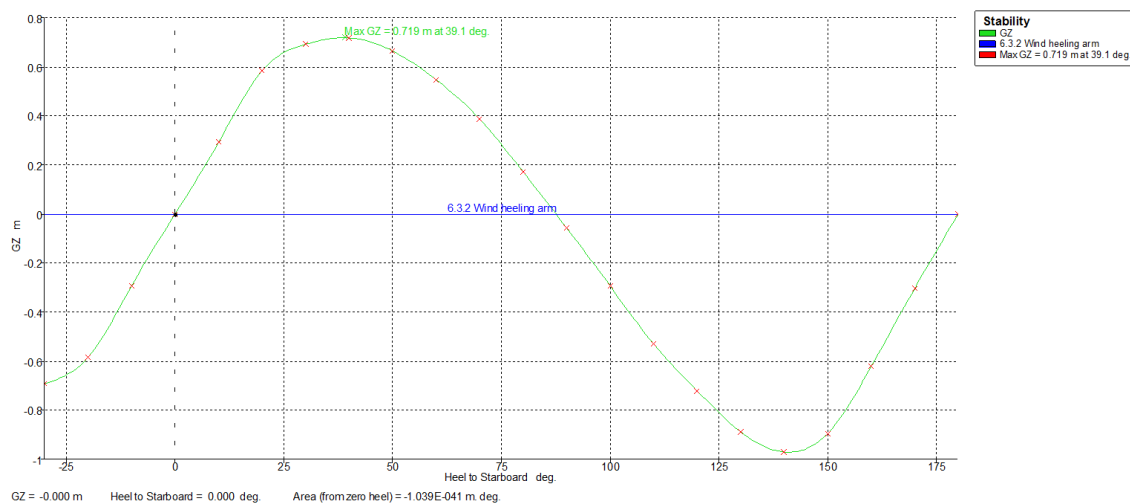


Рис. 2.8. Діаграма статичної стійкості для випадку повного навантаження

	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
1	GZ m	-0.692	-0.584	-0.293	0.000	0.293	0.584	0.692	0.719	0.664	0.548	0.387	0.171	-0.057
2	Area under GZ curve	12.409	5.9079	1.4334	0.0000	1.4338	5.9065	12.415	19.520	26.501	32.602	37.322	40.144	40.720
3	Displacement t	12830	12831	12830	12830	12830	12830	12829	12830	12830	12830	12830	12830	12830
4	Draft at FP m	8.503	7.949	7.858	7.851	7.858	7.949	8.506	9.440	10.959	13.592	18.905	34.574	n/a
5	Draft at AP m	7.478	7.495	7.558	7.583	7.558	7.494	7.475	7.619	7.808	7.773	7.232	5.465	n/a
6	WL Length m	114.80	114.34	114.17	114.07	114.17	114.34	114.80	115.56	117.21	117.85	117.17	115.57	112.84
7	Beam max extents	18.812	19.096	19.395	19.100	19.395	19.096	18.815	16.862	24.931	22.635	21.337	20.582	22.932
8	Wetted Area m²	3456.0	3294.2	3162.8	3164.5	3162.8	3294.0	3455.9	3578.3	3660.7	3722.9	3761.1	3776.4	3799.8
9	Waterpl. Area m²	1634.7	1780.9	1893.3	1868.6	1893.3	1780.9	1634.7	1519.1	1433.0	1326.7	1263.9	1212.0	1213.5
10	Prismatic coeff. (C)	0.760	0.755	0.753	0.753	0.753	0.755	0.760	0.768	0.771	0.776	0.729	0.699	0.683
11	Block coeff. (Cb)	0.527	0.578	0.637	0.732	0.637	0.578	0.527	0.536	0.335	0.352	0.369	0.389	0.361
12	LCB from zero pt. ()	54.456	54.449	54.446	54.446	54.446	54.449	54.461	54.470	54.492	54.517	54.551	54.573	54.610
13	LCF from zero pt. ()	49.382	50.170	50.675	50.497	50.675	50.170	49.382	50.260	48.934	47.862	46.267	45.457	44.002
14	Max deck inclinatio	30.003	20.001	10.001	0.1406	10.001	20.001	30.003	40.005	50.008	60.011	70.014	80.010	90.000
15	Trim angle (+ve by	-0.539	-0.239	-0.158	-0.140	-0.158	-0.239	-0.542	-0.958	-1.657	-3.059	-6.119	-14.96	-90.00

Рис. 2.9. Результати розрахунку статичної стійкості для повного вантажу

Таблиця 2.2.

