

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально науковий інститут (факультет) Кораблебудівний

Кафедра _____ теорії та проектування суден _____

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

 В.О. Некрасов
« 19 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

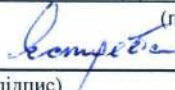
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: **Концептуальне проектування балкера**
вантажопідйомністю

13 900 тонн та дослідження та дослідження його ефективності
та надійності

Виконав: студент 6112м групи

 **Зінкевич В.В.**
.....(підпис)

Керівник роботи:

Канд.техн. наук, ст. викл
(посада, науковий ступень вчене звання)
 **Ястреба О.П.**
(підпис)

Миколаїв – 2025 р.

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

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми



к.т.н., доцент Пашенко Ю.М.

«15» 09 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

щодо здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту Зінкевичу Володимирі Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Концептуальне проектування балкеру вантажопідйомністю 13900 тонн та дослідження його ефективності і надійності

Керівник роботи к.т.н. ст. викладач 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) 350 миль

3.3 Район плавання Південний – Варна

3.4 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 проектування 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 проектування і побудови балкера

4.1.4 Систем-орієнтоване проектування балкеру 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

- 4.1.4.3 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 проект балкера

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

- 4.2.1. Формування теоретичної поверхні балкера
- 4.2.2. Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення), забезпечення вимог класифікаційного товариства до вантажної марки балкера
- 4.2.3.1. Розрахунок остійності балкера при великих кутах нахилу, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його остійності
- 4.2.3.2. Розрахунок остійності пошкодженого судна при затопленні машинного відсіку
- 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	15.09.2025			
4.2	Пащенко Ю.М., доцент	15.09.2025			

7. Дата видачі завдання 15.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проектування	Тривалість етапів проекту (роботи)	Примітка
4.1.	Вибір основних елементів судна та визначення його ефективності		
4.1.1.	Огляд основних тенденцій у розвитку флоту балкерів	17.09.2025	
4.1.2.	Аналіз методів вибору основних елементів балкера	24.09.2025	
4.1.3.	Продукт-орієнтоване проектування балкера	30.09.2025	
4.1.4.	Систем-орієнтоване проектування балкера	07.10.2025	
4.1.5.	Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів	14.10.2025	
4.1.6.	Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації	21.10.2025	
4.1.7.	Програмний комплекс для вирішення проблеми оптимізації	28.10.2025	

4.1.8.	Дослідницький проект балкера	05.11.2025	
4.2.	Дослідження морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності		
4.2.1.	Формування теоретичної поверхні балкера	07.11.2025	
4.2.2.	Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення)	12.11.2025	
4.2.3.	Розрахунок стійкості при великих кутах нахилу	16.11.2025	
4.2.4.	Розрахунок ходовості балкера	23.11.2025	
4.2.5.	Технічний проект балкера	01.12.2025	
4.2.6.	Пояснювальна записка	09.12.2025	
4.2.7.	Презентація	15.12.2025	

Студент _____ Зінкевич Володимир Валерійович
 (підпис) (ПІБ)

Керівник роботи _____ Ястреба Олексій Петрович
 (підпис)

АНОТАЦІЯ

Відповідно до завдання кафедри теорії та проектування суден в дипломній роботі реалізовано дослідження двох етапів процесу проектування судна - концептуального (дослідного, оптимізаційного) і технічного проектування балкера для експлуатації на лінії порт Південний – порт Варна (Чорне море).

При розробці концептуального проекту було реалізовано:

- формування моделей експлуатації балкера і його інженерно-навігаційних якостей, необхідних для аналізу всього комплексу функціональних операцій цього судна в умовах його експлуатації в Чорному морі;
- моделювання процесів експлуатації балкера в цих умовах і постановка задач їх функціонування;
- визначення показників ефективності та надійності функціональних операцій балкера на основі використання сучасних методів їх дослідження та відповідних методів вирішення проблем функціонування судна;
- постановку і рішення задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера на основі його поступового «занурення» в робоче середовище з наступною зупинкою процесу оптимізації при досягненні показників ефективності та надійності максимально можливих значень показників ефективності і надійності.

Виходячи з цього, основні розміри балкера були визначені за допомогою відкоригованої програми оптимізації кафедри теорії та проектування суден, в якій в якості критерію оптимізації була обрана максимальна прибуток, і таким чином визначено ефективність транспортних операцій на заданій лінії експлуатації.

Результатом концептуального проекту став балкер вантажопідйомністю 13900 т, архітектурно-конструктивних тип якого наступний: судно однопалубне з чотирма трюмами, бульбовим носом, транцевой кормою і надбудовами, а також машинним відділенням, розташованими в кормі.

На етапі технічного проектування балкера було розроблено частину так званого клас-проекту, тобто проекту, який задовольняє основним вимогам класифікаційного товариства, та з його допомогою встановлено, що отримане

					24.ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

концептуальне рішення задоволенням вимогам до експлуатаційної надійності судна.

Для цього за результатами концептуального проектування була побудована 3D-модель балкера і за допомогою рекомендованого класифікаційним товариством програмного продукту Maxsurf були виконані розрахунки плавучості, остійності, непотоплюваності і ходкості судна. Характеристики ходовості судна були також покращені за допомогою програмного комплексу HydroComp NavCad, PropExpert і PropCad, спроектовано гребний гвинт балкера та реалізовано вибір нового більш економічного та екологічного двигуна.

Таким чином, розробка концептуального і технічного проекту балкера, призначеного для експлуатації на лінії порт Південний – порт Варна, відповідає завданню на проектування кафедри ТПС по забезпеченню економічної ефективності проектного рішення та вимогам Міжнародної морської організації (ІМО) до основних морехідних якостей судна - плавучість, остійність, непотоплюваність і ходовість, що забезпечують його експлуатаційну надійність.

Ключові слова: суховантажне судно, оптимальне проектування, ефективність судна, морехідні якості.

					24.ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ABSTRACT

In accordance with the task of the Department of Ship Theory and Design, the thesis has implemented a study of two stages of the ship design process - conceptual (research, optimization) and technical design of a bulk carrier for operation on the line Pivdennyi port - Varna port (Black Sea).

When developing the conceptual project, the following was implemented:

- formation of models of the operation of the bulk carrier and its engineering and navigational qualities necessary for the analysis of the entire complex of functional operations of this vessel under the conditions of its operation in the Black Sea;
- modeling of the processes of operation of the bulk carrier under these conditions and setting the tasks of their functioning;
- determination of indicators of efficiency and reliability of the functional operations of the bulk carrier based on the use of modern methods of their research and appropriate methods for solving problems of the vessel's functioning;
- formulation and solution of the task of optimizing the selection of the main dimensions of the bulk carrier based on its gradual "immersion" in the working environment with the subsequent stopping of the optimization process when the efficiency and reliability indicators of the maximum possible values of the efficiency and reliability indicators are achieved.

Based on this, the main dimensions of the bulk carrier were determined using the adjusted optimization program of the Department of Theory and Design of Ships, in which the maximum profit was chosen as the optimization criterion, and thus the efficiency of transport operations on a given line of operation was determined.

The result of the conceptual design was a bulk carrier with a carrying capacity of 13,900 tons, the architectural and structural type of which is as follows: a single-deck vessel with four holds, a bulbous bow, a transom stern and superstructures, as well as an engine room located in the stern.

At the stage of technical design of the bulk carrier, a part of the so-called class project was developed, i.e. a project that meets the basic requirements of the classification society, and with its help it was established that the resulting conceptual solution meets the requirements for the operational reliability of the vessel.

					24.ДРМ.135.6112М.10.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

For this purpose, a 3D model of the bulk carrier was built based on the results of the conceptual design and calculations of the buoyancy, stability, unsinkability and speed of the vessel were performed using the Maxsurf software product recommended by the classification society. The ship's running characteristics were also improved using the HydroComp NavCad, PropExpert and PropCad software packages, the bulk carrier's propeller was designed and a new, more economical and environmentally friendly engine was selected.

Thus, the development of a conceptual and technical design of a bulk carrier intended for operation on the Pivdenny port - Varna port line meets the design task of the Department of Shipbuilding and Marine Engineering to ensure the economic efficiency of the design solution and the requirements of the International Maritime Organization (IMO) for the main seagoing qualities of the vessel - buoyancy, stability, unsinkability and speed, which ensure its operational reliability.

Keywords: dry cargo ship, optimal design, ship efficiency, seaworthiness.

					24.ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Анотація.....	5
Anotation	7
Зміст.....	9
ВСТУП.....	11
1 ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНА, ЩО ПРОЄКТУЄТЬСЯ.....	16
1.1 Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів.	17
1.1.1 Характеристики вантажоперевезень	17
1.1.2 Розміри та класи вантажоперевезень	18
1.1.3 Ринок вантажоперевезень.	21
1.1.4 Рік доставки вантажоперевезень	23
1.1.5 Вік флоту вантажоперевезень.....	23
1.1.6 Конструкція корпусу балкера.....	26
1.1.7 Середні дані про судно як функція від розміру.....	26
1.2. Аналіз методів вибору основних елементів балкера	26
1.3 Продукт-орієнтоване проєктування балкера	35
1.3.1. Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт	35
1.3.2. Формування CER для будівництва балкера.....	37
1.3.3. Визначення вартості робіт з проєктування і побудови балкера	41
1.4. Систем-орієнтоване проєктування балкера на інтервалах його ефективного використання.....	43
1.4.1. Моделі віртуальних просторів експлуатації балкера	43
1.4.1.1. Географічний простір судових операцій.....	43
1.4.1.2. Простір погодних умов району експлуатації.....	44
1.4.1.3. Простір виробничих відносин робочого процесу.....	44
1.4.1.4. Простір фінансових відносин робочого процесу.....	45
1.4.2. Модель інженерно-навігаційних властивостей балкера	48
1.4.3. Модель експлуатації балкера.....	50
1.4.3.1. Імовірнісні характеристики надійності балкера	51
1.4.3.2. Імовірнісні характеристики ефективності балкера.....	53
1.4.3.3. Складні показники ефективності та надійності балкера	54

					24.ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5. Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера	56
1.6. Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації	57
1.7. Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації.....	59
2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ ПРОЄКТНОГО РІШЕННЯ БАЛКЕРА	70
2.1. Формування теоретичної поверхні балкера.....	71
2.2 Розрахунок гідростатичних кривих – кривих елементів теоретичного креслення балкера.	72
2.3.Розрахунок остійності при великих кутах нахилу, удиферентування та розрахунок аварійної посадки та остійності.....	75
2.4 Проєктування пропульсивного комплексу балкера.	81
2.4.1. Розрахунок ходовості балкера у програмі Maxsurf Resistance.....	81
2.4.2 Розрахунок характеристик рушія та двигуна в програмі HydroComp PropExpert	86
2.4.3. Проєктування гвинта в програмі Hydrocomp PropCAD.....	88
ВИСНОВКИ	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94

ВСТУП

Вибір концепції проекту 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.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

					24.ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

будівництва, T_{build} . Операційний період ділиться на етапи ефективного використання, $T_{j\ effc.use}$, коли судно виконує своє призначення, етапи технічного обслуговування та поточних ремонтів, $T_{k\ Repair}$, і етапи капітальних ремонтів та утилізації, $T_{m\ overhaul}$:

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

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 $I_{j\ effc.use}$ за час ефективного використання судна:

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

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

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

Тут E_{design} - витрати на проєктування судна; E_{build} - витрати на його будівництво; $E_{k\ repair}$ - витрати на поточні ремонти; $E_{m\ overhaul}$ - 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

					24.ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

інформація, отримана при аналізі детальних креслень і відомостей, 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

					24.ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

складає систему співвідношень для оцінки витрат на роботи та матеріали (CER - Cost Estimate Relations).

