

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

« 19 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» на тему:

« Концептуальне проєктування балкера вантажопідйомністю 18 000 тонн
та дослідження його ефективності і надійності »

Виконав: студент групи 6112м
напряму підготовки (спеціальності)

135 Суднобудування,

Кораблі та океанотехніка

(шифр та назва напряму підготовки, спеціальності)



Бабенко Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., ст. вик. Ястреба О.П.



(прізвище та ініціали)

Миколаїв – 2025 р.

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

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми
к.т.н., доцент Пашенко.

« 12 » 09 2025 року

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

Студенту Бабенко Денису Олеговичу (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Концептуальне проєктування балкера вантажопідйомністю 18000т та дослідження його ефективності і надійності.

Керівник роботи к.т.н. ст. викл. Ястреба О.П.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора № від « » 2025 року

2. Термін подання роботи: 15.12.2025 р.

3. Вихідні дані по роботі:

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

3.2 Дальність плавання (відстань між портами) 694 милі

3.4 Район плавання Південний - Пірей

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

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

4.1. Вибір основних елементів судна, визначення його ефективності

4.1.1. Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів

4.1.2. Аналіз методів вибору основних елементів балкера

4.1.3. Продукт-орієнтоване проєктування балкерів

4.1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт - система ESWBS

4.1.3.2 Формування CER для будівництва балкера

4.1.3.3. Визначення вартості робіт з проєктування і побудови балкера

4.1.4 Систем-орієнтоване проєктування балкера на інтервалах часу його ефективного використання

4.1.4.1. Моделі віртуальних просторів експлуатації балкера

4.1.4.2 Модель інженерно-навігаційних властивостей балкера

4.1.4.3 Модель експлуатації балкера

4.1.4.3.1 Імовірнісні характеристики надійності балкера

4.1.4.3.2 Імовірнісні характеристики ефективності балкера

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

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

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата			
		Завдання видано		Завдання прийнято	
4.1	Некрасов В.О., професор	12.09.2025			
4.2	Пащенко 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 балкера	24.09.2025	
4.1.3.	Продукт-орієнтоване проєктування балкера	30.09.2025	
4.1.4.	Систем-орієнтоване проєктування балкера	07.11.2025	
4.1.5.	Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів	14.11.2025	
4.1.6.	Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації	21.11.2025	
4.1.7.	Програмний комплекс для вирішення проблеми оптимізації	28.10.2025	
4.1.8.	Дослідницький проєкт балкера	01.12.2025	
4.2.	Дослідження морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності		
4.2.1.	Формування теоретичної поверхні балкера	05.12.2025	
4.2.2.	Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення)	15.12.2025	
4.2.3.	Розрахунок стійкості при великих кутах нахилу	20.12.2025	
4.2.4.	Розрахунок ходовості балкера	25.12.2025	
4.2.5.	Технічний проєкт балкера	01.12.2025	
4.2.6.	Пояснювальна записка	10.12.2025	
4.2.7.	Презентація	15.12.2025	

Студент

(підпис)

Бабенко Денис Олегович

(ПІБ)

Керівник роботи

(підпис)

Ястреба Олексій Петрович

(ПІБ)

АНОТАЦІЯ

У рамках виконання магістерської дипломної роботи, згідно з постановкою завдання від кафедри теорії та проектування суден, було проведено комплексне дослідження, що охоплює два основних етапи проектування судна. Перший етап – концептуальне проектування – включав в себе проведення наукових досліджень, оптимізацію та вивчення функціональних характеристик балкера для ефективної експлуатації на транспортній лінії між портами Південний-Пірей через Чорне, Мармурове та Егейське море. Другий етап – технічне проектування – передбачав розробку клас-проекту, що задовольняє вимоги класифікаційного товариства та гарантує відповідність концептуального рішення вимогам до експлуатаційної надійності.

Під час концептуального проекту балкера вирішувалися важливі завдання: формування моделей експлуатації та інженерно-навігаційних характеристик для ретельного аналізу функціоналу судна в умовах Чорного, Мармурового та Егейського морів. Здійснювалось моделювання процесів експлуатації, розв'язувалися завдання функціонування та оптимізації розмірів балкера. Забезпечувалась максимальна ефективність та надійність функцій за допомогою сучасних методів дослідження та відповідних методологій. Такий підхід призвів до створення концептуального проекту, що ідеально відповідає умовам експлуатації та вимогам функціональності судна.

Отже, враховуючи вищезазначене, ключові параметри балкера були визначені через удосконалену програму оптимізації кафедри теорії та проектування суден. У цій програмі основним критерієм оптимізації було досягнення максимального прибутку. Таким чином, була встановлена ефективність транспортних операцій на визначеній лінії експлуатації.

Результатом концептуального проекту став балкер із вантажопідйомністю 18000 т. Архітектурно-конструктивний тип судна: однопалубне з чотирма трюмами, бульбовим носом, транцевою кормою і надбудовами, а також машинним відділенням, що розташоване в кормі. Таке концептуальне рішення гарантує високу ефективність та оптимальні умови для транспортування вантажу на визначеному маршруті.

У ході технічного проектування балкера було створено важливу складову клас-проекту, що відповідає вимогам класифікаційного товариства. З використанням програмного продукту Maxsurf та результатів концептуального проектування створено тривимірну модель балкера, в рамках якої проведено розрахунки його плавучості, остійності, непотоплюваності та ходовості. 3D-модель балкера була деталізована за

					24.ДМР.135.6112м.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

допомогою рендерингу для візуалізації зовнішнього вигляду судна із завантаженням та надбудовами.

Для покращення характеристик ходовості використано комплекс HydroComp. Крім того, був обраний гребний гвинт для балкера, а також економічний та екологічно безпечний двигун.

Отже, розробка концептуального і технічного проєкту балкера, який експлуатується на лінії Південний-Пірей, відповідає вимогам кафедри теорії та проєктування суден щодо забезпечення економічної ефективності та вимог Міжнародної морської організації (ІМО) до ключових морехідних характеристик судна - плавучості, остійності, непотоплюваності і ходовості, забезпечуючи його надійність у процесі експлуатації.

Ключові слова: балкер, оптимальне проєктування, ефективність судна, морехідні якості.

					24.ДМР.135.6112м.01.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ANNOTATION

Within the framework of the master's thesis, in accordance with the task set by the Department of Ship Theory and Design, a comprehensive study was conducted covering two main stages of ship design. The first stage, conceptual design, involved scientific research, optimization, and the study of the functional characteristics of a bulk carrier for efficient operation on the transportation route between the ports of South Piraeus through the Black, Marmara, and Aegean Seas. The second stage, technical design, envisaged the development of a class project meeting the requirements of the classification society and ensuring the compliance of the conceptual solution with the requirements for operational reliability.

During the conceptual design of the bulk carrier, significant tasks were addressed, including the formation of models for operation and engineering-navigation characteristics for a thorough analysis of the vessel's functionality in the conditions of the Black, Marmara, and Aegean Seas. Simulation of operational processes, problem-solving for functioning and optimization of the bulk carrier's dimensions were carried out. Maximum efficiency and reliability of functions were ensured using modern research methods and relevant methodologies. This approach led to the creation of a conceptual design that perfectly aligns with operational conditions and functional requirements of the vessel.

Considering the above, key parameters of the bulk carrier were determined through an enhanced optimization program of the Department of Ship Theory and Design. In this program, the primary optimization criterion was achieving maximum profit. Thus, the efficiency of transport operations on the designated route was established.

The result of the conceptual design was a bulk carrier with a cargo capacity of 18,000 tons. The architectural and structural type of the vessel is single-deck with four holds, a bulbous bow, a transom stern, and superstructures, as well as an engine compartment located at the stern. Such a conceptual solution ensures high efficiency and optimal conditions for transporting cargo on the designated route.

					24.ДМР.135.6112м.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

In the course of the technical design of the bulk carrier, an essential component of the class project was created, meeting the requirements of the classification society. Using the Maxsurf software and the results of conceptual design, a three-dimensional model of the bulk carrier was developed, with calculations of its buoyancy, stability, unsinkability, and maneuverability conducted within this framework. The 3D model of the bulk carrier was detailed using rendering to visualize the external appearance of the vessel with loading and superstructures.

To improve maneuverability characteristics, the HydroComp complex was utilized. Additionally, a propeller was selected for the bulk carrier, along with an economical and environmentally friendly engine.

Therefore, the development of the conceptual and technical design of the bulk carrier, operating on the South Piraeus route, complies with the requirements of the Department of Ship Theory and Design for ensuring economic efficiency and the International Maritime Organization's (IMO) requirements for key navigational characteristics of the vessel—buoyancy, stability, unsinkability, and maneuverability, ensuring its reliability in operation.

Keywords: bulker, optimal design, ship efficiency, seaworthiness.

					24.ДМР.135.6112м.01.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Анотація.....	4
Anotation	6
Зміст.....	8
ВСТУП.....	10
1 ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНА, ЩО ПРОЄКТУЄТЬСЯ.....	16
1.1 Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів.	16
1.1.1 Характеристики вантажоперевезень	17
1.1.2 Розміри та класи вантажоперевезень	17
1.1.3 Ринок вантажоперевезень.	20
1.1.4 Рік доставки вантажоперевезень	22
1.1.5 Вік флоту вантажоперевезень.....	22
1.2. Аналіз методів вибору основних елементів балкера	24
1.3 Продукт-орієнтоване проєктування балкера	31
1.3.1. Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт.....	31
1.3.2. Формування CER для будівництва балкера.....	33
1.3.3. Визначення вартості робіт з проєктування і побудови балкера	38
1.4. Систем-орієнтоване проєктування балкера на інтервалах його ефективного використання.....	40
1.4.1. Моделі віртуальних просторів експлуатації балкера	40
1.4.1.1. Географічний простір судових операцій.....	40
1.4.1.2. Простір погодних умов району експлуатації.....	41
1.4.1.3. Простір виробничих відносин робочого процесу.....	41
1.4.1.4. Простір фінансових відносин робочого процесу.....	42
1.4.2. Модель інженерно-навігаційних властивостей балкера	45
1.4.3. Модель експлуатації балкера.....	47
1.4.3.1. Імовірнісні характеристики надійності балкера	48
1.4.3.2. Імовірнісні характеристики ефективності балкера.....	50
1.4.3.3. Складні показники ефективності та надійності балкера	51
1.5. Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера	52

					24.ДМР.135.6112м.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1.6. Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації	54
1.7. Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації.....	56
1.8. Концептуальний проєкт балкера	60
2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ ПРОЄКТНОГО РІШЕННЯ БАЛКЕРА	66
2.1. Формування теоретичної поверхні балкера.....	66
2.2 Розрахунок гідростатичних кривих – кривих елементів теоретичного креслення балкера.	67
2.3.Розрахунок остійності при великих кутах нахилу, удиферентування та розрахунок аварійної посадки та остійності.....	69
2.4 Проєктування пропульсивного комплексу балкера.	78
2.4.1. Розрахунок ходовості балкера у програмі Maxsurf Resistance.....	78
2.4.2 Розрахунок характеристик рушія та двигуна в програмі HydroComp PropExpert	82
ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89

ВСТУП

Вибір концепції проєкту балкера ґрунтується на вивченні різноманітних операцій усього життєвого циклу: проєктування, будівництво, експлуатація та утилізація. Експлуатація, як ключовий етап, організовується з максимальною ефективністю для досягнення мети з найбільшою вигодою. Аналіз функціональних операцій балкера та розробка моделей дозволяють успішно визначити основні розміри та параметри, що призводить до ефективного проєктування навалочного судна. Сучасне проєктування таких суден часто ґрунтується на створенні моделей їх функціонування та оптимізації ключових елементів.

На етапі концептуального проєктування будь-якого судна, важливого на ранній стадії проєктування, проводиться пошук оптимального конструктивного рішення. Цей пошук визначає основні розміри та характеристики судна, необхідні для досягнення його функціональної мети. Визначення оптимального рішення значно залежить від умов будівництва та технічного обслуговування судна під час експлуатації.

На цьому етапі пошуку виникають два основних напрямки: продукт-орієнтоване проєктування, спрямоване на створення судна як продукту промисловості, та систем-орієнтоване проєктування, яке враховує умови експлуатації судна як складної системи. Продукт-орієнтоване проєктування фокусується на витратах на будівництво, модернізацію і технічне обслуговування балкера, тоді як головною метою систем-орієнтованого проєктування є отримання розмірів і характеристик балкера, що забезпечать найвищу ефективність його функціонування за розумними витратами на всі етапи виробництва і обслуговування.

Вибір оптимального проєктного рішення для балкера на етапі концептуального проєктування спрямований на досягнення максимального рівня ефективності та надійності судна. Зазвичай використовується комбінація показників, яка характеризує досягнутий рівень ефективності та безпеки плавання.

					24.ДРМ.135.6113м.13.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Математичний інструмент вибору оптимального проектного рішення на цьому етапі - теорія дослідження операцій. Використання цієї теорії дозволяє:

- визначити тип та умови експлуатації балкера;
- створити середовище існування балкера через формування віртуальних просторів під час різних етапів;
- побудувати віртуальну модель балкера, включаючи його інженерно-навігаційні якості;
- моделювати процеси створення, утримання та використання балкера;
- визначити показники ефективності та надійності;
- розробити методи розв'язання задач функціонування;
- організувати процес пошуку оптимального проектування з трансформацією розмірів і характеристик судна;
- визначити критерій завершення процесу оптимізації – досягнення екстремуму цільової функції.

Таким чином, концептуальне проектування судна включає створення моделей функціонування та формулювання задач, які вирішуються за допомогою методів теорії ймовірностей. Всі явища, пов'язані з функціональними операціями створення та експлуатації суден, розглядаються як випадкові, що вимагає математичного опису.

У цьому контексті використовується апарат теорії ймовірностей, який включає в себе випадкові події, випадкові величини і випадкові функції. Дана дипломна робота вирішує загальні проблеми функціонування балкера, будуючи моделі та шукаючи методи їх вирішення на основі цього апарату.

При концептуальному проектуванні розглядається весь спектр операцій зі створення і експлуатації судна, кожна з яких характеризується ресурсом і часом операції. Типові проміжки часу включають життєвий період судна, річну експлуатацію, час кругового рейсу і інші, а вартість трудових і матеріальних складових операції служить узагальненим показником ресурсу.

Протягом життєвому періоду експлуатації судна, що позначається як T_{life} , період його створення включає в себе і як час проектування, T_{design} , і період будівництва, T_{build} . Операційний період ділиться на етапи ефективного

					24.ДРМ.135.6113м.13.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

використання, $T_{j\text{ effc.use}}$, коли судно виконує своє призначення, етапи технічного обслуговування та поточних ремонтів, $T_{k\text{ Repair}}$, і етапи капітальних ремонтів та утилізації, $T_{m\text{ overhaul}}$:

$$T_{life} = T_{design} + T_{build} + \sum_{j=1}^J T_{j\text{ effec.use}} + \sum_{k=1}^K T_{k\text{ repair}} + \sum_{m=1}^M T_{m\text{ overhaul}} \quad (1.1)$$

Результат операцій комерційного використання судна зазвичай представляється у вигляді залежності прибутку P , що дорівнює різниці доходів I і витрат E за час життя судна:

$$P = I - E, \quad (1.2)$$

де I - сума доходів $I_{j\text{ effec.use}}$ за час ефективного використання судна:

$$I = \sum_{j=1}^J I_{j\text{ effec.use}}; \quad (1.3)$$

E - сума витрат на побудову і оновлення судна $E_{prod\&renewal}$ і корисне використання судна $E_{effc.use}$:

$$E = E_{prod\&renewal} + E_{effc.use},$$

в якій

$$E_{prod\&renewal} = E_{design} + E_{build} + \sum_{k=1}^K E_{k\text{ repair}} + \sum_{m=1}^M E_{m\text{ overhaul}}. \quad (1.4)$$

Тут E_{design} - витрати на проєктування судна; E_{build} - витрати на його будівництво; $E_{k\text{ repair}}$ - витрати на поточні ремонти; $E_{m\text{ overhaul}}$ - витрати на капітальний ремонт і утилізацію.

Всі характеристики функціональних операцій, що представлені в формулах (1.1) - (1.4), є випадковими величинами.

Проєктування суден включає участь науково-дослідних установ, конструкторських бюро загального призначення та конструкторських бюро суднобудівельних підприємств (верфей). Основними етапами проєктування для цих організацій є концептуальне, технічне і робоче проєктування.

Відповідно Таблиці 1, процес формування інформації про судно може здійснюватися двома напрямками: знизу-вгору, від деталей до загальних характеристик, і зверху-вниз, в зворотному напрямку. Під час знизу-вгору руху інформація, отримана при аналізі детальних креслень і відомостей,

					24.ДРМ.135.6113м.13.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

узагальнюється в інформацію про розділи масового навантаження судна, робіт зі створення розділів та вартостей матеріалів і обладнання, що входять в ці розділи.

Таблиця 1 - Рівні деталізації системи розбиття суднових робіт
і системи співвідношень для оцінки витрат на виконання цих робіт
при проектуванні і будівництві суден

№	Етапи проектування (Результат)	Етапи проектування при укладенні контракту на будівництво судна верф'ю	Рівні структури розбиття корабля - SWBS	Рівні інформації	Наближення за оцінкою витрат	Співвід-ношення для оцінки витрат -CER
1	2	3	4	5	6	7
1	Концептуальне проектування (Аванпроектів або ескізний проект)	Концептуальний проект	1-й разряд ESWBS	Характеристики судна	Параметричне	Емпіричні CER (ECER)
2	Технічне проектування (Клас-проект)	Попередній проект	2-й разряд SWBS/ ESWBS	Характеристики судна і систем	Параметричне	Емпіричні CER і прямі CER
3	Робоче проектування (Робочий проект)	Контрактний проект	3-й разряд SWBS	Характеристики судна систем, підсистем і деталей	Прямий аналіз	Прямі CER

Подальше узагальнення (укрупнення) інформації включає розділи, такі як "Конструкції", "Пропульсивна установка" і т.д., прогресуючи від деталей до загальних характеристик. З іншого боку, при русі від верху донизу обсяг інформації безперервно деталізується і розширюється.

Суднобудівні верфі використовують стандартні системи розбиття робіт для будівництва суден, такі як SWBS (Ship Work Breakdown System - Система розбиття суднових робіт) або ESWBS (Expanded Ship Work Breakdown System - Розширена система розбиття суднових робіт). Ці стандарти регламентують розбиття маси судна на частини. Протягом процесу будівництва верфі накопичують інформацію про розбиття маси різних типів суден.

Згідно з вказаними стандартами, суднобудівні підприємства також збирають дані про вартість деталей, укрупнених розділів та відповідних робіт. Ця інформація складає систему співвідношень для оцінки витрат на роботи та матеріали (CER - Cost Estimate Relations).

					24.DPM.135.6113м.13.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

На етапах концептуального та технічного проектування, коли докладна інформація про судно відсутня, використовуються дані про розділи робіт та ваги судна за допомогою ESWBS (Empirical Ship Work Breakdown System) і ECER (Empirical Cost Estimate Relations), які отримані з аналізу статистичних даних про побудову суден. У зв'язку зі стрімким зростанням вартості матеріалів та комплектуючих, визначення емпіричних співвідношень системи розбиття суднових робіт (Empirical SBWS) та емпіричних співвідношень системи оцінок вартості робіт і матеріалів (Empirical CER) набуває особливого значення.

Об'єктом даної дипломної роботи є вантажоперевізник, який використовується для послідовних рейсів між портами Південний та Пірей.

Основні завдання включають:

- ретельний аналіз функціональних операцій балкера, який експлуатується за схемою послідовних рейсів;
- визначення характеристик цих операцій за допомогою сучасних імовірнісних методів дослідження операцій;
- вибір критерію ефективності функціональних операцій балкера для подальшого визначення його основних розмірів та характеристик;
- постановка оптимізаційної задачі вибору розмірів балкера, вибір алгоритму для розв'язання цієї задачі та здійснення оптимізації з метою отримання проекту балкера з найвищою ефективністю та надійністю під час експлуатації на маршруті Південний – Пірей.

					24.ДРМ.135.6113м.13.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

					24.ДРМ.135.6112м.13.ПЗ.01									
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата										
Студент		Бабенко Д.О			Вибір основних елементів балкера				Літ.		Арк.	Аркушів		
Керівник		Ястреба О.П.									15			
Рецензент.		Некрасов В.О.							НУК					
Зав.Каф.		Некрасов В.О.												

1. ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНА, ЩО ПРОЄКТУЄТЬСЯ.

1.1 Огляд основних тенденцій розвитку світового флоту балкерів

(див. <https://www.man-es.com/marine/applications/bulker>)

За останнє тисячоліття спостерігається раптовий зріст попиту на природні ресурси, зокрема, залізну руду, мідь, зерно та інші сипучі матеріали. З 2000 по 2018 рік обсяги перевезень сипучих вантажів зросли майже вдвічі, скакнувши з 17 380 до 34 189 мільярдів тонн-миль [9].

Ця неабиякий попит на сировину є результатом процесів глобалізації, особливо в Китаї та інших країнах Південно-Східної Азії, де економіка бурхливо розвивається. Промисловість Південно-Східної Азії тепер залежить не лише від залізної руди, а також від збільшеного вживання інших сипучих матеріалів, таких як зерно та соя.

Попит на судноплавний ринок сипучих вантажів став особливо актуальним після світової економічної кризи 2008 року, що призвело до великого зростання укладання контрактів на будівництво суден. Але після кризи попит різко впав і, попри певну стабілізацію в 2014-2015 роках, знову зменшився через перенасичення ринку. Зміни в обсягах замовлень суден різних типів ілюструються на Рис.1.1.

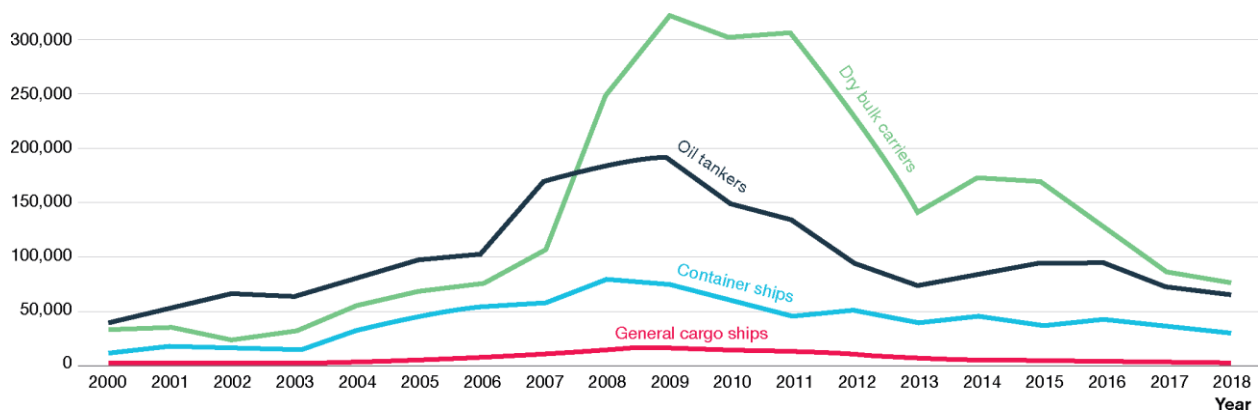


Рис.1.1 Схема замовлення тоннажності для різних типів суден, 2000-2018[9]

Але світова економіка в процесі активного розвитку, вдосконалення тарифів на вантажні перевезення та впровадження сучасних технологій, що робить судна для перевезення насипних вантажів конкурентоспроможними у порівнянні з тими, які були побудовані приблизно в 2008-2010 роках. Завдяки цим чинникам, очікується збільшення замовлень на перевезення вантажів після спаду,

спричиненого економічною кризою.

1.1.1 Характеристики вантажоперевезень

Сипучий вантаж визначається як товар, який завантажується безпосередньо в трюм судна, і зазвичай це товари, такі як нафта, зерно, руди, боби, цемент і подібні, які не потребують спеціального упакування чи підрахунку.

Балкери, у свою чергу, це судна, призначені для перевезення сипучого вантажу, і вони спеціалізуються на транспортуванні товарів без використання бочок, мішків, контейнерів та інших упаковок. Ці судна зазвичай завантажуються під впливом сили тяжіння.

Існують два основних типи вантажоперевезень, які ґрунтуються на типі вантажу: сухий балкер та мокрий балкер, останній звичайно відомий як танкер. У даній роботі докладно розглядається судно для сипучих вантажів, яке іноді називається навантажувачем або судном для насипних перевезень.

Введення сипучих вантажів у транспортну систему на початку 50-х років минулого століття дозволило суттєво скоротити витрати на транспортування товарів, оскільки не було необхідності упакувати їх перед завантаженням на судна, як це було при перевезенні на генеральних судах. Сьогодні сипучі вантажоперевезення становлять один із трьох провідних типів торгових суден, разом з танкерами та контейнерними суднами. Їхня кількість становить практично 43% світового флоту за тоннажем, що позначається збільшенням порівняно з 36% у 2010 році.

Судна-балкери існують у різних розмірах і класах, часто отримуючи імена на честь конкретних шляхів чи портів, в які вони можуть ввійти. Місткість цих суден коливається від кількох сотень тонн для прибережних вантажів до 400 000 тонн для дуже великих вантажних суден серії Chinamax (VLBC) та інших подібних.

1.1.2 Розміри та класи вантажоперевезень

Дедвейт судна вимірюється в метричних тоннах (1000 кг) і включає вагу бункерів та інших запасів, необхідних для руху судна.

Зазвичай розмір насипного судна визначається максимальним можливим дедвейт тоннажем, який відповідає повністю завантаженому при повній літній

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

осадці у солоній воді (зазвичай щільність 1025 т/м^3), що також називається мінімальною осадкою судна. Однак іноді дедвейт-тоннаж (dwt) відноситься до проєктної осадки, яка зазвичай менша за мінімальну осадку і відповідає середньому завантаженому судну, яке перебуває в експлуатації. У даній роботі ми розглядаємо розміри насипних суден на основі мінімальної осадки, щільності морської води 1025 т/м^3 та типової конструкції корпусу судна.

Залежно від розмірів, маси та конструкції корпусу, насипні судна можуть бути класифіковані як основні та підгрупи, які перераховані в таблиці 1.1. Проте існує деяке перекриття між цими категоріями, і визначення може варіюватися залежно від торгових традицій.

Наприклад, існує перекриття між класами суден, іноді надзвичайно великі вантажні транспортери, такі як Handymax, які перевищують розміри приблизно 55000 тонн, і їх нерідко називають Супрамакс. Ці судна мають дедвейт-тоннаж приблизно 60000 тонн, максимальну довжину близько 190 метрів (японські гавані), а зараз і 200 метрів, та ширину 32,2 метри (для проходження Панамського каналу).

Таблиця 1.1 -Типові основні та підкласи навалювальних суден з зразковими розмірами. Для деяких класів перераховані популярні підкласи, які стосуються проєктам, які відповідають певним обмеженням.

	Розмір, мінімальний [dwt]	Типовий LOA [m]	Типовий макс. широта[m]	Типова максимальна. проєкт[m]
Маленький	10,000	~115	~18	<10
Зручний розмір	10-35,000	130-150	~26	~10
Максимальний	35-55,000	150-200	32.2	10-12
Панамакс	55-80,000	190-225	28-32.2	12-14
Супрамакс	60,000	190-200	32.2	11-13
Капесайз	80-200,000	230-270	43-45	17
Камсармакс	~84,000	229	32.2	14.4
Дюнкерк макс	~175,000	289	45	~16
Дуже великий балкер	>200,000	>270	45-60	15-20
Ньюкаслмакс (AUS)	~205,000	299.9	47-50	16.1

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільший	~400,000	~360	~65	22-23
------------	----------	------	-----	-------

Протягом майже століття розміри Панамського каналу були визначальними для суден, відомих як Panamax, які мали обмеження щодо своїх розмірів. Навіть зараз, не зважаючи на максимальну довжину поточних шлюзових камер, яка становить 294,13 метра (965 футів) для першої та другої смуги, термін "Панамакс" зазвичай характеризує судна з шириною до 32,2 / 32,3 метра (106 футів), загальною довжиною не більше 225 метрів та осадкою 12,04 метра (39,5 футів). Ця обмеженість довжини судна виникає з того, що багато портів та інфраструктура світових терміналів розраховані на судна довжиною 225 метрів.

Навіть після введення третього панамського шлюзу у 2016 році стандарти традиційного Panamax залишаються важливими для суден, які перевозять сипучі вантажі. Збільшення розмірів більше орієнтоване на контейнерні судна та інші типи суден, які перевозять відносно легкі вантажі, такі як судна для перевезення скрапленого природного газу (СПГ).