Перевірка вимог стійкості при повному навантаженні

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	12.4157	Pass	+293.99
A.749(18) Ch3	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	19.5204	Pass	+278.55
A.749(18) Ch3	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	7.1046	Pass	+313.33
A.749(18) Ch3	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0.719	Pass	+259.50
A.749(18) Ch3	3.1.2.3: Angle of GZ max	25,0	deg	39.1	Pass	+56.36
A.749(18) Ch3	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	1.627	Pass	+984.67
A.749(18) Ch3	3.2.2: Severe wind and rolling	100,00	%	273.62	Pass	+173.62

Згідно з результатами розрахунків, судно відповідає вимогам ІМО щодо остійності в непошкодженому стані.

2.4. Розрахунок ходовості балкеру

2.4.1 Буксирувальний опір та буксирувальна потужність

Розрахунки характеристик буксирувального опору руху судна та його буксирувальної потужності виконано за допомогою програмного продукту Maxsurf Resistance [3]:

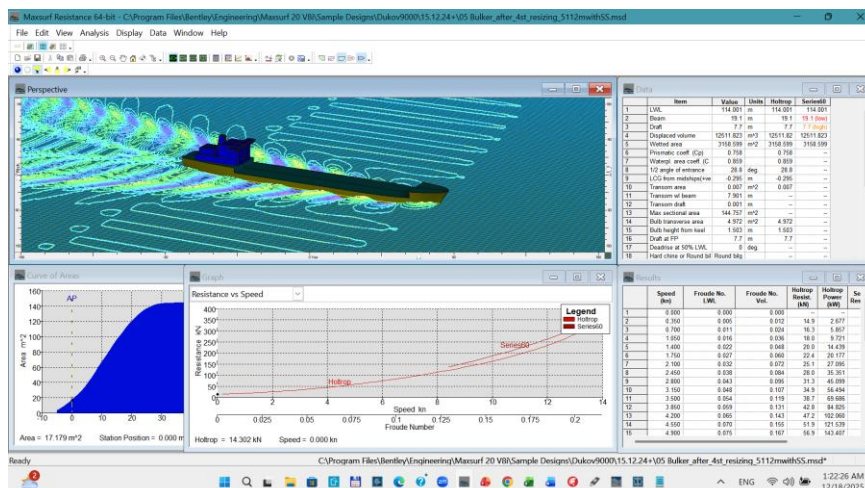


Рисунок 2.9. – Головне вікно програмного комплексу розрахунку характеристик буксирувального опору руху судна та його буксирувальної потужності, Maxsurf Resistance [9]

	Item	Value	Units	Holtrop	Series60
1	LWL	114.001	m	114.001	114.001
2	Beam	19.1	m	19.1	19.1 (low)
3	Draft	7.7	m	7.7	7.7 (high)
4	Displaced volume	12511.823	m³	12511.82	12511.823
5	Wetted area	3158.599	m²	3158.599	3158.599
6	Prismatic coeff. (Cp)	0.758		0.758	--
7	Waterpl. area coeff. (C)	0.859		0.859	--
8	1/2 angle of entrance	28.8	deg.	28.8	--
9	LCG from midships(+ve)	-0.295	m	-0.295	--
10	Transom area	0.007	m²	0.007	--
11	Transom w/ beam	7.901	m	--	--
12	Transom draft	0.001	m	--	--
13	Max sectional area	144.757	m²	--	--
14	Bulb transverse area	4.972	m²	4.972	--
15	Bulb height from keel	1.503	m	1.503	--
16	Draft at FP	7.7	m	7.7	--
17	Deadrise at 50% LWL	0	deg.	--	--
18	Hard chine or Round bil	Round bilg		--	--
19					
20	Frontal Area	432	m²		
21	Headwind	12	kn		
22	Drag Coefficient	1.3			
23	Air density	0.001	tonne/		
24	Appendage Area	12	m²		
25	Nominal App. length	2	m		
26	Appendage Factor	3			
27					
28	Correlation allow.	0.0004		Calculate	0.0004
29	Kinematic viscosity	0.0000011	m²/s		
30	Water Density	1.026	tonne/		