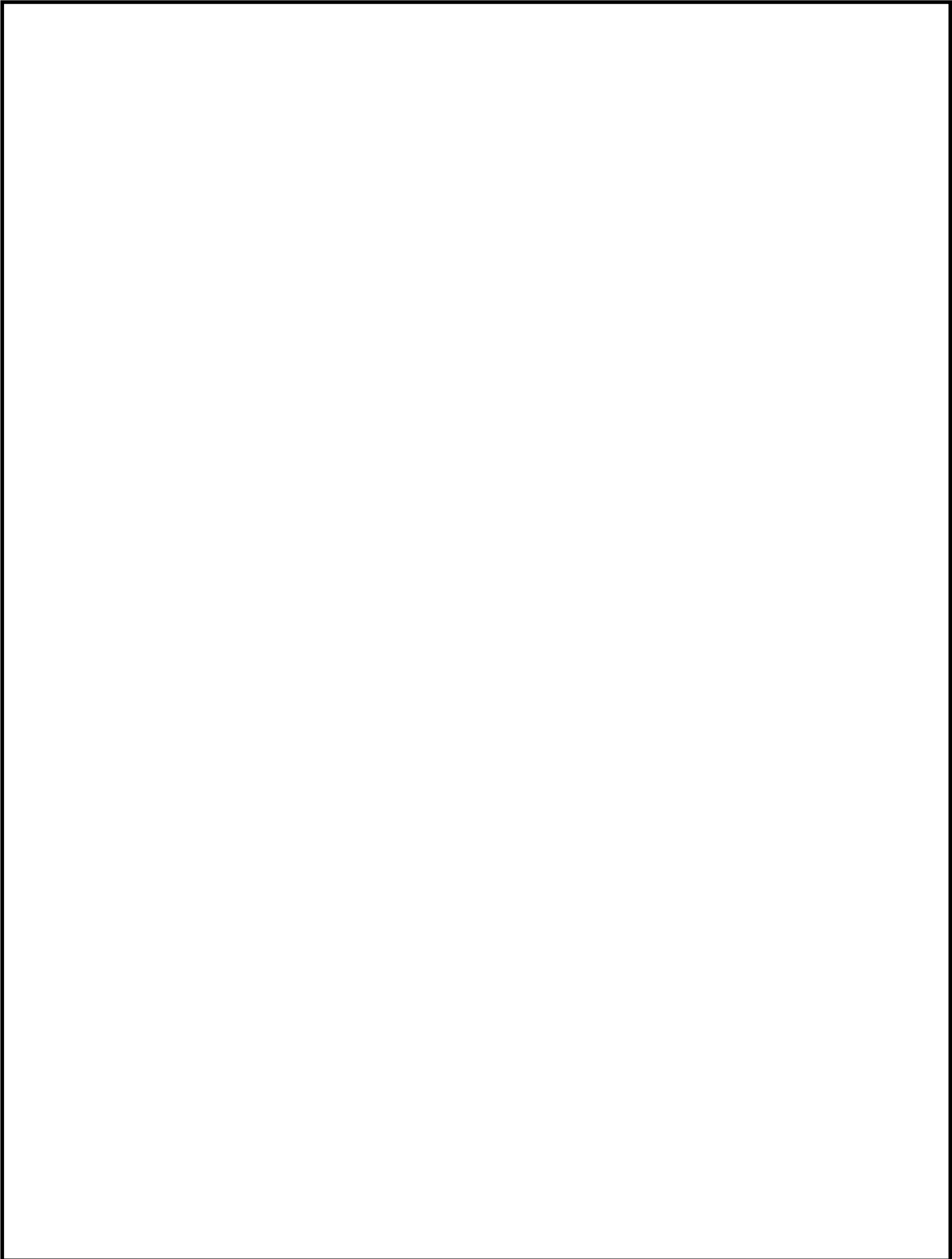
На етапах концептуального та технічного проектування, коли докладна інформація про судно відсутня, використовуються дані про розділи робіт та ваги судна за допомогою ESWBS (Empirical Ship Work Breakdown System) і ECER (Empirical Cost Estimate Relations), які отримані з аналізу статистичних даних про 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 проєкту балкера з найвищою ефективністю та надійністю під час експлуатації на маршруті Південний – Варна.

					24.ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					24.ДРМ.135.6112м.13.ПЗ.01								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНА, ЩО ПРОЄКТУЄТЬСЯ				Літ.	Арк.	Аркушів		
Студент	Зінкевич В.В.											16	
Керівник	Ястреба О.П.								НУК				
Рецензент.	Некрасов В.О.												
Зав.Каф.	Некрасов В.О.												

1. ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНА, ЩО ПРОЄКТУЄТЬСЯ

1.1. Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту балкерів

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

Попит на сировину, таку як залізна руда, мідь, зерно тощо, значно зріс із початку тисячоліття. З 2000 по 2018 рік перевезення насипних вантажів зросли майже вдвічі - з 17 380 до 34 189 мільярдів тон/миль [9]. Це є наслідком глобалізації та великого попиту на сировину в Китаї та інших країнах Південно-Східній Азії, що відчувають бум економічного розвитку. Таким чином, промисловість Південно-Східної Азії, серед іншого, поглинає також велику кількість залізної руди, тоді як зростаюче населення споживає інші сипучі вантажі, такі як зерно та соєві боби.

Таким чином, ринок насипних вантажів був дуже привабливим до останньої економічної кризи в 2008 р, що спричинило величезний поштовх у підписанні контрактів на будівництво балкерів. По мірі зростання економічної кризи замовлення значно впали, спочатку стабілізувавшись 2014-2015 рр, та пізніше ще більше зменшиться через надмірну спроможність ринку. Розвиток тоннажу на замовлення для різних типів суден показано на рис. 1.1

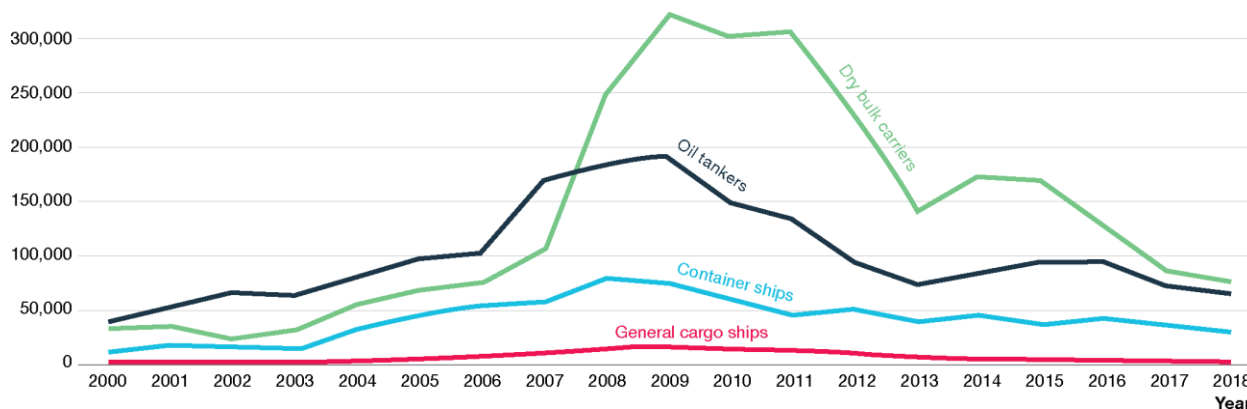


Рис.1.1 Схема замовлення тоннажності для різних типів суден, 2000-2018 [9]

Світова економіка розвивається, тарифи на вантажні перевезення покращуються, на ринок виводяться значно ефективніші технології, що призводить до конкурентних переваг сучасних суден для насипних вантажів, що будуються зараз, порівняно з конструкціями, зробленими приблизно в 2008-2010 роках. Завдяки цим факторам, замовлення на вантажоперевезення, які очікується, зростуть після падіння, обумовленого кризою.

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

1.1.1 Характеристики вантажоперевезень

Насипний вантаж визначається як сипучий вантаж, який завантажується безпосередньо у трюм судна. Таким чином, насипні вантажі - це вантажі, такі як нафта, зерно, руди, боби, цемент тощо, або такі, що не упаковуються, не розливаються в пляшки або не упаковуються будь-яким іншим способом і які завантажуються без підрахунку чи маркування.

Отже, балкер - це судно, на якому вантаж перевозиться насипом, а не в бочках, мішках, контейнерах тощо, і зазвичай він завантажується суцільно та під дією сили тяжіння.

На підставі вищезазначеного розрізняють два типи вантажоперевезень: сухий балкер та мокрий балкер. Останній більш відомий як танкер.

Ця робота описує тип сухого насипного транспорту, який зазвичай називають навантажувальним або насипним транспортером.

Насипні вантажоперевезення були введені в 50-х роках минулого століття, що призвело до зниження транспортних витрат, оскільки упаковка товарів перед складанням на борт більше не була потрібна. Як це було на генеральних вантажних суднах.

Насипні вантажоперевезення є одним із трьох домінуючих типів торгових суден разом із танкерами та контейнерними суднами. Сьогодні вантажоперевезення складають майже 43% світового флоту в перерахунку на тоннаж, збільшившись з 36% у 2010 році.

Насипні вантажоперевезення існують у багатьох розмірах та класах, та, зазвичай, називаються на честь конкретного проходу чи порту, куди вони можуть увійти. Місткість суден-балкерів становить від декількох сотень тон для прибережного судноплавства, до 400 000 тон так званої серії дуже великих вантажних суден Chinamax (VLBC) і всього іншого.

1.1.2 Розміри та класи вантажоперевезень

Дедвейт судна - це вантажопідйомність у метричних тонах (1000 кг), включаючи вагу бункерів та інших запасів, необхідних для руху судна.

Розмір насипного судна, як правило, вказується яким є максимально можливий дедвейт тоннажу, що відповідає повністю завантаженому дедвейту при

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

повній літній осадці у солоної води (зазвичай щільність 1025 т / м³), яка також називається мінімальною осадкою судна.

Однак іноді використовуваний дедвейт-тонаж (dwt) відноситься до проектної осадки, яка зазвичай менша за мінімальну осадку і дорівнює середньому завантаженому судну, що експлуатується.

Розміри насипних суден, описаних в цій роботі, базуються на мінімальній осадці, щільності морської води 1025 т/м³ і на конструкції основного корпусу, яка зазвичай використовується.

Залежно від розмірів маси та корпусу, насипні судна можна розділити на основні та підгрупи, перелічені в таблиці 1.1. Однак, існуватиме певне накладання на сусідні групи, і може бути певна особливість у визначеннях залежно від традицій у торгівлі.

Як приклад перекриття між класами, були побудовані надвеликі вантажні транспортери Handymax, розмір яких перевищує приблизно 55000 т, їх часто називають Супрамакс. Вони мають дедвейт-тоннаж приблизно до 60000 т, і загальну максимальну довжину 190 м (дві японські гавані), але зараз також 200 м і ширину 32,2 м (Панамський канал).

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

	Розмір, мінімальний [dwt]	Типовий LOA [m]	Типовий макс. широта[m]	Типова максимальна. проект[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
Найбільший	~400,000	~360	~65	22-23

Майже на протязі століття розмір Панамського каналу був вирішальним

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

фактором для розмірів так званих суден для перевезення вантажів Panamax. Навіть, якщо максимальна довжина теперішніх шлюзових камер, першої та другої смуг, дорівнює 294,13 м (965 футів), термін "Панамакс" як правило, визначає ширину 32,2 / 32,3 м (106 футів), загальну довжину не довше 225 м та осадку 12,04 м (39,5 футів). Причиною меншої довжини корабля є те, що велика частина світових портів та відповідних споруд базується на довжині 225 м.

Незважаючи на відкриття третього панамського шлюзу в 2016 році, стандарти старого Panamax вважаються важливими для суден, що перевозять насипні вантажі, оскільки збільшення розмірів зосереджено переважно на контейнерних та інших суднах, що перевозять відносно легкий вантаж, наприклад перевізники СПГ.

Нові шлюзи допускають максимальну осадку 15,2 м, що є дещо низьким порівняно із типовою осадкою 20-22 м насипних вантажів, які інакше відповідають довжині та межі балки третьої смуги, (Таблиця 4.2). У цьому документі термін "Панамакс" буде означати старі розміри Панамського каналу.

Таблиця 1.2 -Розміри панамських замків. *

	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

Деякі вантажоперевезення класу Panamax продовжують збільшувати вантажомісткість, оскільки тиск світової конкуренції змушує верфі пропонувати додаткові можливості вантажопідйомності. Таким чином, був побудований спеціальний, так званий тип Камсармакс, із збільшеною загальною довжиною 229 м та дедвейтом 84000 т. Це найбільше судно, яке може завантажуватись у найбільшому в світі порту бокситів - порту Камсар в Екваторіальній Гвінеї.

Кількість навантажувачів Capesize, тобто суден з вантажопідйомністю понад 80000 т, було збільшено, оскільки навантажувачі стають дедалі більшими. Найчастіше найбільші з них називаються "Ultra Large Capesize" або просто "Very Large Bulk Carrier" (VLBC).

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

1.1.3 Ринок вантажоперевезень

На теперішній час флот вантажоперевезень суднами вантажопідйомністю понад 5000 т, становить понад 11219 одиниць. Рис. 4.2 та 4.3, показують розподіл флоту вантажоперевезень середніх порід за класами, більше 40% флоту вантажоперевезень - за кількістю суден - менше 55000 тон, з переважними 19,8% - Handysize суден, а потім 18,5% Handymax. На судна Panamax припадає 30%, а на великі судна Capesize та VLBC зараз припадає майже 30% флоту - збільшення порівняно з минулим.