Нові шлюзи дозволяють суднам мати максимальну осадку 15,2 метра, що значно менше, ніж типова осадка 20-22 метри для суден, які перевозять сипучі вантажі. Ці судна, інакше відомі як "Panamax" зазвичай відповідають за довжиною та шириною третьої смуги (див. Таблицю 1.2). У цьому документі термін "Panamax" буде використовуватися для старих розмірів Панамського каналу.

Таблиця 1.2 - Розміри панамських замків. * Межі протягу час від часу посилюються залежно від рівня води в сусідніх озерах

	L [m]	B [m]	D [m]	H [m]
Розміри замку смуги 1 і 2	305	33.5	12.5-13.7*	
Розміри судна Old-Panamax	294	32.2	12.04	57.9
Розміри замка доріжки 3	427	55	18.3	-
Розміри судна New-Panamax	366	51.25	15.2*	57.9

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Судна класу Panamax продовжують збільшувати свою вантажомісткість, оскільки глобальний конкурентний тиск змушує верфі пропонувати додаткові можливості вантажопідйомності. Таким чином, було розроблено спеціальний тип суден, відомий як Камсармакс, зі збільшеною загальною довжиною 229 метрів та дедвейтом 84000 тонн. Це найбільше судно, яке може бути завантажено в найбільшому порту бокситів у світі - порту Камсар в Екваторіальній Гвінеї.

Кількість суден класу Capesize, тобто суден з вантажопідйомністю понад 80 000 тонн, постійно зростає, оскільки вони стають все більшими. Найбільші з них отримують назву "Ultra Large Capesize" або просто " Very Large Bulk Carrier " (VLBC).

1.1.3 Ринок вантажоперевезень

На сьогоднішній день флот вантажних суден з вантажопідйомністю понад 5000 тонн налічує понад 11219 одиниць. За даними Рис. 1.2 та 1.3, ми можемо спостерігати розподіл флоту вантажних суден серед класів за категоріями. З більш ніж 40% флоту, обчисленого за кількістю суден, становлять судна з вантажопідйомністю менше 55000 тонн, з яких 19,8% припадає на судна Handysize та 18,5% на судна Handymax. На судна Panamax припадає 30% від загальної кількості, а великі судна класу Capesize та VLBC вже займають практично 30% флоту, і ця цифра продовжує зростати порівняно з минулим періодом.

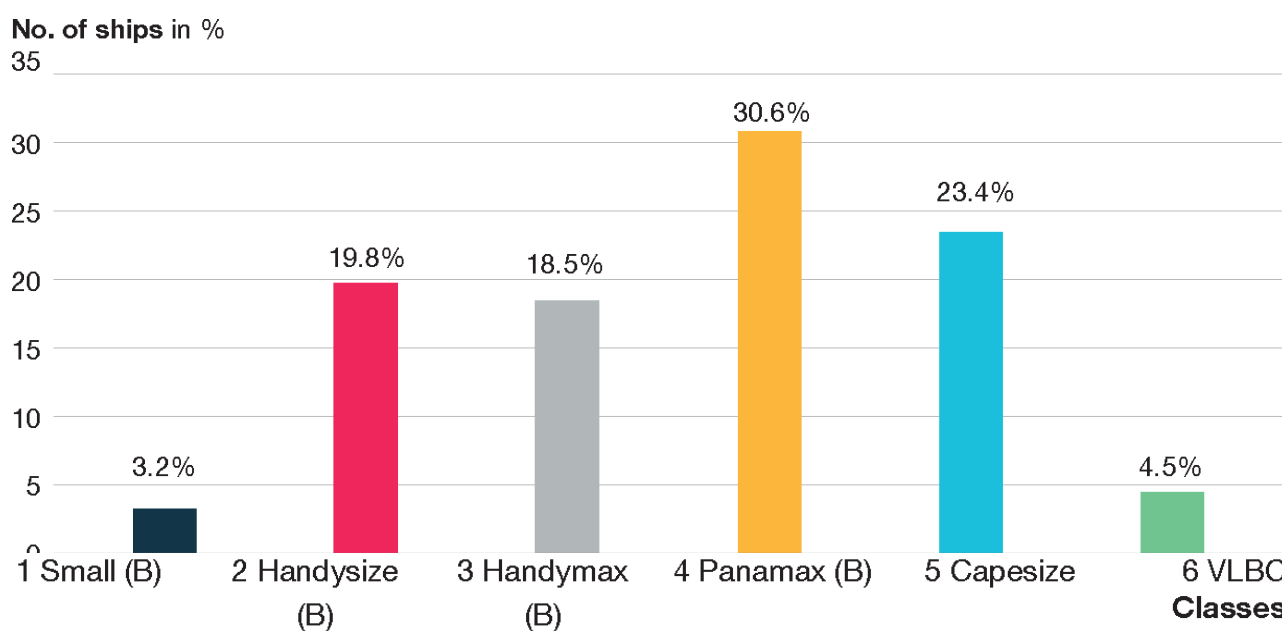


Рис. 1.2 -Розподіл основних класів наливних вантажів понад 5000 т.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за кількістю суден

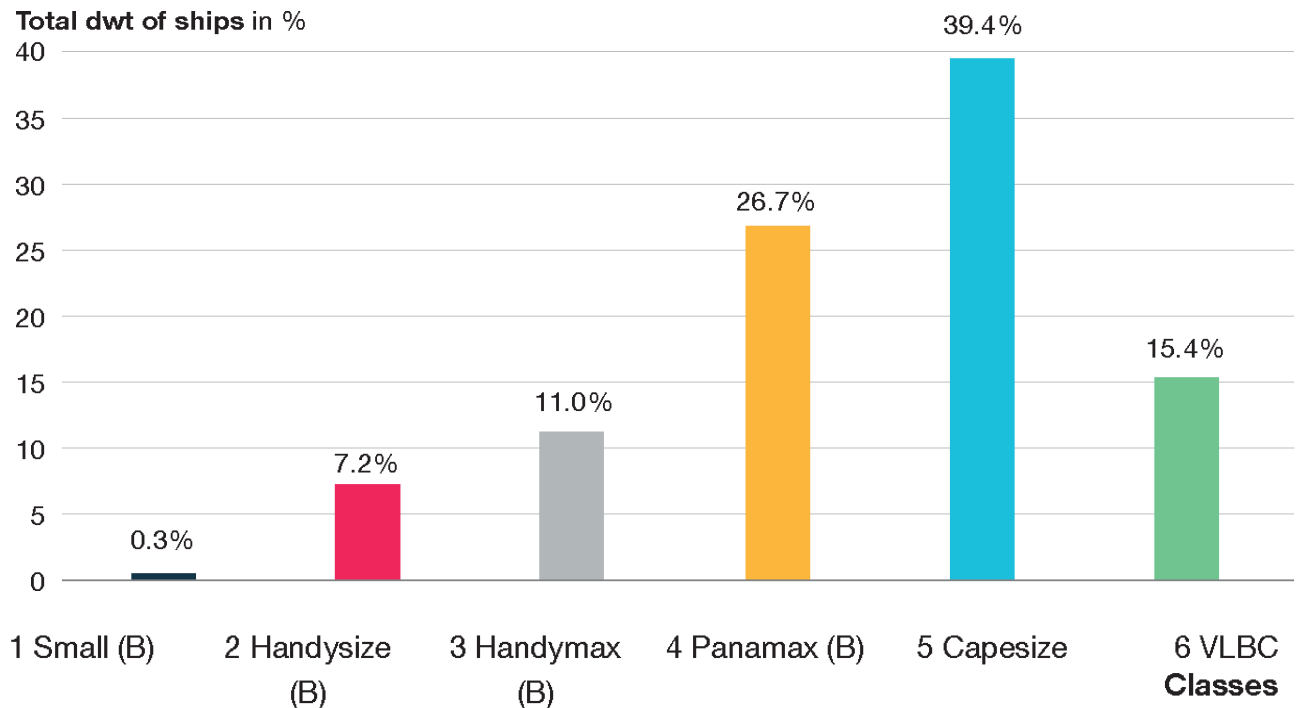


Рис. 1.3 -Розподіл основних класів навіпних вантажів понад 5000 т,
по дедвейту тоннажу

При порівнянні загальної вантажопідйомності суден ми спостерігаємо, що розподіл класів вантажних суден змінюється на користь великих вантажних суден, таких як Panamax, Capesize та VLBC, як показано на Рис. 1.4.

Загальна тенденція полягає в тому, що розміри замовлених вантажних суден постійно зростають (див. Таблицю 1.3). Це відображається в кількості суден у відсотках, які діють в існуючому флоту та суден, замовлених до 2019 року. Значущим аспектом є те, що відсоток суден Handysize та Handymax в замовленнях значно нижчий, ніж їхня представленість в існуючому флоті.

Таблиця 1.3: Відсоток класів суден у флоті та за замовленням за кількістю суден

		У флоті		На замовлення		Всі
Маленький	363	3.2%	8	0.8%	371	3.0%
Зручний розмір	2,221	19.8%	51	5.4%	2,272	18.7%
		24.DPM.135.6112м.01.ПЗ.01				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк. 21	

Зручний макс	3,073	18.5%	122	12.9%	2,195	18.0%
Старий-Панамакс	3,432	30.6%	264	27.9%	3,696	30.4%
Capesize	2,621	23.4%	350	37.0%	2,971	24.4%
Великий Capesize	509	4.5%	151	16.0	660	5.4%
VLBC	11,219	100%	646	100%	12,165	100%

1.1.4 Рік доставки вантажоперевезень

Рис. 1.4 демонструє динаміку кількості балкерів, які були споруджені протягом п'ятирічних періодів, починаючи з 1950-х років. Понад 30% усіх насипних суден, які коли-небудь були зведені та мали вантажопідйомність понад 5000 тонн, були введені в експлуатацію під час буму насипних вантажів, що настала приблизно в 2010 році.

1.1.5 Вік флоту вантажоперевезень

На Рис.1.5 представлено розподіл віку флоту вантажоперевезень наливом на стан на 2019 рік. Діаграма показує, що близько 25% всіх вантажних суден, які зараз знаходяться в експлуатації, були споруджені протягом останніх п'яти років, тоді як 43% були зведені у період з 6 по 10 років тому, що відповідає часу буму насипних вантажів в 2010 році. Судна, побудовані більше 26 років тому, становлять лише 5,5% від всього вантажного флоту.

Порівнюючи кількість суден, зведених за певний 5-річний період, з віком вантажних суден, що експлуатуються на сьогоднішній день (див. Рисунок 1.6), видно, що близько 80% суден експлуатуються до 20 років, 40% - після 25 років і приблизно 15% - менше 3 років.

Середній термін служби балкерів становить трохи менше 25 років, що є наслідком значного збільшення їхньої потужності під час буму балкерів. Однак після спаду ринку багато старих вантажних балкерів застаріли і були виведені з експлуатації.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

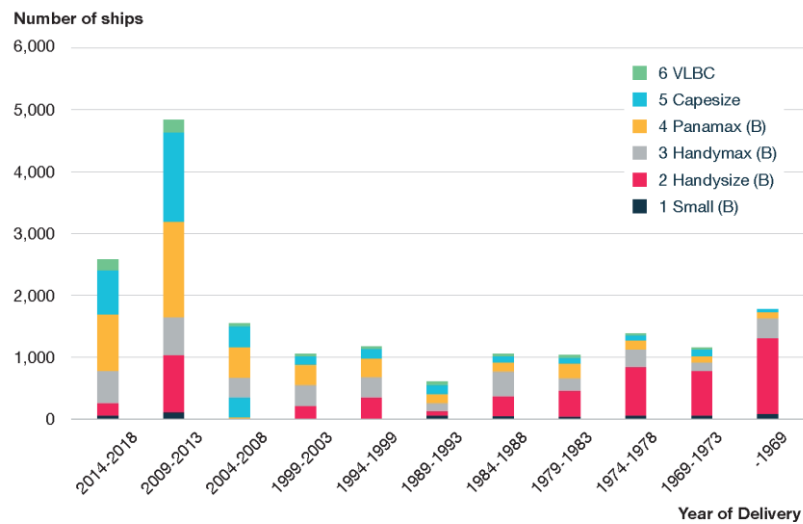


Рис. 1.4 - Кількість вантажних балкерів, що перевищують 5000 т, збудованих протягом 5-річних періодів

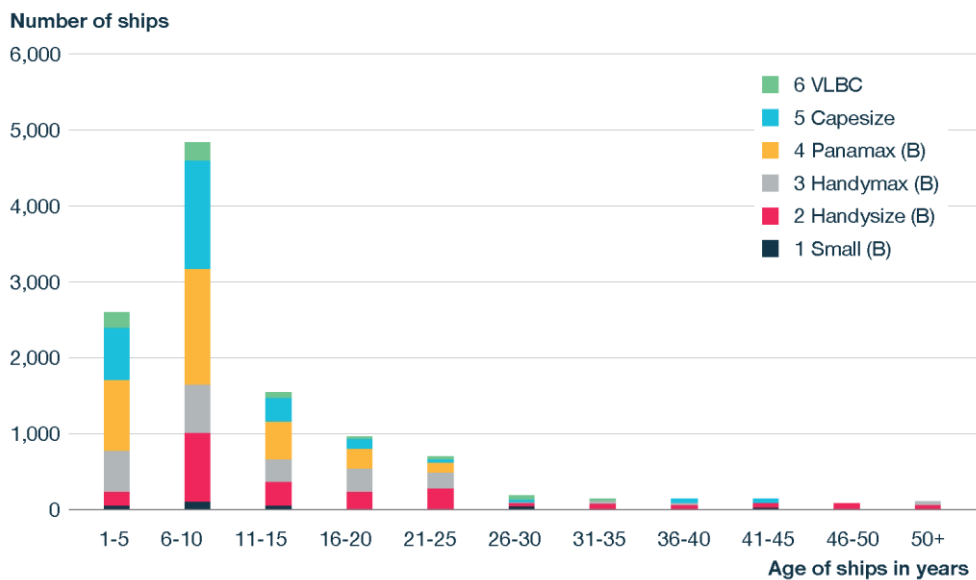
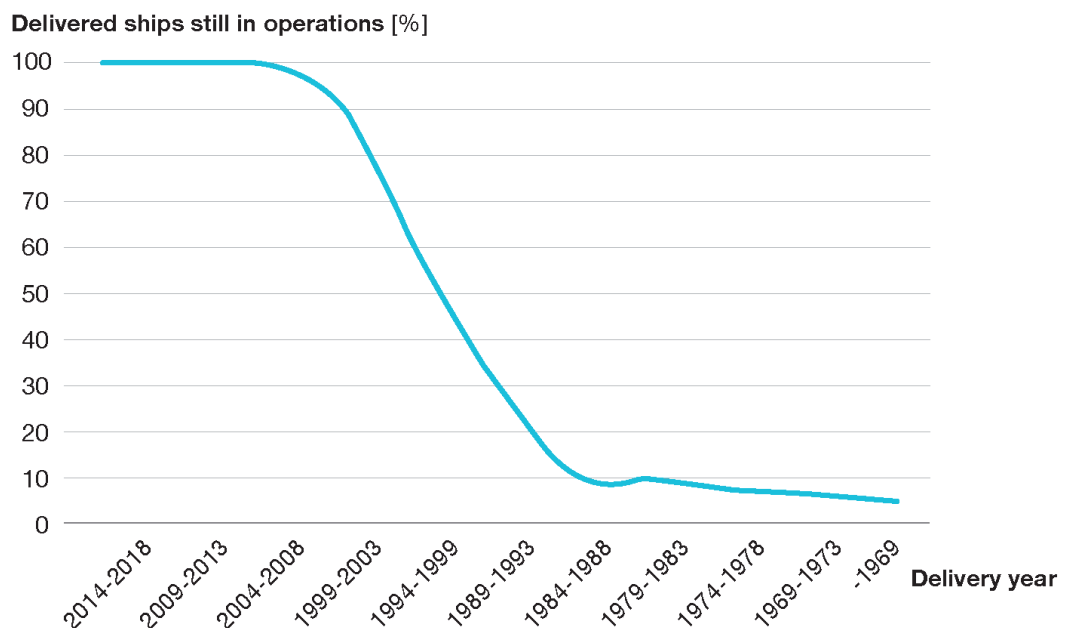


Рис. 1.5.- Вік флоту вантажоперевезень за вказаний 5-річний період



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01

Рис. 1.6 - Відсоток наливних вантажів, поставлених все ще в експлуатації протягом певного 5-річного періоду

На момент 2019 року, було зроблено 946 замовлень на перевезення вантажів, вагою понад 5000 тонн, що становить 95 мільйонів вагових тонн. Це відповідає 8,4% загальної кількості вантажних балкерів за кількістю та 11,5% за вагою в порівнянні з існуючим флотом.

1.2 Аналіз методів вибору основних елементів балкера

Процес проєктування судна може бути дуже складним через різноманітні вимоги технічного завдання, які можуть бути суперечливими. Наприклад, для забезпечення швидкісної механізації вантажних робіт часто потрібно максимальне розкриття верхньої палуби судна та рівномірний розподіл вантажу по довжині та ширині судна. Однак це може ускладнювати завдання забезпечення загальної та місцевої міцності корпусу судна та вимог до непотоплюваності.

Одним з найважливіших аспектів проєктування судна є встановлення головних елементів судна, які визначатимуть його навігаційні та експлуатаційні якості. Для вирішення цього завдання використовують аналітичні методи, такі як метод порівняння (зазвичай з використанням статистичних даних), градієнтний метод і метод випадкового пошуку. Іноді, в залежності від особливостей технічного завдання, один з допоміжних методів може бути використаний як основний.

Ця складність вимагає великої уваги до деталей та компромісів між різними вимогами для успішного проєктування сучасних суден.

Аналітичний метод - це математичний метод аналізу, який використовує системи рівнянь для вираження функціональних залежностей між різними елементами проєктованого судна та параметрами завдання. Ці залежності можуть включати відомі та невідомі величини та параметри. Аналітичний метод

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовує математику та фізику для знаходження оптимальних параметрів корпусу судна та його складових частин, враховуючи вимоги до нього.

Аналітичний метод зазвичай поєднується зі статистичним методом, який використовує дані, отримані з досвіду проєктування, будівництва та експлуатації суден певного призначення. Використовуючи статистичний метод, важливо мати дані про велику кількість суден з аналогічним призначенням та конструкцією, щоб провести аналіз та зробити висновки.

Під час використання статистичного методу:

- Числові дані повинні базуватися на надійних та перевірених даних з великої кількості суден з аналогічним призначенням.
- Судна, для яких збираються статистичні дані, мають бути подібні за призначенням та конструкцією до проєктованого судна та плавати в аналогічних умовах.
- Використані числові дані повинні оброблятися однаковими методами.
- Важливо не базуватися виключно на середніх значеннях, а критично оцінювати їх, враховуючи особливості завдання та досягнення оптимальних експлуатаційно-технічних показників для проєктованого судна.

Метод порівняння в проєктуванні суден полягає у порівнянні даних технічного завдання з інформацією про існуючі судна, які є схожими за призначенням та конструкцією з проєктованим судном. Цей метод допомагає визначити головні елементи проєкту та параметри судна шляхом аналізу результатів порівняння цих даних.

Окремим варіантом методу порівняння є метод перерахунку з прототипу. В цьому методі використовується існуюче судно як прототип, і в проєкті змінюються лише ті параметри, які вимагаються технічним завданням. Це дозволяє скоротити час та зусилля, необхідні для розробки нового проєкту.

Аналітичні методи проєктування суден зазвичай дають наближені рішення, оскільки існує багато невідомих параметрів та змінних. Тому часто використовується метод послідовних наближень для уточнення результатів. Цей метод включає в себе наступні основні положення:

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Послідовність різних наближень.
- Використання функціональних залежностей з мінімальною кількістю змінних для перших наближень.
- Поступове введення додаткових змінних для подальших наближень.
- Розуміння ступеня точності формул, які встановлюють функціональні залежності між змінними.

Метод послідовних наближень допомагає поетапно уточнювати результати проєктування та дозволяє досягти оптимальних експлуатаційно-технічних показників для проєктованого судна.

Зазначений метод аналізу використовує послідовні наближення для визначення основних параметрів проєктованого судна. В першому наближенні визначають водотоннажність судна (D) та потужність головних двигунів (N_e) на основі вихідних даних, таких як вантажопідйомність (P), швидкість судна (v) і дальність плавання (Z). Водотоннажність і потужність обчислюються з урахуванням аналітичних залежностей, які описують важливі характеристики судна, такі як плавучість, стабільність і міцність.

Потім, якщо основні елементи судна задовольняють вимоги, метод переходить до визначення головних розмірів судна (L , B і T , якщо не вказано) в першому наближенні. В цьому етапі перевіряють вимоги, які пред'являються умовами плавання. Якщо головні елементи відповідають умовам, задача вибору цих елементів в першому наближенні вирішена. У протилежному випадку, метод продовжується до другого наближення і подальших, доки параметри не відповідатимуть вимогам.

Якщо є потреба в подальшому уточненні головних елементів, вводять нові змінні величини, які не враховувалися попередньо, і повторюють розрахунки з наступними наближеннями. Такий процес дозволяє досягти точних параметрів проєктованого судна, які задовольняють усі вимоги технічного завдання і умов плавання.

Метод послідовних наближень і *метод варіацій* є двома корисними інструментами в процесі проєктування суден. Поєднання цих методів може бути дуже ефективним під час пошуку оптимальних параметрів судна.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метод послідовних наближень допомагає систематично покращувати параметри судна в ітераціях, зокрема, враховуючи водотоннажність, потужність двигунів, головні розміри і багато інших характеристик. Цей метод ґрунтується на аналітичних залежностях і дозволяє отримувати точні результати.

Метод варіацій дозволяє досліджувати різні комбінації параметрів судна, такі як відношення головних розмірів L/V та V/T , які впливають на ходовість, керованість, експлуатаційні зручності тощо. Він може допомогти визначити оптимальний варіант, враховуючи різні вимоги і якості судна.

Поєднуючи ці два методи, інженери можуть систематично досліджувати оптимальні параметри судна з огляду на основні вимоги та навігаційні та експлуатаційні якості. Метод варіацій допомагає оцінити різні варіанти і зрівняти їх, щоб знайти найкращий.

Проте слід враховувати, що метод варіацій може вимагати значних обсягів робіт через потребу розглядати багато можливих комбінацій параметрів судна. Важливо збалансувати між обсягом робіт та отриманими результатами для знаходження оптимальних рішень.

Отже, поєднання методу послідовних наближень і методу варіацій може бути корисним інструментом для ефективного проєктування суден, але потребує обережного аналізу і врахування обсягу робіт.

Градiєнтний метод є потужним інструментом оптимізації, але важливо враховувати його недоліки та обмеження, особливо в складних задачах, де існує багато локальних екстремумів або коли функція-ціль має особливості, які ускладнюють процес оптимізації.

Переваги градієнтного методу:

- Ефективність з обчислювальної точки зору: Градієнтний метод може бути швидким та обчислювально ефективним, оскільки вимагає обчислення лише градієнта функції-цілі, а не всієї функції. Це особливо важливо для задач з великою кількістю параметрів суден.
- Зручність налаштування: Градієнтний метод добре працює з різними видами функцій-цілей і може бути застосований для оптимізації параметрів суден різних типів.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Локальний пошук: Локальний характер градієнтного методу може бути корисним, коли важливо знайти найкраще можливе рішення в межах обмежень і умов, навіть якщо воно не є глобальним оптимумом.

Недоліки градієнтного методу:

- Локальність оптимуму: Головним недоліком градієнтного методу є його схильність до зупинки в локальних екстремумах, не завжди здатного знайти глобальний оптимум. Це означає, що результати можуть залежати від початкового наближення і метод може "застрягнути" в недосконалих рішеннях.
- Величина кроку: Визначення оптимального розміру кроку є важливим завданням. Занадто великі кроки можуть призвести до перестрибування мінімумів, тоді як занадто малі кроки можуть збільшити кількість ітерацій.
- Обчислення градієнта: Обчислення градієнта може бути витратним завданням, особливо коли функція-ціль має багато параметрів. Якщо немає аналітичного виразу для градієнта, може знадобитися використання чисельних методів.
- Застрягання в "ярах" та "гребенях" функції-цілі: Градієнтний метод може мати складнощі в пошуку глобального оптимуму, коли функція-ціль має глибокі "яри" або довгі гребені.

Враховуючи ці обмеження, градієнтний метод може бути корисним інструментом для оптимізації параметрів суден, але важливо ретельно аналізувати результати та, за необхідності, комбінувати його з іншими методами для подолання недоліків та забезпечення кращих результатів.

Метод *випадкового пошуку* є цікавим підходом до оптимізації порівняно з градієнтним методом. Він використовує елемент випадковості для пошуку оптимального рішення і може бути корисним в певних ситуаціях для знаходження як локальних, так і глобальних екстремумів. Важливі характеристики методу випадкового пошуку включають:

Метод "глобального" випадкового пошуку:

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Розділення інтервалів: Межі можливих значень параметрів розбиваються на декілька інтервалів, і значення цільової функції обчислюються випадковим чином на цих інтервалах.
- Зберігання найкращих результатів: Після перебору багатьох комбінацій запам'ятовуються найкращі значення функції та відповідні параметри, які досягли цих значень.
- Знаходження глобального оптимуму: Після завершення обчислень залишається тільки найкраще значення функції та відповідні параметри, які можуть вважатися глобальним оптимумом.

Метод "локального" випадкового пошуку:

- Початкове наближення: Вибирається початкове допустиме рішення, зазвичай випадково.
- Спроби та кроки: Випадковим чином робляться невеликі кроки в просторі параметрів, і обчислюється значення цільової функції.
- Пошук оптимуму: Повторюються проби та кроки, доки не буде досягнуто значення цільової функції, яке вважається оптимальним.

Переваги методів випадкового пошуку включають в себе:

- Незалежність від форми функції-цілі: Вибір випадкового напрямку не залежить від форми цільової функції, і обчислення похідних не потрібні.
- Простота реалізації: Алгоритм легко реалізується на комп'ютері, і він добре підходить для задач з багатьма змінними і обмеженнями.
- Ефективність при збільшенні кількості змінних: Зі збільшенням кількості незалежних змінних метод може стати більш ефективним.

Недоліки методів випадкового пошуку включають в себе:

- Незважаючи на випадковий характер, напрямки можуть бути неоптимальними: Метод може вимагати багато ітерацій, перш ніж досягти оптимуму, і велику кількість обчислень.
- Низька швидкість збіжності на пологих поверхнях відгуку функції: Якщо функція-ціль не має глибоких "ярів", метод може бути менш ефективним на порівняно плоских поверхнях відгуку.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом метод випадкового пошуку може бути корисним інструментом для оптимізації, особливо в задачах з великою кількістю параметрів або обмежень, але він також має свої обмеження та обрання між різними методами оптимізації повинно ґрунтуватися на конкретних вимогах та характеристиках задачі.

Метод Пауелла з використанням методу штрафних функцій - це підхід до оптимізації, який дозволяє розв'язувати складні оптимізаційні задачі з обмеженнями шляхом перетворення їх на послідовність задач без обмежень. Цей метод дозволяє знайти оптимальні рішення, враховуючи обмеження, навіть якщо функції мети та обмеження не мають аналітичних похідних або їх складно визначити [1].

Основні етапи методу Пауелла з використанням методу штрафних функцій:

- Введення штрафної функції: Спочатку вводиться штрафна функція, яка враховує обмеження задачі. Штрафна функція представляє собою модифіковану функцію мети задачі, в яку додаються штрафи за порушення обмежень. Штрафи можуть бути лінійними або нелінійними і залежать від того, наскільки сильно обмеження порушуються.
- Зміна параметра штрафу: В методі штрафних функцій існує параметр штрафу (зазвичай позначений як λ), який визначає, наскільки сильно штрафи впливають на функцію мети. Параметр штрафу зазвичай регулюється під час процесу оптимізації. Спочатку він може бути великим, щоб сильно штрафувати порушення обмежень, а потім зменшується з кожною ітерацією.
- Пошук мінімуму штрафної функції: Зараз ви маєте звичайну задачу оптимізації без обмежень, оскільки всі обмеження враховуються у штрафній функції. Шукається мінімум штрафної функції з використанням вибраного методу оптимізації, такого як метод Пауелла.
- Зменшення параметра штрафу: Після кожної ітерації параметр штрафу зменшується. Це зменшення може бути лінійним, експоненціальним або відповідати іншому правилу. Зменшення параметра штрафу дозволяє алгоритму докладати менше зусиль для врахування обмежень, коли він наближається до оптимального рішення.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Збільшення точності розв'язку: Процес оптимізації може вимагати кількох ітерацій для досягнення заданої точності. Після завершення оптимізації, параметр штрафу може бути збільшено або зменшено, в залежності від потреби, для покращення точності розв'язку.
- Обрання критерію завершення: Важливим етапом є обрання критерію завершення процесу оптимізації. Це може бути досягнення певної точності розв'язку, вичерпання встановленої кількості ітерацій або інші обрані критерії.
- Отримання оптимального рішення: Після завершення оптимізації отримуєте оптимальне рішення для вихідної задачі з обмеженнями. Це рішення може бути знайдене з використанням методу Пауелла або іншого обраного методу оптимізації.
- Аналіз результатів: Після отримання оптимального рішення важливо аналізувати його і перевіряти виконання обмежень. Також слід враховувати значення параметра штрафу, що використовувався, і переконатися, що результати відповідають вимогам дипломної роботи.