Рисунок 2.10 – Вихідні дані розрахунку характеристик буксирувального опору руху судна та буксирувальної потужності, Maxsurf Resistance [9]

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Resist. (kN)	Power (kW)	Series60 Resist. (kN)	Power (kW)
1	0.000	0.000	0.000	--	--	--	--
2	0.350	0.005	0.012	14.9	2.677	--	--
3	0.700	0.011	0.024	16.3	5.857	--	--
4	1.050	0.016	0.036	18.0	9.721	--	--
5	1.400	0.022	0.048	20.0	14.439	--	--
6	1.750	0.027	0.060	22.4	20.177	--	--
7	2.100	0.032	0.072	25.1	27.095	--	--
8	2.450	0.038	0.084	28.0	35.351	--	--
9	2.800	0.043	0.095	31.3	45.099	--	--
10	3.150	0.048	0.107	34.9	56.494	--	--
11	3.500	0.054	0.119	38.7	69.686	--	--
12	3.850	0.059	0.131	42.8	84.825	--	--
13	4.200	0.065	0.143	47.2	102.060	--	--
14	4.550	0.070	0.155	51.9	121.539	--	--
15	4.900	0.075	0.167	56.9	143.407	--	--
16	5.250	0.081	0.179	62.1	167.812	--	--
17	5.600	0.086	0.191	67.7	194.897	--	--
18	5.950	0.092	0.203	73.4	224.810	--	--
19	6.300	0.097	0.215	79.5	257.700	--	--
20	6.650	0.102	0.227	85.9	293.720	--	--
21	7.000	0.108	0.239	92.5	333.034	--	--
22	7.350	0.113	0.251	99.4	375.818	--	--
23	7.700	0.118	0.263	106.6	422.273	--	--
24	8.050	0.124	0.274	114.1	472.624	--	--
25	8.400	0.129	0.286	122.0	527.141	137.1	592.505
26	8.750	0.135	0.298	130.2	586.141	147.2	662.583
27	9.100	0.140	0.310	138.8	650.004	157.3	736.352
28	9.450	0.145	0.322	147.9	719.185	168.6	819.540
29	9.800	0.151	0.334	157.5	794.226	179.9	906.870
30	10.150	0.156	0.346	167.7	875.768	191.8	1001.529
31	10.500	0.162	0.358	178.6	964.564	204.1	1102.462
32	10.850	0.167	0.370	190.2	1061.488	216.7	1209.833
33	11.200	0.172	0.382	202.6	1167.546	230.4	1327.299
34	11.550	0.178	0.394	216.1	1283.888	244.0	1449.729
35	11.900	0.183	0.406	230.6	1411.805	259.6	1589.504
36	12.250	0.188	0.418	246.4	1552.710	275.5	1736.317
37	12.600	0.194	0.430	263.5	1708.226	293.3	1900.890
38	12.950	0.199	0.442	282.2	1880.281	312.6	2082.359
39	13.300	0.205	0.453	302.7	2070.816	333.3	2280.219
40	13.650	0.210	0.465	324.9	2281.302	360.3	2530.316
41	14.000	0.215	0.477	348.9	2513.137	387.4	2790.223

Рисунок 2.11 – Результати розрахунку характеристик буксирувального опору руху судна та буксирувальної потужності, Maxsurf Resistance [9]