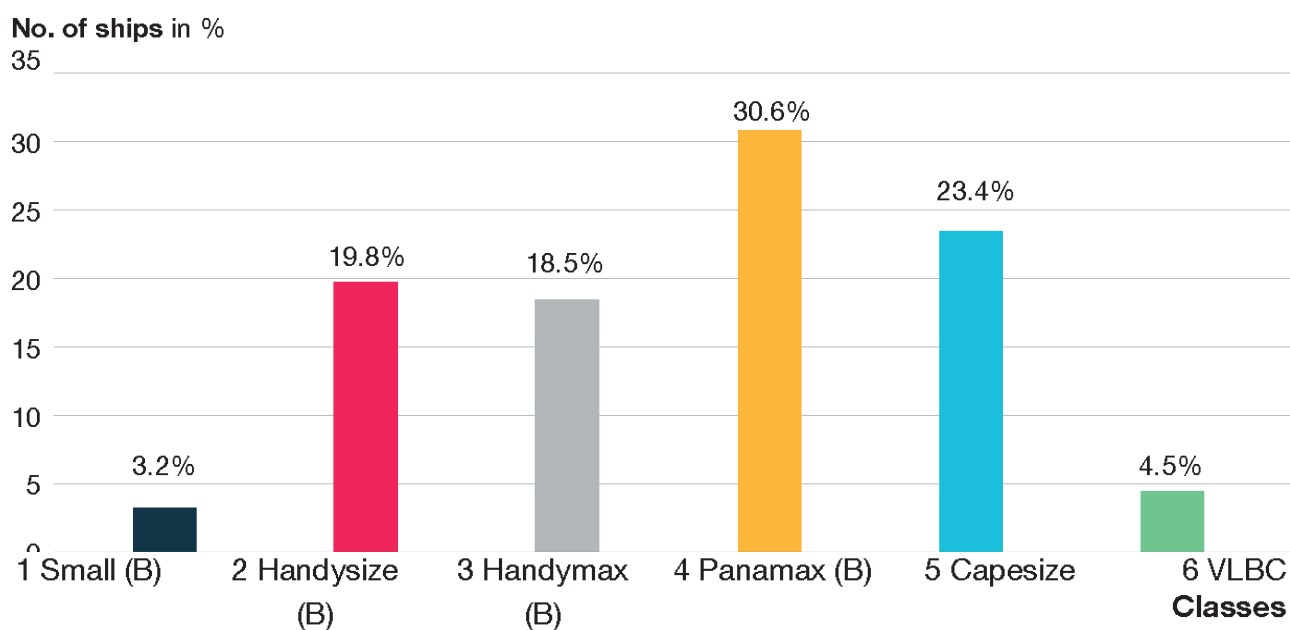


Рис. 1.2 -Розподіл основних класів насипних вантажів понад 5000 т, за кількістю суден

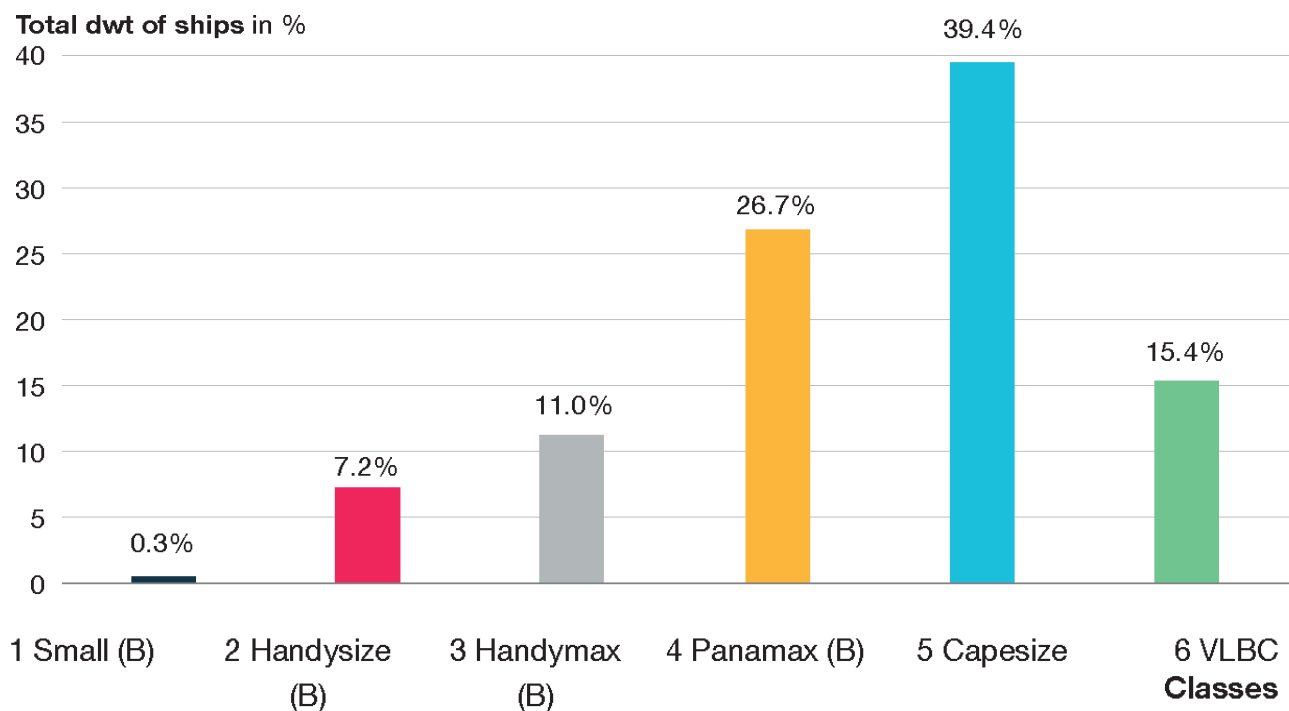


Рис. 1.3 -Розподіл основних класів наливних вантажів понад 5000 т, по дедвейту тоннажу

Якщо порівнювати загальну вантажопідйомність суден, розподіл класів вантажоперевезень змінюється на користь великих вантажних суден, таких як Panamax, Capesize та VLBC, див. Рис. 1.4.

Загальна тенденція полягає в тому, що розміри замовлених вантажних суден зростають (Таб. 1.3), що показує кількість суден у відсотках, які діють для існуючого флоту, та для суден замовлених до 2019 року. Примітно, що відсотки на замовлення суден Handysize та Handymax значно нижчі ніж їх представництво у 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%
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

На Рис. 1.4 наведено кількість балкерів, побудованих за п'ятирічні періоди з 1950-х років. Понад 30% усіх суден насипних вантажів, що коли-небудь були побудовані і розмір яких перевищував 5000 т, були введені в експлуатацію під час буму насипних вантажів близько 2010 року.

1.1.5 Вік флоту вантажоперевезень

Рис 1.5 показує віковий розподіл флоту вантажоперевезень наливом за станом на 2019 рік. Діаграма показує, що близько 25% усіх суден, що експлуатуються сьогодні, були побудовані протягом останніх п'яти років, а 43% протягом періоду 6-10 років тому, тобто під час буму насипних вантажів близько 2010 року. Судна, побудовані більше 26 років тому, становлять 5,5% від вантажних суден у існуючому флоті.

Порівнюючи кількість суден, побудованих за певний 5-річний період, із віком флоту насипних суден сьогодні, (Рис. 4.6), видно, що 80% суден експлуатуються до 20 років, 40% після 25 років і близько 15% до 3 років.

Середній термін експлуатації балкера становить трохи менше 25 років, що є наслідком величезного збільшення потужності під час буму балкерів. Коли ринок впав, багато старих вантажних балкерів застаріли.

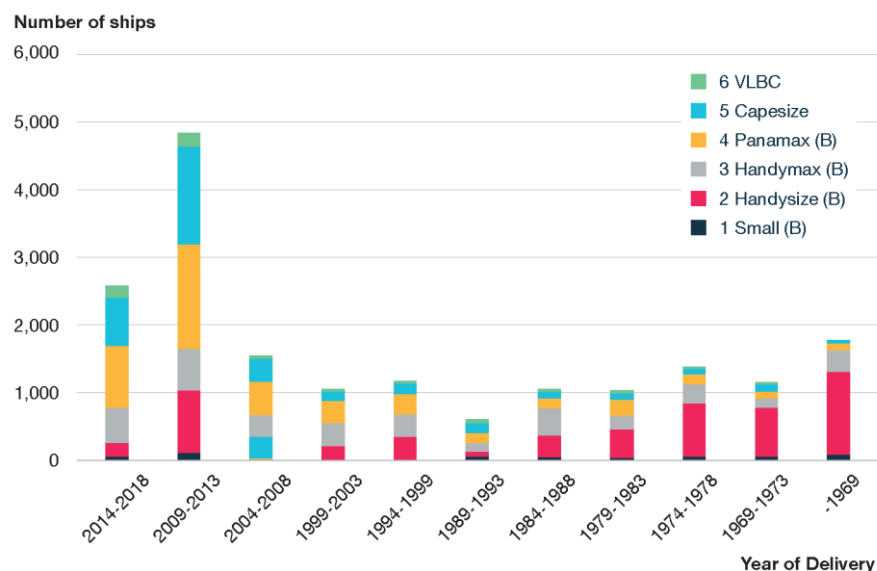


Рис. 1.4 - Кількість вантажних балкерів, що перевищують 5000 т, збудованих протягом 5-річних періодів

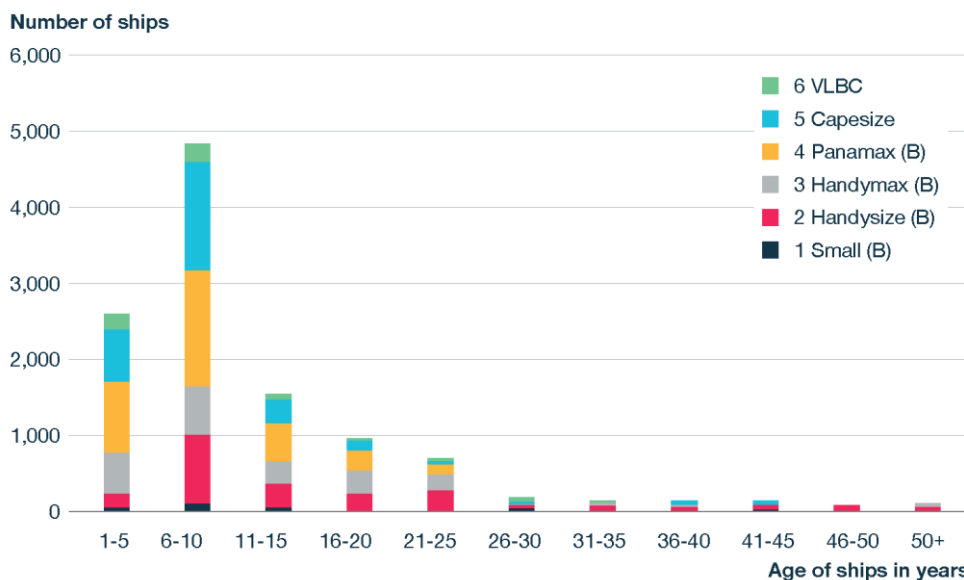


Рис. 1.5.- Вік флоту вантажоперевезень за вказаний 5-річний період

Станом на 2019 рік, замовлення на перевезення вантажів, що перевищують 5000 тон, налічують 946 вантажоперевезень, або 95 мільйонів вагових вантажів, що відповідає 8,4% існуючого флоту вантажних балкерів за кількістю та 11,5% за вагою.

1.1.6 Конструкція корпусу балкера

Починаючи з 1960-х років, стандартною конструкцією для насипних вантажів було однокорпусне судно з подвійним дном, тобто корпус з одинарними бортами.

Дебати щодо вимоги подвійного корпусу для суден-балкерів тривали в процесі обговорення вимог щодо танкерів, але були відхилені 78-й сесією Комітету з морської безпеки ІМО в 2004 році.

Однак, застосування конструкції подвійного корпусу (подвійна обшивка) також може мати суттєві експлуатаційні вигоди для вантажних суден. Застосування подвійних корпусних навантажувачів забезпечить більш ефективну обробку вантажу, спричинену відсутністю каркасів корпусу та кронштейнів, що виступають у вантажні відсіки, замінені гладкою стороною внутрішнього корпусу. Особливо для вантажів, таких як вугілля та кокс, прямі борти полегшують застосування великих механізмів для спорожнення трюмів без ризику пошкодити основні конструкційні частини корпусу.

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

Ряд верфей пропонує подвійні корпуси вантажних суден. Вважається, що невелика вага судна з подвійним корпусом буде збільшена лише незначно, через використання більш тонких сталевих пластин. Таким чином, необхідна потужність двигуна не дуже зростає.

Природньо, що для подвійних бортів потрібно більше зварювальних робіт, це збільшить людські години, отже, і вартість судна.

У всіх випадках верхні цистерни будуть включені в конструкцію трюмів, щоб забезпечити мінімальну вільну поверхню вантажу при завантаженні. Переміщення вантажу може кинути виклик стабільності, як описано в спеціалізованій літературі [10].

З міркувань безпеки IMO та IACS (Міжнародна асоціація класифікаційних товариств) запровадили правила щодо введення сигналів про потрапляння води у вантажні та передні відсіки, а також посилили вимоги щодо міцності конструкції. [11].