Метод Пауелла з використанням методу штрафних функцій є потужним і гнучким підходом до вирішення складних оптимізаційних задач з обмеженнями. Він дозволяє враховувати обмеження у вигляді штрафів, змінювати параметр штрафу для досягнення оптимального рішення та контролювати точність процесу оптимізації. Цей метод особливо корисний в областях, де обмеження складні чи нелінійні, і коли аналітичні похідні важко визначити.

На основі вищенаведеного аналізу існуючих методів, в дипломній роботі використовується метод Пауелла з додаванням методу штрафних функцій. Цей підхід дозволяє враховувати складні обмеження та оптимізувати об'єкт під впливом штрафів, забезпечуючи кращу контрольованість та точність оптимізаційного процесу. Метод Пауелла є ефективним ітераційним методом для пошуку оптимального рішення, а метод штрафних функцій робить його придатним для вирішення задач зі складними обмеженнями. Ця комбінація дозволяє знаходити розв'язки важких оптимізаційних задач і є основою для проведення досліджень та розробки рішень у дипломній роботі.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Продукт-орієнтоване проєктування балкера

1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт

Для оцінки вартості судна та прогнозування витрат на нові проєктні рішення або придбання, всі компоненти судна класифікуються в групи відповідно до їх ваги.

У Сполучених Штатах Америки зараз використовується система, відома як Розширена структура розподілу корабельних робіт (ESWBS). ESWBS є розширенням попередньо використовуваної структури секціонування SWBS. До середини 1960-х використовувалась інша система, відома як Бюро суднових консолідованих показників (BSCI). Ця система, аналогічна SWBS/ESWBS, відзначається лише відмінностями у розподілі певних категорій.

Також існують інші національні системи, включаючи систему, яка використовується у Великобританії на основі її стандартів проєктування (NES). Як і система BSCI, ця система, як правило, подібна до SWBS/ESWBS, але має деякі відмінності у класифікації деяких мас.

Загалом усі три системи, як зазвичай, розподіляють вагу корабля на категорії, представлені в Таблиці 1.5.

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

Для використання системи SWBS у суднобудуванні група 800 перетворюється на групу витрат на технічне забезпечення суднобудування, а група 900 - на вартість конкретних операцій суднобудівного заводу. Одночасно додається група витрат 1000, яка відображає витрати на страхування та інші банківські операції, що проводяться суднобудівним заводом.

Таблиця 1.5 -Складові структурної розбивки судна на частини
в системах SWBS/ESWBS и NES

Номер групи	Назва SWBS	Опис групи			
Група 100	Конструкції	Включає ваги обшивки, набору, палуб, перегородок, надбудов і фундаментів			
Група	Пропульсивн	Включає ваги дизелів, турбін, редукторів,			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.
					32

24.DPM.135.6112м.01.ПЗ.01

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

1.3.2 Формування CER для будівництва балкера.

Під час переходу через етапи проєктування від низу до верху, інформація про витрати праці для всіх груп SWBS, яка стає доступною на етапі попереднього проєктування, визначає терміни будівництва судна. Загальний час проєктування, підготовки виробництва та будівництва судна визначається регресійними

					24.DPM.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежностями норм праці, що полегшує визначення термінів головного судна через ділення загального обсягу робіт за видами, з урахуванням кількості працівників для виконання робіт у визначений час.

При статистичному аналізі вартостей, значення приводяться у відповідність характеристикам та параметрам розподілу. На основі цього формуються рівняння регресії, або емпіричні співвідношення, такі як ECER, які дозволяють прогнозувати вартість будівництва та експлуатації нового судна на основі попереднього досвіду будівництва та експлуатації аналогічних суден.

На сьогодні суднобудівні підприємства використовують параметричний підхід для отримання ECER на основі SWBS на етапах попереднього та контрактного проектування. Таблиця 1.5 відображає параметричну обробку даних для будівництва судна насипного типу з водотоннажністю від 5000 до 10 000 тонн (повна водотоннажність).

Аналіз продукт-орієнтованого проектування підтверджує, що на початкових етапах будівництва найбільш ефективно використовувати рівень попереднього проектування. На цьому етапі форма майбутнього судна визначається розширеною структурою розподілу ESWBS та відповідними емпіричними співвідношеннями ECER для оцінки витрат. Для калькуляції витрат можна обмежитися формуванням ECER витрат на оплату праці та ECER матеріалів (Таблиця 1.6), з урахуванням рівнів оплати праці, податків та зборів.

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

N о	SWBS	Витрати на оплату праці, людино-години	Матеріальні витрати, дол.
1	100	$CF * 177 * Weight_{100} ^{0.862}$	$800 * Weight_{100}$
2	200	$CF * 365 * Weight_{200} ^{0.704}$	$15000 + 20000 * Weight_{200}$
3	300	$682 * Weight_{300} ^{1.025}$	$25000 * Weight_{300}$
4	400	$1605 * Weight_{400} ^{0.795}$	$40000 * Weight_{400}$
5	500	$CF * 34.8 * Weight_{500} ^{1.24}$	$10000 + 10000 * Weight_{500}$
6	600	$310 * Weight_{600} ^{0.949}$	$5000 + 10000 * Weight_{600}$

У суднобудівництві верфі, при розподілі робіт за внутрішніми графіками та урахуванні власного досвіду будівництва суден, зазвичай використовують свої унікальні регресійні залежності. Цей внутрішній досвід є основою для визначення, як роботи розподіляються за різними видами та скільки робітників потрібно на різних етапах створення попередніх проєктів суднобудування.

Розробка графіків мережевого суднобудування та встановлення рівнянь регресії для робочої сили здійснюється з урахуванням цього внутрішнього досвіду. Цей процес може включати створення мережових діаграм і розподілу робочої сили на різних етапах будівництва суден. Приведені на Рис. 1.14 та 1.15 приклади ілюструють такий підхід.

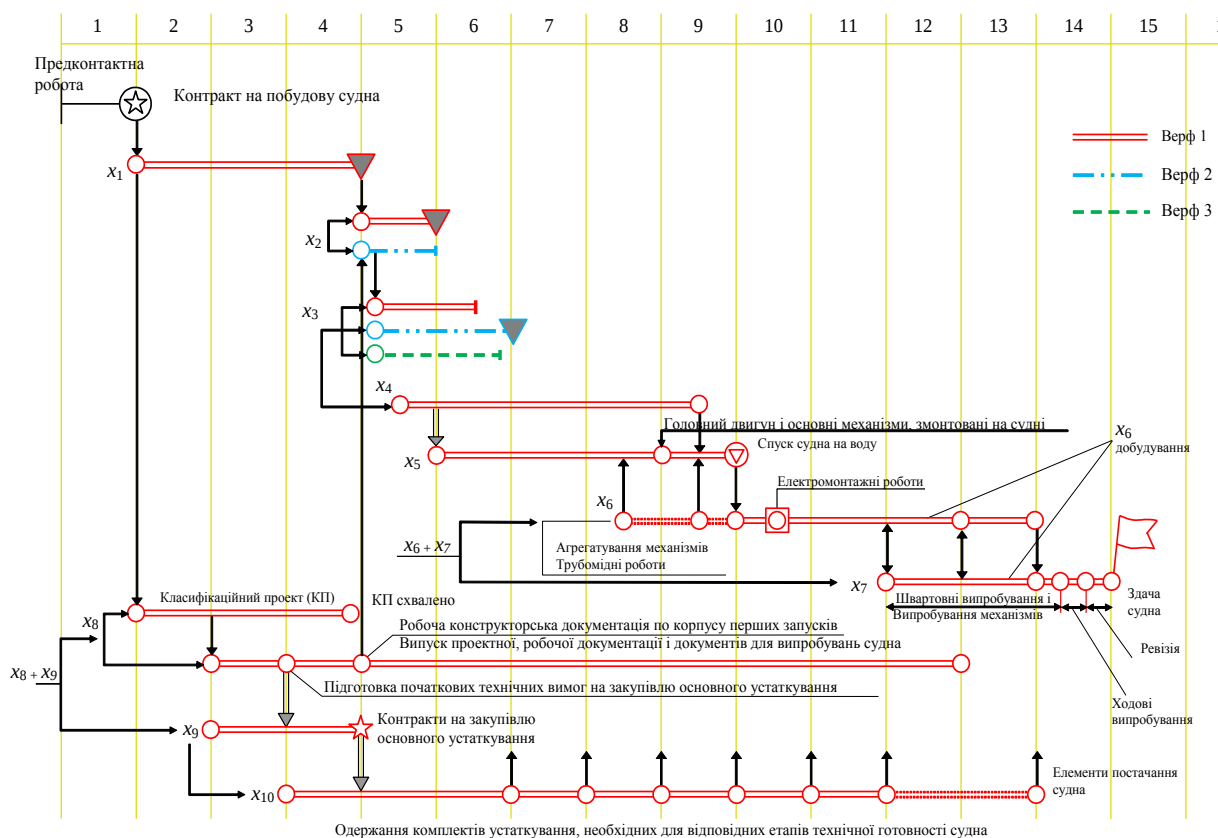


Рис. 1.14 Приклад мережевого графіку будівництва проєкту судна 17012 на віртуальній верфі

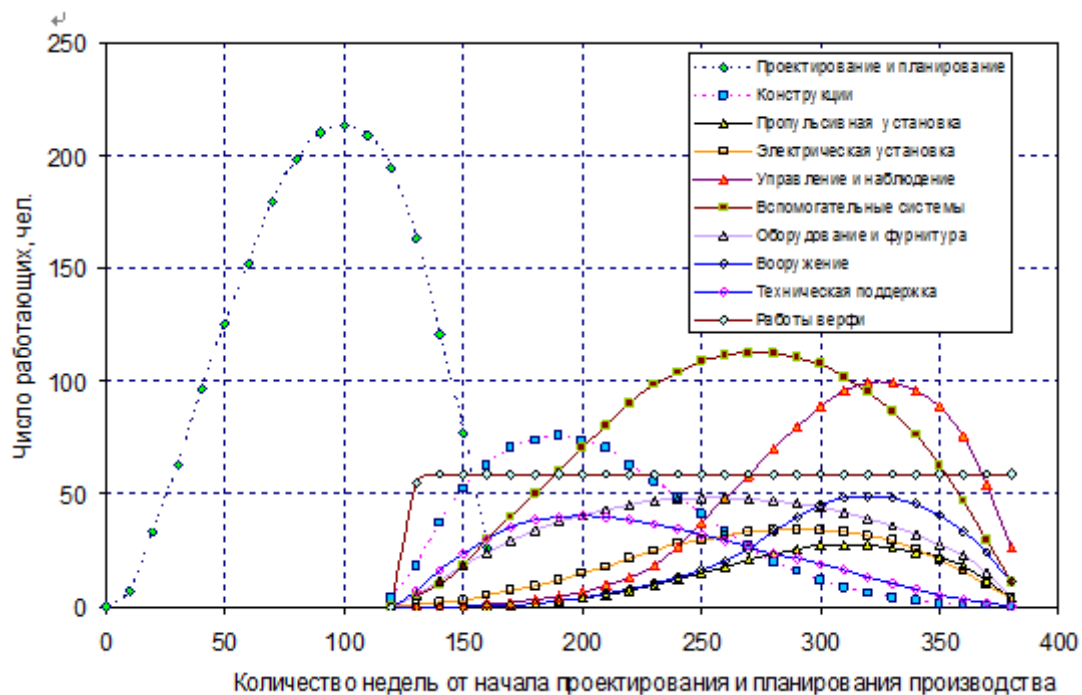


Рис. 1.15 – Приклад потреби робочої сили при проектуванні, підготовці, будівництві, завершенні, спуску та випробуванні корабля [1]

На основі обчислень, представлених на Рис. 1.15, використовується два важливі коефіцієнти: коефіцієнт типу суднобудування (TF) та коефіцієнт продуктивності (PF). Коефіцієнт типу (TF) залежить від конкретного типу судна, тоді як коефіцієнт продуктивності (PF) визначається рівнем продуктивності суднобудівного заводу. Дані коефіцієнти визначаються за допомогою таблиць 1.7 та 1.8.

Таблиця 1.7 - Значення коефіцієнта TF для різних типів суден[1]

№	Тип корабля	Значення TF коефіцієнт
1	2	3
1	Танкер для сирої нафти	0.80
2	Цистерна для перевезення нафтопродуктів	1.13
3	Хімічний танкер	1.25
4	Танкер з подвійним корпусом	0.90
5	Наповнювач	0.85
6	Універсальне вантажне судно	0.95
7	Контейнеровоз	0.96
8	Корабель ро-ро	0.83
9	Корабель для перевезення автомобілів	0.61
10	Пором	1.25
11	Пасажирське судно	3.00

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

Таблиця 1.8 - Значення коефіцієнтів продуктивності верфі [1]

N o	Країна виробник / Тип судна	Значення факторів продуктивності			
		Стал ь	Обладнанн я	Матеріал и	Загальні
1	Бойові кораблі (дуже великі)	5.00	-	-	-
2	Бойові кораблі (великі)	2.50	-	1.21	1.56
3	Подвійне використання	1.70	1.24	1.14	-
4	Сучасна комерційна компанія США (велика)	0.90	0.90	1.00	0.90
5	Сучасна комерційна реклама в США (середня)	1.00	1.00	1.00	1.00
6	Середній показник у США	1.20	1.20	1.00	1.20
	Інші країни				
1	Північна Європа (велика)	0.76	-	0.85	0.331
2	Південна Корея (велика)	0.71	-	0.72	0.283
3	Японія (2002)	-	-	-	0.198
4	Китай (2002)	-	-	-	0.992
	Модульне суднобудування				
1	Модуль конкурентного аутсорсингу США	1.00	0.80	-	-
2	Конкурентний модуль світового класу	0.76	0.52	-	-

1.3.3 Визначення вартості робіт з проєктування і побудови балкера.

Обрана верф для конструкції судна знаходиться у певній країні, де чинне законодавство встановлює певні стандарти заробітної плати, податків і прибутку. У моделі витрат важливо враховувати ці аспекти, зокрема рівень заробітної плати, який визначає вартість судна. Алгоритм визначення вартості та строку будівництва судна передбачає використання вихідних даних про заробітну плату та інші стандарти, враховуючи законодавство та економічний розвиток в країні, де знаходиться верф.

Один з найбільш складних методів продукт-орієнтованого проєктування суден був розроблений асоціацією SPAR [6]. Заключний алгоритм методу подано у вигляді обчислювальної таблиці (Рис. 1.16), яка використовується для розрахунків. Початкові дані для таблиці включають тип судна (коефіцієнт TF), повну водотоннажність M_{full} і проєктну швидкість V_s . Інші параметри визначаються даними конкретного суднобудівного підприємства в певній країні та умовами виробництва під час будівництва судна за допомогою відповідних коефіцієнтів продуктивності суднобудівного заводу та коефіцієнтів регресії ECER, які ґрунтуються на ESWBS (Таблиці 1.6 - 1.8).

На основі цієї таблиці у дипломній роботі розроблено алгоритм для визначення вартості та тривалості робіт з проєктування, планування, підготовки виробництва та створення розглянутого балкера. Розрахунки результатів з використанням цього алгоритму представлені на Рис. 1.16

1.4 Систем-орієнтоване проєктування балкера на інтервалах його ефективного використання

1.4.1 Моделі віртуальних просторів експлуатації балкера

1.4.1.1 Географічний простір суднових операцій.

В ефективний період використання свого життєвого циклу судно функціонує у віртуальних просторах, які формуються впливом географічного середовища експлуатації, навігаційних умов, а також факторів виробничих та фінансових відносин в процесах його створення та використання.

Це середовище визначається місцезнаходженням області експлуатації судна та відстанню між портами призначення. У зазначеному випадку балкер експлуатується в Чорному, Мармуровому та Егейському морях (див. Рис. 1.17). Судно перевозить насипні вантажі із порту Південний, Україна, до різних портів у Греції, зокрема в морський порт Пирей. Відстані між цими портами не перевищують 694 милі.

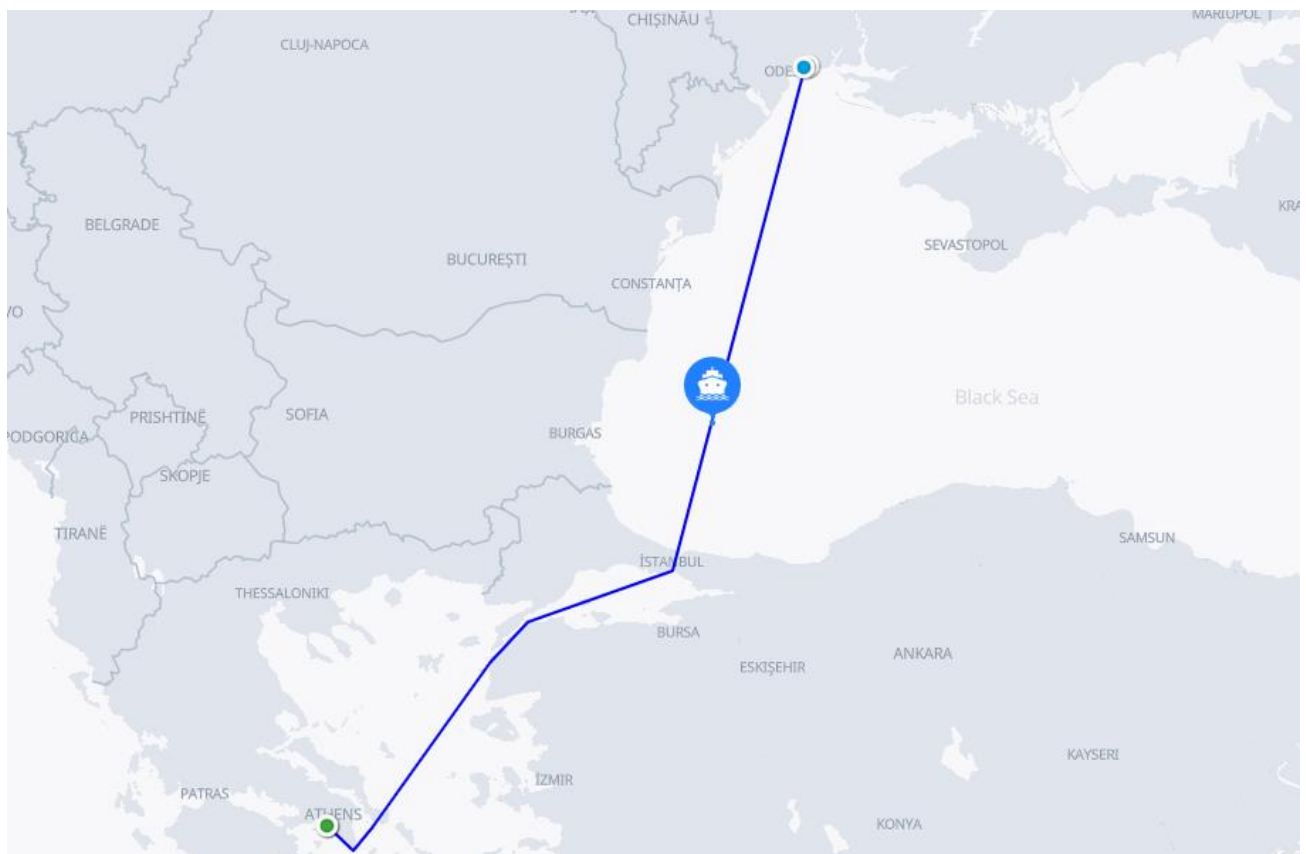


Рис 1.17 Район експлуатації балкера

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4.1.2 Простір погодних умов району експлуатації.

Основними аспектами віртуального простору є характеристики погодних умов, такі як морські течії, вітер і хвилі, а також льодові умови. Вплив морських течій, вітру і хвиль має значний вплив на розташування судна та його швидкість під час транспортування вантажів між портами. Ці впливи представлені як випадкові функції від часу та положення судна під час транспортних операцій. Для спрощення аналізу вони розглядаються як стаціонарні випадкові функції у класі стаціонарних режимів морських течій, вітру та хвиль.

В такому підході послідовність природних впливів на судно заміщується низкою стаціонарних режимів морських течій, вітру та хвиль. Зміна інтенсивності впливу вітру та хвиль на корабель протягом його експлуатації визначається довгостроковими (режимними) розподілами середніх швидкостей вітру та характерних висот хвиль. Закон Вейбулла та Логнормальний розподіл часто використовуються як закони розподілу інтенсивності вітру та хвиль. Також враховується вплив льоду, оцінюваний за допомогою закону розподілу товщини льоду.

1.4.1.3 Простір виробничих відносин робочого процесу.

Віртуальний простір цього судна формується через основні функціональні операції, які воно виконує протягом свого життєвого циклу, враховуючи географічне середовище експлуатації, погодні умови та виробничі та фінансові відносини.

Серед основних функціональних операцій судна, які здійснюються через послідовні рейси, транспортування вантажів на вільних лініях, рух за розкладом, службове та використання для відпочинку та туризму. Судна, які виконують послідовні рейси, експлуатуються на довгострокових контрактних угодах або за корпоративними угодами.

Ці судна часто здійснюють кругові рейси між тими самими портами, перевозячи вантажі в одному напрямку та повертаючись з баластом. Схему функціонування таких суден можна побачити на Рисунку 1.18.

Основними характеристиками послідовного рейсу, як основної транспортної операції судна, є: відстань між портами S_{bp} , кількість вантажу, що перевозиться Q_p ,

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкість руху при прямому переході між портами v_d , швидкість руху по дорозі назад v_b , час морського переходу $t_{st} = t_{std} + t_{stb}$, де $t_{std} = S_{bp}/v_d$ - час прямого морського переходу, а $t_{stb} = S_{bp}/v_b$ - час морського переходу на зворотному шляху.

The types of port equipment for loading and unloading bulk cargo transported by such ship determine the productivities of port services.



Рис 1.18 - Модель кругового рейсу судна послідовних рейсів

У зв'язку з цим, часи завантаження та вивантаження вантажу визначаються співвідношеннями $t_{load} = Q_p / q_d$, де q_d - продуктивність вантажного обладнання портів відправлення та прибуття. Тепер час поїздки в обидва кінці на половину третини буде визначатися виразом

$$t_{hrt} = t_{load} + t_{std} + t_{unload} \quad (1.1)$$

1.4.1.4. Простір фінансових відносин робочого процесу

Фінансова динаміка транспортного ринку та розподіл фінансових ресурсів між ключовими учасниками - відправником вантажу, фрахтувальником і власником судна - визначає фінансовий аспект віртуального простору функціонування транспортних судів.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для комерційних транспортних судів важливою характеристикою ринку перевезень є ймовірність укладення довгострокового контракту або фрахту (PF). Якщо така угода вже укладена, розподіл коштів між учасниками транспортних операцій - відправником вантажу, фрахтувальником і власником судна - може бути представлений схемою, показаною на Рисунку 1.19.

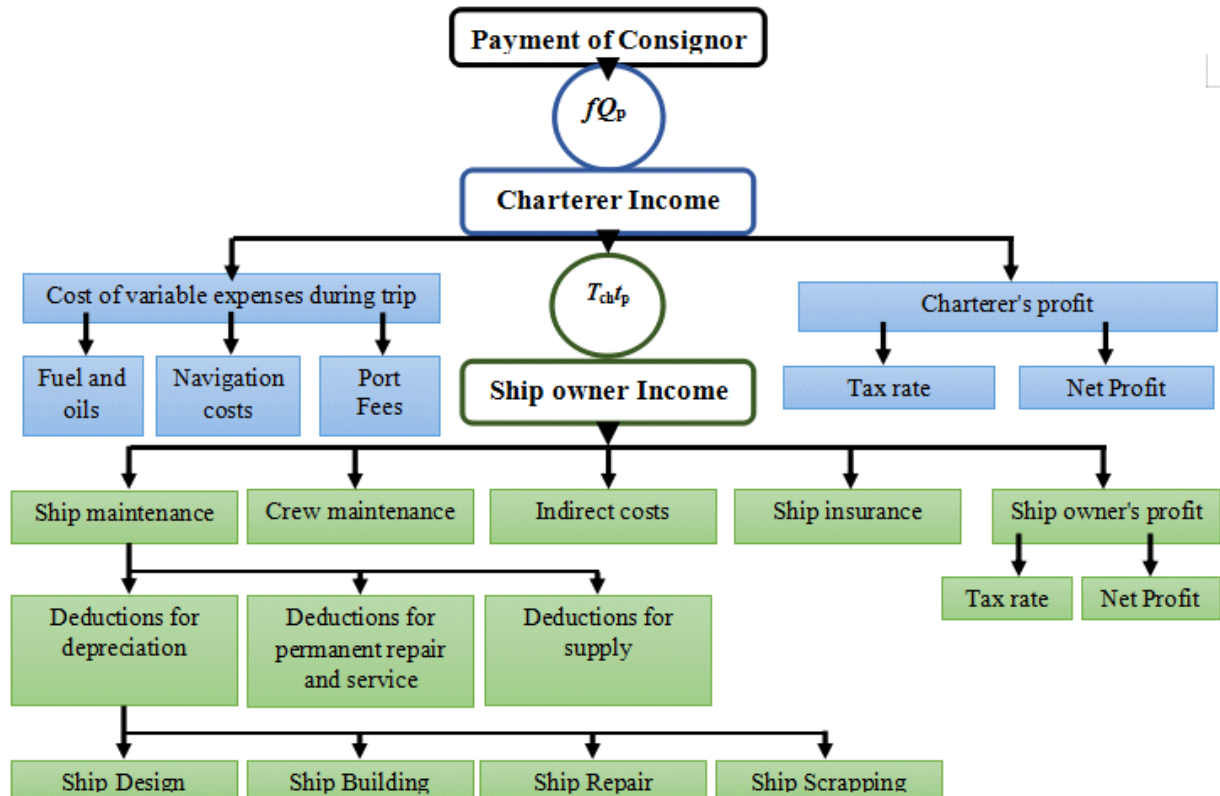


Рис. 1.19 – Розподіл коштів серед учасників транспортної операції одного кругового рейсу: відправником вантажу (Consignor), фрахтувальником (Charterer) та власником судна (Ship Owner)

Схема Рис.1.19 також визначає складові доходу і одержаного прибутку учасниками транспортної операції, витрати на навігацію, обслуговування судна і амортизацію, які мають місце по завершенню одного кругового рейсу. Такі ж складові фінансових операцій визначають оборот грошових коштів за інтервали часу, рівні році експлуатації і терміну життя судна.

Для l -го кругового рейсу балкера Рис 1.18 вводить такі позначення:

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

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

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

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Тут E_{var} - змінні витрати по експлуатації судна або поточні рейсові витрати (витрати фрахтувальника);

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

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

$E_{fuel\&oil}$ - витрати на паливо і мастило:

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

ΔE_{var} - додаткові змінні витрати фрахтувальника, включаючи витрати на навігацію

E_{nc} , витрати на завантаження / розвантаження E_{load} , E_{unload} , портові збори E_{pch} і інші витрати, пов'язані з рейсом.

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

- дохід судновласника.

In expressions (1.3) - (1.6):

C_f - ціна палива;

$g_l=(1.02\dots 1.04)$ - коефіцієнт обліку мастильних матеріалів ;

q_l , q_d , q_u , q_b - значення годинної витрати палива при русі судна в море і його стоянці в портах;

t_{rt} - тривалість послідовного рейсу;

t_{load} , t_{std} , t_{unload} , t_{stb} – компоненти t_{rt} (див. (1.5));

T_{ch} - тайм-чартерний еквівалент, який включає витрати судновласника на обслуговування судна E_{sm} , утримання екіпажу E_{cm} , непрямі витрати E_{uc} , страхування судна E_{si} , і прибуток судновласника до оподаткування P_{sowner} (Рис1.18).