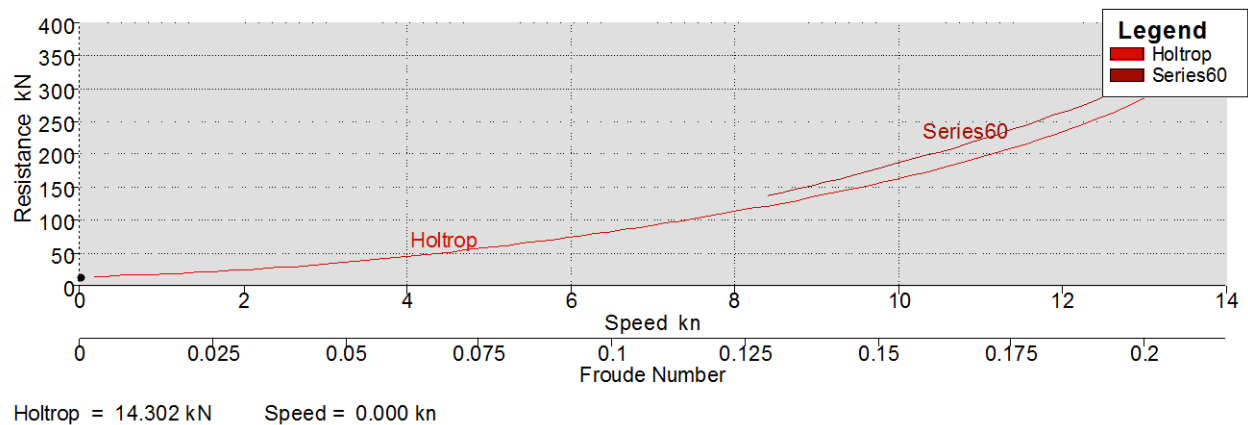


Рисунок 2.12 – Буксирувальний опір руху судна, Maxsurf Resistance [9]

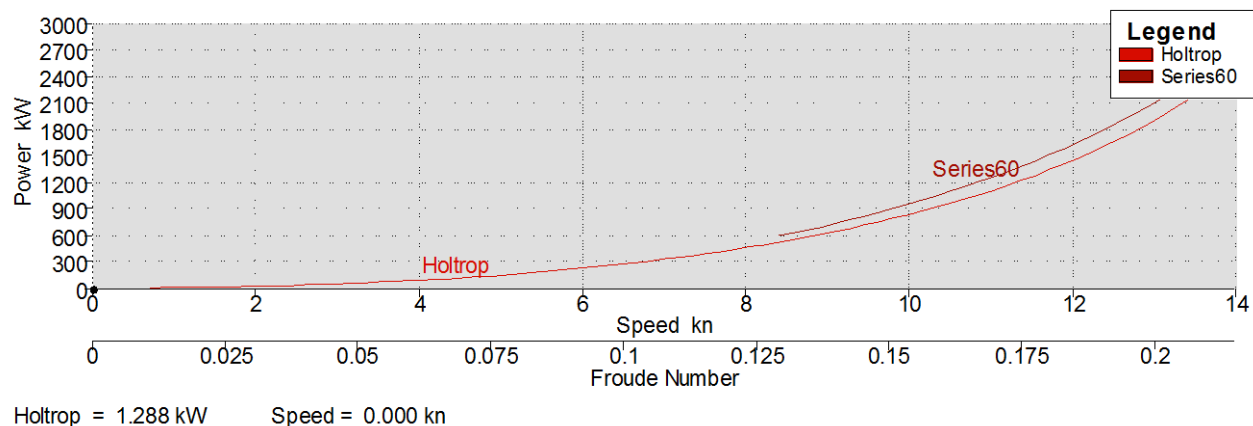


Рисунок 2.13 – Буксирувальна потужність руху судна, Maxsurf Resistance[9]

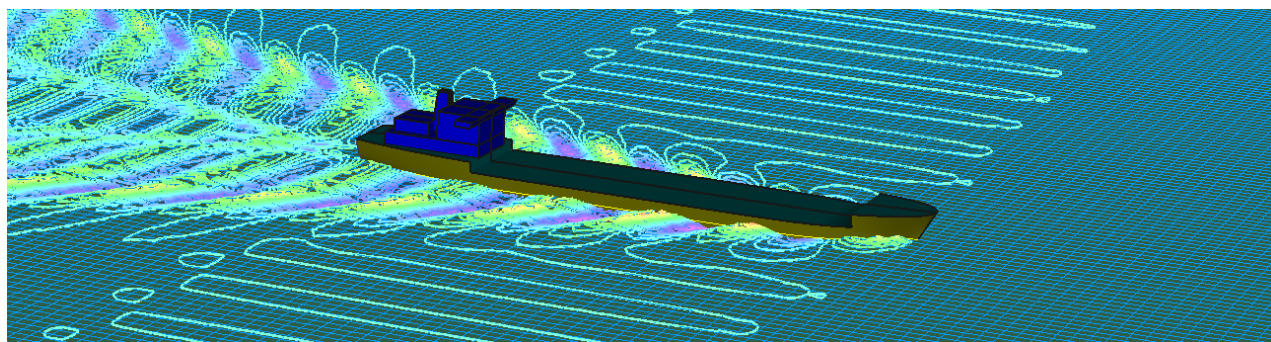


Рисунок 2.14 – Суднові хвилі при русі судна з проектною швидкістю 12,5 вузлів, Maxsurf Resistance[9]

2.4.2 Проектування оптимального рушійного комплексу

На рисунку 2.15. представлені компоненти рушійного комплексу судна: 1 - гвинт (рушій); 2 – вал; 3 – шестерня (редуктор); 4 - дизель (двигун).