Додатковим результатом багатьох втрат стали посилені структурні вимоги, впроваджені в SOLAS, а також Спільні структурні правила (KCSB), розроблені IACS для конструкцій вантажних суден. Правила EEDI, докладно розглянуті в наступному розділі, дозволяють враховувати коефіцієнт коригування ємності для вантажних суден, побудованих відповідно до правил KCSB. Надалі, коригуючий коефіцієнт може бути застосований до вантажних суден з добровільними структурними покращеннями, [12].

1.1.7 Середні дані про судно як функція від розміру

Середні дані про судна були розраховані на основі навантажувачів, побудованих за контрактом у період 2010-2018 рр. Про що повідомляється у світовому реєстрі кораблів Fairplay IHS (Information Handling Services). Статистика представляє оновлення порівняно з попередніми виданнями цієї статті, демонструючи лише незначні зміни. Єдиною чудовою тенденцією є слабка тенденція до того, що судна будуть трохи довшими, а швидкість обслуговування трохи нижчою.

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

1.2 Аналіз методів вибору основних елементів балкера

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

Одне з найважливіших питань проектування - встановлення головних елементів судна, які, в підсумку, визначають його основні навігаційні та експлуатаційні якості. Це завдання вирішується в основному за допомогою аналітичного методу з використанням в якості допоміжного статистичного методу, метода порівняння (приватний його випадок - метод перерахунок прототипу), градієнтного методу, і методу випадкового пошуку. Іноді, беручи до уваги особливості технічного завдання, один з допоміжних методів може бути прийнятий в якості основного.

Аналітичний метод – це метод математичного аналізу, який широко використовує системи рівнянь, що виражають функціональні залежності між елементами проектного судна і елементами завдання. Залежно ці включають відомі і невідомі величини і параметри. Образна характеристика цього методу міститься в словах І. Г. Бубнова: «... Після дослідження і оцінки умов, що висувуються як до всього судну, так і до кожної окремої частини його, шляхом математичного знаходять розміри суднового корпусу і всіх частин його, спираючись лише на точні закони фізики і механіки, а також і на результати досвіду ... ».

Аналітичний метод, який використовуються при практичному проектуванні, як правило, поєднується зі статистичним методом, та широко використовують дані, отримані з досвіду проектування, будівництва та експлуатації суден заданого призначення. Застосовуючи статистичний метод, необхідно дотримуватися таких умов: числові величини, взяті на підставі статистичної обробки, повинні базуватися на цілком певних і перевірених даних по досить великій кількості

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

суден; судна, за якими підбираються статистичні дані, повинні мати однакові призначення та архітектурно-конструктивний тип з проєктованим судном і повинні плавати в аналогічних умовах; всі необхідні числові величини повинні бути отримані шляхом обробки одними і тими ж прийомами; використовуючи для першого наближення статистичні значення різних характеристик і показників, не слід базуватися тільки на середніх показниках: необхідно сприймати їх критично, т. б. з точки зору особливостей завдання і отримання оптимальних експлуатаційно-технічних показників для проєктованого судна.

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

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

В силу досить великого числа невідомих величин аналітичні прийоми проєктування, навіть при самому широкому використанні статистичних матеріалів, дають, як правило, тільки наближене рішення задачі, що потребує подальших уточнень. Таке уточнення досягається за допомогою *методу послідовних наближень*, що отримав широке визнання в практиці проєктування суден. Цей метод на прикладі найважливішого приватного завдання - визначення головних елементів проєктованого судна - можна охарактеризувати наступними основними положеннями: певною послідовністю різних наближень; використанням для перших наближень функціональних залежностей, що містять мінімальну кількість змінних (невідомі величини і параметри); послідовним збільшенням для подальших наближень числа змінних (шляхом поступового запровадження в задачу тимчасово відкинуті другорядних невідомих величин);

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

розумінням ступеня точності формул, що встановлюють функціональні залежності між окремими змінними, які, як правило, носять наближений характер через наявність в них емпіричних і статистичних коефіцієнтів.

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

Користуючись одним з наведених нижче аналітичних прийомів, визначають в першому наближенні водотоннажність проектного судна D і потужність головних двигунів N_e виходячи з чистої вантажопідйомності P (або дедвейту), швидкості судна v і дальності плавання Z по знайденому значенню водотоннажності, з урахуванням аналітичних залежностей, що характеризують основні якості судна (плавучість, остійність, міцність), визначають в першому наближенні головні розміри L , B і осадку T (коли її не вказано) і перевіряють вимоги, що пред'являються умовами плавання. Якщо головні елементи задовольняють зазначеним умовам, його задача вибору цих елементів в першому наближенні вирішена; в іншому випадку завдання вирішується в другому наближенні і т.д. Потім, поставивши поруч додаткові параметри, що характеризують ходовість судна (величина змоченої поверхні, коефіцієнти опору, число Фруда і ін.), визначають за допомогою перевірених на практиці емпіричних формул або даних модельних і натурних випробувань буксированої потужності судна і потужність головних механізмів у другому наближенні. Якщо знайдена таким шляхом буксирована потужність збігається з даними, отриманими в першому наближенні, то задача розрахунку потужності в другому наближенні вважається вирішеною; в іншому випадку слід визначити нові значення головних елементів судна і повторювати розрахунки до тих пір, поки не будуть співпадати значення потужності, знайдені в двох суміжних наближеннях.

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

Метод послідовних наближень доцільно поєднувати з *методом варіацій*, що дозволяє вже в початковій стадії проектування шляхом порівняльного критичного

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

аналізу виділити з ряду сполучень головних елементів судна, які відповідають основним вимогам завдання, їх найвигідніші поєднання, оптимальний варіант. Методом варіацій, що забезпечує отримання багатозначного рішення, широко користуються в даний час в практиці проектування. Тут особливо відповідальним завданням є вибір для варіювання саме тих характеристик даного типу судна, які визначають його найважливіші навігаційні та експлуатаційні якості. Так, для вантажного судна основними якостями є експлуатаційні зручності, плавучість, ходовість, керованість, остійність (безпеку плавання і плавність качки), а найважливішими співвідношеннями головних елементів, що підлягають варіювання, можуть бути відношення головних розмірів, такі, як відношення L / B , що впливає на ходовість, керованість і експлуатаційні зручності, або B / T , що впливає на ходовість і остійність. При цьому збільшення чисельного значення L / B позитивно позначається на ходовості, стійкості на курсі і експлуатаційних зручностях, а на поворотності - негативно. Збільшення B / T позитивно позначається на початковій остійності (зростає) і негативно на ходовість (в деяких випадках) і хитавиці.

Застосовуючи метод варіацій, можна зводити результати розрахунку елементів судна по всіх варіантах в одну таблицю, що дозволить зіставити характеристики судна, отримані для різних варіантів, і вибрати оптимальний варіант шляхом аналізу цих характеристик.

Істотним недоліком методу варіацій, які обмежують кількість варіантів, є великий обсяг робіт. В окремих випадках це обмеження може призвести до того, що в варіантний ряд не буде включений оптимальний варіант головних елементів судна.

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

Суть методу полягає в наступному. Вибираємо деяке початкове допустиме рішення, тобто такий набір шуканих величин, який задовольняє вимогам до

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

морських і експлуатаційних якостей судна, при цьому обчислюємо перше значення цільової функції.

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

Якщо обрана початкова точка не є оптимальною (складові градієнта не рівні нулю), то для досягнення максимуму рухаємося у напрямку градієнта, а мінімуму - в протилежному напрямку. Так невеликими кроками (ітераціями), коректуючи кожен раз напрямок руху, досягаємо екстремуму.

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

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

Метод "глобального" випадкового пошуку полягає в тому, що межі можливих змін шуканих змінних розбиваються кілька інтервалів, систематично випадковим чином, обчислюють і запам'ятовують значення цільової функції. Після перебору достатньої кількості комбінацій в пам'яті ЕОМ залишається тільки екстремальне значення функції і відповідні йому шукані невідомі. При "локальному" випадковому пошуку вибирається деяке початкове допустиме рішення, з якого в просторі шуканих невідомих систематично роблять випадкові невеликі кроки, поки не буде знайдено такий, який змінює цілу функцію в

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

сприятливому напрямку (і виконуються всі обмеження), після чого з нової точки виробляються аналогічні проби, поки не буде досягнутий екстремум.

Перевагою методів випадкового пошуку є те, що вибір випадкового вектору для виконання пробних кроків не залежить від форми поверхні цільової функції, немає необхідності обчислювати похідні. Простота алгоритму дає можливість його легко реалізувати на ЕОМ. Метод особливо ефективний для оптимізації завдань зі значною кількістю змінних і обмежень, оскільки зі збільшенням кількості незалежних змінних його ефективність зростає.

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

При рішенні задач нелінійного програмування з обмеженням зустрічаються більші труднощі, ніж при рішенні задач безумовної оптимізації за тієї причини, що рішення, яке потрібно віднайти повинно відповідати додатковим вимогам, тобто задовольняти умовам задачі. Для рішення задачі нелінійного програмування, що має обмеження, часто застосовують один з наступних підходів: перебудова задачі нелінійного програмування з обмеженням в еквівалентну тій послідовність задач безумовної оптимізації за допомогою штрафних функцій.

В основу методів штрафних функцій в області нелінійного програмування покладена ідея перебудови загальної нелінійної задачі в послідовність задач без обмежень шляхом додавання до цільової функції однієї або кількох функцій, які встановлюють обмеження для того, щоб обмеження, як такі, в задачі оптимізації не фігурували. В цьому випадку мінімізація може здійснюватись за допомогою більш простих алгоритмів. При використанні методів штрафних функцій отримується оптимальний ефект за рахунок постійного компромісу між необхідністю задоволення обмежень і процесом мінімізації $f(x)$, який досягається шляхом присвоєння належної ваги цільової функції і функціям, які визначають обмеження. Методи штрафних функцій можна поділити на 2 класи: параметричні і непараметричні методи. Параметричні методи характеризуються наявністю одного чи кількох певним чином підібраних параметрів, які входять у склад (структуру) штрафної функції як вагових коефіцієнтів.

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

Параметричні методи розпадаються на 3 категорії: методи внутрішньої точки; методи зовнішньої точки; комбіновані методи. При використанні методів внутрішньої точки рівень цільової функції утримується вдалині від межі допустимої області (тобто точка $X_{(k)}$ постійно знаходиться всередині допустимої області) за допомогою штрафної функції. Методи зовнішньої точки, навпаки, генерують послідовність точок, які виходять за межі допустимої області, але дають в межах допустимі рішення. Штрафна функція не дозволяє вектору X надто відходити від межі допустимої області. Формально перебудова загальної задачі НП, в задачу мінімізації обмежень проводиться шляхом переходу до задачі мінімізації:

$$P(X^k, \rho^k) = f(X^k) + \sum_{i=1}^m \rho_i^k H(h_i(X^k)) + \sum_{i=m+1}^p \rho_i^k G(g_i(X^k)) \quad (1.1)$$

де $P(X(k), \rho(k))$ – узагальнена приєднана функція чи штрафна функція;

$\rho_i^{(k)} \geq 0$ – вагові коефіцієнти; K – кількість завершених етапів обчислювального оптимізаційного процесу. При будь-якому виборі функціоналів $H(h_i(X))$ і $G(g_i(X))$ потрібно, щоб:

$$\left. \begin{aligned} \lim_{k \rightarrow \infty} \sum_{i=m+1}^p \rho_i^k G(g_i(X^k)) &= 0 \\ \lim_{k \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^m \rho_i^k H(h_i(X^k)) &= 0 \\ \lim_{k \rightarrow \infty} |P(X^k, \rho^k) - f(X^k)| &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

По мірі розвитку процесу оптимального пошуку вплив, що входять в $P(X(k), \rho(k))$ функцій обмежень на значення даної приєднаної функції постійно слабне, а в межі повністю зникає. Значить, екстремум $P(X)$ співпадає з екстремумом $f(X)$.

Основні типи штрафів

Для обліку обмежень-рівностей часто використовують квадратичний штраф (рис.1.14):

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

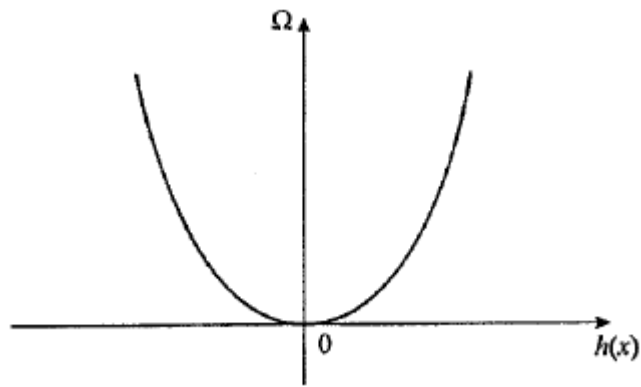


Рис. 1.14 - Квадратичний штраф

При мінімізації цей штраф запобігає відхиленню значення $h(X)$ від нуля. На рис.1.15 графічно показана штрафна функція, отримана шляхом додавання до $f(X)$ квадратичним штрафом (з ваговим коефіцієнтом, що дорівнює одиниці).