Таким чином, сумарні витрати E_l l -го кругового рейсу розглянутого судна послідовних рейсів можна представити формулою

$$E_l = E_{l fuel \& oil} + \Delta E_{l var} + E_{l sm} + E_{l cm} + E_{l uc} + E_{l sv} \quad (1.7)$$

і основні характеристики ефективності цього l -th кругового рейсу - сумарний дохід I_l і сумарний прибуток P_l учасників транспортної операції - виразами:

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

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення ймовірнісних характеристик вартості палива E_{lfuel} паливо навального судна, спожитого під час l -го кругового плавання в районі його експлуатації, виконується за правилами теорії ймовірностей.

1.4.2 Модель інженерно-навігаційних властивостей балкера.

Моделі інженерних і навігаційних (морехідних) властивостей судна визначають особливості його функціонування як складної системи. Ці властивості представляються набором характеристик, які залежать від основних елементів судна - довжини L , ширини B , опади d , висоти борту D , коефіцієнтів повноти C_B , C_W , C_m , швидкості ходу V_s і параметрів силової установки, зазначених в розділі 1, а також від параметрів систем і устаткування судна.

До інженерних характеристикам судна зазвичай відносять місткість і міцність. Навігаційними характеристиками є такі морехідні якості, як плавучість, остійність, непотоплюваність, ходкість, керованість і мореплавство.

Властивість місткості визначається необхідними обсягами суднових приміщень і площами палуб для розміщення механізмів, устаткування, систем, вантажів, що транспортуються і т. д. Це властивість, яка потребує, щоб наявні обсяги V_C і площі A_C були не менш $|V_C|$ і $|A_C|$, необхідних для розміщення обладнання і вантажів на судні, вважається достатнім, якщо виконуються наступні нерівності:

$$V_c \geq |V_c|; \quad A_c \geq |A_c| \quad (1.9)$$

Технічна якість судна як міцність вимагає, щоб напруги σ_c в з'єднаннях корпусу судна, викликані діючими під час експлуатації навантаженнями, були не більше допустимого значення $|\sigma_c|$:

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

Облік властивості плавучості призводить до необхідності використання рівняння плавучості, тобто до необхідності задоволення рівності сили ваги, яка визначається масами W_{100} розширеної структури розбиття суднових робіт на частини ESWBS, і сили плавучості $\rho g L B d C B$ в положенні рівноваги судна на тихій воді:

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Непотоплюваність судна вимагає виконання нерівності

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

де R - імовірнісний показник розподілу корпусу судна на відсіки, $|R|$ - необхідне значення цього показника.

Остійність судна при великих кутах способу забезпечується шляхом виконання таких нерівностей, як критерій погоди і обмежень, що визначають настройки на власний вибір діаграми остійності:

$$K > 1; \quad h_0 > 0.05m; \quad \theta_m > 30\text{deg.}; \quad \theta_v > 60\text{deg.}; \dots \quad (1.13)$$

Забезпечення необхідної ходовості судна вимагає рівності буксирувальної потужності ЕНР твору потужності енергетичної установки судна N_E на Пропульсивний коефіцієнт η , що враховує КПД рушійні комплексу на режимах руху судна:

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

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

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

Достатній рівень мореплавства визначається виконанням вимог до експлуатації суднового устаткування в умовах впливу на судно вітро-хвильових режимів району його експлуатації. Виконання умов експлуатації обладнання досягається, якщо переміщення s , швидкості $\dot{s}$ і прискорення $\ddot{s}$ при русі судна під впливом вітро-хвильових режимів району експлуатації не перевищують встановлені критичні значення $|s|$, $|\dot{s}|$ і $|\ddot{s}|$:

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

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модель інженерно-навігаційних властивостей судна, створена для використання на етапі концептуального проектування, допускає спрощення. Так, наприклад, оскільки вага судна визначається з використанням структури ESWBS, складеної за допомогою даних про побудованих судах, які мають необхідні товщини елементів конструкцій для забезпечення міцності і необхідну кількість водонепроникних перегородок для забезпечення непотоплюваності, нерівності (1.21) і (1.22) можуть не розглядатися. Вони можуть бути прийняті до уваги на наступних етапах проектування судна.

1.4.3 Модель експлуатації балкера

Створена модель функціонування спрямована на дослідження операцій, які виконує судно протягом продуктивного періоду його експлуатації. Для навантажувача, який працює у формі послідовних рейсів, модель роботи представлена на Рисунку 1.18. У цій моделі передбачається, що судно здійснює вантажоперевезення в обидва напрямки між двома портами №1 та №2.

Під час цього циклу судно завантажується в порту №1, виконує транзит морським транспортом, перевозячи вантаж, та вивантажується в порту №2, повертаючись до порту №1 з іншими товарами. Основною операцією в цьому випадку є круговий рейс.

При дослідженні операцій характеристики можна визначити двома способами: за допомогою теорії випадкових подій і теорії випадкових функцій. Теорія випадкових подій застосовується для визначення характеристик надійності корабля, використовуючи теореми про додавання та множення ймовірностей.

Характеристики ефективності корабля обчислюються за допомогою алгоритмів теорії випадкових функцій, які дозволяють перетворювати випадкові величини, що представляють ресурси операцій та їхній час, в індекси ефективності корабля.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4.3.1 Імовірнісні характеристики надійності балкера

Операція розглянутого туди і назад F здійснюється, якщо трапляються дві події:

- судно відправляється в подорож в погодних умовах району операції (подія F_1);
- в погодних умовах оперативного району перехід реалізується (подія F_2).

Оскільки $F = F_1 \times F_2$, ймовірність $P[F]$ події F обчислюється за формулою [1]

$$P[F] = P[F_1] \times P[F_2|F_1] \quad (1.17)$$

де $P[F_1]$ - ймовірність події F_1 , $P[F_2|F_1]$ - умовна ймовірність події F_2 , то є ймовірність, розрахована за умови, що подія F_1 сталося.

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

Відповідно до діаграми на Рис. 1.17, реалізація рейсу в обидва кінці супроводжується проміжними операціями: завантаження в порту № 1 (подія F_{21}), перевезення вантажів (подія F_{22}) та розвантаження судна в порту № 2 (подія F_{23}). Перехід в обидва кінці вважається реалізованим, коли всі ці проміжні операції (події) виконуються разом ($F_2 = F_{21} \times F_{22} \times F_{23}$). Тому ймовірність здійснення туди і назад обчислюється за формулою

$$P[F_2|F_1] = P[F_{21}] \times P[F_{22}] \times P[F_{23}] \quad (1.18)$$

де $P[F_{21}]$ - ймовірність завантаження судна в порту № 1, $P[F_{22}]$ - ймовірність перевезення вантажу в порт №2, $P[F_{23}]$ - ймовірність вивантаження судна в порту №2.

Подія $\bar{F}$, що полягає в тому, що операція в обидва кінці не була здійснена, є подією, протилежною події F . Подія $\bar{F}$, протилежній події F_1 , відображає те, що судно не виходило в обидва кінці в штормових погодних умовах зони операції. Подія $\bar{F}$, навпаки події F_2 , має місце, якщо на будь-якому етапі переходу в обидва кінці трапляється аварія, що тягне за собою її не реалізацію. Для обчислення ймовірностей $P[\bar{F}]$, $P[\bar{F}_1]$ та $P[\bar{F}_2|F_1]$ протилежних подій використовуються такі вирази:

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P[\bar{F}] = 1 - P[F], P[\bar{F}_1] = 1 - P[F_1], P[\bar{F}_2|F_1] = 1 - P[F_2|F_1] \quad (1.19)$$

Для малих значень ймовірностей $P[\bar{F}_{21}]$, $P[\bar{F}_{22}]$, $P[\bar{F}_{23}]$, $P[\bar{F}_{24}]$ подій, $\bar{F}_{21}$, $\bar{F}_{22}$, $\bar{F}_{23}$, $\bar{F}_{24}$, ми маємо приблизну залежність

$$P[\bar{F}_2|F_1] \approx P[\bar{F}_{21}] + P[\bar{F}_{22}] + P[\bar{F}_{23}] = \sum_{k=1}^3 P[\bar{F}_{2k}] \quad (1.20)$$

отримано розкладанням залежностей (4.11) у ряди Тейлора за степенями цих малих величин.

Значення ймовірності $P[\bar{F}_2|F_1]$ аварій на судні, зменшене до одного року, тобто написаний у формі $P[\bar{F}_2|*]$, як правило, дає офіційну статистику нещасних випадків.

Для того, щоб перейти до аналізу впливу видів аварій та їх тяжкості (вразливість корабля) на коефіцієнт аварій, вводяться наступні групи випадкових подій: група подій за типом аварій T_i , $i = 1, 2, \dots, I$, і відповідає кожному типу аварій групи тяжкості аварії L_{ik} , $k = 1, 2, \dots, K_i$, де K_i - загальна кількість градацій тяжкості.

За допомогою введених груп подій імовірність $P[A]$ аварії A під час продуктивного використання корабля визначається за формулою

$$P[A] = \sum_{i=1}^I P[T_i] \times \left\{ \sum_{k=1}^{K_i} P[L_{ik}] \right\} \quad (1.21)$$

Якщо кожен рівень тяжкості пов'язаний з величиною фінансової шкоди C_{ik} , $k = 1, 2, \dots, K_i$, загальний фінансовий збиток C від аварій за час, коли судно виконує транспортні операції, дорівнює

$$C = \sum_{i=1}^I P[T_i] \times \left\{ \sum_{k=1}^{K_i} P[L_{ik}] \times C_{ik} \right\} \quad (1.22)$$

У цій формулі значення ймовірностей $P[T_i]$, $P[L_{ik}]$ та C_{ik} представлені офіційною статистикою надзвичайних ситуацій або отримані в результаті моделювання аварій на судні під час завантаження та розвантаження та під час транспортних операцій із використанням методу статистичного випробування.

1.4.3.2 Імовірнісні характеристики ефективності балкера

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навантажувально-розвантажувальні роботи судна, про яке йде мова, та перевезення вантажу моделюються шляхом вирішення рівнянь переносу маси та руху тіл у рідині. Складання таких рівнянь здійснюється за допомогою схеми на рис.1.17. Розв'язання рівнянь виконується методом статистичних тестів. Отримане рішення, яке спрямоване на здійснення фінансових відносин комерційного використання судна, представлено схемою на рис. 1.18.

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

$$P_l = I_l - E_l \quad (1.23)$$

де I_l - отриманий дохід, E_l - витрати.

Тут P_l , I_l , та E_l є випадковими величинами. Випадковість цих значень визначається варіацією ставок фрахту, цін на паливо, впливом випадкових дій вітрових хвиль на споживання палива, тривалість поїздки в обидва кінці тощо.

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

Для математичних очікувань (середні значення) $\bar{P}_l$, $\bar{I}_l$ та $\bar{E}_l$ мають вирази місця [1]

$$\bar{P}_l = M[P_l], \bar{I}_l = M[I_l], \text{ та } \bar{E}_l = M[E_l] \quad (1.24)$$

де $M[...]$ - операція усереднення.

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

$$D_P = M[(P_l - \bar{P}_l)^2], D_I = M[(I_l - \bar{I}_l)^2], D_E = M[(E_l - \bar{E}_l)^2] \quad (1.25)$$

Підсумовуючи середній прибуток за L поїздки в обидва кінці, загальна тривалість яких дорівнює часу продуктивного використання судна, та діливши отриману суму на кількість N років такого використання, маємо

$$\frac{1}{N} \sum_{l=1}^L \bar{P}_l = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^L (\bar{I}_l - \bar{E}_l) = \bar{P}_1 \quad (1.26)$$

Отриманий вираз - це середній прибуток щорічного продуктивного використання судна $\bar{P}_1$, який не враховує втрачений прибуток через річний час простою судна, спричинений погодними умовами.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Беручи до уваги втрачений прибуток внаслідок простою судна, спричиненого погодними умовами, вираз для річного прибутку $\bar{P}_1^*$ подано за формулою

$$\bar{P}_1^* = P[F_1] \frac{1}{N} \sum_{l=1}^L \bar{P}_l \quad (1.27)$$

Застосовуючи цю формулу, додатково передбачається, що втрата коштів внаслідок нещасних випадків під час продуктивного використання судна може бути покрита його страхуванням. Тому формула фінансової шкоди від нещасних випадків може не застосовуватися. Замість застосування цієї формули можуть бути використані традиційні оцінки екстремальних значень розглянутих випадкових величин на основі застосування правила трьох сигм та інших характеристик, що перевищують рівні.

1.4.3.3 Складні показники ефективності та надійності балкера.

Ринкові дані за цінами на матеріали та обладнання, які використовуються в суднобудуванні, вказують на їх велику мінливість і слабку передбачуваність. Тому вважається раціональним, що на першому етапі життєвого періоду судна - стадії його створення, показники ефективності судна повинні бути такими комплексними характеристиками його ефективності і надійності, які відображають чисту поточну вартість. Найпростіші уявлення таких комплексних показників мають вигляд [1]

$$OF_1 = \sum_{l=1}^L (P_{ll} \bar{I}_l - \bar{E}_l) - \bar{B} \quad (1.28)$$

$$OF_2 = \frac{\sum_{l=1}^L (\bar{E}_l) + \bar{B}}{\prod_{i=1}^M P_i} \quad (1.29)$$

де P_{ll} - ймовірність отримання доходу за l -у половину поїздки, $\bar{I}_l$, $\bar{E}_l$ і $\bar{B}$ - середній дохід, витрати та вартість будівництва судна, $\prod_{i=1}^M P_i$ - ймовірність виконання судном основних функціональних операцій.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі пошуку оптимального конструктивного рішення судна перший з індексів OF_1 максимізується, конфігуруючи проєктне рішення для максимізації прибутку, другий OF_2 зводиться до мінімуму для досягнення мінімальних витрат при виконанні судна набору основних функціональних можливостей операцій. Представлення характеристик надійності в цих індексах не є повним. Більш повне відображення факторів надійності здійснюється при формуванні обмежень під час створення задачі оптимізації дослідницького проєкту судна.

1.5 Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера.

Для вирішення завдань дослідження, розробки та охорони ресурсів морського басейну України Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова розробив комплексний метод визначення функціонування рухомих морських об'єктів. Цей метод оцінює ефективність функціонування за критеріями продуктивності та надійності, а також забезпечує синтез оптимальних проєктних рішень як для окремих об'єктів експлуатації, так і для їх сукупності, призначених для реалізації конкретних практичних цілей [1].

У вирішенні проблем будівництва таких об'єктів на суднобудівних заводах зазвичай враховуються судна різного типу та призначення. Період експлуатації судна визначається як тривалість його життя, що охоплює час від проєктування та будівництва до утилізації. Протягом цього періоду враховуються особливості експлуатації судна в місцях його призначення, дію вітру, хвиль та інших кліматичних факторів.

Мобільні морські об'єкти розглядаються як учасники технологічних ланцюгів транспортування вантажів, видобування морських ресурсів чи обслуговування виробничих споруд. Їх взаємодія з фінансовими, проєктними, будівельними та експлуатаційними організаціями визначається протягом періоду експлуатації. При необхідності вирішуються питання інвестування у створення об'єктів та підтримку процесів їх експлуатації.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вираз індексу чистої теперішньої вартості, як вираз для цільової функції процесу оптимального проектування мобільного морського об'єкта комерційного призначення записується у формі

$$OF_1^* = \sum_{j=1}^J \frac{\bar{I}_j - \bar{E}_j}{(1+i)^j} \quad (1.30)$$

де підсумовування середньорічного прибутку $\bar{I}_j - \bar{E}_j$ поширюється на всі роки j життя об'єкта, а значення i - це ставка дисконтування, яка враховує рівень інфляції

та інші ризики інвестування у відповідний сектор економіки.

Використовуючи вищезазначені цільові функції, проблема пошуку оптимального конструктивного рішення для рухомого морського об'єкта (балкер або інше судно) або їх сукупності (флоту) формулюється наступним чином

Знайти: $OF\{U, x\} \Rightarrow \text{extr}$ (1.31)

в: $EN(X) \geq 0, N = 1, 2, 3; \quad (1.32)$

$$F_K(X) \geq [F_K], K = 1, 2, \dots, K; \quad (1.33)$$

$$PK_L[\Pi_T] \leq [PK_L], L = 1, 2, \dots, L; \quad (1.34)$$

$$x \leq x_Q, Q = 1, 2, \dots, Q \quad (1.35)$$

де

$En(x) \geq 0$ є обмеження, які забезпечують необхідний рівень ефективності рухомого об'єкта (обмеження на плавучість, ємність, навігації та основні функціональна підсистема надання допомоги засмучене, пожежогасіння підсистем, підсистеми ліквідації розливів нафти, РЛС виявлення порушників, охорона водного простору, бортове озброєння і т. Д.);

$F_k(x) \geq [F_k]$ обмеження надійності, тобто показники безперебійного виконання функціональних операцій, пов'язаних з виконанням таких морехідних якостей, як стабільність, непотоплюваність, керованість, міцність і морехідна мобільність морського об'єкта і показників безвідмовної роботи його основних функціональних підсистем;

$[F_k]$ нормативні значення цих показників, які регулюються класифікаційними товариствами та стандарти НАТО;

$PKL[PT] \leq [PKL]$ функціональні обмеження фінансових ресурсів для проектування, будівництва та експлуатації мобільного морського об'єкта, а також компенсації за заподіяну їм шкоду;

$[PKL]$ граничні значення цих фондів;

U - це вектор параметрів зовнішнього середовища і умов технічного завдання;

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

xq - це вектор обмежень на незалежних змінних.

1.6 Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації.

Задача пошуку оптимального проектного рішення здійснюється згідно зі схемою, наведеною на Рис. 1.20.

Критеріями оптимізації є крайні значення цільової функції (1.28) або (1.29). Для розглянутого насипного вантажу обраний вираз (1.28).

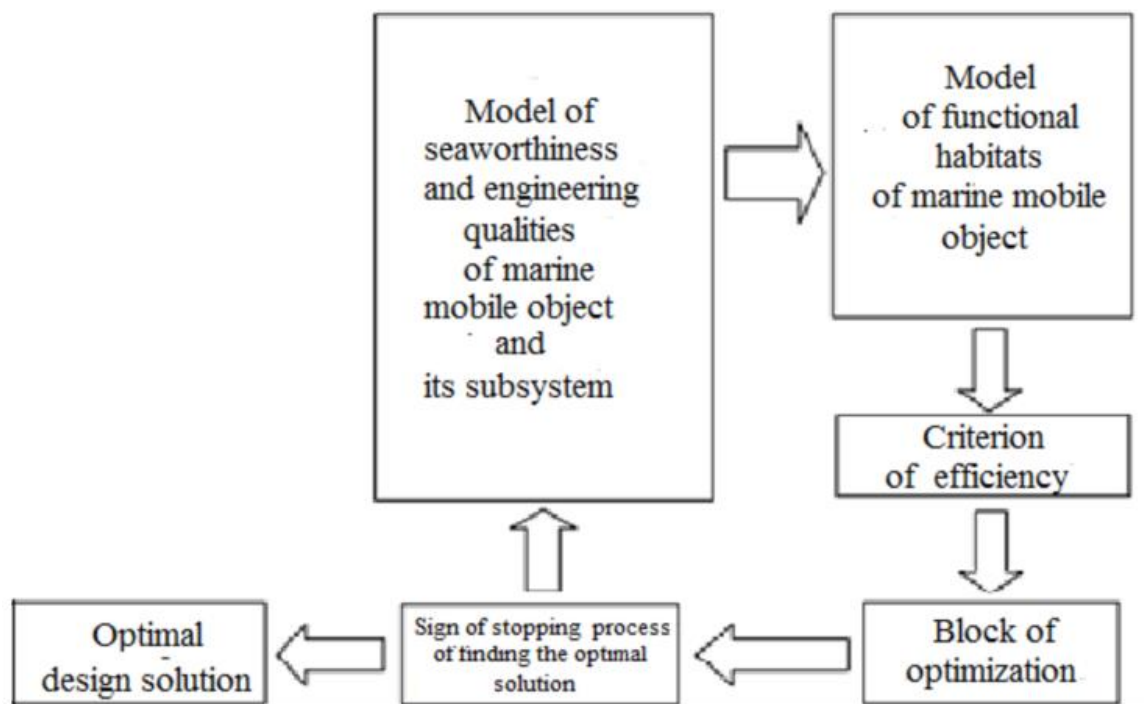


Рис 1.20 - Структурна схема пошуку оптимального рішення проблеми синтезу морського рухомого об'єкта для умов його експлуатації

Відповідно до цієї схеми, в процесі пошуку оптимального дизайнерського рішення, мобільний морський об'єкт проходить серію "занурень" в середовища існування протягом усього свого життя. В результаті кожного "занурення",

виконаного за допомогою імітаційного моделювання, реалізуються основні операції роботи об'єкта. Під час “занурення” показники ефективності та надійності визначають рівні пристосованості об'єкта до середовища існування та здатність ефективно виконувати основний набір функціональних операцій. У блоці оптимізації проводиться порівняння отриманих проектних рішень і вибирається найкоротший напрямок руху до основної цілі оптимізації. Процес пошуку проектного рішення завершується після виконання критеріїв оптимізації. Кожен етап пошуку представлений перетворенням імовірнісних характеристик випадкових величин, що відображають стохастичний характер цін на компоненти об'єкта (його експлуатаційні витрати, мінливість погодних факторів експлуатації тощо) в імовірнісні характеристики результату операції (характеристики отриманого прибутку, витрати на проектування, будівництво, експлуатацію тощо), нарешті, у характеристиках ймовірності виконання операцій.

Передбачається, що при переході розглянутих випадкових величин до різних значень, розділених інтервалами часу, вони залишаються представниками відповідних ділянок безперервних морських процесів[1].

Комплексний метод дослідження функціонування рухомих морських об'єктів, оцінки ефективності їх експлуатації на основі критеріїв продуктивності та надійності та синтезу оптимальних проектних рішень як для окремих об'єктів експлуатації, так і для їх сукупності, призначений для реалізації конкретних практичних цілей, пропонується використовувати при вирішенні конструкторських задач та будівництві або виборі з існуючого набору суден світового флоту, що пропонуються для продажу або фрахту.

Вибір основних розмірів судна базується на моделюванні процесу виконання його основних функціональних операцій у даній зоні експлуатації. Моделювання реалізоване з використанням моделей технічних та мореплавних якостей судна та його моделей функціонування за призначенням. При побудові моделей використовуються сучасні методи гідроаеродинаміки судна та теорія випадкових функцій. Також моделюється середовище існування судна, яке враховує можливість порту та інші послуги судна, включаючи його утилізацію в кінці періоду життя.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 складним критерієм за типом (1.28).

Аналіз процесу проводиться за допомогою алгоритму оптимізації, в якому в якості цільової функції використовується зазначений критерій. Програма призначена для вибору основних розмірів пасажирського судна, вантажного судна, балкерів, танкерів, контейнеровозів, бензовозів, буксирів, рятувальних суден, суден берегової охорони та інших.

Нижче наведено інтерфейс програми для вибору основних розмірів навалочного судна для експлуатації в басейнах Чорного, Мармурового та Егейського морів.

1.7 Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації.

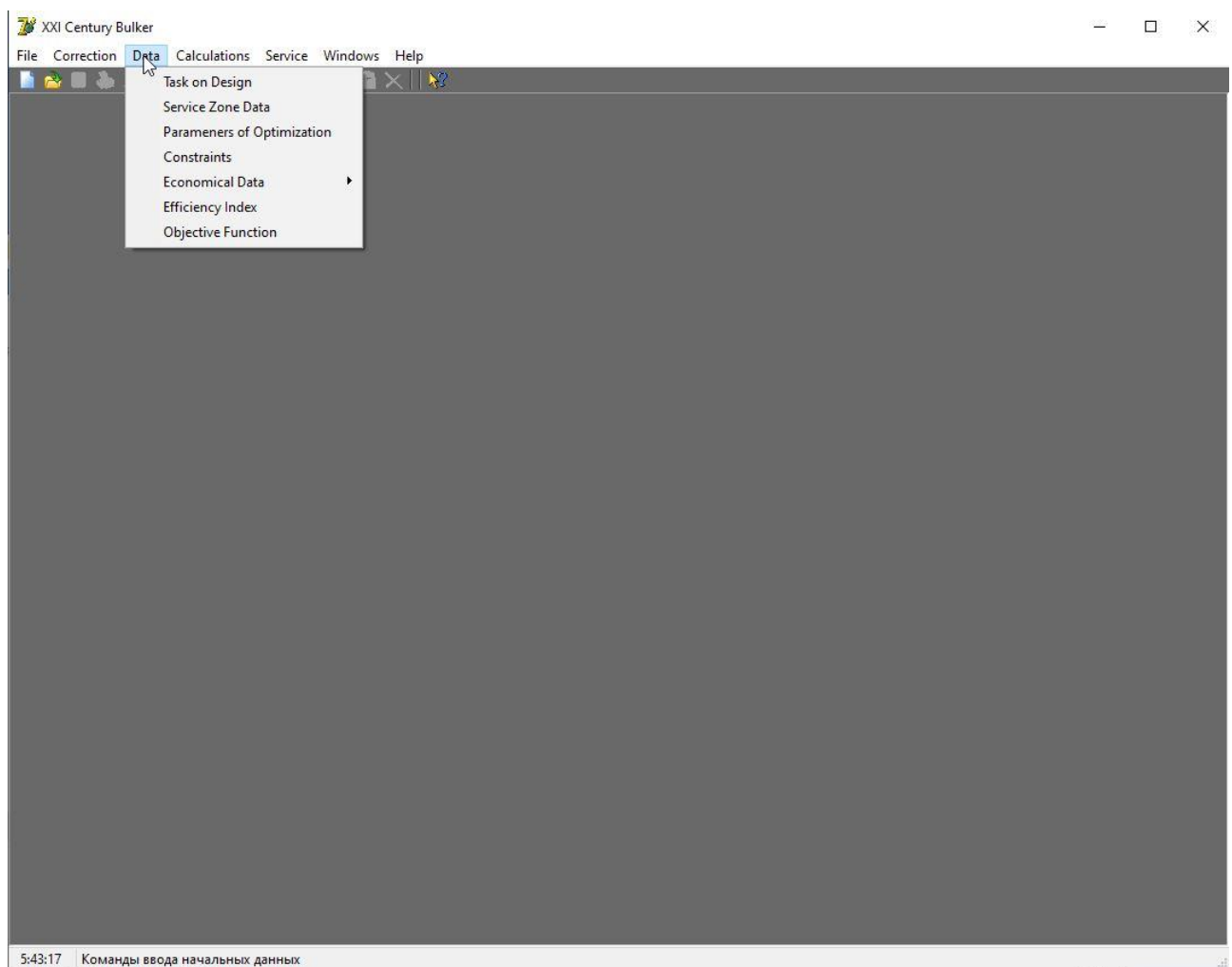


Рис 1.21 - Головне вікно програми

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк. 56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Initial Data

First Part of Task on Design

Endurance, days

Crew, persons

Seakeeping, states

Type of engine

☒ Average-speed

☐ High-speed

Number of Engines

Ok Cancel

Рис 1.22 - Вікно дизайнерського завдання

Service Zone Data

Non-random

Length of Operation Area, miles

Width of Operation Area, miles

Distance from Base Port to Port N1, miles

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 1.23 - Вікно даних зони обслуговування

Parameters of solution search

Parameters Variables Values

Number of Variables 6 Penalty for non-discreteness 0.01000000

Initial Step 0.1000 Exactness for Integralness 0.00100000

Penalty Coefficient 0.0100000 Parameter for b-function 2.14000

Exactness of Calculation 0.0010000 ☒ 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 1.24 - Вікно параметрів пошуку рішення

Parameters of solution search

Parameters Variables Values

The name	Initial	Normalizing
Length L, m - X1	125.000	125.000
Breadth B, m - X2	23.000	23.000
Draught d, m - X3	7.500	7.500
Depth H, m - X4	9.000	9.000
Block coefficient Cb - X5	0.700	0.700
Full Speed, knots - X6	12.000	12.000