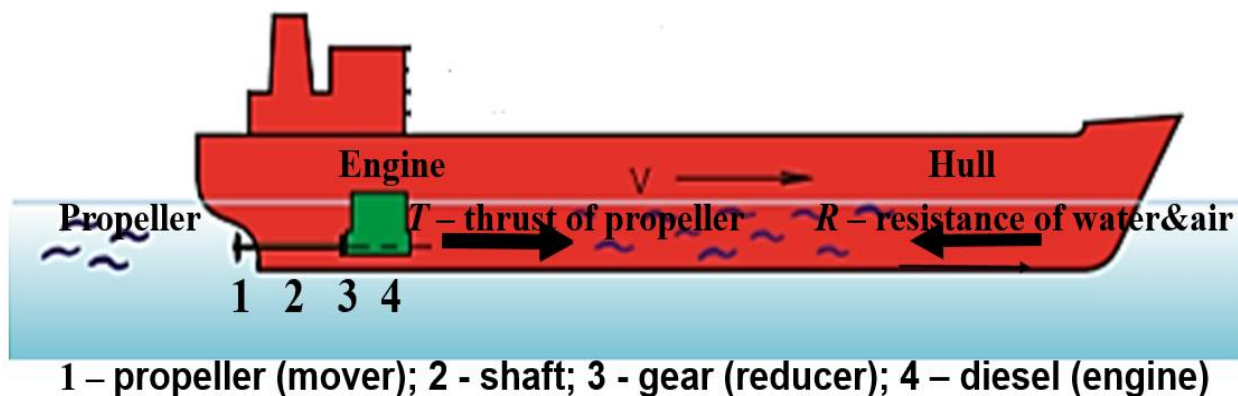


Рис. 2.15. Компоненти рушійного комплексу

Вхідні дані. Для даного судна із заданою розрахунковою швидкістю V , опором буксируванню R і потужністю буксирування $EHP = RV$ цілями проектування рушійного комплексу є:

I. Визначення характеристик рушія – гвинта з найвищим для умов його роботи коефіцієнтом корисної дії (ККД).

II. Вибір відповідного двигуна з потужністю, необхідної для забезпечення руху судна із заданою проектною швидкістю V .

Вхідні дані для проектування рушійного комплексу представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Вхідні дані

1. Дані про судно:	Позначення	Величина	Розмірність
Швидкість судна	V_s	11,10	вузли
Швидкість судна	$V = 0,514 V_s$	5,71	м/с
Осадка судна	d	7,70	м
Коефіцієнт загальної повноти корпусу судна	C_b	0,746	-
2. Результати розрахунку опору та потужності буксирування:	Позначення	Величина	Розмірність

Щільність води	ρ	1,025	т/м ³
Повний опір руху судна	$R_T(V)$	201	кН
Загальна потужність опору	$P_R = R_T V$	1160	кВт

Визначення гвинта з найвищим ККД. Параметри взаємодії гвинта з корпусом за рекомендацією Holtrop&Mennen для одно гвинтового судна зі звичайною кормою наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Параметри взаємодії гвинта з корпусом за рекомендацією Holtrop&Mennen для одно гвинтового судна зі звичайною кормою

3. Коефіцієнти взаємодії гвинта з корпусом судна:	Позначення	Величина	Розмірність
В'язкісний коефіцієнт опору	$10 C_v$	0,02	-
Коефіцієнт засмоктування	t	0,10	-
Коефіцієнт попутного потоку	$w=0,3 C_b+10 C_v C_b-0,10$	0,14	-
Відносна обертова ефективність	η_R	0,98	-