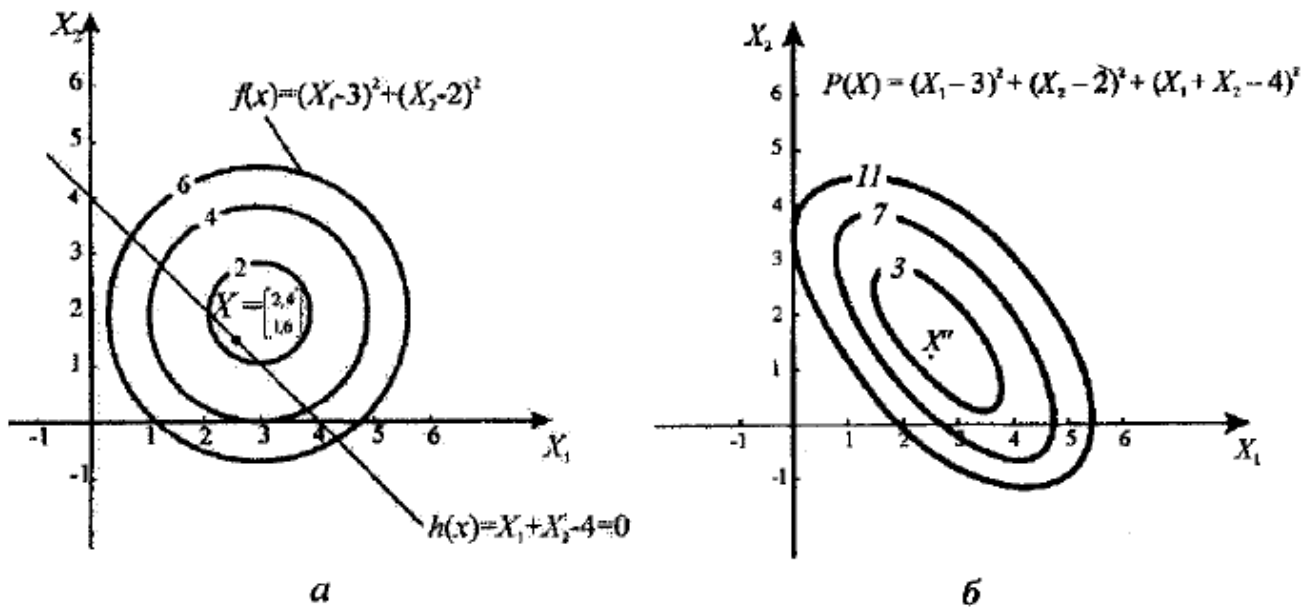


Рис.1.15 Рівні цільової (а) та штрафної функції (б)

При врахуванні обмежень-нерівностей використовують різні типи штрафів. Простішим серед них є нескінченний бар'єр, показаний на рис.1.16.

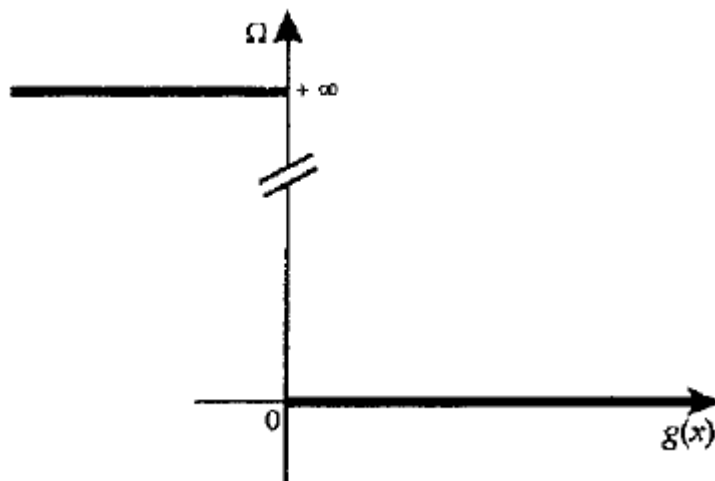


Рис.1.16 Нескінчений штраф

Відповідне визначення приймає нескінченно великі значення в недопустимих точках і нульове значення - в допустимих. У даному випадку штрафна функція $P(X, \rho)$ – розривна на межі допустимої області. В машинній реалізації нескінченних штрафів використовують велике додатне число. Наприклад, цей штраф використовується у формулі

$$\Omega = 10^{20} \sum_{j \in g} |g_j(X)| \quad (1.3)$$

де g – множина індексів порушень обмежень, $g_j(X) < 0$ при $j \in g$.

Другим широко використовуваним типом штрафу є логарифмічний (рис.1.17)

$$\Omega = -\rho \ln[g(X)] \quad (1.4)$$

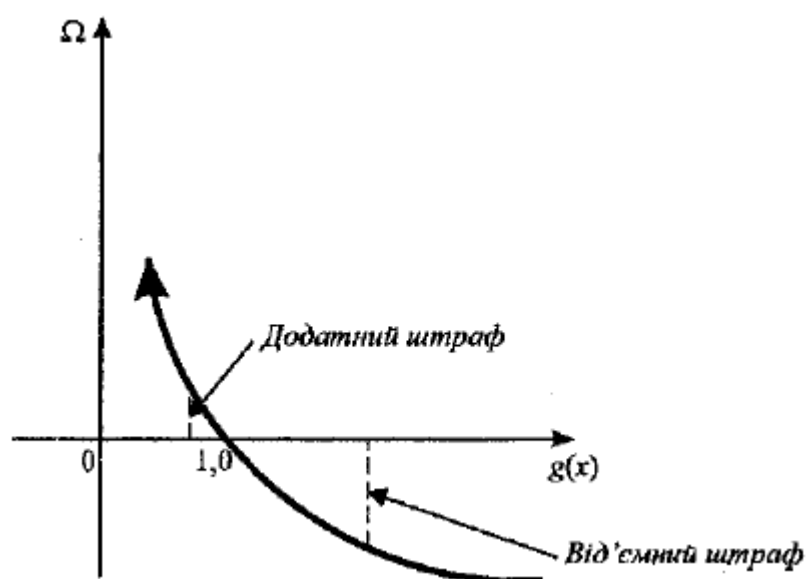


Рис.1.17 Логарифмічний штраф

Цей штраф додатний при всіх X таких, що $0 < g(X) < 1$ і від'ємний при $g(X) > 1$. Логарифмічний штраф – бар'єрна функція, не визначена в недопустимих точках (тобто для X таких, що $g(X) < 0$). Ітераційний процес починається з допустимої точки початкової при додатному значенні ρ .

Після рішення кожної підзадачі безумовної мінімізації параметр ρ зменшується і в межах прагне до нуля. Штраф, заданий зворотною функцією рис.1.18.

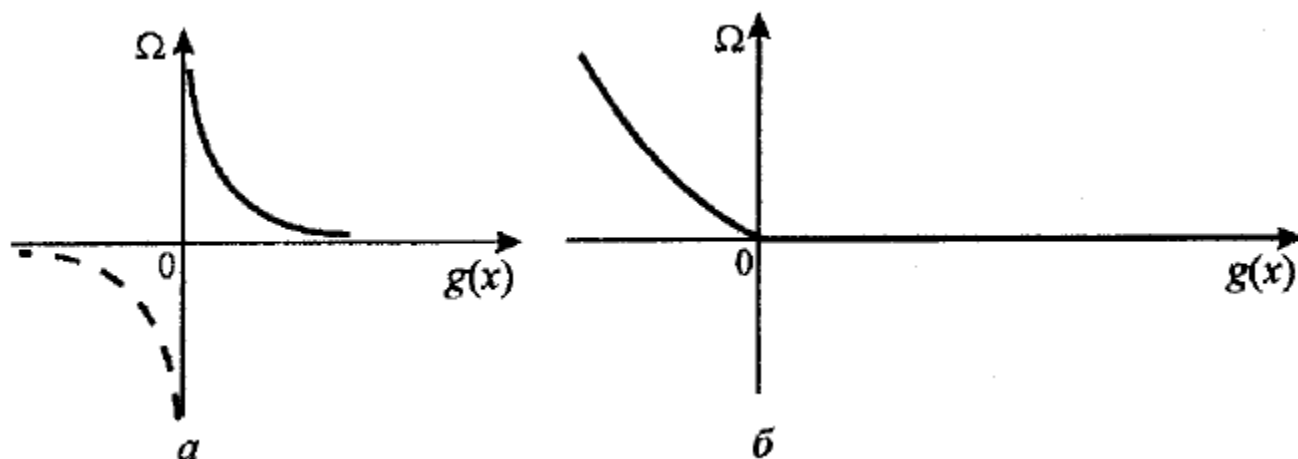


Рис.1.48 Штраф, заданий зворотною функцією

$$\Omega = \rho \left[\frac{1}{g(X)} \right], \quad (1.5)$$

Штраф, заданий зворотною функцією, не має від'ємних значень в допустимій області. Цей штраф є бар'єром; можливі труднощі, які пов'язані з появою недопустимих точок.

На основі вищенаведеного аналізу існуючих методів, в дипломній роботі використовується метод Пауелла з додаванням методу штрафних функцій.

1.3 Продукт-орієнтоване проектування балкера

1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт

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

У Сполучених Штатах Америки, в даний час використовується система, яка називається Розширена структура розподілу корабельних робіт (ESWBS). ESWBS є розширенням раніше використовуваної структури секціонування SWBS. До середини 1960-х використовувалась інша система, яка називалася Бюро суднових

					24.DPM.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

консолідованих показників (BSCI). Ця система, подібна до системи SWBS / ESWBS, є лише відмінності між розподілом певних категорій.

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

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

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

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

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 200	Пропульсивна установка	Включає ваги дизелів, турбін, редукторів, валопроводів і рушіїв
Група 300	Електрична установка	Включає ваги обладнання для вироблення електроенергії, силових кабелів, освітлювальних систем і аварійних систем електропостачання
Група 400	Управління та моніторинг	Включає ваги навігаційної системи, системи внутрішнього зв'язку, протипожежної системи, системи спостереження, радіолокаторів, гідролокатором, 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

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

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

В даний час параметричний підхід використовується суднобудівними підприємствами для отримання ECER на основі SWBS для попереднього та контрактного етапів проектування.

Таблиця 1.5 відображає параметричну обробку даних для будівництва судна насипного типу водотоннажністю 5000-14 000 тон (повна водотоннажність).

Аналіз закономірностей продукт-орієнтованого проектування показує, що найбільш підходящим для прогнозування вартості та строку будівництва судна на

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

початкових етапах його будівництва є рівень попереднього проектування, при якому форма майбутнього судна визначається розширена структура його розподілу - ESWBS та відповідні емпіричні співвідношення для оцінки витрат комплексом ECER. На цьому етапі, в наборі емпіричних взаємозв'язків для калькуляції витрат, ви можете обмежитися формуванням ECER витрат на оплату праці та ECER матеріалів (Таб. 1.6). Окрім того, потрібно враховувати рівні оплати праці, податків та зборів.

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

No	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	$310 * Weight_{600} ^{0.949}$	$5000 + 10000 * Weight_{600}$

Верфі при розподілі загального обсягу робіт на види, та виконанні робіт за складеними графіками мережі, зазвичай, використовують власний досвід будівництва суден. Таким чином вони складають основу для власних регресійних залежностей розподілу робіт на види та визначення необхідної кількості робітників на етапах складання попередніх проектів будівництва кораблів. Однак графіки мережевого суднобудування та рівняння регресії робочої сили можуть бути введені. Приклади таких набраних мережевих діаграм та розподілу робочої сили на стадіях суднобудування, сформованих мережевим графіком, наведені на Рис. 1.19 та 1.20.