Ok Cancel

Рис 1.25 - Вікно незалежних змінних

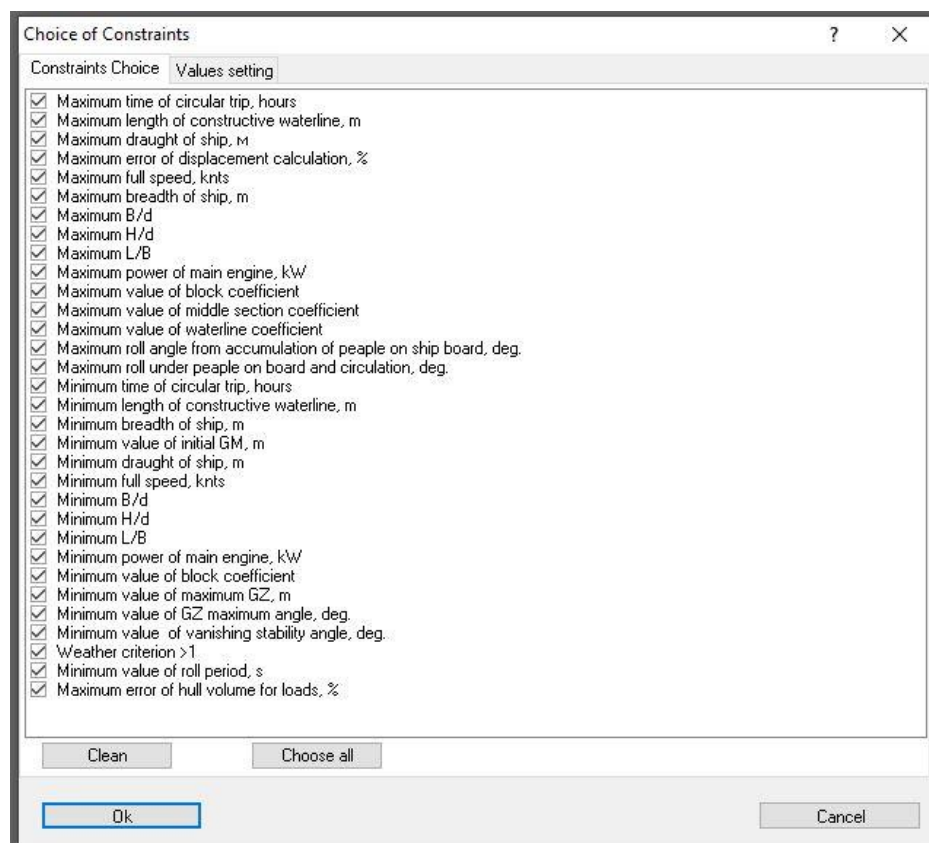


Рис 1.26 - Вікно вибору обмежень

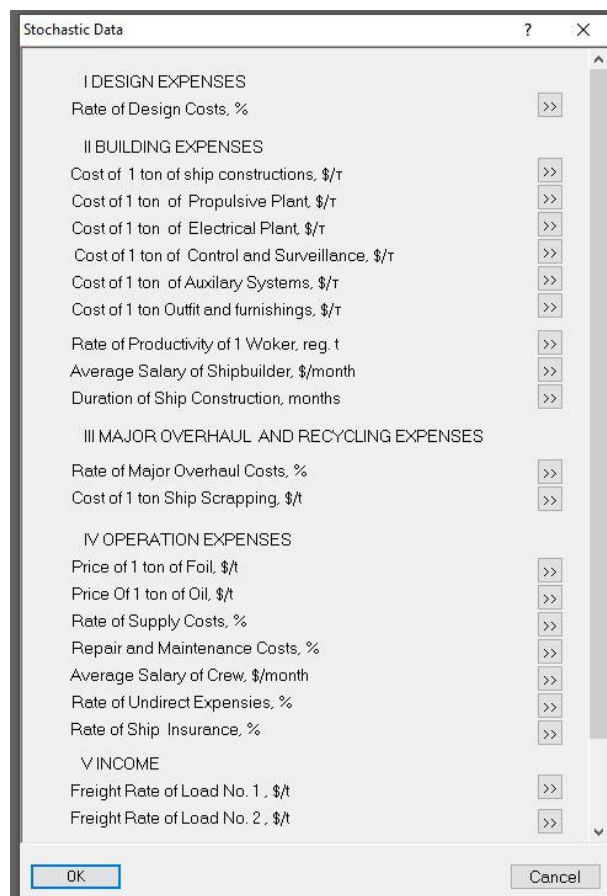


Рис 1.27 - Вікно стохастичних економічних даних

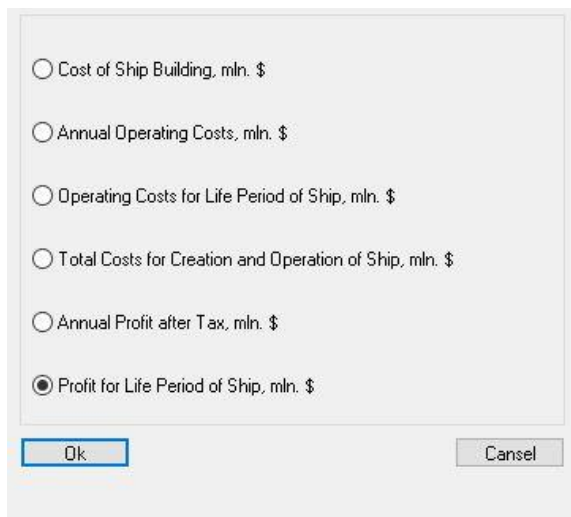


Рис 1.28 - Вікно показників економічної ефективності

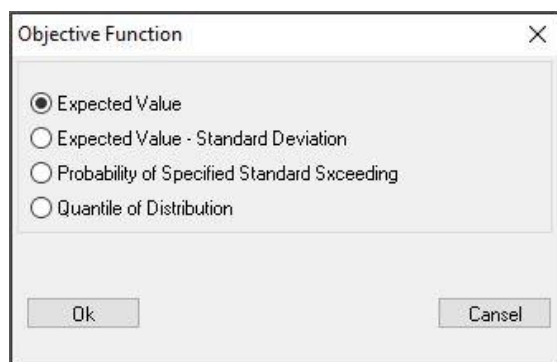


Рис 1.29 - Вікно цільових функцій

1.8 Концептуальний проєкт балкера

Calculation Date: 08.05.2023 Calculation Time: 21:32:53
 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 8
 Crew, men 15
 Seakeeping, states 8
 Type of main engine Average-speed
 Engine number 1

Рис 1.30 - Дані проєктного завдання

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

CALCULATION RESULTS:

Main Dimensions:

Length, m.....	129.5
Breadth, m.....	27.8
Draught, m.....	10.5
Depth, m.....	11.3
Block coefficient C _b	0.642
Middle section coefficient C _m	0.912
Waterline area coefficient C _w	0.743
Volume Displacement V, m ³	23386.7
Model of Main Engine	3612
Power of Main Engine N _e , kW	3493.4
Speed V _s , knots	12.6
Mass of constructions, t.....	5259.3
Mass of propulsion plant, t.....	764.7
Mass of electrical plant, t.....	187.0
Mass of control system, t.....	14.4
Mass of auxiliary system, t.....	338.0
Mass of equipment and furniture, t.....	649.6
Mass of ballast, t.....	0.00
Light displacement, t.....	7213.0
Mass of crew and provisions, t	2.2
Mass of freshwater marine, t.....	24.0
Mass of ship fuel and oil, t.....	165.7
Mass of Load 1 in HalfTrip 1, t	17996.2
Mass of Load 2 in HalfTrip 2, t	17993.2
Deadweight, t.....	18188
Displacement full, t.....	24875.2

Рис 1.31 - Оптимальні основні розміри та масове навантаження балкера

Vertical ship gravity center, m.....	6.8
Vertical ship buoyancy center, m.....	5.7
Transversal metacentric radius, m.....	5.4
Initial metacentric height, m.....	4.2
Maximum righting lever arm, m.....	1.4
Angle of maximum lever arm, deg.....	32.1
Angle of vanishing stability, deg.....	84.4
Criteria of stability.....	6.6
Angle of heel from people accumulation on side of ship, deg....	0.0
Heeling angle from people accumulation during circulation, deg.	0.1
Period of free rolling, sec.....	11.948

INDEXES OF SHIP EFFICIENCY AND RELIABILITY:

(Corresponding to the Type of Objective Function)

Time of Circular Trip, hours	223
Freight rate of Load 1 in HalfTrip 1, \$/t	36.75
Value of Load 1 in HalfTrip 1, t	16796
Freight rate of Load 2 in HalfTrip 2, \$/t	38.02
Value of Load 2 in HalfTrip 2, t	16794
Time of HalfTrip 2, hours.....	111
Number of Circular Trip per year	39
Probability of Transport Operations Fulfillment	1.000
Daily cost of the ship, \$/day	3117.26
Minimum Time-Charter, \$/day	29064.82
Minimum Freighter daily expenses, \$/day	37004.67
Minimum needed Freight rate, \$/t	10.22
Reduced Costs, \$/t per year	10.27
Income from Trip, mln.\$	1.255872
Income from HalfTrip 2, mln.\$	0.627936
Income per year, mln.\$	48.760124
Expenses per operation year, mln.\$	14.351457
Annual Profit (after taxes), mln.\$	24.631550
Cost of Ship Design and Building, mln.\$	49.401343
Total Costs for Creation and Operation of Ship, mln. \$	219.102544
Profit of Ship Life Period (24 years), mln.\$	554.209866

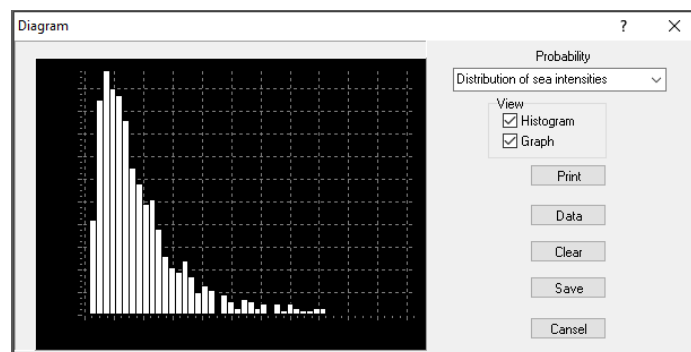
Рис 1.32 - Характеристики остійності та
Показники ефективності та надійності балкера

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

CONSTRAINTS(RESTRICTIONS):

Name	Value	Constraints
1 Maximum time of circular trip, hours	222.717	28800.000
2 Maximum length of constructive waterline, m	124.451	320.000
3 Maximum draught of ship, m	10.523	25.500
4 Maximum error of displacement calculation, %	0.950	1.000
5 Maximum full speed, knts	12.602	19.000
6 Maximum breadth of ship, m	27.816	36.500
7 Maximum B/d	2.643	3.900
8 Maximum H/d	1.071	4.000
9 Maximum L/B	4.474	6.000
10 Maximum power of main engine, kW	3493.395	8000.000
11 Maximum value of block coefficient	0.642	0.800
12 Maximum value of middle section coefficient	0.912	0.980
13 Maximum value of waterline coefficient	0.743	0.970
14 Maximum roll angle from accumulation of people on ship board, deg.	0.002	10.000
15 Maximum roll under people on board and circulation, deg.	0.126	10.000
16 Minimum time of circular trip, hours	222.717	14.000
17 Minimum length of constructive waterline, m	124.451	28.000
18 Minimum breadth of ship, m	27.816	6.000
19 Minimum value of initial GM, m	4.197	4.300
20 Minimum draught of ship, m	10.523	12.000
21 Minimum full speed, knts	12.602	2.000
22 Minimum B/d	2.643	1.250
23 Minimum H/d	1.071	1.250
24 Minimum L/B	4.474	4.000
25 Minimum power of main engine, kW	3493.395	200.000
26 Minimum value of block coefficient	0.642	0.640
27 Minimum value of maximum GZ, m	1.390	0.250
28 Minimum value of GZ maximum angle, deg.	32.062	30.000
29 Minimum value of vanishing stability angle, deg.	84.363	60.000
30 Weather criterion >1	6.644	1.000
31 Minimum value of roll period, s	11.948	5.000
32 Maximum error of hull volume for loads, %	0.101	10.000

Рис 1.33 - Значення оптимальних характеристик балкера та значення їх обмежень



Statistical characteristics	
Sampling characteristics	Table of frequencies
Average value	1.83
Variance	2.44
Center Moment 3	7.41
Center Moment 4	45.26
Standard Deviation	1.56
Skewness	1.95
Excess	4.61
Coefficient of variation	0.85
Ok Cancel Print	

Рис 1.34 - Приклад розподілу початкових випадкових значень:
Довготривалий розподіл інтенсивності моря в зоні експлуатації балкера
(Розподіл $h_{3\%} = 1.32 H_{1/3}$, де $H_{1/3}$ - значна висота хвилі)

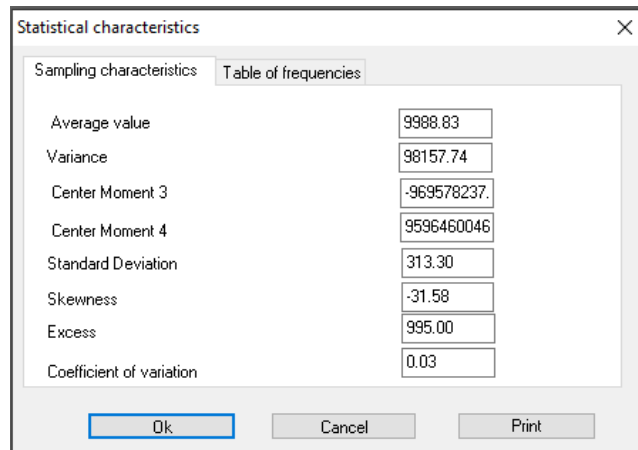
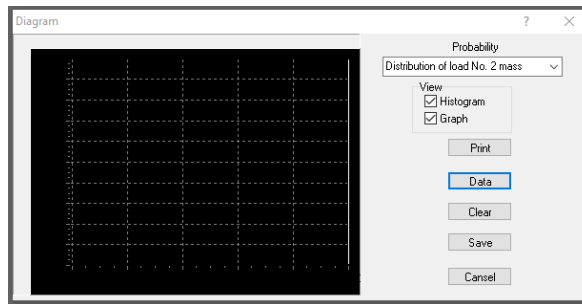


Рис 1.35 - Приклад кінцевих розподілів випадкових значень:
Розподіл суднового навантаження № 2 по масі

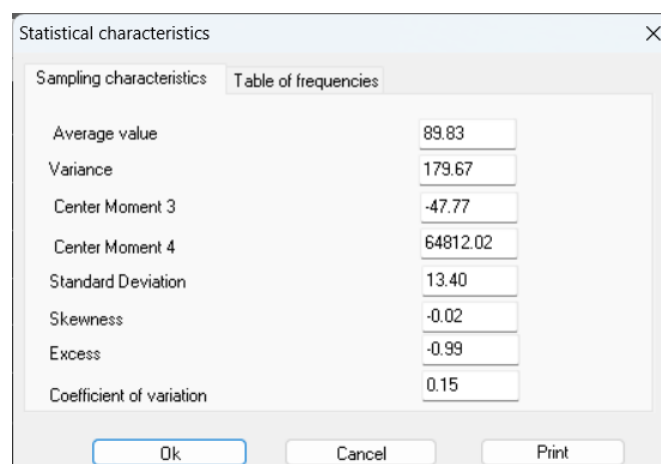
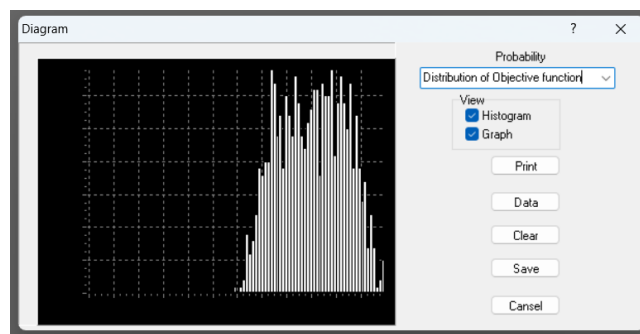


Рис 1.36 - Приклад кінцевих розподілів випадкових значень:
Розподіл Цільової функції задачі оптимізації

					24. ДРМ.135.6112м.13.ПЗ.02			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Студент		.Бабенко Д.О			Дослідження морехідних якостей проектного рішення балкеру	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Ястреба О.П.					65	27
Рецензент		Некрасов В.О.				НУК		
Зав.Каф.		Некрасов В.О.						

2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ ПРОЄКТНОГО РІШЕННЯ БАЛКЕРА

2.1 Формування теоретичної поверхні балкера.

Створення поверхні корпусу балкера виконується за допомогою програмного продукту Maxsurf Modeler Advanced [13]. Процес включає наступні етапи:

1. Вибір прототипу:

В програмі Maxsurf Modeler Advanced обирається базовий корпус балкера, який буде використовуватися для подальших модифікацій.

2. Трансформація корпусу:

Застосовуються методи лінійної та об'ємної трансформації на основі отриманих даних з першого етапу. Невизначені елементи розраховуються за допомогою коефіцієнтів трансформації, отриманих за допомогою даних прототипу. Враховуються геометричні параметри та характеристики корпусу для досягнення необхідних змін у формі та розмірах корпусу. Результати представлені на рис. 2.1.

3. Визначення елементів конструкції:

Задаються ватерлінії, батокси та шпангоути, які визначають геометричні особливості корпусу.

4. Формування теоретичного креслення:

За допомогою визначених елементів конструкції формується теоретичне креслення корпусу.

5. Створення проекцій для AutoCAD:

Формуються проекції теоретичного креслення для подальшого використання в AutoCAD. (див. Рис. 2.2).

Цей процес забезпечує не лише створення поверхні корпусу, а й підготовку необхідної документації для подальших етапів та розрахунків.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

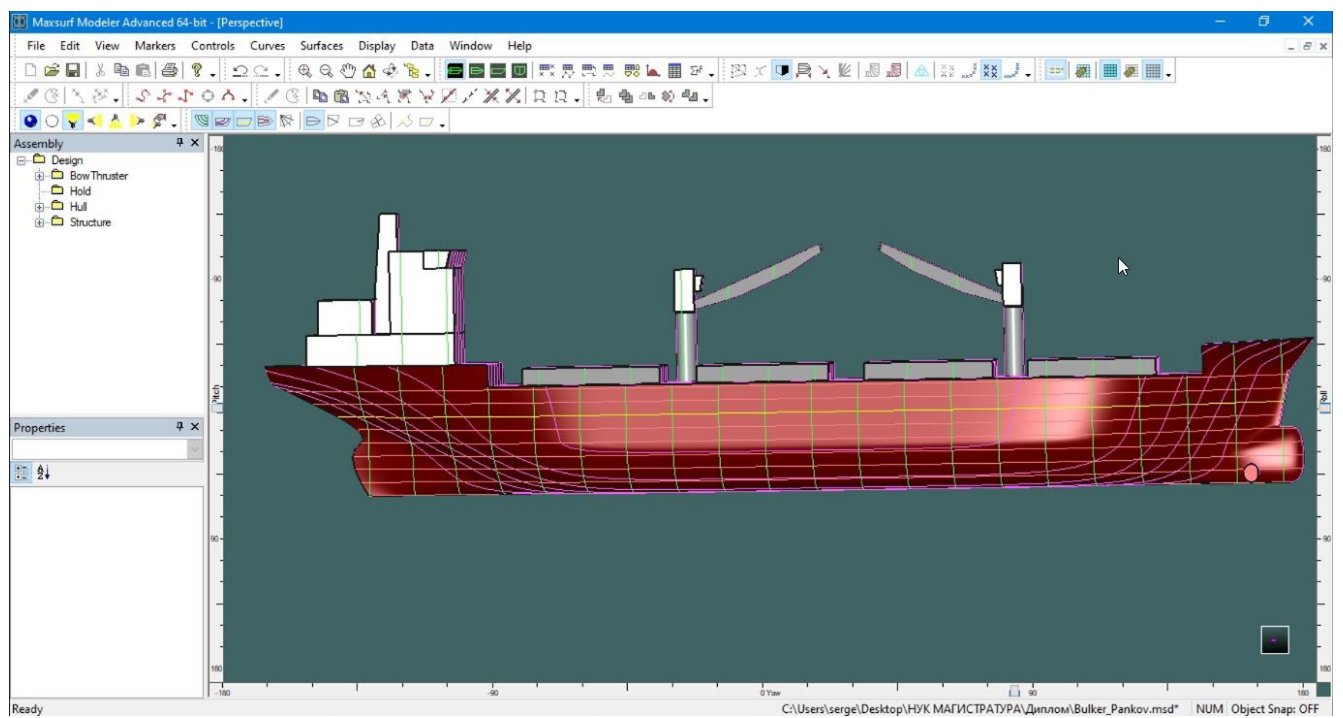


Рисунок 2.1 - Створення поверхні балкера в Maxsurf

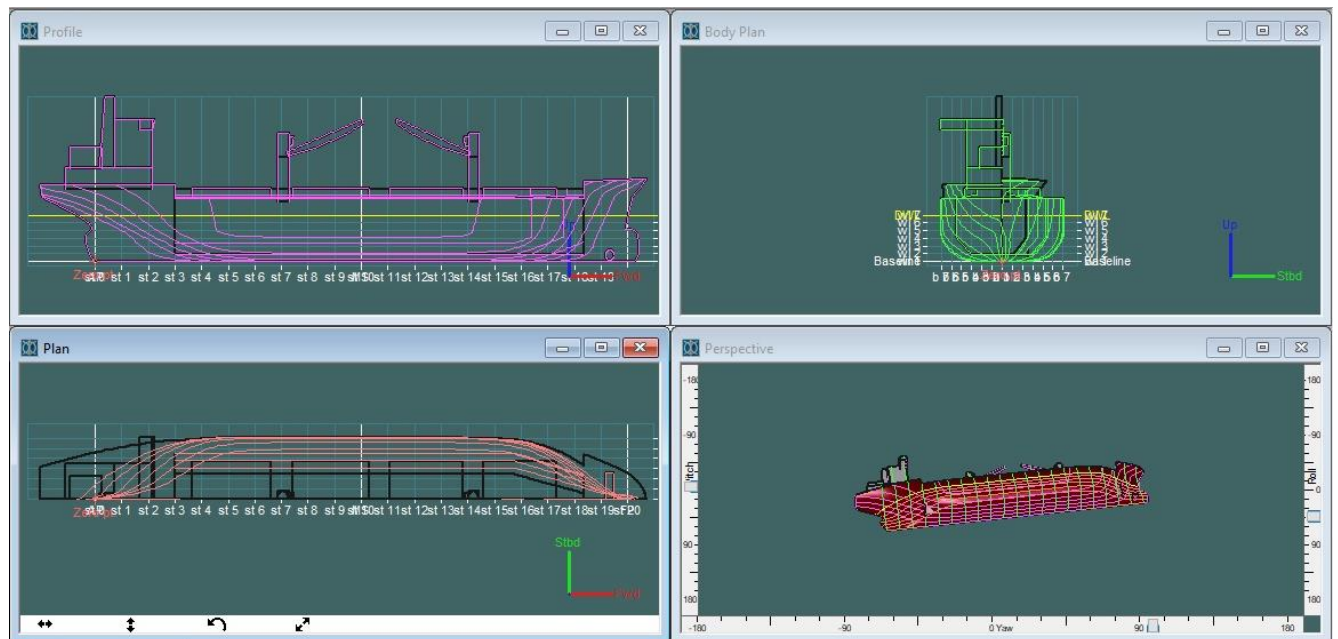


Рисунок 2.2 - Проекції теоретичного креслення балкера.

Теоретичне креслення, що побудовано в AutoCAD, представлено в Додатку.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

2.2 Розрахунок гідростатичних кривих – кривих елементів теоретичного креслення балкера

Для визначення кривих елементів теоретичного креслення судна використовується програмне забезпечення Maxsurf Stability Advanced. Після вводу значень осадок та шага, ми отримуємо таблицю вихідних даних (таблиця 2.1) та криві елементів теоретичного креслення (Рисунок 2.3).

Креслення отриманих кривих представлено у додатках.

	Draft Amidships m	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	11,000	12,000
1	Displacement t	1437	3360	5528	7882	10383	12998	15688	18433	21232	24085	26991	29952
2	Heel deg	0,0	0,0	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	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	11,000	12,000
4	Draft at AP m	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	11,000	12,000
5	Draft at LCF m	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	11,000	12,000
6	Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	WL Length m	123,668	124,463	124,986	125,291	125,332	124,901	123,288	121,292	122,370	123,973	125,926	128,083
8	Beam max extents on WL m	20,556	23,185	24,986	26,346	27,278	27,746	27,800	27,800	27,800	27,800	27,800	27,800
9	Wetted Area m²	1780,31	2173,80	2505,05	2812,02	3103,03	3382,69	3655,08	3919,92	4184,62	4453,07	4722,27	4999,07
10	Waterpl. Area m²	1720,91	2009,63	2212,09	2373,79	2501,37	2593,43	2651,83	2704,42	2756,17	2809,15	2860,88	2917,19
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,650	0,668	0,679	0,688	0,696	0,707	0,724	0,744	0,746	0,744	0,740	0,735
12	Block coeff. (Cb)	0,551	0,568	0,576	0,582	0,593	0,610	0,638	0,667	0,677	0,682	0,684	0,684
13	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,848	0,850	0,848	0,847	0,851	0,863	0,881	0,896	0,907	0,917	0,924	0,931
14	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,677	0,696	0,708	0,719	0,732	0,748	0,774	0,802	0,810	0,815	0,817	0,819
15	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	63,135	62,835	62,556	62,283	62,005	61,716	61,414	61,107	60,806	60,508	60,208	59,902
16	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	62,879	62,366	61,887	61,392	60,854	60,263	59,639	59,094	58,574	58,001	57,442	56,786
17	KB m	0,552	1,102	1,653	2,206	2,760	3,312	3,859	4,401	4,942	5,482	6,022	6,564
18	KG m	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500
19	BMT m	36,201	23,220	18,173	15,323	13,245	11,445	9,802	8,513	7,516	6,730	6,100	5,588
20	BML m	803,046	424,463	293,724	227,045	186,425	158,972	139,161	125,404	115,356	107,920	101,892	97,568
21	GMt m	26,253	13,822	9,326	7,029	5,505	4,256	3,161	2,414	1,958	1,711	1,622	1,652
22	GML m	793,098	415,064	284,878	218,752	178,685	151,784	132,520	119,306	109,798	102,902	97,414	93,632
23	KMt m	36,753	24,322	19,826	17,529	16,005	14,756	13,661	12,914	12,458	12,211	12,122	12,152
24	KML m	803,598	425,564	295,378	229,252	189,185	162,284	143,020	129,806	120,298	113,402	107,914	104,132
25	Immersion (TPC) tonne/cm	17,639	20,599	22,674	24,331	25,639	26,583	27,181	27,720	28,251	28,794	29,324	29,901
26	MTc tonne.m	94,408	115,574	130,500	142,866	153,742	163,478	172,269	182,230	193,178	205,367	217,873	232,388
27	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) to	658,197	810,574	899,817	966,868	997,678	965,529	865,329	776,680	725,385	719,355	764,106	863,532
28	Max deck inclination deg	0,0000	0,0000	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 stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Таблиця 2.1 - Розрахункові значення кривих елементів теоретичного креслення балкера

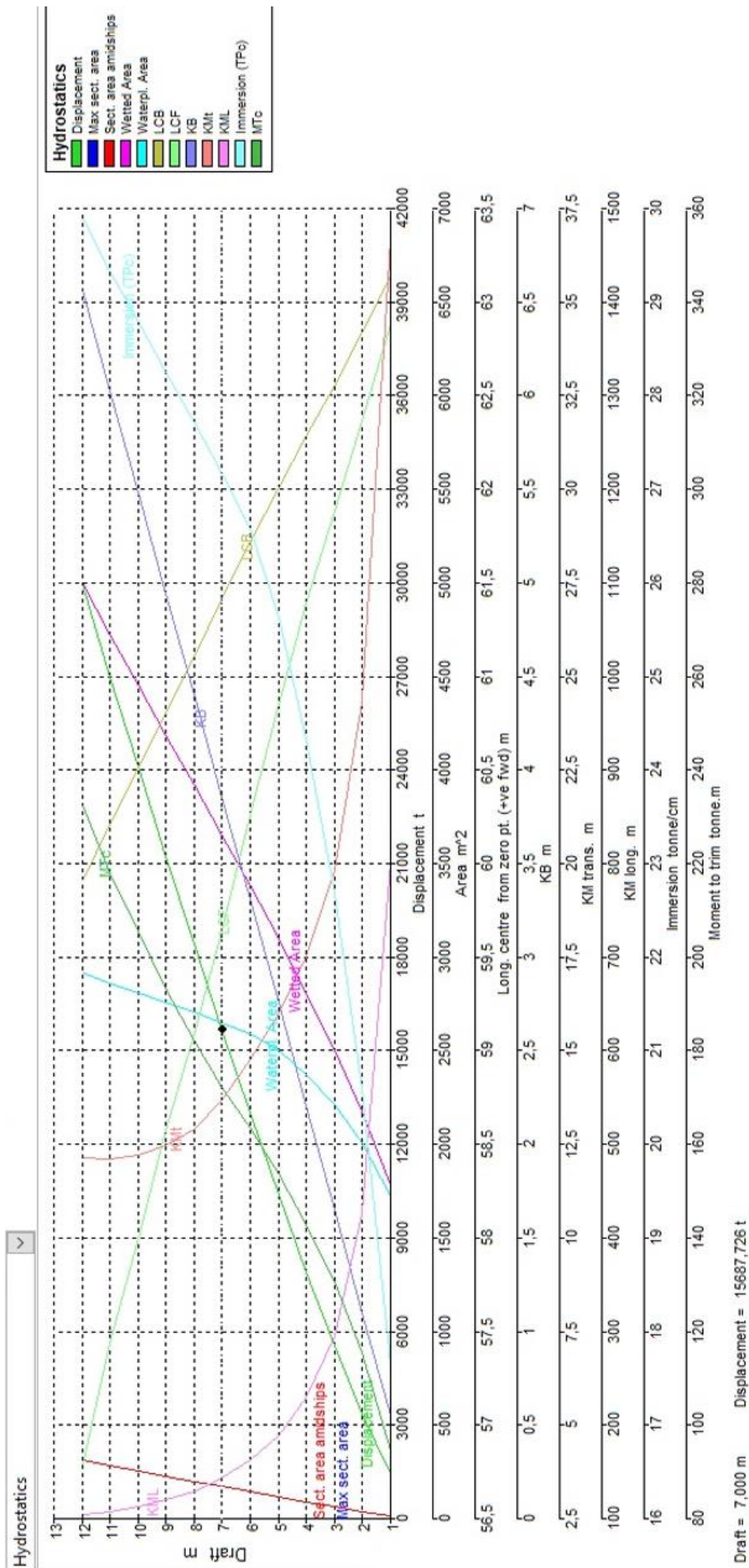


Рисунок 2.3 - Гідростатичні криві - криві елементів теоретичного креслення балкера

Згідно гідростатичних кривих, можна зробити висновок, що розроблене концептуальне проектне рішення відповідає вимогам Міжнародної конвенції про вантажну марку з урахуванням запасу плавучості. Деякі характеристики, які свідчать про відповідність вимогам, включають:

- Висота надводного борту (D-d): Значення висоти надводного борту складає 3,9 метра, розраховане як різниця між максимальною висотою борту і мінімальною осадкою. Мінімальний надводний бік згідно з вимогами до Вантажної марки для судна довжиною 129 метрів (D-d)_{min} дорівнює 1,615 метра.
- Початкова остійність (h): Для вимог Міжнародної морської організації (ІМО) до початкової остійності при значенні $h = 4,2$ метра. Мінімальна поперечна метацентрична висота (h_{min}) становить 0,15 метра.