Таблиця 2.5

Розрахунок параметрів для вибору гвинтової діаграми

4. Значення, необхідні для використання гвинтової діаграми:	Позначення	Величина	Розмірність
Упор	$T = R_T/(1-t)$	223	кН
Діаметр гвинта	$D = 0,7 d$	5,39	м
Швидкість просування гвинта	$V_A = V(1-w)$	4,91	м/с
Коефіцієнт упору-діаметру	$K_{DT opt} = D V_A (\rho/T)^{0.5}$	1,79	-

На підставі цих даних була обрана діаграма серійних випробувань гвинтів серії Т-400 з дисковим відношенням $BAR=1.0$, відносним діаметром ступиці $D_{boss}/D = 0.18$, і відносною товщиною лопаті $t = 0.05$.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	82
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Діаграма представлена на рисунку 2.16.

Вхід до діаграми здійснено за значенням коефіцієнта упору-діаметру $K_{DT\text{opt}}$, що дорівнює 1.79. Значення відносного кроку J взятого із діаграми, коефіцієнту упору K_T та ефективності гвинта η_0 показано на рисунку 2.16. стрілками.

Числові значення цих величин наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Параметри гвинта, вибраного з діаграми рисунку 2.16

5. Результати використання гвинтової діаграми:	Позначення	Величина	Розмірність
Коефіцієнт упору	$K_T = T/(\rho n^2 D^4)$	0,346	-
Відносна поступ	$J = V_A/(nD)$	0,950	-
Відносний крок	P/D	1,260	-
ККД гвинта	η_0	0,65	-

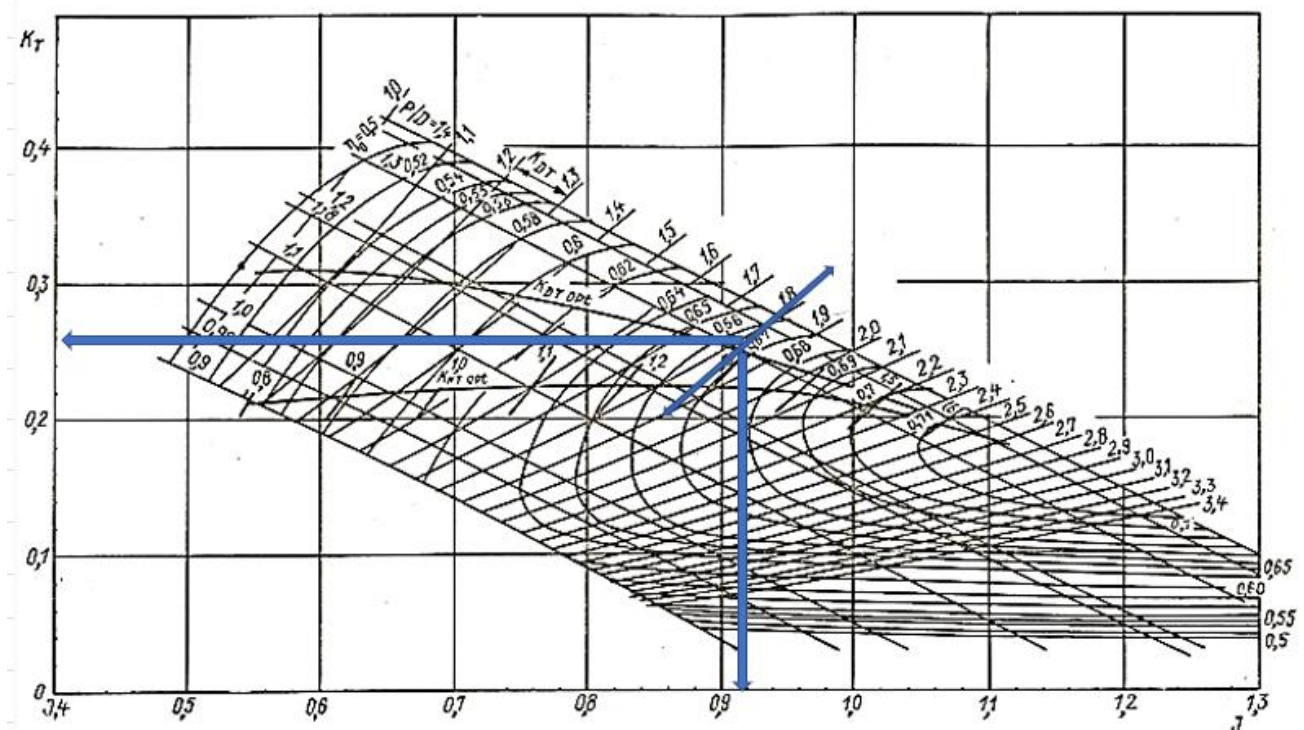


Рис. 2.16. Обрана діаграма J - K_T для визначення характеристик гвинта

На підставі даних таблиці 2.6 визначено оптимальне число обертів гвинта. Числове значення цієї величини наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