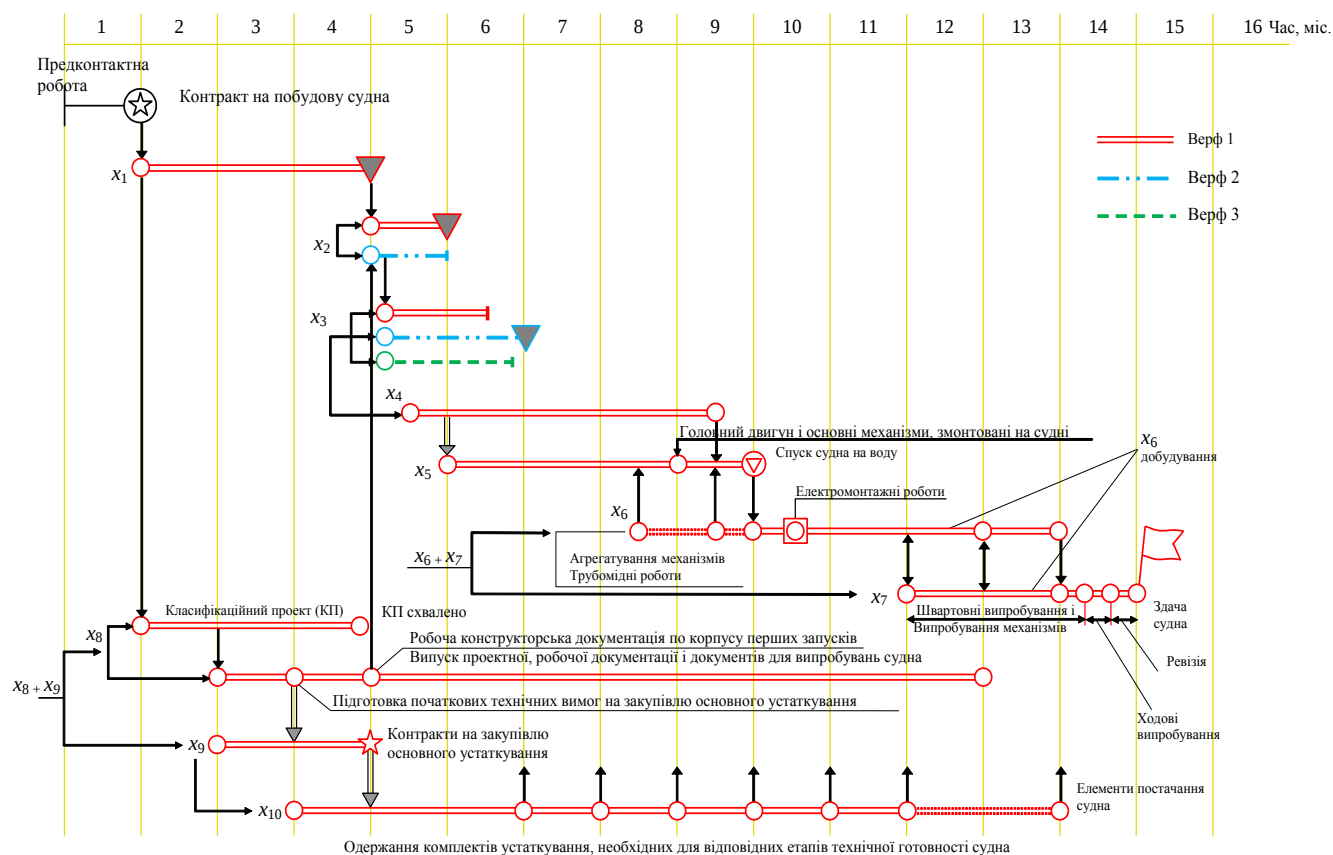


Рис. 1.19 Приклад мережевого графіку будівництва проекту судна 17012 на віртуальній верфі [1]

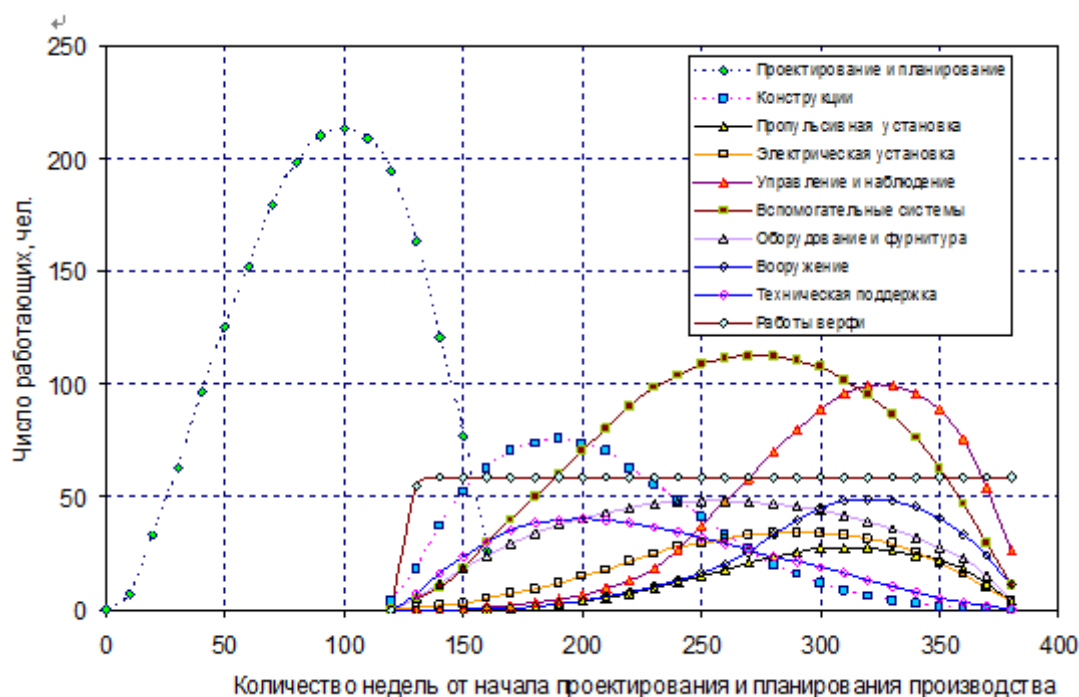


Рис. 1.20 – Приклад потреби робочої сили при проектуванні, підготовці, будівництві, завершенні, спуску та випробуванні корабля [1]

За даними розрахунків (Рис. 1.20), використовується так званий коефіцієнт типу TF суднобудування, який залежить від типу судна, і коефіцієнт

					24.DPM.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

продуктивності Рґ, який залежить від продуктивності суднобудівного заводу. Ці фактори визначаються за допомогою таблиць 1.7 та 1.8.

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

No	Тип корабля	Значення Тґ 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]

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

4	Китай (2002)	-	-	-	0.992
	Модульне суднобудування				
1	Модуль конкурентного аутсорсингу США	1.00	0.80	-	-
2	Конкурентний модуль світового класу	0.76	0.52	-	-

1.3.3 Визначення вартості робіт з проектування і побудови балкера

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

Найбільш комплексний метод продукт-орієнтованого проектування суден, був висунутий асоціацією SPAR [5]. Остаточний алгоритм методу був представлений компанією у вигляді таблиці, зображеної на Рис 1.15. Це обчислювальна таблиця. Вихідними даними для таблиці є: тип судна(коефіцієнт T_F), його повне водотоннажність M_{full} і проектна швидкість V_s . Все інше визначається даними конкретного суднобудівного виробництва конкретної країни та станом цього виробництва під час будування судна за допомогою відповідних коефіцієнтів продуктивності суднобудівного заводу та коефіцієнтів регресії ECER, отриманих на базі ESWBS (Таблиці 1.6 - 1.8).

На основі такого типу таблиці в дипломній роботі був розроблений алгоритм визначення вартості та тривалості робіт з проектування, планування, підготовки виробництва та створення розглянутого балкера. Розрахунки результатів за допомогою цього алгоритму представлені на Рис. 1.21.

Рис. 1.15 - Зведена таблиця моделі оцінки витрат та графіку будівництва SPAR [5]

Балкер									
(Версия ECECs: Апрель 2017)									
Текущий год	Характеристики корабля:		Коэф. TF	Коэф. DF	Восток	Версия: А	Запросы на проектирование и планирование производства (ПлП):		
	Масса	Скорость					12.6	0.6181	10.11.2022
% Расходы по программе	26328	узлов	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	Проектный проект	33 233
% Непредвиденные обстоятельства	15.00	тонн	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	Рабочий проект & Механика	191 578
Расценки:	%	Полное	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	Планирование производства	39 097
	%	10.00 с наклад.	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	Закупка деталей, обработка	11 729
	%	10.00 с наклад.	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	Запасные части, арматура	29 323
	%	10.00 с наклад.	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	Инженерные контракты	38 120
	%	10.00 с наклад.	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	Непредвиденный труд	43 007
	%	10.00 с наклад.	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	Качественный авторский граф	-
	%	10.00 с наклад.	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	Разные услуги	1 781
	%	10.00 с наклад.	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	Вне материалы и инструменты	1 955
	%	10.00 с наклад.	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	ВСЕГО ЗАТРАТ на ПлП:	392 755
	%	10.00 с наклад.	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	АУП и Прибыль	39 382
%	10.00 с наклад.	0.85	0.6181	Восток	Версия: А	10.11.2022	ИТОГО:	432 138	
Оценка									
Расчетные затраты постройки:									
2.5									
Оценка времени ПлП:									
9.6									
Оценка времени строительства:									
1.2									
Перекрестие времен:									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/мес									
мес/									

1.4 Систем-орієнтоване проектування балкера на інтервалах його ефективного використання

1.4.1 Моделі віртуальних просторів експлуатації балкера

1.4.1.1 Географічний простір суднових операцій.

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

Таке середовище визначається положенням району експлуатації судна і відстанню між портами призначення. Згідно з завданням, що розглядається балкер експлуатується в районі Чорного моря, Рис. 1.22. Судно перевозить насипні вантажі, пшеницю, з України, порт Південний, в порт Варна. Відстань між портами цього регіону не перевищують 350 миль.

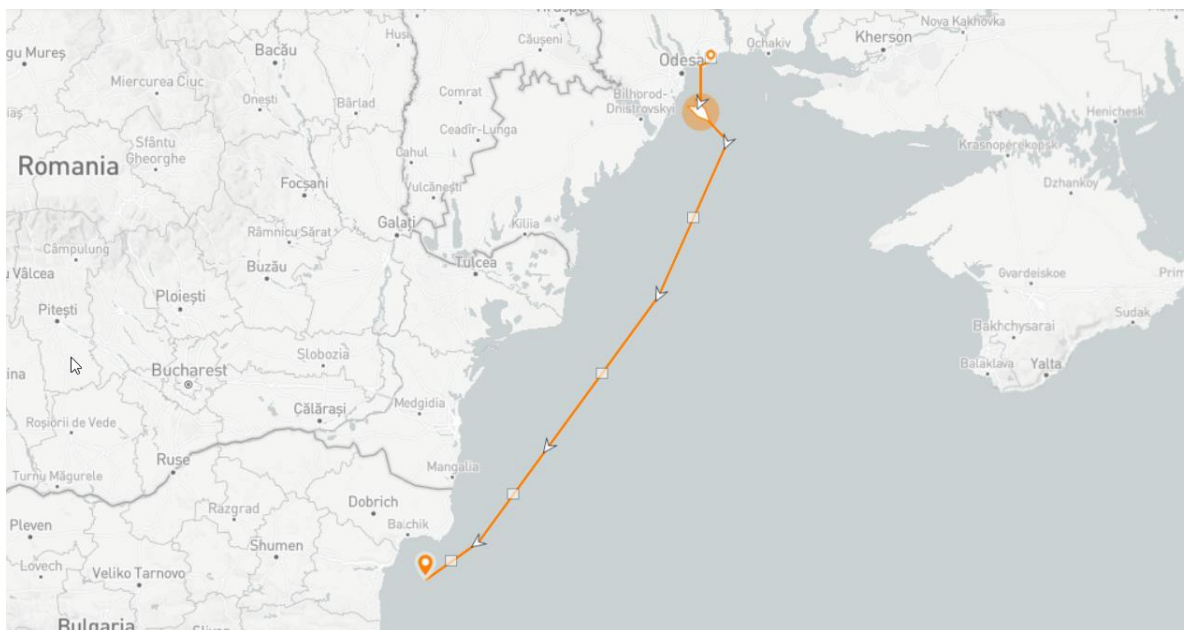


Рис 1.22 Район експлуатації балкера

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

1.4.1.2 Простір погодних умов району експлуатації

Основними характеристиками цього віртуального простору є характеристики погодних умов: дії морських течій, вітру та хвиль, льодових умов. Морські течії та дії вітру та хвиль впливають на положення судна та швидкість руху під час перевезення вантажів між портами. Ці впливи є випадковими функціями часу та положення судна під час транспортних операцій. Їх спрощений аналіз проводиться в класі стаціонарних випадкових функцій. Такий розгляд замінює послідовність природних впливів на судно низкою стаціонарних режимів морських течій, дії вітру та хвиль. Зміна в часі життя судна інтенсивності впливу вітру та хвиль на корабель визначається за допомогою довгострокових (режимних) розподілів середніх швидкостей вітру та характерних висот хвиль. Закон Вейбулла та Логнормальний розподіл зазвичай використовують як закони розподілу інтенсивності вітру та хвилі. Вплив льоду за час його існування, оцінений законом розподілу товщини льоду.

1.4.1.3 Простір виробничих відносин робочого процесу

Цей віртуальний простір визначається видами основних функціональних операцій судна та портових служб. Існують наступні типи основних функціональних операцій судна, які здійснюються шляхом послідовних рейсів, транспортування вантажів на вільних лініях експлуатації, руху за розкладом, службового використання, використання для відпочинку та туризму.

Характерною особливістю судна послідовних рейсів є його експлуатація відповідно до довгострокових контрактних міжурядових або корпоративних угод.

Зазвичай, судна послідовних рейсів здійснюють кругові рейси між тими самими портами. При прямому переході між портами судна перевозять вантажі. На зворотному шляху вони зазвичай йдуть з баластом. Схема функціонування судна за такого набору операцій показана на Рис 1.23.