Ці характеристики підтверджують відповідність судна вимогам щодо стійкості та плавучості, що є важливими факторами для безпечної експлуатації на морі.

2.3 Розрахунок остійності при великих кутах нахилу, удиферентування та розрахунок аварійної посадки та остійності.

Відповідно до стандартів Міжнародної морської організації (ІМО), перевірка стійкості балкера має здійснюватися при повному навантаженні, коли судно перевозить максимальний обсяг вантажу, забезпечуючи високий рівень безпеки та стабільності.

У таблиці 2.2 наведені дані про створені танки та відсіки - Capacity Plan (Room definition). У таблиці 2.3 відображено розподіл мас при 100% навантаженні - Weighting plan.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m	A.Port m	A.Stbd. m	A.Top m	A.Bott. m	Formed
1	Fresh Water	Tank	100	100	1	none		-5.4	0	-14	14	14.4	6	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
2	LubeOil	Tank	100	100	0.92	none		9	21	-14	14	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
3	DB1 port side	Tank	100	100	1	none		21	24.6	-14	0	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
4	DB1 starboard	Tank	100	100	1	none		21	24.6	0	14	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
5	DB2 port side	Tank	100	100	1	none		24.6	26.3	-14	0	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
6	DB2 starboard	Tank	100	100	1	none		24.6	26.3	0	14	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
7	DB3 port side	Tank	100	100	0.85	none		26.3	42.4	-14	0	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
8	DB3 starboard	Tank	100	100	0.85	none		26.3	42.4	0	14	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
9	DB4 port side	Tank	100	100	1	none		42.4	58.5	-14	0	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
10	DB4 starboard	Tank	100	100	1	none		42.4	58.5	0	14	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
11	DB5 port side	Tank	100	100	1	none		58.5	74.6	-14	0	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
12	DB5 starboard	Tank	100	100	1	none		58.5	74.6	0	14	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
13	DB6 port side	Tank	100	100	1	none		74.6	90.7	-14	0	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
14	DB6 starboard	Tank	100	100	1	none		74.6	90.7	0	14	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
15	DB7 port side	Tank	100	100	1	none		90.7	106.8	-14	0	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
16	DB7 starboard	Tank	100	100	1	none		90.7	106.8	0	14	1.85	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
17	ForeKofferdamm	Tank	100	100	1	none		106.8	108.4	-13	13	14.4	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
18	ForePeak	Tank	100	100	1	none		108.4	123.4	-14	14	15	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
19	WB1 port side	Tank	100	100	1	none		26.3	42.4	-14	-13	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
20	WB1 starboard	Tank	100	100	1	none		26.3	42.4	13	14	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
21	WB2 port side	Tank	100	100	1	none		42.4	58.5	-14	-13	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
22	WB2 starboard	Tank	100	100	1	none		42.4	58.5	13	14	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
23	WB3 port side	Tank	100	100	1	none		58.5	74.6	-14	-13	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
24	WB3 starboard	Tank	100	100	1	none		58.5	74.6	13	14	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
25	WB4 port side	Tank	100	100	1	none		74.6	90.7	-14	-13	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
26	WB4 starboard	Tank	100	100	1	none		74.6	90.7	13	14	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
27	WB5 port side	Tank	100	100	1	none		90.7	106.8	-14	-13	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
28	WB5 starboard	Tank	100	100	1	none		90.7	106.8	13	14	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
29	Hold 1	Tank	100	100	0.85	none		26.3	42.4	-13	13	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
30	Hold 2	Tank	100	100	0.85	none		42.4	58.5	-13	13	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
31	Hold 3	Tank	100	100	0.85	none		58.5	74.6	-13	13	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
32	Hold 4	Tank	100	100	0.85	none		74.6	90.7	-13	13	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
33	Hold 5	Tank	100	100	0.85	none		90.7	106.8	-13	13	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
34	AltKofferdamm	Tank	100	100	1	none		24.6	26.3	-14	14	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
35	AltRoom	Tank	100	100	1	none		21	24.6	-14	14	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
36	Engine Room	Compant	100	100	1	none		9	21	-14	14	14.4	1.85	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
37	AlterPeak	Tank	100	100	1	none		0	9	-14	14	14.4	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes

Таблиця 2.2 – Дані по Capacity Plan (Room definition)

	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	7213	1,000	7213,000			60,360	0,000	7,000	0,000	User Specific
2	Fresh Water	13,19%	182,020	24,000	182,020	24,000	-1,349	0,000	10,698	1304,176	Maximum
3	LubeOil	27,61%	93,074	25,700	101,168	27,935	16,713	0,000	0,480	508,701	Maximum
4	DB1 port side	0%	36,198	0,000	36,198	0,000	23,086	-0,004	0,000	0,000	Maximum
5	DB1 starboard	0%	36,198	0,000	36,198	0,000	23,086	0,004	0,000	0,000	Maximum
6	DB2port side	0%	21,180	0,000	21,180	0,000	25,523	-0,009	0,000	0,000	Maximum
7	DB2 starboard	0%	21,180	0,000	21,180	0,000	25,523	0,009	0,000	0,000	Maximum
8	DB3 port side	0%	225,460	0,000	265,247	0,000	36,011	-0,223	0,000	0,000	Maximum
9	DB3 starboard	0%	225,460	0,000	265,247	0,000	36,011	0,223	0,000	0,000	Maximum
10	DB4 port side	24,24%	288,772	70,000	288,772	70,000	50,471	-3,965	0,303	1979,457	Maximum
11	DB4 starboard	24,24%	288,772	70,000	288,772	70,000	50,471	3,965	0,303	1979,457	Maximum
12	DB5 port side	0%	269,390	0,000	269,390	0,000	66,100	-2,058	0,000	0,000	Maximum
13	DB5 starboard	0%	269,390	0,000	269,390	0,000	66,100	2,058	0,000	0,000	Maximum
14	DB6 port side	0%	265,531	0,000	265,531	0,000	79,724	-0,691	0,000	0,000	Maximum
15	DB6 starboard	0%	265,531	0,000	265,531	0,000	79,724	0,691	0,000	0,000	Maximum
16	DB7 port side	0%	208,435	0,000	208,435	0,000	94,675	-0,065	0,000	0,000	Maximum
17	DB7 starboard	0%	208,435	0,000	208,435	0,000	94,675	0,065	0,000	0,000	Maximum
18	ForeKofferdamm	0%	317,326	0,000	317,326	0,000	107,547	0,000	0,000	0,000	Maximum
19	ForePeak	0%	1063,940	0,000	1063,940	0,000	113,465	0,000	0,000	0,000	Maximum
20	WB1 port side	0%	134,012	0,000	134,012	0,000	42,309	-13,000	3,749	0,000	Maximum
21	WB1 starboard	0%	134,012	0,000	134,012	0,000	42,309	13,000	3,749	0,000	Maximum
22	WB2 port side	0%	140,957	0,000	140,957	0,000	58,155	-13,000	3,713	0,000	Maximum
23	WB2 starboard	0%	140,957	0,000	140,957	0,000	58,155	13,000	3,713	0,000	Maximum
24	WB3 port side	0%	140,966	0,000	140,966	0,000	63,554	-13,000	3,713	0,000	Maximum
25	WB3 starboard	0%	140,966	0,000	140,966	0,000	63,554	13,000	3,713	0,000	Maximum
26	WB4 port side	0%	128,154	0,000	128,154	0,000	74,691	-13,000	3,721	0,000	Maximum
27	WB4 starboard	0%	128,154	0,000	128,154	0,000	74,691	13,000	3,721	0,000	Maximum
28	WB5 port side	0%	20,839	0,000	20,839	0,000	90,791	-13,000	4,409	0,000	Maximum
29	WB5 starboard	0%	20,839	0,000	20,839	0,000	90,791	13,000	4,409	0,000	Maximum
30	Hold 1	76,31%	4401,915	3359,240	5178,723	3952,047	34,380	0,000	6,726	20043,963	Maximum
31	Hold 2	75,93%	4424,404	3359,240	5205,182	3952,047	50,451	0,000	6,688	20043,963	Maximum
32	Hold 3	75,93%	4423,889	3359,240	5204,552	3952,047	66,550	0,000	6,688	20043,963	Maximum
33	Hold 4	76,03%	4418,502	3359,240	5198,237	3952,047	82,642	0,000	6,683	20043,963	Maximum
34	Hold 5	85,54%	3927,114	3359,240	4620,134	3952,047	98,167	0,000	7,491	17300,018	Maximum
35	AltKofferdamm	0%	554,317	0,000	554,317	0,000	25,462	0,000	1,850	0,000	Maximum
36	AltRoom	0%	1122,909	0,000	1122,909	0,000	22,677	0,000	1,850	0,000	Maximum
37	AlterPeak	0%	933,946	0,000	933,946	0,000	6,799	0,000	0,000	0,000	Maximum
38	Total Loadcase			24158,900	33601,856	19552,170	64,414	0,000	6,852	103247,661	
39	Fs correction								4,267		
40	VCG fluid								11,119		

Таблиця 2.3 – Дані по Weighting plan при 100% навантаженні

Після удиферентування судна (розподіл вантажу до відсутності диференту за допомогою розрахунку Equilibrium) Weighting plan при 100% навантаженні приймає наступний вигляд (див. таблицю 2.4):

	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
6	DB2port side	0%	21,180	0,000	21,180	0,000	25,523	-0,009	0,000	0,000	Maximum
7	DB2 starboard	0%	21,180	0,000	21,180	0,000	25,523	0,009	0,000	0,000	Maximum
8	DB3 port side	0%	225,460	0,000	265,247	0,000	38,011	-0,223	0,000	0,000	Maximum
9	DB3 starboard	0%	225,460	0,000	265,247	0,000	38,011	0,223	0,000	0,000	Maximum
10	DB4 port side	24,24%	288,772	70,000	288,772	70,000	50,471	-3,985	0,303	1979,457	Maximum
11	DB4 starboard	24,24%	288,772	70,000	288,772	70,000	50,471	3,985	0,303	1979,457	Maximum
12	DB5 port side	0%	289,390	0,000	289,390	0,000	68,100	-2,058	0,000	0,000	Maximum
13	DB5 starboard	0%	289,390	0,000	289,390	0,000	68,100	2,058	0,000	0,000	Maximum
14	DB6 port side	0%	285,531	0,000	285,531	0,000	79,724	-0,691	0,000	0,000	Maximum
15	DB6 starboard	0%	285,531	0,000	285,531	0,000	79,724	0,691	0,000	0,000	Maximum
16	DB7 port side	0%	208,435	0,000	208,435	0,000	94,675	-0,065	0,000	0,000	Maximum
17	DB7 starboard	0%	208,435	0,000	208,435	0,000	94,675	0,065	0,000	0,000	Maximum
18	ForeKofferdamm	0%	317,326	0,000	317,326	0,000	107,547	0,000	0,000	0,000	Maximum
19	ForePeak	0%	1063,940	0,000	1063,940	0,000	113,477	0,000	0,000	0,000	Maximum
20	WB1 port side	0%	134,012	0,000	134,012	0,000	42,309	-13,000	3,749	0,000	Maximum
21	WB1 starboard	0%	134,012	0,000	134,012	0,000	42,309	13,000	3,749	0,000	Maximum
22	WB2 port side	0%	140,957	0,000	140,957	0,000	58,155	-13,000	3,713	0,000	Maximum
23	WB2 starboard	0%	140,957	0,000	140,957	0,000	58,155	13,000	3,713	0,000	Maximum
24	WB3 port side	0%	140,988	0,000	140,988	0,000	63,554	-13,000	3,713	0,000	Maximum
25	WB3 starboard	0%	140,988	0,000	140,988	0,000	63,554	13,000	3,713	0,000	Maximum
26	WB4 port side	0%	128,154	0,000	128,154	0,000	74,691	-13,000	3,721	0,000	Maximum
27	WB4 starboard	0%	128,154	0,000	128,154	0,000	74,691	13,000	3,721	0,000	Maximum
28	WB5 port side	0%	20,839	0,000	20,839	0,000	90,791	-13,000	4,409	0,000	Maximum
29	WB5 starboard	0%	20,839	0,000	20,839	0,000	90,791	13,000	4,409	0,000	Maximum
30	Hold 1	98,04%	4401,915	4315,760	5178,723	5077,385	34,373	0,000	8,073	0,000	Maximum
31	Hold 2	90,41%	4424,404	4000,000	5205,182	4705,882	50,450	0,000	7,570	20043,983	Maximum
32	Hold 3	80,81%	4423,889	3575,000	5204,552	4205,882	68,550	0,000	6,971	20043,983	Maximum
33	Hold 4	70,16%	4418,502	3100,000	5198,237	3847,058	82,641	0,000	6,318	20043,983	Maximum
34	Hold 5	45,84%	3927,114	1800,000	4620,134	2117,647	98,034	0,000	5,027	17300,018	Maximum
35	AftKofferdamm	0%	554,317	0,000	554,317	0,000	25,462	0,000	1,850	0,000	Maximum
36	AftRoom	0%	1122,909	0,000	1122,909	0,000	22,877	0,000	1,850	0,000	Maximum
37	AfterPeak	0%	933,948	0,000	933,948	0,000	6,789	0,000	0,000	0,000	Maximum
38	Total Loadcase			24193,460	33601,856	19945,770	60,494	0,000	7,005	83203,698	
39	FS correction								3,439		
40	VCG fluid								10,444		

Таблиця 2.4 – Дані по Weighting plan при 100% навантаженні після удиферентування

Результати оцінки остійності для 100% навантаження після удиферентування представлені у таблиці 2.5, а графічне відображення розрахунку - на рисунку 2.4. На рисунку 2.5 – графічне відображення судна з танками та їх заповненням. Перевірка критеріїв IMO та MARPOL – таблиця 2.6.

	Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0
1	GZ m	-0,766	-0,715	-0,324	0,000	0,324	0,715	0,766	0,690	0,426	-0,013	-0,557	-1,143	-1,713	-2,233	-2,668	-2,966	-3,087	-2,988	-2,546	-1,773	-0,887	0,000
2	Area under GZ cur	14,487	6,8460	1,5171	0,0000	1,5169	6,8467	14,483	21,859	27,616	29,799	27,012	18,525	4,2179	-15,56	-40,15	-68,45	-98,87	-129,4	-157,4	-179,2	-192,5	-197,0
3	Displacement t	24194	24193	24193	24196	24193	24193	24193	24193	24193	24193	24193	24193	24193	24193	24193	24193	24193	24196	24196	24196	24194	24194
4	Draft at FP m	10,585	10,091	10,044	10,037	10,044	10,093	10,583	11,353	12,511	14,339	17,798	27,928	n/a	11,814	1,976	-1,174	-2,631	-3,381	-3,874	-4,184	-4,291	-4,316
5	Draft at AP m	9,798	9,892	10,005	10,040	10,005	9,890	9,799	9,572	9,334	9,111	8,832	8,192	n/a	-10,17	-9,987	-10,11	-10,33	-10,53	-10,71	-10,91	-11,04	-11,06
6	WL Length m	123,74	123,81	123,98	124,04	123,98	123,81	123,74	127,18	136,44	137,91	137,34	136,92	135,80	133,69	130,13	135,44	135,74	135,82	129,27	128,79	129,08	129,13
7	Beam max extents	24,674	27,412	28,229	27,800	28,229	27,414	24,673	23,820	21,183	19,054	17,652	17,153	17,259	17,375	19,339	20,756	21,619	23,054	27,238	28,801	28,227	27,800
8	Wetted Area m²	4850,1	4586,2	4469,1	4463,4	4469,1	4586,2	4850,1	5028,3	5211,5	5314,4	5374,3	5410,9	5384,4	5396,9	5426,2	5437,3	5480,4	5543,5	5689,2	5813,4	5832,9	5837,6
9	Waterpl. Area m²	2552,4	2811,8	2854,0	2811,2	2854,0	2811,7	2552,5	2468,6	2257,2	2077,4	1953,2	1895,4	1909,2	1896,8	1952,8	2097,4	2242,7	2440,1	2713,5	2826,3	2797,6	2777,9
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,756	0,749	0,745	0,744	0,745	0,749	0,756	0,739	0,694	0,692	0,700	0,705	0,712	0,722	0,738	0,701	0,689	0,680	0,698	0,693	0,687	0,686
11	Block coeff. (Cb)	0,586	0,576	0,612	0,682	0,612	0,576	0,586	0,550	0,545	0,572	0,602	0,614	0,619	0,595	0,538	0,484	0,467	0,436	0,398	0,397	0,432	0,450
12	LCB from zero pt. (%)	60,519	60,498	60,495	60,493	60,495	60,501	60,517	60,548	60,585	60,611	60,630	60,643	60,645	60,642	60,637	60,632	60,628	60,604	60,592	60,580	60,586	60,580
13	LCF from zero pt. (%)	56,678	57,894	57,969	57,976	57,969	57,894	56,677	56,861	56,972	57,126	56,718	55,802	54,528	55,495	56,104	56,882	55,716	55,198	55,664	55,434	55,804	56,071
14	Max deck inclination	30,001	20,000	10,000	0,0017	10,000	20,000	30,001	40,004	50,006	60,007	70,006	80,004	90,000	99,994	109,98	119,97	129,95	139,92	149,88	159,78	169,51	176,79
15	Trim angle (+ve by)	-0,373	-0,094	-0,018	0,0017	-0,018	-0,096	-0,372	-0,845	-1,507	-2,480	-4,249	-9,287	-90,00	-10,32	-5,661	-4,238	-3,650	-3,392	-3,246	-3,192	-3,201	-3,201

Таблиця 2.5 – Дані по розрахунку остійності на великих кутах крену

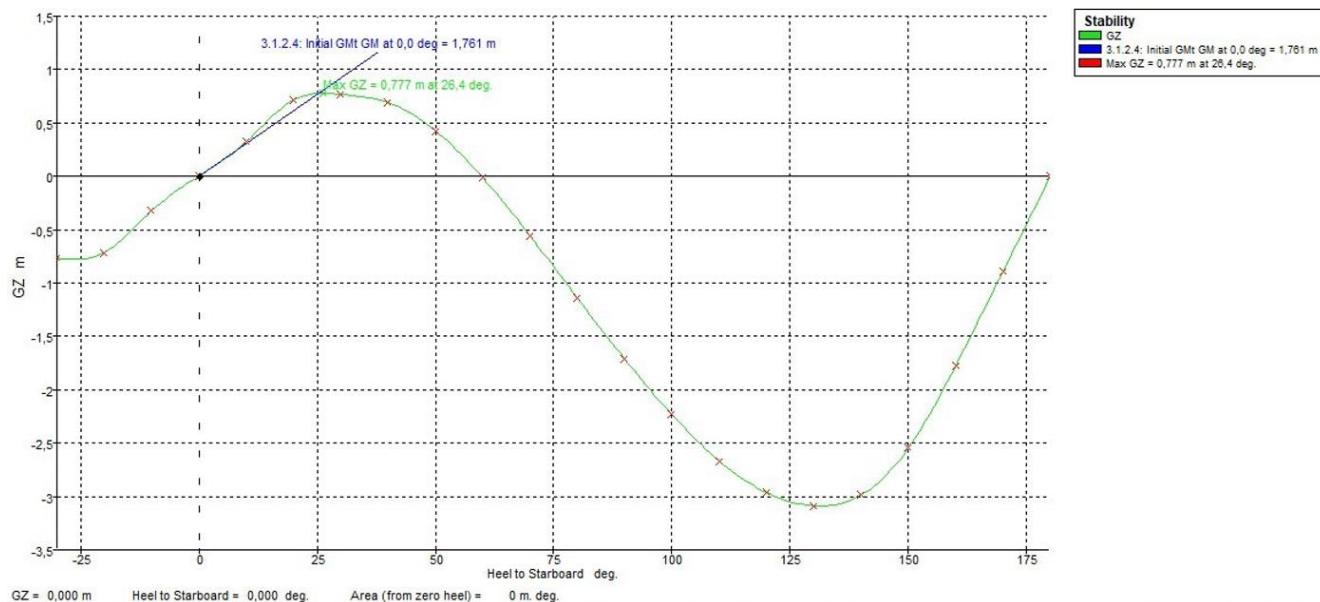


Рисунок 2.4 – Діаграма остійності на великих кутах крену

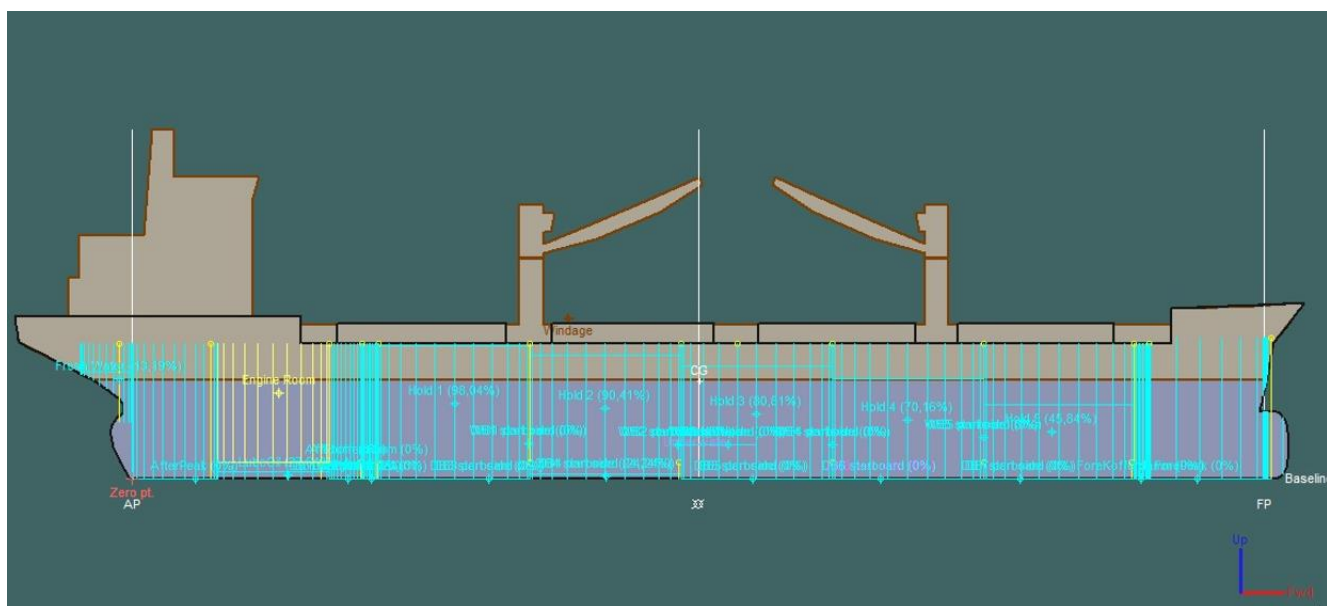


Рисунок 2.5 – Графічне відображення судна з танками та їх заповненням

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) C	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium				Pass	
2		Turn arm: $a v^2 / (R g) h \cos^n(\phi)$					
3		constant: $a =$	0,9996				
4		vessel speed: $v =$	0,000	kn			
5		turn radius, R , as percentage of Lwl	510,00	%			
6		$h = KG - \text{mean draft} / 2$	1,986	m			
7		cosine power: $n =$	0				
8		shall not be greater than ($\leq$)	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
9		Intermediate values					
10		Heel arm amplitude		m	0,000		
11							
12	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
13		Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^4$					
14		constant: $a =$	0,99966				
15		wind pressure: $P =$	504,0	Pa			
16		area centroid height (from zero point): h	6,000	m			
17		total area: $A =$	150,000	m ²			
18		$H = \text{vert. centre of projected lat. u'water}$	5,049	m			
19		cosine power: $n =$	0				
20		gust ratio	1,5				
21		Area2 integrated to the lesser of					
22		roll back angle from equilibrium (with ste	25,0 (-25,0)	deg	-25,0		
23		Area 1 upper integration range, to the le					
24		spec. heel angle	50,0	deg	50,0		
25		first downflooding angle	n/a	deg			
26		angle of vanishing stability (with gust he	59,7	deg			
27		Angle for $GZ(\text{max})$ in GZ ratio, the less					
28		angle of max. GZ	26,4	deg	26,4		
29		Select required angle for angle of stead	DeckEdgelm				
30		Criteria:				Pass	
31		Angle of steady heel shall not be gr	16,0	deg	0,0	Pass	+99,93
32		Angle of steady heel / Deck edge i	80,00	%	0,06	Pass	+99,92

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
33		Area1 / Area2 shall not be less than	100,00	%	259,82	Pass	+159,82
34		Intermediate values					
35		Heel arm amplitude		m	0,000		
36		Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,0		
37		Equilibrium angle with gust heel arm		deg	0,0		
38		Deck edge immersion angle		deg	17,4		
39		Area1 (under GZ), from 0,0 to 50,0 deg.		m.deg	27,6164		
40		Area1 (under HA), from 0,0 to 50,0 deg.		m.deg	0,0227		
41		Area1, from 0,0 to 50,0 deg.		m.deg	27,5937		
42		Area2 (under GZ), from -25,0 to 0,0 deg		m.deg	-10,6091		
43		Area2 (under HA), from -25,0 to 0,0 deg		m.deg	0,0114		
44		Area2, from -25,0 to 0,0 deg.		m.deg	10,6204		
45							
46	Regulation	27.1.1 Initial GMo in port				Pass	
47		spec. heel angle	0,0	deg			
48		shall not be less than ($\geq$)	0,150	m	1,761	Pass	+1074,00
49							
50	Regulation	27.1.2.1 Area 0 to 30				Pass	
51		from the greater of					
52		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
53		to the lesser of					
54		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
55		angle of vanishing stability	59,7	deg			
56		shall not be less than ($\geq$)	3,1513	m.deg	14,4833	Pass	+359,60
57							
58	Regulation	27.1.2.1 Area 0 to 40				Pass	
59		from the greater of					
60		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
61		to the lesser of					
62		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
63		first downflooding angle	n/a	deg			
64		angle of vanishing stability	59,7	deg			

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02

Арк.