Розрахунок оптимальної частоти обертання гвинта

6. Оптимальна частота обертання гвинта:	Позначення	Величина	Розмірність
	$n_{opt} = V_A / (JD)$	1,00	об/хв
		60,11	об/хв

Вибір двигуна з потужністю, необхідною для забезпечення руху судна із заданою проєктною швидкістю. Якщо судно рухається без гвинта, то необхідною потужністю для його руху з розрахунковою швидкістю V є буксирувальна потужність $EHP = P_E = RV$. При наявності гребного гвинта та двигуна для руху судна з розрахунковою швидкістю V необхідно додатково враховувати втрати потужності в редукторі, у валопроводі, при роботі гвинта в нерівномірному зустрічному потоці і при взаємодії гвинта з корпусом судна.

Отже, потужність двигуна у цьому разі P_G повинна бути більше P_E . Тому необхідна потужність двигуна визначається за допомогою пропульсивного коефіцієнта η_D , який враховує означені додаткові втрати потужності. В таблиці 2.8 надано визначення необхідної потужності двигуна.

Таблиця 2.8

Необхідна потужності двигуна P_G

7. Визначення необхідної потужності двигуна:	Позначення	Величина	Розмірність
Ефективність редуктору	η_G	0,97	-
Ефективність валопроводу	η_S	0,98	-
Вплив корпусу судна	$\eta_H = (1 - t) / (1 - w)$	1,04	-
Пропульсивний коефіцієнт	$\eta_D = \eta_H \eta_R \eta_0 \eta_S \eta_G$	0,65	-
Потрібна потужність двигуна	$P_G = P_E / \eta_D$	1779	кВт

Необхідну потужність двигуна підбирають за допомогою каталогу

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	84
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

дизелів. Для розглянутого випадку обрано каталог дизелів MAN [12].
Необхідну інформацію цього каталогу представлено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Обраний судновий дизель MAN

Опис двигуна:	STX 7S26MC Низько швидкісний дизельний двигун 2-й морський рушійний двигун
Потужність двигуна:	1890 кВт
Номінальна швидкість двигуна:	212 об/хв
Вага рушія:	48 т
Тип палива двигуна:	Diesel Engine/ дизельний двигун
Мер BAR:	14.8
Витрата циліндричного масла:	0.7-1.5 г/кВт год
Довжина, L:	4440 мм

Результати необхідного вибору двигуна та необхідного передаточного числа редуктору представлені в таблиці 3.8. Обраний двигун має потужність 1890 кВт, найближчу до необхідної потужності 1780 кВт.

Характеристика обраного двигуна наведена таблиці 2.10.

Таблиця 2.10

Характеристика обраного двигуна

8. Вибір двигуна і передаточного числа редуктора	Позначення	Величина	Розмірність
Потужність двигуна	P_G^*	1890	кВт
Витрати палива двигуна	q_E^*	389	л/год
Кількість обертів двигуна	n_E^*	212	об/хв
Передаточне число редуктора	n_E^*/n_{opt}	3,53	-

Отримані характеристики пропульсивного комплексу.