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

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

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 1.23 - 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

$$t_{hrt} = t_{load} + t_{std} + t_{unload} \quad (1.6)$$

1.4.1.4 Простір фінансових відносин робочого процесу

Стан транспортного ринку і розподіл потоків фінансових ресурсів між традиційними учасниками ринку – відправником вантажа, фрахтувальником і судновласником - визначають фінансову частину віртуального простору функціонування транспортних судів.

Для комерційного транспортного судна найбільш загальною характеристикою стану ринку перевезень є ймовірність укладання довгострокового контракту або фрахту P_F . Якщо така операція відбулася, то розподіл коштів між учасниками транспортних операцій: відправником вантажа,

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

фрахтувальником і власником судна, може бути представлено схемою, наведеною на Рис. 1.24 [1].

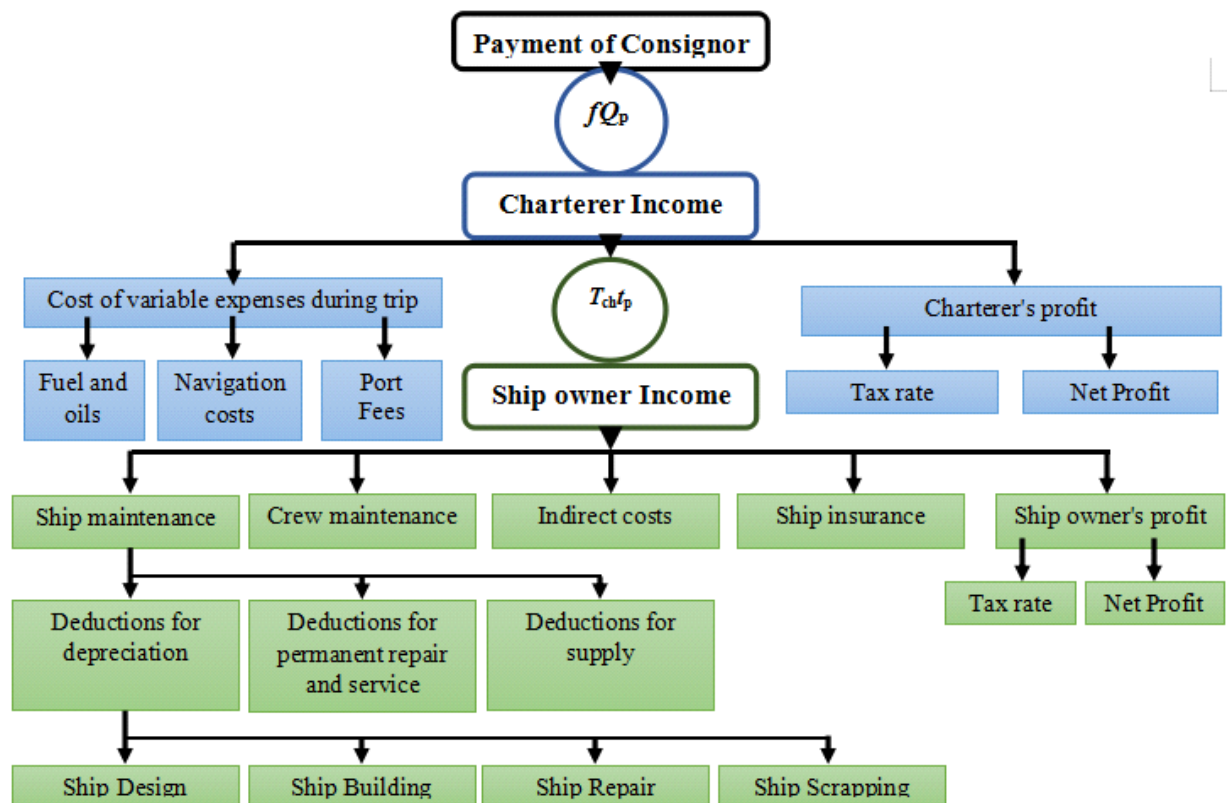


Рис 1.24 – Розподіл коштів серед учасників транспортної операції одного кругового рейсу: відправником вантажа (Consignor), фрахтувальником (Charterer) та власником судна (Ship Owner)

Схема Рис.1.18 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 1.24 вводить такі позначення:

$$I_l = fQ_p \quad (1.6)$$

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

$$fQ_p = E_{\text{var}} + P_{\text{charterer}} + T_{ch}(t_{rt} / 24) \quad (1.7)$$

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;

$$E_{var} = E_{fuel \& oil} + \Delta E_{var}, \quad (1.8)$$

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

$$E_{fuel \& oil} = C_f g_l (q_l t_{load} + q_d t_{std} + q_u t_{unload} + q_b t_{stb}); \quad (1.9)$$

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.

$$T_{ch} (t_{rt} / 24) = I_{iso} \quad (1.10)$$

- дохід судновласника.

In expressions (1.7) - (1.10):

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. (1.9));

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} (Рис 1.18).

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

$$E_l = E_{lfuel \& oil} + \Delta E_{l var} + E_{lsm} + E_{lcm} + E_{luc} + E_{lsv} \quad (1.11)$$

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

$$I_l = I_{lcharterer} + I_{lsowner}; P_l = P_{lcharterer} + P_{lsowner} \quad (1.12)$$

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

Визначення ймовірнісних характеристик вартості палива E_{lfuel} паливо навалального 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:

$$V_c \geq |V_c|; \quad A_c \geq |A_c| \quad (1.13)$$

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 $|\sigma_c|$:

$$\sigma_c \leq |\sigma_c| \quad (1.14)$$

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

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

$$\sum_{i=1}^7 gW_{i00} + gW_F = \rho g L B d C_B \quad (1.15)$$

Непотоплюваність судна вимагає виконання нерівності

$$R > |R| \quad (1.16)$$

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:

$$K > 1; \quad h_0 > 0.05m; \quad \theta_m > 30\text{deg.}; \quad \theta_v > 60\text{deg.}; \dots \quad (1.17)$$

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:

$$E_{HP} = \eta N_E \quad (1.18)$$

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 $|D_C|$:

$$D_c \leq |D_c| \quad (1.19)$$

Достатній рівень мореплавства визначається виконанням вимог до експлуатації судового 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 $|\ddot{s}|$:

$$s < |s|, \quad \dot{s} < |\dot{s}|, \quad \ddot{s} < |\ddot{s}| \quad (1.20)$$

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						49
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 (4.25) і (4.26) можуть не розглядатися. Вони можуть бути прийняті до уваги на наступних етапах проектування судна.

1.4.3 Модель експлуатації балкера

Модель функціонування створена для вивчення операцій, що виконуються судном на інтервалах продуктивного періоду його життя.

Для навальника, який експлуатується у формі послідовних рейсів, модель роботи показана на Рис. 1.21. При побудові цієї моделі передбачається, що вантажоперевезення здійснює рейси в обидва боки між двома портами №1 та №2. Під час поїздки в обидва кінці судно завантажується в порт No 1, здійснює транзит морським транспортом, перевозячи вантаж. У порту № 2 судно вивантажується і повертається до порту № 1 разом з іншими товарами. Основною операцією судна в цьому випадку є операція кругового рейсу.

При імовірнісному підході до дослідження операцій характеристики розглянутої операції визначаються двома способами: з використанням теорії випадкових подій та з використанням теорії випадкових функцій. Теорія випадкових подій дозволяє визначити характеристики надійності корабля. У цьому випадку використовуються загальновідомі теореми про додавання та множення ймовірностей випадкових подій, що супроводжують операції.

Характеристики ефективності корабля розраховуються за допомогою алгоритмів теорії випадкових функцій. Використання цих алгоритмів дає змогу побудувати перетворення випадкових величин, що представляють людські, матеріальні та фінансові ресурси операцій та їхній час, у кінцевому результаті операцій - індексах ефективності корабля.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						50
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]

$$P[F] = P[F_1] \times P[F_2|F_1] \quad (1.21)$$

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. 4.21, 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

$$P[F_2|F_1] = P[F_{21}] \times P[F_{22}] \times P[F_{23}] \quad (1.22)$$

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

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

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

$$P[\bar{F}] = 1 - P[F], P[\bar{F}_1] = 1 - P[F_1], P[\bar{F}_2 | F_1] = 1 - P[F_2 | F_1] \quad (1.23)$$

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

$$P[\bar{F}_2 | F_1] \approx P[\bar{F}_{21}] + P[\bar{F}_{22}] + P[\bar{F}_{23}] = \sum_{k=1}^3 P[\bar{F}_{2k}] \quad (1.24)$$

отримано розкладанням залежностей (1.11) 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

$$P[A] = \sum_{i=1}^I P[T_i] \times \left\{ \sum_{k=1}^{K_i} P[L_{ik}] \right\} \quad (1.25)$$

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

$$C = \sum_{i=1}^I P[T_i] \times \left\{ \sum_{k=1}^{K_i} P[L_{ik}] \times C_{ik} \right\} \quad (1.26)$$

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.

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

1.4.3.2 Імовірнісні характеристики ефективності балкера

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.4.17. Розв'язання рівнянь виконується методом статистичних тестів. Отримане рішення, яке спрямоване на здійснення фінансових відносин комерційного використання судна, представлене схемою на рис. 1.22.

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

$$P_l = I_l - E_l \quad (1.27)$$

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]

$$\bar{P}_l = M[P_l], \bar{I}_l = M[I_l], \text{ та } \bar{E}_l = M[E_l] \quad (1.28)$$

де $M[...]$ - операція усереднення.

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

$$D_p = M[(P_l - \bar{P}_l)^2], D_I = M[(I_l - \bar{I}_l)^2], D_E = M[(E_l - \bar{E}_l)^2] \quad (1.29)$$

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

$$\frac{1}{N} \sum_{l=1}^L \bar{P}_l = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^L (\bar{I}_l - \bar{E}_l) = \bar{P}_1 \quad (1.30)$$

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.

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

$$\bar{P}_1^* = P[F_1] \frac{1}{N} \sum_{l=1}^L \bar{P}_l \quad (1.31)$$

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]

$$OF_1 = \sum_{l=1}^L (P_l \bar{I}_l - \bar{E}_l) - \bar{B} \quad (1.32)$$

$$OF_2 = \frac{\sum_{l=1}^L (\bar{E}_l) + \bar{B}}{\prod_{i=1}^M P_i} \quad (1.33)$$

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

У процесі пошуку оптимального конструктивного рішення судна перший з індексів OF_1 максимізується, конфігуруючи проектне 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 проекту судна.

1.5 Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера.

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

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

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

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

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

$$OF_1^* = \sum_{j=1}^J \frac{\bar{I}_j - \bar{E}_j}{(1+i)^j} \quad (1.34)$$

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 [1]

Знайти: $OF\{U, x\} \Rightarrow \text{extr}$
(1.35)

в: $E_N(X) \geq 0, N = 1, 2, 3; \quad (1.36)$

$$F_K(X) \geq [F_K], K = 1, 2, \dots, K; \quad (1.37)$$

$$PK_L[П_T] \leq [PK_L], L = 1, 2, \dots, L; \quad (1.38)$$

$$x \leq x_Q, Q = 1, 2, \dots, Q \quad (1.39)$$

де

$E_n(x) \geq 0$ 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

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

якостей, як стабільність, непотоплюваність, керованість, міцність і морехідна мобільність морського об'єкта і показників безвідмовної роботи його основних функціональних підсистем;

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

PKL[PT] ≤ [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. 1.25 [1].

Критеріями оптимізації є крайні значення цільової функції (1.32) або (1.33). Для розглянутого насипного вантажу обраний вираз (1.34).

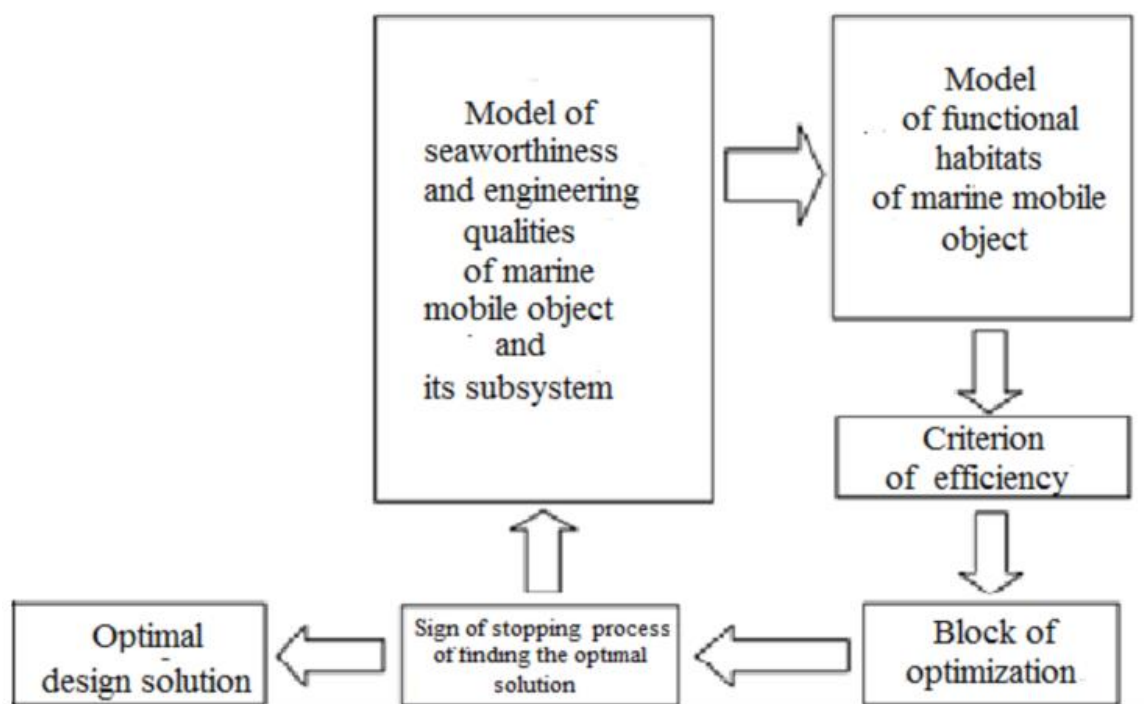


Рис 1.25 - Структурна схема пошуку оптимального рішення проблеми синтезу морського рухомого об'єкта для умов його експлуатації

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. 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 (1.32).