73

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
62		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
63		first downflooding angle	n/a	deg			
64		angle of vanishing stability	59,7	deg			
65		shall not be less than ($\geq$)	5,1566	m.deg	21,8594	Pass	+323,91
66							
67	Regulation	27.1.2.1 Area 30 to 40				Pass	
68		from the greater of					
69		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
70		to the lesser of					
71		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
72		first downflooding angle	n/a	deg			
73		angle of vanishing stability	59,7	deg			
74		shall not be less than ($\geq$)	1,7189	m.deg	7,3761	Pass	+329,12
75							
76	Regulation	27.1.2.2 Max GZ at 30 or greater				Pass	
77		in the range from the greater of					
78		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
79		to the lesser of					
80		spec. heel angle	90,0	deg	90,0		
81		angle of max. GZ	26,4	deg			
82		shall not be less than ($\geq$)	0,200	m	0,766	Pass	+283,00
83		Intermediate values					
84		angle at which this GZ occurs		deg	30,0		
85							
86	Regulation	27.1.2.3 Angle of maximum GZ				Pass	
87		shall not be less than ($\geq$)	25,0	deg	26,4	Pass	+5,46
88							
89	Regulation	27.1.2.4 Initial GMo at sea				Pass	
90		spec. heel angle	0,0	deg			
91		shall not be less than ($\geq$)	0,150	m	1,761	Pass	+1074,00
92							

Таблиця 2.6 – Перевірка критеріїв ІМО та MARPOL

Цей підхід дозволяє забезпечити, що судно залишається стійким та безпечним при максимальному навантаженні, забезпечуючи відповідність міжнародним стандартам стійкості та безпеки мореплавства.

Перевіримо остійність судна при затопленні деяких відсіків. Задані параметри розрахунку наведені у таблиці 2.7 та 2.8:

	Room	Intact	DCase 1
1	Fresh Water	☐	☐
2	LubeOil	☐	☒
3	DB1 port side	☐	☐
4	DB1 starboard	☐	☐
5	DB2port side	☐	☐
6	DB2 starboard	☐	☐
7	DB3 port side	☐	☐
8	DB3 starboard	☐	☐
9	DB4 port side	☐	☐
10	DB4 starboard	☐	☐
11	DB5 port side	☐	☐
12	DB5 starboard	☐	☐
13	DB6 port side	☐	☐
14	DB6 starboard	☐	☐
15	DB7 port side	☐	☐
16	DB7 starboard	☐	☐
17	ForeKofferdamm	☐	☐
18	ForePeak	☐	☐
19	WB1 port side	☐	☐
20	WB1 starboard	☐	☐
21	WB2 port side	☐	☐
22	WB2 starboard	☐	☐
23	WB3 port side	☐	☐
24	WB3 starboard	☐	☐
25	WB4 port side	☐	☐
26	WB4 starboard	☐	☐
27	WB5 port side	☐	☐
28	WB5 starboard	☐	☐
29	Hold 1	☐	☐
30	Hold 2	☐	☐
31	Hold 3	☐	☐
32	Hold 4	☐	☐
33	Hold 5	☐	☐
34	AftKofferdamm	☐	☐
35	AftRoom	☐	☐
36	Engine Room	☐	☒
37	AfterPeak	☐	☐

Таблиця 2.7 – Обраний варіант затоплення відсіків

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

	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 F&M tonne.m	F&M Type
1	Lightship	7213	1,000	7213,000			60,360	0,000	7,000	0,000	User Spec
2	Fresh Water	13,19%	182,020	24,000	182,020	24,000	-1,416	0,000	10,700	1304,176	Maximum
3	LubeOil (Damaged)	Damaged									
4	DB1 port side	0%	36,198	0,000	36,198	0,000	21,020	-0,002	0,000	0,000	Maximum
5	DB1 starboard	0%	36,198	0,000	36,198	0,000	21,020	0,002	0,000	0,000	Maximum
6	DB2 port side	0%	21,180	0,000	21,180	0,000	24,610	-0,007	0,000	0,000	Maximum
7	DB2 starboard	0%	21,180	0,000	21,180	0,000	24,610	0,007	0,000	0,000	Maximum
8	DB3 port side	0%	225,460	0,000	265,247	0,000	26,391	-0,011	0,000	0,000	Maximum
9	DB3 starboard	0%	225,460	0,000	265,247	0,000	26,391	0,011	0,000	0,000	Maximum
10	DB4 port side	24,24%	288,772	70,000	288,772	70,000	48,817	-4,027	0,334	1979,457	Maximum
11	DB4 starboard	24,24%	288,772	70,000	288,772	70,000	48,817	4,027	0,334	1979,457	Maximum
12	DB5 port side	0%	289,390	0,000	289,390	0,000	58,591	-2,115	0,000	0,000	Maximum
13	DB5 starboard	0%	289,390	0,000	289,390	0,000	58,591	2,115	0,000	0,000	Maximum
14	DB6 port side	0%	285,532	0,000	285,532	0,000	74,691	-1,281	0,000	0,000	Maximum
15	DB6 starboard	0%	285,532	0,000	285,532	0,000	74,691	1,281	0,000	0,000	Maximum
16	DB7 port side	0%	208,435	0,000	208,435	0,000	90,791	-0,122	0,000	0,000	Maximum
17	DB7 starboard	0%	208,435	0,000	208,435	0,000	90,791	0,122	0,000	0,000	Maximum
18	ForeKofferdamm	0%	317,325	0,000	317,325	0,000	106,809	0,000	0,000	0,000	Maximum
19	ForePeak	0%	1063,941	0,000	1063,941	0,000	108,448	0,000	0,000	0,000	Maximum
20	WB1 port side	0%	134,012	0,000	134,012	0,000	36,386	-13,000	3,749	0,000	Maximum
21	WB1 starboard	0%	134,012	0,000	134,012	0,000	36,386	13,000	3,749	0,000	Maximum
22	WB2 port side	0%	140,957	0,000	140,957	0,000	42,491	-13,000	3,713	0,000	Maximum
23	WB2 starboard	0%	140,957	0,000	140,957	0,000	42,491	13,000	3,713	0,000	Maximum
24	WB3 port side	0%	140,986	0,000	140,986	0,000	58,591	-13,000	3,713	0,000	Maximum
25	WB3 starboard	0%	140,986	0,000	140,986	0,000	58,591	13,000	3,713	0,000	Maximum
26	WB4 port side	0%	128,154	0,000	128,154	0,000	74,691	-13,000	3,721	0,000	Maximum
27	WB4 starboard	0%	128,154	0,000	128,154	0,000	74,691	13,000	3,721	0,000	Maximum
28	WB5 port side	0%	20,839	0,000	20,839	0,000	90,791	-13,000	4,409	0,000	Maximum
29	WB5 starboard	0%	20,839	0,000	20,839	0,000	90,791	13,000	4,409	0,000	Maximum
30	Hold 1	98,04%	4401,915	4315,750	5178,723	5077,365	34,311	0,000	8,074	0,000	Maximum
31	Hold 2	90,41%	4424,404	4000,000	5205,182	4705,882	50,381	0,000	7,571	20057,003	Maximum
32	Hold 3	90,81%	4423,868	3575,000	5204,551	4205,882	66,472	0,000	6,973	20057,002	Maximum
33	Hold 4	70,16%	4418,502	3100,000	5198,238	3647,059	82,552	0,000	6,320	20057,006	Maximum
34	Hold 5	45,84%	3927,114	1800,000	4620,134	2117,647	97,903	0,000	5,000	17300,017	Maximum
35	AftKofferdamm	0%	554,317	0,000	554,317	0,000	24,610	0,000	1,850	0,000	Maximum
36	AftRoom	0%	1122,909	0,000	1122,909	0,000	21,020	0,000	1,850	0,000	Maximum
37	AftPeak	0%	933,946	0,000	933,946	0,000	0,051	0,000	0,000	0,000	Maximum
38	Engine Room (Damaged)	Damaged									
39	Total Loadcase			24167,760	33500,688	19917,835	60,475	0,000	7,013	82734,118	
40	F&S correction								3,423		
41	VCG fluid								10,437		

Таблиця 2.8 – Дані по Weighting plan при затопленні відсіків

Після розрахунку отримаємо данні до діаграми остійності на великих кутах крену при затоплених відсіках - у таблиці 2.9, саму діаграму – рисунок 2.6, графічне відображення судна – рисунок 2.7 та перевірку критеріям – таблиця 2.10.

	Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0
1	GZ m	-0,709	-0,631	-0,316	0,000	0,316	0,631	0,709	0,612	0,335	-0,081	-0,583	-1,117	-1,644	-2,121	-2,500	-2,744	-2,823	-2,737	-2,310	-1,594	-0,813	0,000
2	Area under GZ cur	13,254	6,3968	1,5420	0,0000	1,5438	6,3889	13,285	20,025	24,897	26,257	22,988	14,498	0,6686	-18,22	-41,42	-67,77	-95,72	-123,7	-149,2	-168,9	-180,9	-185,0
3	Displacement t	24170	24167	24168	24170	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24168	24169
4	Draft at FP m	9,109	8,628	8,539	8,526	8,540	8,625	9,108	9,681	10,414	11,517	13,533	19,360	n/a	4,223	-1,467	-3,381	-4,284	-4,694	-5,130	-5,438	-5,568	-5,597
5	Draft at AP m	12,804	12,792	12,839	12,880	12,837	12,794	12,804	13,101	13,900	15,411	18,453	27,366	n/a	6,841	-2,073	-5,147	-8,838	-7,812	-8,318	-8,631	-8,736	-8,744
6	WL Length m	133,05	130,56	129,77	129,86	129,76	130,58	133,05	133,13	134,14	135,20	136,80	137,32	136,75	135,31	135,70	135,66	130,64	124,38	124,33	124,57	124,66	124,66
7	Beam max extents	24,907	27,841	28,229	27,800	28,229	27,844	24,906	23,384	20,936	18,943	17,621	16,844	16,743	18,316	19,416	20,205	21,056	22,547	27,253	28,067	28,044	27,800
8	Wetted Area m²	5211,6	4975,0	4731,2	4719,3	4731,1	4975,3	5211,3	5377,8	5520,0	5616,2	5681,3	5729,8	5765,8	5776,8	5735,2	5726,4	5768,3	5839,2	5951,4	6002,7	6011,5	6014,0
9	Waterpl. Area m²	2438,3	2607,3	2692,0	2641,1	2691,9	2607,7	2438,3	2249,6	2053,7	1895,5	1787,1	1717,6	1692,5	1732,3	1852,6	1957,5	2034,5	2169,4	2429,1	2459,2	2454,2	2449,5
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,633	0,625	0,612	0,610	0,612	0,625	0,633	0,649	0,658	0,665	0,668	0,674	0,686	0,702	0,705	0,701	0,723	0,758	0,749	0,744	0,742	0,741
11	Block coeff. (Cb)	0,499	0,485	0,509	0,507	0,509	0,485	0,499	0,503	0,531	0,559	0,580	0,601	0,618	0,552	0,505	0,486	0,501	0,509	0,434	0,446	0,486	0,515
12	LCB from zero pt. (	60,416	60,390	60,376	60,375	60,378	60,385	60,415	60,435	60,448	60,459	60,471	60,484	60,501	60,521	60,549	60,569	60,585	60,597	60,588	60,582	60,578	60,576
13	LCF from zero pt. (+	57,868	58,783	59,420	59,643	59,422	58,775	57,868	59,933	60,995	61,733	62,235	62,302	62,190	62,404	61,941	61,197	60,456	61,376	62,508	62,335	62,461	62,579
14	Max deck inclination	30,034	20,082	10,197	2,0661	10,197	20,082	30,034	40,016	50,008	60,004	70,002	80,000	90,000	99,999	110,00	119,99	129,99	139,98	149,97	159,95	169,89	178,50
15	Trim angle (+ve by	1,7535	1,9760	2,0404	2,0681	2,0393	1,9786	1,7542	1,6235	1,6548	1,8481	2,3343	3,7951	90,000	1,2426	-0,287	-0,838	-1,212	-1,479	-1,513	-1,515	-1,503	-1,493

Таблиця 2.9 – Дані по розрахунку остійності на великих кутах крену при затопленні відсіків

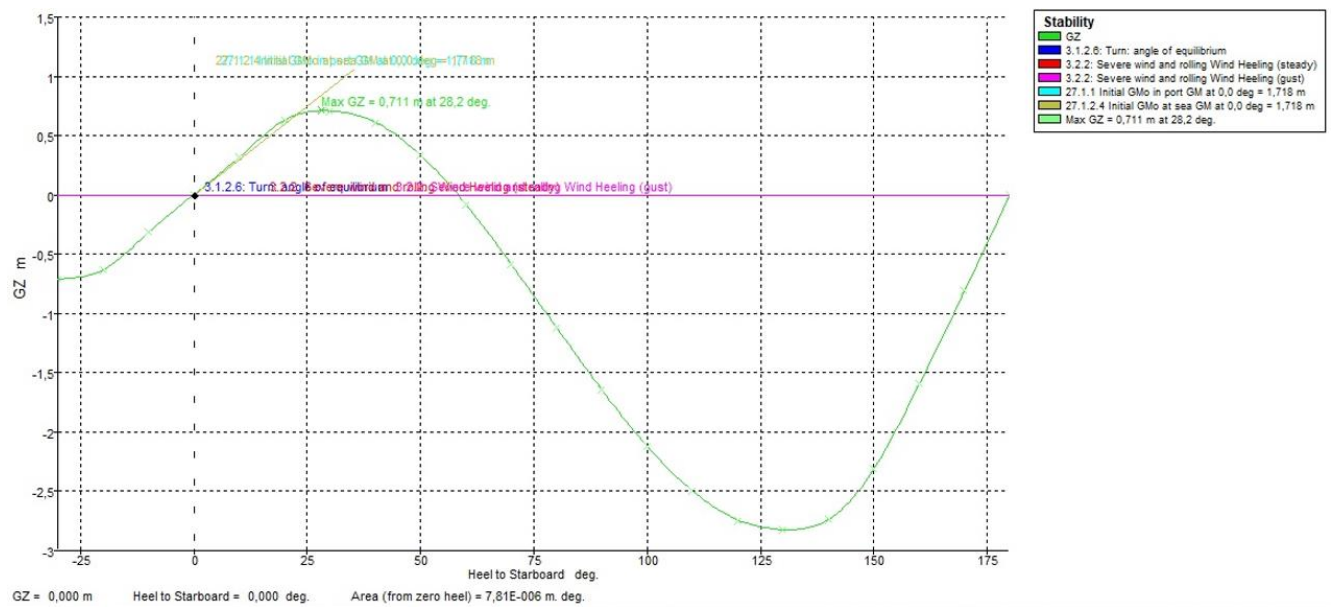


Рисунок 2.6 – Діаграма остійності на великих кутах крену при затопленні відсіків



Рисунок 2.7 – Графічне відображення посадки судна з танками та їх заповненням при затопленні відсіків

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) C	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium				Pass	
2		Turn arm: $a v^2 / (R g) h \cos^n(\phi)$					
3		constant: $a =$	0,9996				
4		vessel speed: $v =$	0,000	kn			
5		turn radius, R , as percentage of Lwl	510,00	%			
6		$h = KG - \text{mean draft} / 2$	1,661	m			
7		cosine power: $n =$	0				
8		shall not be greater than ($\leq$)	10,0	deg	0,0	Pass	+100,00
9		Intermediate values					
10		Heel arm amplitude		m	0,000		
11							
12	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
13		Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^a$					
14		constant: $a =$	0,99966				
15		wind pressure: $P =$	504,0	Pa			
16		area centroid height (from zero point): h	6,000	m			
17		total area: $A =$	150,000	m ²			
18		$H = \text{vert. centre of projected lat. u/water}$	5,384	m			
19		cosine power: $n =$	0				
20		gust ratio	1,5				
21		Area2 integrated to the lesser of					
22		roll back angle from equilibrium (with steady heel)	25,0 (-25,0)	deg	-25,0		
23		Area 1 upper integration range, to the lesser of					
24		spec. heel angle	50,0	deg	50,0		
25		first downflooding angle	n/a	deg			
26		angle of vanishing stability (with gust heel)	58,2	deg			
27		Angle for $GZ(\text{max})$ in GZ ratio, the lesser of					
28		angle of max. GZ	28,2	deg	28,2		
29		Select required angle for angle of steady heel	DeckEdgelm				
30		Criteria:				Pass	
31		Angle of steady heel shall not be greater than	16,0	deg	0,0	Pass	+99,96
32		Angle of steady heel / Deck edge i	80,00	%	0,07	Pass	+99,91

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02

Арк.
76

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
33		Area1 / Area2 shall not be less than	100,00	%	255,44	Pass	+155,44
34		Intermediate values					
35		Heel arm amplitude		m	0,000		
36		Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,0		
37		Equilibrium angle with gust heel arm		deg	0,0		
38		Deck edge immersion angle		deg	9,6		
39		Area1 (under GZ), from 0,0 to 50,0 deg.		m.deg	24,8978		
40		Area1 (under HA), from 0,0 to 50,0 deg.		m.deg	0,0147		
41		Area1, from 0,0 to 50,0 deg.		m.deg	24,8831		
42		Area2 (under GZ), from -25,0 to 0,0 deg		m.deg	-9,7339		
43		Area2 (under HA), from -25,0 to 0,0 deg		m.deg	0,0074		
44		Area2, from -25,0 to 0,0 deg.		m.deg	9,7412		
45							
46	Regulation	27.1.1 Initial GMo in port				Pass	
47		spec. heel angle	0,0	deg			
48		shall not be less than ($\geq$)	0,150	m	1,718	Pass	+1045,33
49							
50	Regulation	27.1.2.1 Area 0 to 30				Pass	
51		from the greater of					
52		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
53		to the lesser of					
54		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
55		angle of vanishing stability	58,2	deg			
56		shall not be less than ($\geq$)	3,1513	m.deg	13,2852	Pass	+321,58
57							
58	Regulation	27.1.2.1 Area 0 to 40				Pass	
59		from the greater of					
60		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
61		to the lesser of					
62		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
63		first downflooding angle	n/a	deg			
64		angle of vanishing stability	58,2	deg			

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
62		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
63		first downflooding angle	n/a	deg			
64		angle of vanishing stability	58,2	deg			
65		shall not be less than ($\geq$)	5,1566	m.deg	20,0254	Pass	+288,35
66							
67	Regulation	27.1.2.1 Area 30 to 40				Pass	
68		from the greater of					
69		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
70		to the lesser of					
71		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
72		first downflooding angle	n/a	deg			
73		angle of vanishing stability	58,2	deg			
74		shall not be less than ($\geq$)	1,7189	m.deg	6,7402	Pass	+292,12
75							
76	Regulation	27.1.2.2 Max GZ at 30 or greater				Pass	
77		in the range from the greater of					
78		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
79		to the lesser of					
80		spec. heel angle	90,0	deg	90,0		
81		angle of max. GZ	28,2	deg			
82		shall not be less than ($\geq$)	0,200	m	0,709	Pass	+254,50
83		Intermediate values					
84		angle at which this GZ occurs		deg	30,0		
85							
86	Regulation	27.1.2.3 Angle of maximum GZ				Pass	
87		shall not be less than ($\geq$)	25,0	deg	28,2	Pass	+12,73
88							
89	Regulation	27.1.2.4 Initial GMo at sea				Pass	
90		spec. heel angle	0,0	deg			
91		shall not be less than ($\geq$)	0,150	m	1,718	Pass	+1045,33
92							

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
35		Heel arm amplitude		m	0,000		
36		Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,0		
37		Equilibrium angle with gust heel arm		deg	0,0		
38		Deck edge immersion angle		deg	9,6		
39		Area1 (under GZ), from 0,0 to 50,0 deg.		m.deg	24,8978		
40		Area1 (under HA), from 0,0 to 50,0 deg.		m.deg	0,0147		
41		Area1, from 0,0 to 50,0 deg.		m.deg	24,8831		
42		Area2 (under GZ), from -25,0 to 0,0 deg		m.deg	-9,7339		
43		Area2 (under HA), from -25,0 to 0,0 deg		m.deg	0,0074		
44		Area2, from -25,0 to 0,0 deg.		m.deg	9,7412		
45							
46	Regulation	28.3.3 Residual righting lever				Pass	
47		in the range from the greater of					
48		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
49		to the lesser of					
50		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,0)	deg	20,0		
51		angle of max. GZ	28,2	deg			
52		first downflooding angle	n/a	deg			
53		shall not be less than ($\geq$)	0,100	m	0,631	Pass	+531,00
54		Intermediate values					
55		angle at which this GZ occurs		deg	20,0		
56							
57	Regulation	28.3.3 Area under GZ curve				Pass	
58		from the greater of					
59		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
60		to the lesser of					
61		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,0)	deg	20,0		
62		first downflooding angle	n/a	deg			
63		angle of vanishing stability	58,2	deg			
64		shall not be less than ($\geq$)	1,0027	m.deg	6,3889	Pass	+537,17
65							

Таблиця 2.10 – Перевірка критеріїв при затопленні відсіків

2.4 Проектування пропульсивного комплексу балкера

2.4.1 Розрахунок ходовості балкера у програмі Maxsurf Resistance [13]

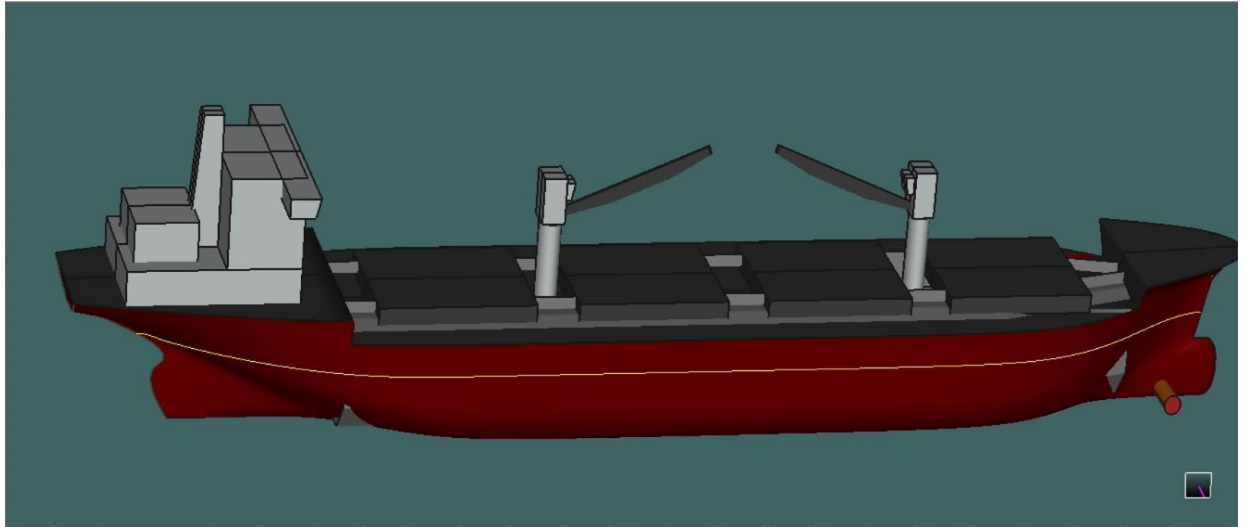


Рисунок 2.8 - Зображення поверхні балкера в Maxsurf Resistance

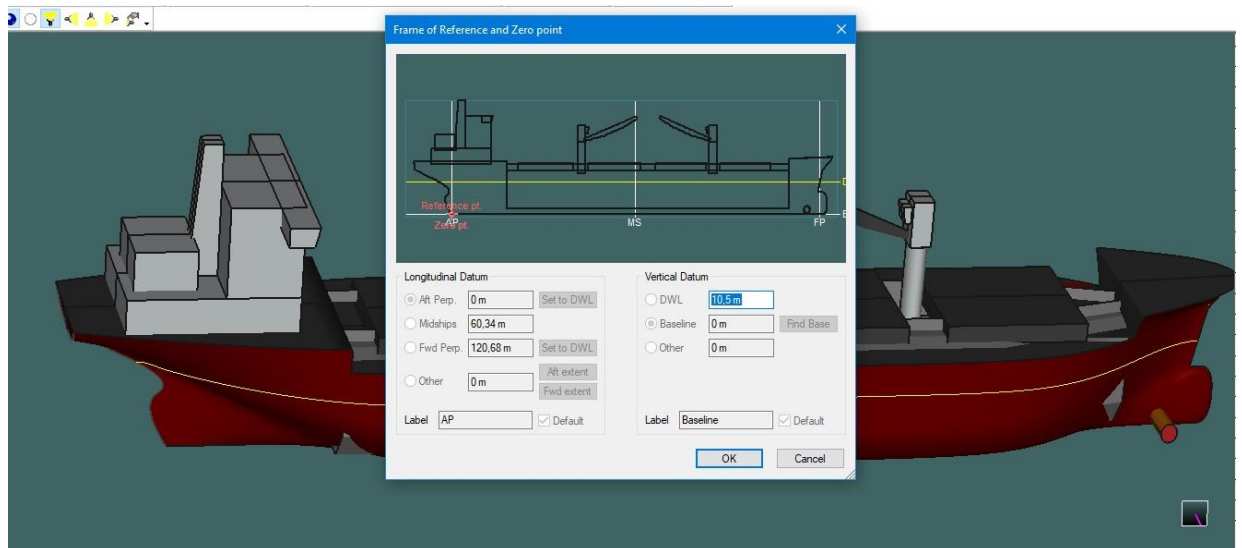


Рисунок 2.9 – Встановлення необхідної осадки балкера

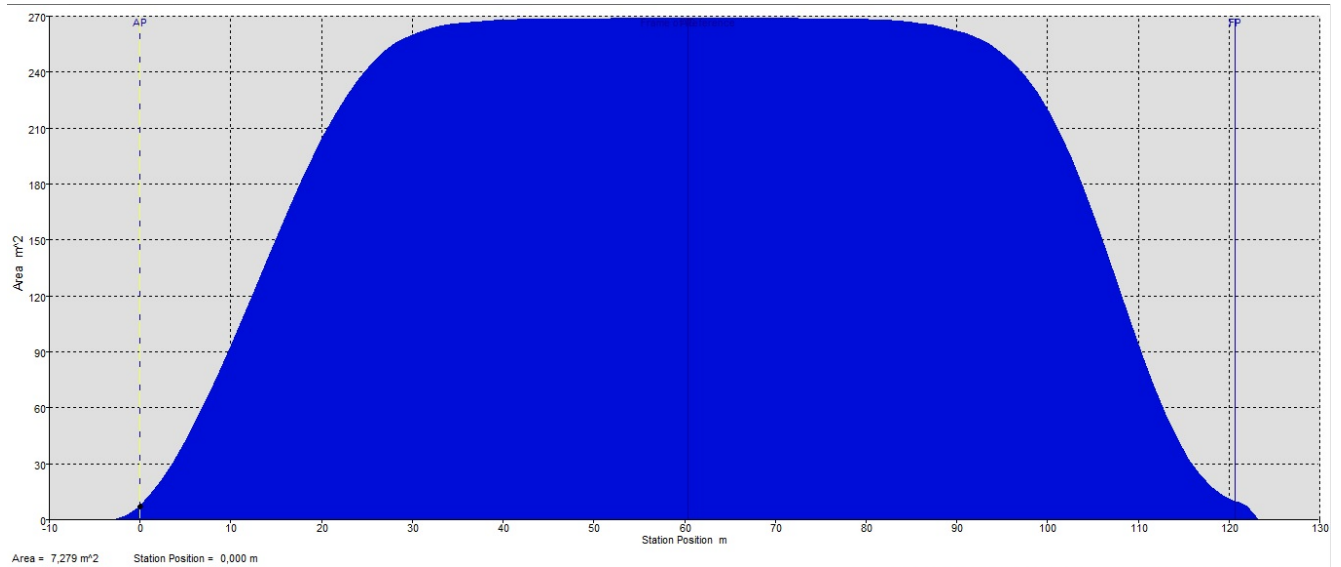


Рисунок 2.10 - Крива занурених площ шпангоутів

	Item	Value	Units	Holtrop
1	LWL	129,5	m	129,5
2	Beam	27,8	m	27,8
3	Draft	10,5	m	10,5
4	Displaced volume	24925,719	m³	24925,71
5	Wetted area	4576,317	m²	4576,317
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,743		0,743
7	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,817		0,817
8	1/2 angle of entrance	35,5	deg.	35,5
9	LCG from midships(+ve for'	0,018	m	0,018
10	Transom area	0	m²	0
11	Transom wl beam	0	m	—
12	Transom draft	0	m	—
13	Max sectional area	268,726	m²	—
14	Bulb transverse area	9,684	m²	9,684
15	Bulb height from keel	3,47	m	3,47
16	Draft at FP	10,5	m	10,5
17	Deadrise at 50% LWL	2,2	deg.	—
18	Hard chine or Round bilge	Round bilge		—
19				
20	Frontal Area	0	m²	
21	Headwind	0	kn	
22	Drag Coefficient	0		
23	Air density	0,001	tonne/	
24	Appendage Area	0	m²	
25	Nominal App. length	0	m	
26	Appendage Factor	1		
27				
28	Correlation allow.	0,0004		Calculate
29	Kinematic viscosity	0,0000011	m²/s	
30	Water Density	1,026	tonne/	

Рисунок 2.11 – Начальні дані розрахунку ходовості балкера

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02

Для аналізу буксирного опору та потужності використовувався програмний продукт Maxsurf Resistance. Результати розрахунків цих параметрів наведені на рисунку 2.12.