Основними характеристиками розглянутих елементів пропульсивного комплексу є:

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	85
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Рушій - гвинт діаметром $D = 5,39$ м; відносним кроком $P/D = 1,31$; дисковим відношенням площі лопатей $BAR = 1,0$; оптимальною кількістю обертів $n_{opt} = 60,1$ об/хв та ККД $\eta_0 = 0,67$.
- Двигун – дизель MAN STX 7S26MC потужністю $P_G^* = 1890$ кВт; кількістю обертів $n_E^* = 212$ об/хв і витратами палива $q_E^* = 389$ л/год.
- Редуктор з передаточним числом 3,53.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		86

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було здійснено наступне:

- розглянуто методи вибору основних елементів балкеру;
- досліджено продукт-орієнтоване проєктування балкерів, зокрема система структурного підрозділу суднобудівних робіт – ESWBS та CER для будівництва балкеру, визначено вартість робіт проєктування та побудови балкеру;
- досліджено систем-орієнтоване проєктування балкеру;
- сформульовано задачі оптимізаційного вибору основних розмірів, описано алгоритм розв'язання задачі оптимізації;
- створено програмний комплекс для розв'язання проблеми оптимізації та виконано дослідницький проєкт балкеру;
- сформовано теоретичні поверхні балкеру;
- виконано такі розрахунки: 1) розрахунок статички (елементів теоретичного креслення), забезпечення вимог класифікаційного товариства до вантажної марки балкеру; 2) розрахунок стійкості балкеру при великих кутах нахилу, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його остійності; 3) розрахунок ходовості балкеру, забезпечення вимог класифікаційного товариства до міцності гребного валу та гребного гвинта балкеру.

Результатом концептуального проєктування став балкер (міні-балкер) вантажопідйомністю 9 000 тонн, архітектурно-конструктивний тип якого був однопалубним судном з чотирма трюмами, бульбоподібним носом, транцевою кормою, машинним відділенням та надбудовами, розташованими в кормі. На етапі технічного проєктування судна розглядалися проєкти, що задовольняють вимоги класифікаційного товариства, а також додатково доповнюють отримане концептуальне рішення вимогами до експлуатаційної надійності судна. Для цього, на

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	87
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

основі результатів концептуального проектування, була побудована 3D-модель корпусу судна та за допомогою програмного продукту Maxsurf, рекомендованого класифікаційним товариством, виконані розрахунки плавучості та остійності судна.

Отже, розроблений концептуальний проєкт суховантажного судна вантажопідйомністю 9000 тонн відповідає сучасним вимогам до ефективності, надійності та екологічної безпеки.

Отримані результати можуть бути використані як основа для подальшого технічного проектування, удосконалення конструкційних рішень і дослідження експлуатаційних властивостей судна.

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		88

Список використаної літератури

1. Інформація про водний транспорт України: стаття. Міністерство інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-vodniy-transport-ukraini.html?PrintVersion>
2. Список портів за контейнерним вантажообігом: стаття. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
3. Андрійченко Д. Рейтинг найбільших у світі морських портів: стаття. / ETS: Європейські транспортні системи. 2022. URL: <https://es-trans.com.ua/rejtyng-najbilshyh-u-sviti-morskyh-portiv/>
4. Nekrasov V. Conceptual Designing of Ships: monograph / Valeriy Nekrasov. Kyiv-Kherson: Oldi-Plus, 2019. 112 p. (in English).
5. Некрасов В.О. Оцінювання вартості та строків будівництва кораблів та суден. Навчальний посібник з курсу лекцій «Моделі функціонування судів». Миколаїв: НУК. 2017.
6. Довідкові дані щодо режиму вітру та хвилювання Балтійського, Північного, Чорного, Азовського та Середземного морів. Морський реєстр судноплавства. 2006. 450 с.
7. Довідник з теорії корабля: У трьох томах. Суднобудування, 1985. 544с.
8. Вентцель, Є.С. Теорія ймовірностей. Наука, 1961.576 с.
9. Maxsurf Enterprise V8. URL: <https://www.bentley.com/software/maxsurf/>
10. Хом'яков В.Ю. Удосконалення методів завантаження малотоннажних суден навалочними вантажами: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.13 «навігація та управління рухом» (271 – Річковий та морський транспорт). Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2021. 291. с. URL: <http://onma.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/DYSSER-ves-tekst.pdf>
11. Писарук Н.М. Дослідження операцій БДУ, 2015. 304 с. URL:

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	89
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

<https://pisaruk.narod.ru/books/OR.pdf>

12. Marine Diesel engines. MAN range - medium duty: Engine catalogue.URL:

https://www.suddieselmarine.com/wp-content/uploads/2015/01/man_medium_duty.pdf

13. Aquaplot Exploer : сайт. URL: <https://app.aquaplot.com/app/route>

					24.KPM.135.6112M.ПЗ	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		90