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	0,000	0,000	0,000	—	—
2	0,500	0,007	0,015	0,6	0,207
3	1,000	0,015	0,030	2,2	1,505
4	1,500	0,022	0,046	4,7	4,820
5	2,000	0,029	0,061	8,0	11,024
6	2,500	0,037	0,076	12,2	20,954
7	3,000	0,044	0,091	17,2	35,429
8	3,500	0,051	0,106	23,0	55,249
9	4,000	0,059	0,122	29,6	81,203
10	4,500	0,066	0,137	37,0	114,067
11	5,000	0,073	0,152	45,1	154,609
12	5,500	0,081	0,167	54,0	203,588
13	6,000	0,088	0,182	63,6	261,758
14	6,500	0,096	0,198	74,0	329,870
15	7,000	0,103	0,213	85,1	408,677
16	7,500	0,110	0,228	97,0	498,957
17	8,000	0,118	0,243	109,6	601,540
18	8,500	0,125	0,258	123,0	717,367
19	9,000	0,132	0,274	137,3	847,573
20	9,500	0,140	0,289	152,5	993,607
21	10,000	0,147	0,304	168,7	1157,390
22	10,500	0,154	0,319	186,3	1341,502
23	11,000	0,162	0,334	205,3	1549,404
24	11,500	0,169	0,350	226,4	1785,677
25	12,000	0,176	0,365	249,8	2056,278
26	12,500	0,184	0,380	276,3	2368,810
27	13,000	0,191	0,395	306,5	2732,630
28	13,500	0,198	0,410	341,2	3159,458
29	14,000	0,206	0,426	381,6	3664,089
30	14,500	0,213	0,441	428,4	4260,723
31	15,000	0,220	0,456	482,4	4963,640
32	15,500	0,228	0,471	545,7	5801,991
33	16,000	0,235	0,486	621,7	6822,654
34	16,500	0,243	0,502	712,0	8057,733
35	17,000	0,250	0,517	813,7	9488,592
36	17,500	0,257	0,532	921,9	11066,72
37	18,000	0,265	0,547	1036,3	12794,51
38	18,500	0,272	0,562	1165,2	14785,63
39	19,000	0,279	0,578	1323,8	17252,99
40	19,500	0,287	0,593	1528,9	20450,45
41	20,000	0,294	0,608	1792,9	24596,40

Рисунок 2.12- Опір буксируванню та потужність буксирування балкера при різних швидкостях

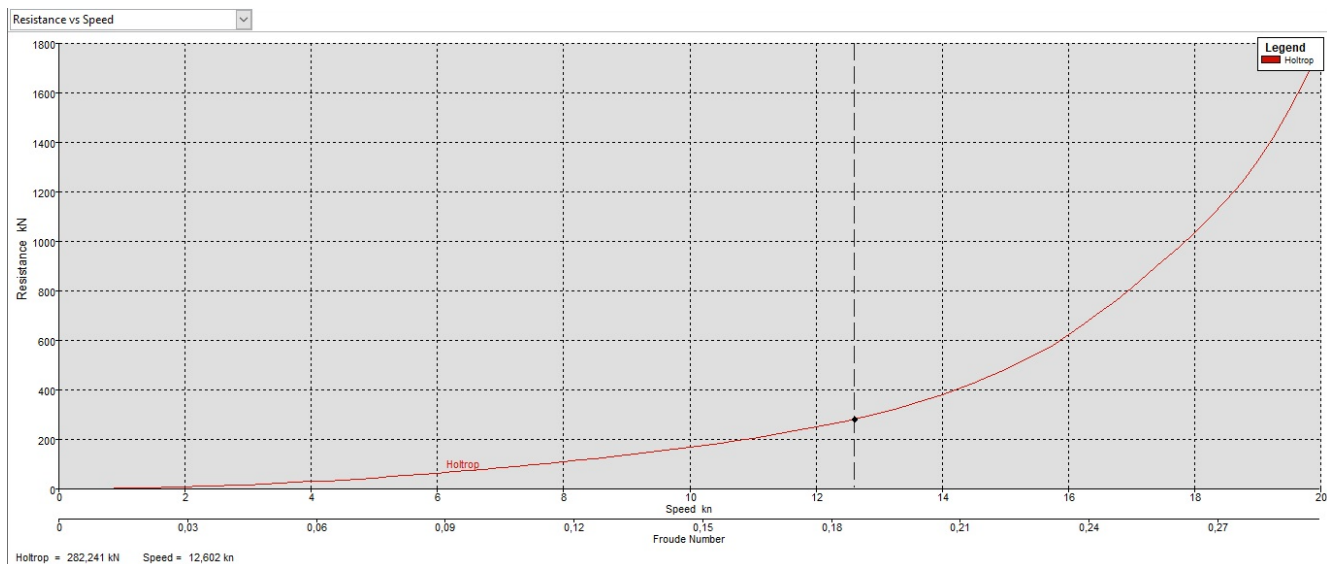


Рисунок 2.13 – Буксировальний опір балкера при різних швидкостях

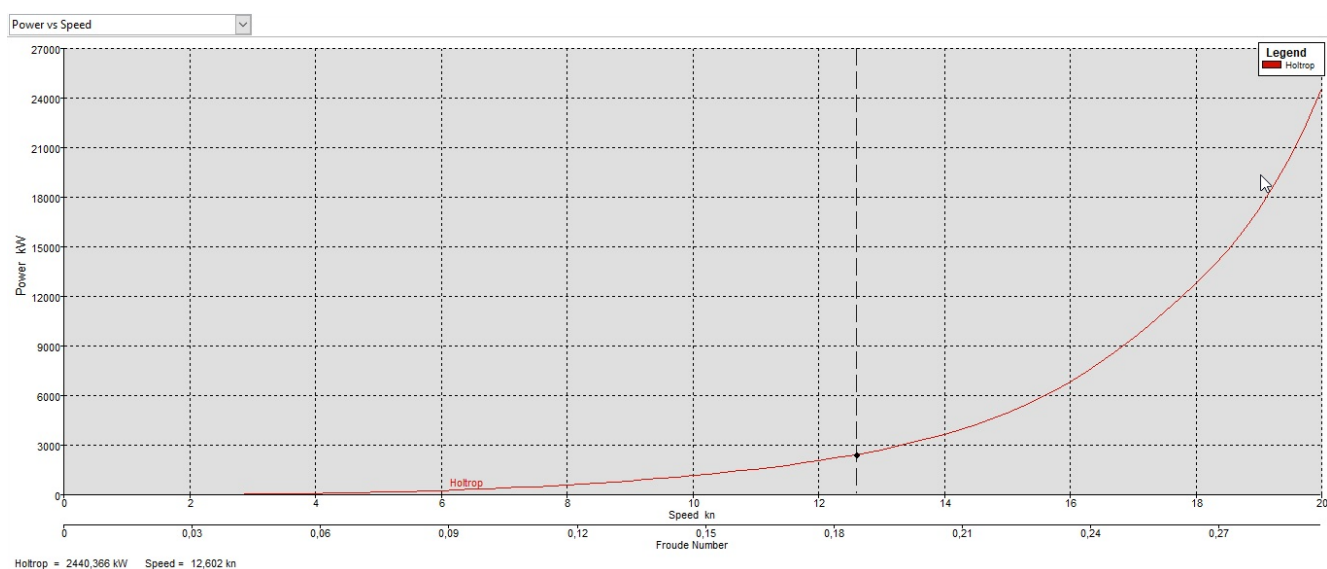


Рисунок 2.14 – Буксирувальна потужність балкера при різних швидкостях

За отриманою оптимальною швидкістю 12.6 вузлів були визначені значення буксирного опору та потужності для балкера: 282 кН та 2437 кВт відповідно.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02

Арк.

81

2.4.2 Розрахунок характеристик рушія та двигуна в програмі HydroComp PropExpert [15]

Початкові дані балкера, його головного двигуна та обраного гвинта для цієї програми, знайдемо за допомогою розрахунку в табличній формі, див. Рис.2.15:

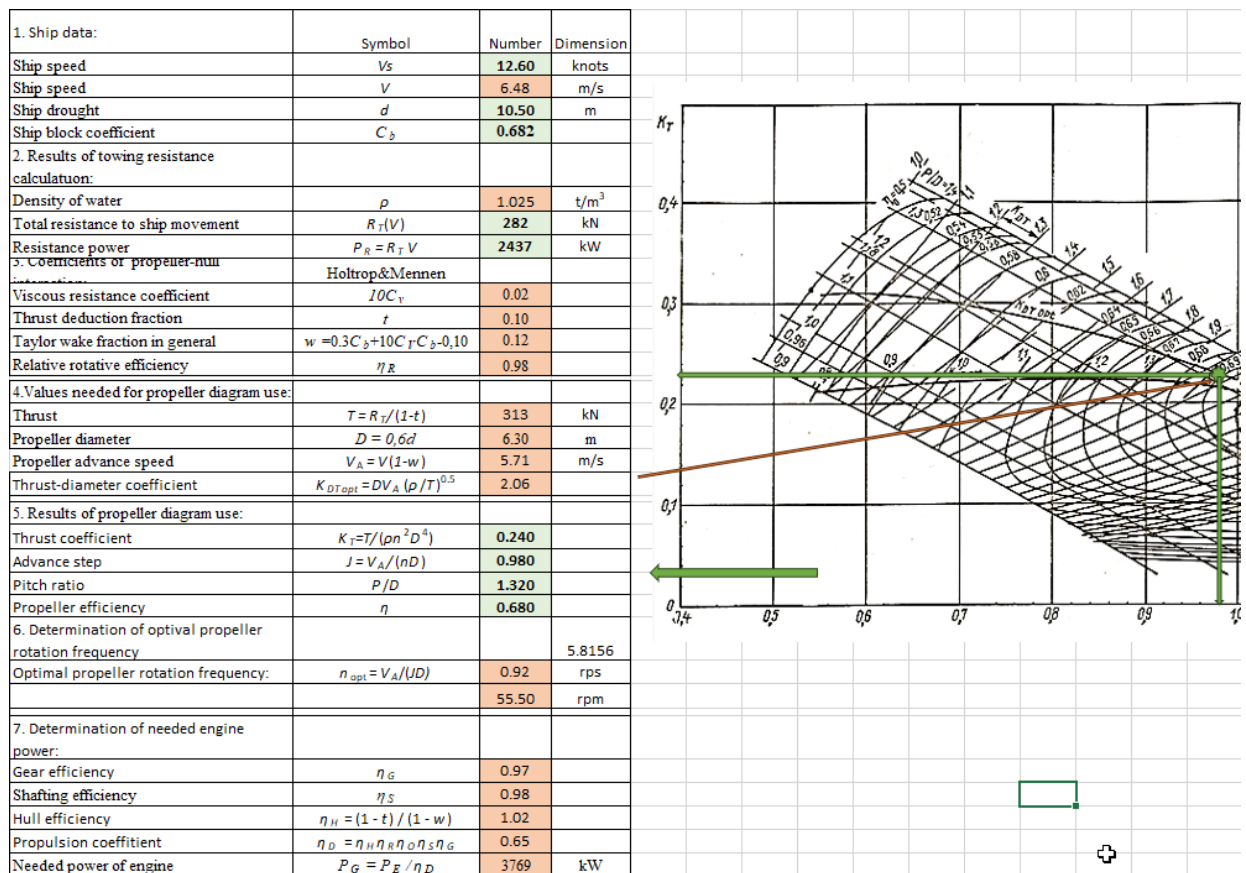
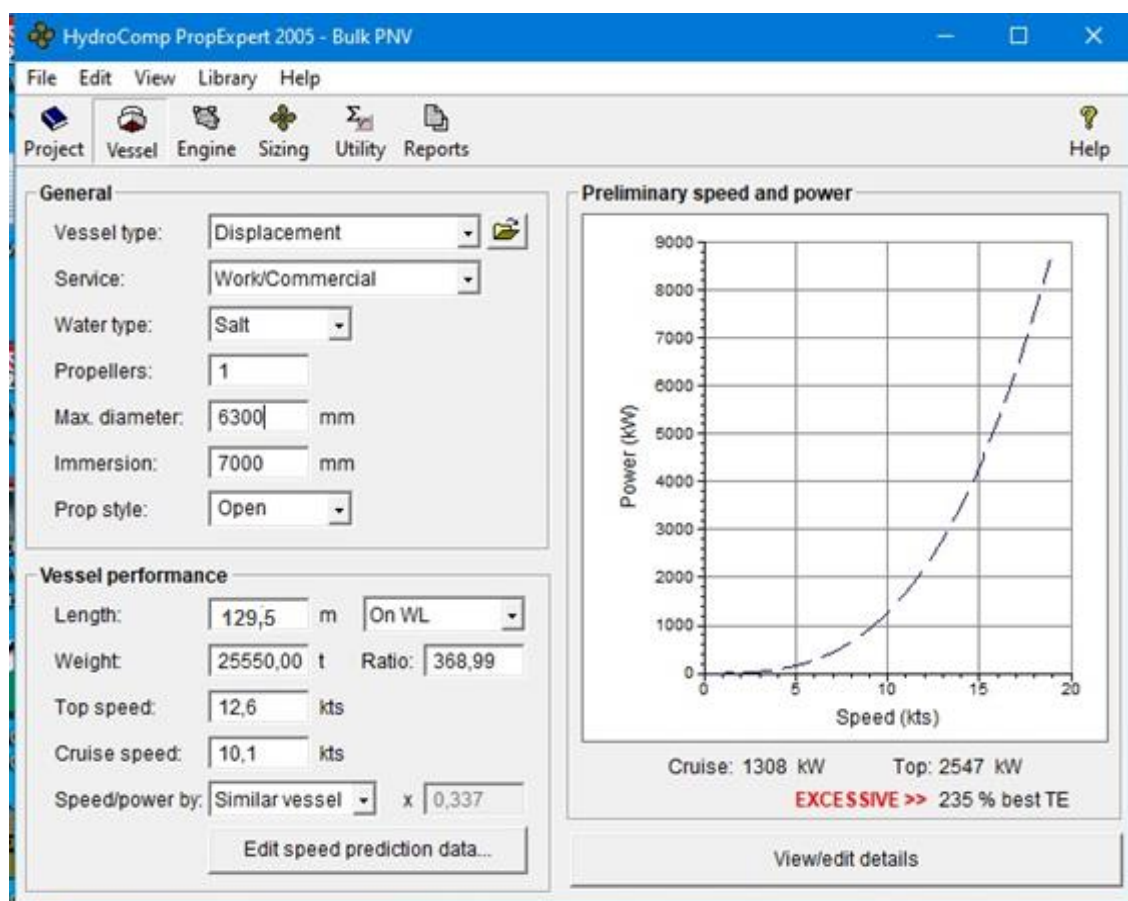


Рисунок 2.15 – Розрахунок початкових даних балкера

Отримані данні введемо в програму PropExpert, див Рис. 2.16 – 2.20



The screenshot shows the 'Based on similar vessel' dialog box. It is divided into two main sections: 'Observed condition' and 'Vessel'. The 'Observed condition' section includes 'Data confidence' with radio buttons for 'High' and 'Low' (selected), and 'Trial speed' set to 12,6 kts. The 'Trial performance' section includes 'Vessel drag' set to 282,00 kN and 'System efficiency' set to 100,0 %. A 'Get from vessel database' button is located below these fields. The 'Vessel' section includes fields for Client: Pankov, Vessel: Diplom bulker, Vessel type: Displacement, Service: Work/Commercial, Length: 124,50 m, Weight: 25550,00 t, and Propellers: 1. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Рисунок 2.16 – Дані про балкер

HydroComp PropExpert 2005 - Bulk PNV

File Edit View Library Help

Project Vessel Engine Sizing Utility Reports Help

Engine

Model: 10S26MC

Manufacturer: MAN B&W

Fuel type: Diesel

Rated power: 4000 kW

Rated RPM: 250

Fuel rate: 179,0 l/hr

Power delivery

Design power: 100 % 4000 kW

Design RPM: 100 % 250 < Suggest

Parasitic loss: 0,000 kW < Suggest

Gear efficiency: 0,970 < Suggest

Delivery check: Light prop loading

Engine performance curve

View/edit details

Engine details

Engine performance curve

Details

Source: Estimated

	RPM	Power [kW]	Fuel rate [l/hr]
1	251	0	0,0
2	250	4000	0,0
3	225	3829	0,0
4	200	3578	0,0
5	175	3244	0,0
6	150	2827	0,0
7	100	1730	0,0
8	50	400	0,0
9	0	0	0,0
10	0	0	0,0

OK Cancel Help

Рисунок 2.17 – Параметри двигуна

HydroComp PropExpert 2005 - Bulk PNV

File Edit View Library Help

Project Vessel Engine Sizing Utility Reports Help

Propeller

Model:

Manufacturer:

Series:

Blades:

Blade area ratio:

Diameter: mm

Pitch: mm

Gear ratio:

Cup type:

Cup drop: mm

Material:

Speed

Calc. sizing for:

Design speed: kts

Calc'd max. speed: kts

Build

Summary results

	Top	Cruise
Speed [kts]	14,6	12,6
Engine RPM	250	216
Power [kW]	4000	2597
Thrust [kN]	408,18	305,52
Cavitation	OK	OK
Strength	OK	OK

Details

Factors: T: P:

MWR/BTF: M: B:

View details

Рисунок 2.18 – Параметры обраного судового гвинта

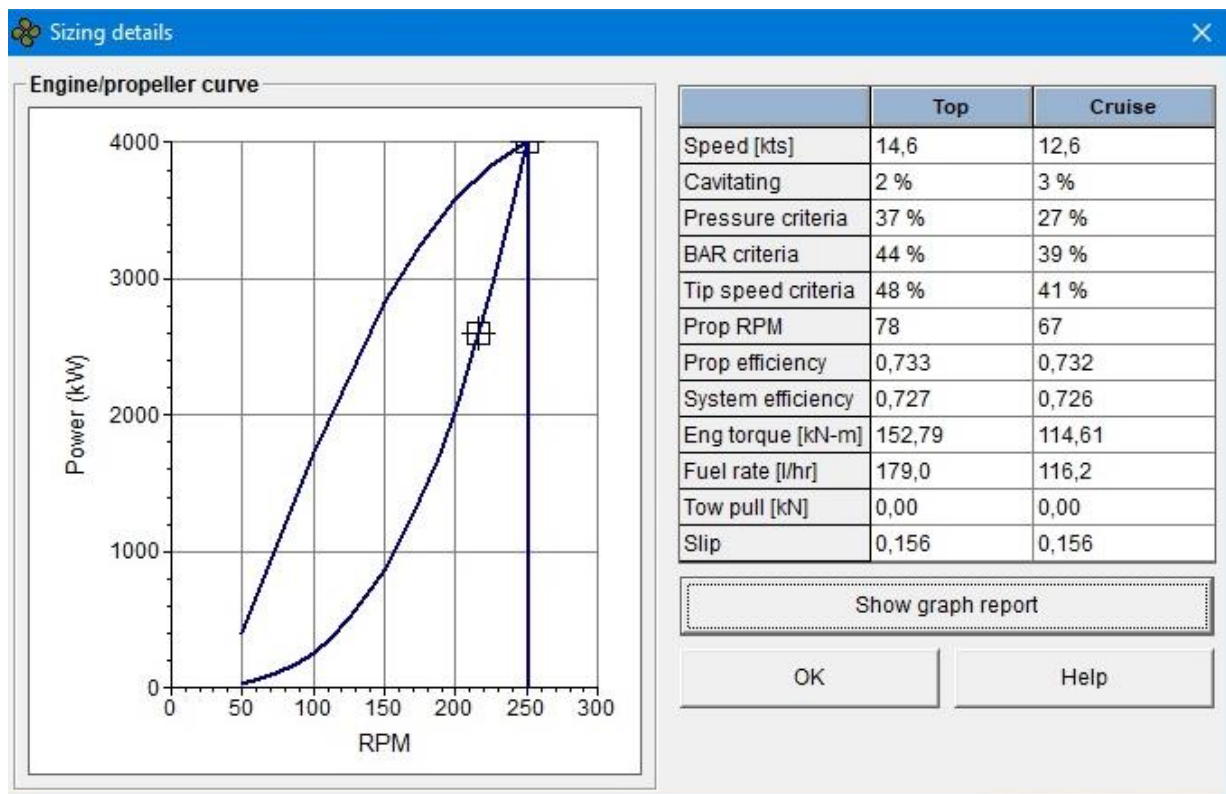


Рисунок 2.19 – Характеристика силового рушійного комплексу

HydroComp PropExpert 2005 - Bulk PNV

File Edit View Library Help

Project Vessel Engine Sizing Utility Reports Help

Shafting

Material: **Stainless Steel 304**

Shear strength: 137895,1 kPa

Safety factor: 10 <Suggest

Calc power: 3880 kW

Calc shaft RPM: 78

Req'd min diam: 561 mm

SF Top: 10,0

SF Cruise: 13,3

Duty cycle

Time at Top: 90 % <Suggest

at 14,6 kts

Time at Cruise: 10 % <Suggest

at 12,6 kts

Hours/year: 282

Total annual fuel: 48707 liter

Engine/propeller resonance

Cylinders: 9

Firing frequency: 1125 1/min

Blade frequency: 310 1/min

Phase check: OK

Рисунок 2.20 – Необхідні параметри вала

Для досягнення проєктної швидкості балкера в 12,6 вузлах необхідний двигун з потужністю 3769 кВт. Тому був обраний двигун MAN B&W 10S26MC з потужністю 4000 кВт та відповідний йому оптимальний гвинт з 4-ма лопастями від Brunton's Propellers Ltd. – B470 діаметром 6,4 м. Це дозволяє досягти максимальної швидкості балкера в 14,6 вузлів, що навіть трохи перевищує оптимальну проєктну швидкість в 12,6 вузлів.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі, відповідно до поставленого завдання кафедри теорії та проектування суден, проведено комплексне дослідження двох ключових етапів проектування балкера. Перший етап охоплює концептуальне проектування, яке включає в себе дослідницький підхід для відбору оптимальних концепцій та оптимізації рішень. Другий етап передбачає технічне проектування, де використовуються математичні методи та теорія дослідження операцій для моделювання функціональних аспектів судна. Обидва етапи базуються на емпіричних даних, врахуванні статистичних параметрів та сучасних підходах з метою досягнення оптимальних результатів для ефективної експлуатації на лінії Південний-Пірей.

Під час розробки концептуального проєкту було проведено наступні кроки:

- Створено моделі експлуатації та інженерно-навігаційних характеристик навалочного судна, необхідних для аналізу його функціональних операцій у Чорному, Мармуровому та Егейському морі.
- Проведено моделювання процесів експлуатації судна у зазначеному середовищі, сформульовано задачі його функціонування.
- Визначено показники ефективності та надійності функціональних операцій, використовуючи сучасні методи дослідження та відповідні методи вирішення проблем експлуатації судна.
- Поставлено та вирішено задачу оптимізації вибору основних габаритів балкера, застосувавши кориговану оптимізаційну програму кафедри теорії та проектування суден. В якості критерію оптимізації вибрано максимальний прибуток, що дозволило досягти максимальної ефективності транспортних операцій балкера на визначеній лінії експлуатації.

У результаті концептуального проектування був розроблений балкер з вантажопідйомністю 18 000 т. Судно мало однопалубну конструкцію з чотирма трюмами, бульбовим носом, транцевою кормою, машинним відділенням та надбудовами, розташованими в кормі. Цей проєкт дозволив забезпечити

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

максимальну ефективність та надійність транспортних операцій на визначеній лінії експлуатації.

На етапі технічного проектування балкера, основна частина класифікаційного проекту, відповідного стандартам класифікаційного товариства, була успішно реалізована. З метою перевірки відповідності балкера вимогам Міжнародної морської організації (ІМО) з експлуатаційної надійності, застосовано техніку 3D-моделювання та використано програмний продукт Maxsurf, рекомендований класифікаційним товариством.

У рамках цього процесу було створено детальну 3D-модель балкера та проведено розрахунки плавучості, остійності та ходовості. Всі ці аспекти були аналізовані та підтверджені за допомогою Maxsurf.

Додатково, 3D-модель балкера була піддана обробці за допомогою рендерингу Maxsurf, що сприяло поліпшенню дизайну судна та наданню естетичного вигляду його зовнішньої частини, вантажу і надбудови.

Отже, проведене дослідження концептуального та технічного проекту балкера, який буде використовуватися на маршруті Південний-Пірей, в повній мірі відповідає вимогам кафедри теорії та проектування суден. Забезпечено ефективність експлуатації та відповідність вимогам Міжнародної морської організації (ІМО) щодо основних морехідних якостей судна, таких як плавучість, остійність і ходовість.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Nekrasov, V. Conceptual Designing of Ships: monograph / Valeriy Nekrasov. – Kyiv-Kherson: Oldi-Plus, 2019. – 112 p. (in English).

[2] Deschamps, L. Integrating Cost Estimating with the Ship Design Process [Text] / L. Deschamps, C. Greenwell. – USA: SPAR Associates, Inc., 2009. – 24 p.

[3] Papanikolaou A.D. «Ship Design. Methodologies of Preliminary Design», Springer Dordrecht, The Netherlands, 2014, ISBN 978-94-017-8751-2.

[4] Ієрархічна структура робіт із проекту оборонних матеріалів: Довідник. – США: Міністерство оборони, MIL-HDBK-881A, 2005. – 128 с.

[5] Класифікація вагових груп надводних кораблів. - Сполучене Королівство: Міністерство оборони, Британський оборонний стандарт 02-163, випуск 2, дата публікації: 19 березня 2010 р. - 127с.

[6] Дешам, Л. Інтеграція оцінки витрат з процесом проектування судів [Текст]/Л. Дешам, К. Грінвелл. - США: SPAR Associates, Inc., 2009. -24 с.

[7] Орієнтована на продукт модель витрат на проектування та будівництво / К. Дж. Енніс, Дж. Дж. Догерті, Т. Лемб, К. Р. Грінвелл, Р. Циммерманн // SNAME: Симпозіум з виробництва кораблів. - Новий Орлеан, Луїзіана, 21-23 квітня 1997 -17 с.

[8] «Огляд морського транспорту – 2018», Конференція Організації Об'єднаних Націй з торгівлі та розвитку, 2018 с.

[9] «Зрідження навалочних вантажів - посібник з проектування та експлуатації суден з навалочними вантажами, які можуть зріджуватися», DNV-GL, 2015

[10] «Підвищення безпеки навалочних суден», ІМВ, 2015 р.

[11] «Посібник з методу розрахунку проектного індексу досягнутої енергоефективності (EEDI) для нових судів», ІМО 2018.

[12] «Тимчасовий посібник з визначення мінімальної пропульсивної потужності для підтримки маневреності суден у несприятливих умовах з поправками (Резолюція МЕРС.232 (65) з поправками, внесеними резолюціями МЕРС.255 (67) та МЕРС.262 (68). », ІМВ, 2018

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

[13] Maxsurf Enterprise V8i, Bentley Engineering, 2013.

[14] HydroComp NavCAD, 2005

[15] HydroComp PropExpert, 2005

[16] HydroComp PropCAD, 2005

[17] MAN Diesel & Turbo– Copenhagen, Denmark, 2018.

[18] Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України. – Розробник: А.О.Білокурець, Київ, 2020.

[19] Некрасов В.А. Оценивание строимости и сроков постройки кораблей и судов. Учебное пособие по курсу лекций «Модели функционирования судов», Николаев, НУК, 2017г.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.02	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		