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 та Середземного морів.

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.7 Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації.

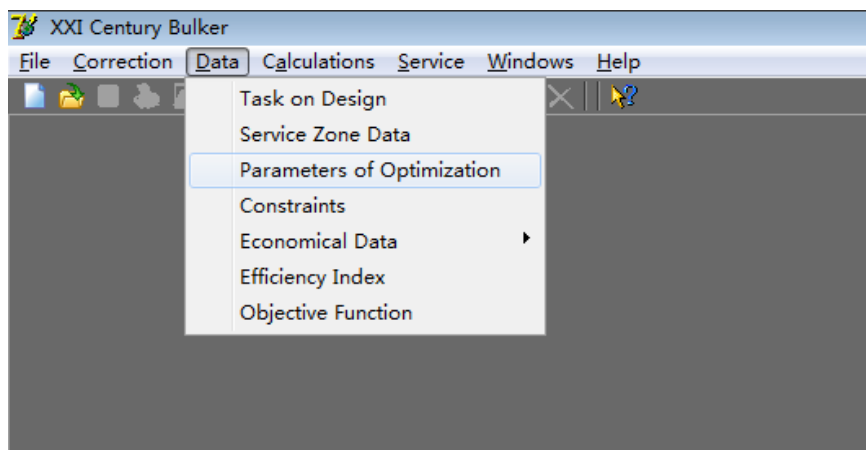


Рис.1.26 - Головне вікно програми

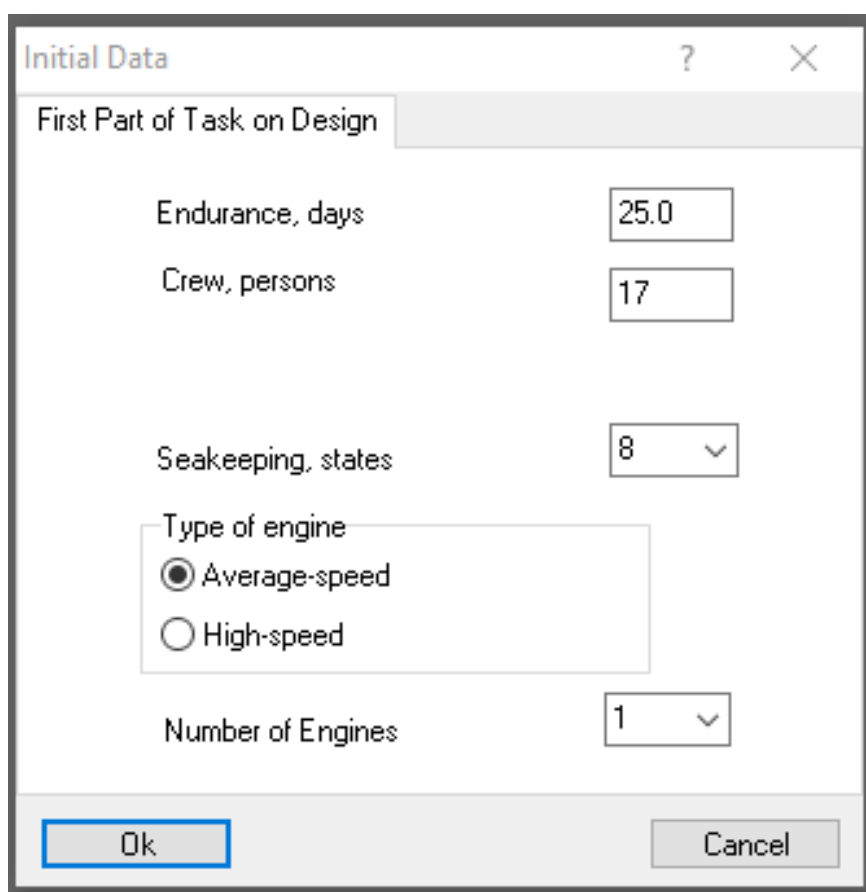


Рис 1.27 - Вікно дизайнерського завдання

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 1.28 - Вікно даних зони обслуговування

Parameters of solution search

Parameters Variables Values

Number of Variables Penalty for non-discreteness

Initial Step Exactness for Integralness

Penalty Coefficient Paramener for b-function

Exactness of Calculation ☒ 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 1.29 - Вікно параметрів пошуку рішення

Parameters of solution search

Parameters Variables Values

The name	Initial	Normalizing
Length L, m -X1	154.900	154.900
Breadth B, m -X2	22.500	22.500
Draught d, m -X3	7.600	7.600
Depth H, m -X4	11.800	11.800
Block coefficient Cb -X5	0.746	0.746
Full Speed, knots -X6	12.400	12.400

Ok Cancel

Рис 1.30 - Вікно незалежних змінних

Choice of Constraints

Constraints Choice Values setting

- ☒ Maximum time of circular trip, hours
- ☒ Maximum length of constructive waterline, m
- ☒ Maximum draught of ship, m
- ☒ Maximum error of displacement calculation, %
- ☒ Maximum full speed, knots
- ☒ Maximum breadth of ship, m
- ☒ Maximum B/d
- ☒ Maximum H/d
- ☒ Maximum L/B
- ☒ Maximum power of main engine, kW
- ☒ Maximum value of block coefficient
- ☒ Maximum value of middle section coefficient
- ☒ Maximum value of waterline coefficient
- ☒ Maximum roll angle from accumulation of people on ship board, deg.
- ☒ Maximum roll under people on board and circulation, deg.
- ☒ Minimum time of circular trip, hours
- ☒ Minimum length of constructive waterline, m
- ☒ Minimum breadth of ship, m
- ☒ Minimum value of initial GM, m
- ☒ Minimum draught of ship, m
- ☒ Minimum full speed, knots
- ☒ Minimum B/d
- ☒ Minimum H/d
- ☒ Minimum L/B
- ☒ Minimum power of main engine, kW
- ☒ Minimum value of block coefficient
- ☒ Minimum value of maximum GZ, m
- ☒ Minimum value of GZ maximum angle, deg.
- ☒ Minimum value of vanishing stability angle, deg.
- ☒ Weather criterion >1
- ☒ Minimum value of roll period, s
- ☒ Maximum error of hull volume for loads, %

Clean Choose all

Ok Cancel

Рис 1.31 - Вікно вибору обмежень

Stochastic Data [?] [X]

I DESIGN EXPENSES

Rate of Design Costs, % [>>]

II BUILDING EXPENSES

Cost of 1 ton of ship constructions, \$/т [>>]

Cost of 1 ton of Propulsive Plant, \$/т [>>]

Cost of 1 ton of Electrical Plant, \$/т [>>]

Cost of 1 ton of Control and Surveillance, \$/т [>>]

Cost of 1 ton of Auxiliary Systems, \$/т [>>]

Cost of 1 ton Outfit and furnishings, \$/т [>>]

Rate of Productivity of 1 Worker, reg. t [>>]

Average Salary of Shipbuilder, \$/month [>>]

Duration of Ship Construction, months [>>]

III MAJOR OVERHAUL AND RECYCLING EXPENSES

Rate of Major Overhaul Costs, % [>>]

Cost of 1 ton Ship Scrapping, \$/т [>>]

IV OPERATION EXPENSES

Price of 1 ton of Foil, \$/т [>>]

Price Of 1 ton of Oil, \$/т [>>]

Rate of Supply Costs, % [>>]

Repair and Maintenance Costs, % [>>]

Average Salary of Crew, \$/month [>>]

Rate of Undirect Expenses, % [>>]

Rate of Ship Insurance, % [>>]

V INCOME

Freight Rate of Load No. 1, \$/т [>>]

Freight Rate of Load No. 2, \$/т [>>]

[OK] [Cancel]

Рис 1.32 - Вікно стохастичних економічних даних

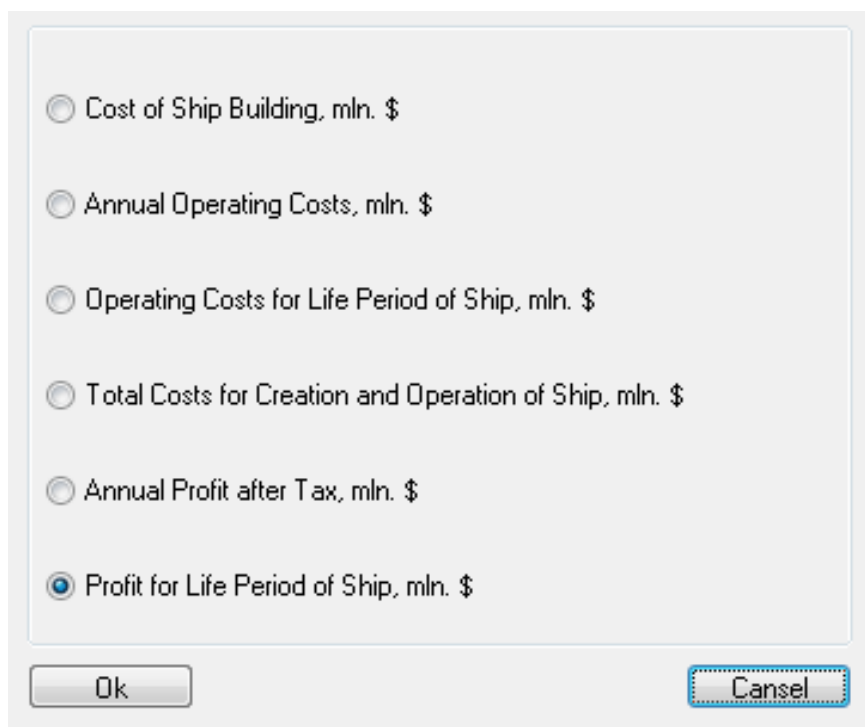


Рис 1.33 - Вікно показників економічної ефективності

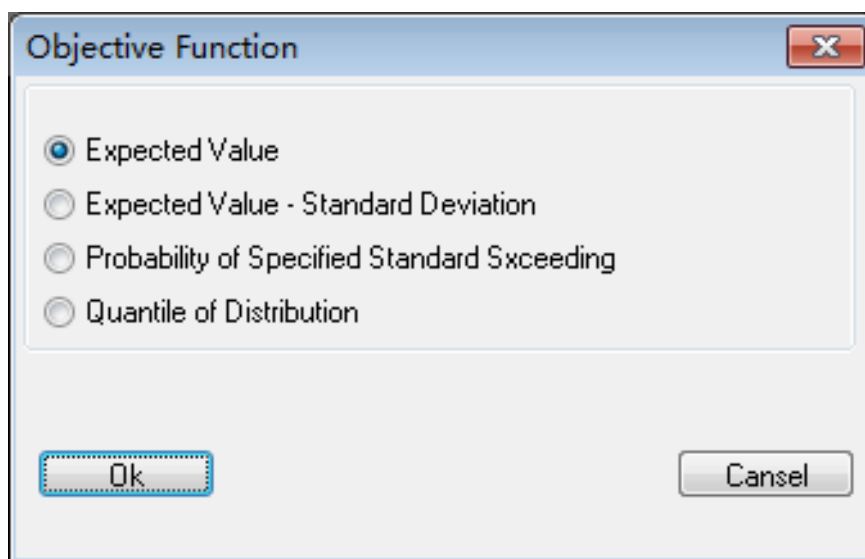


Рис 1.34 - Вікно цільових функцій

Рис 1.35 - Концептуальний проект балкера

Параметри балкера	Розмірення	Значення при $OF_1 = \max$
Довжина	м	126,2
Ширина	м	22,5
Осадка	м	8,6
Висота борту	м	12,4
Коефіцієнт загальної повноти		0,765
Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута		0.979
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії		0,795
Об'ємна водотоннажність	м ³	18641,1
Потужність головного двигуна	kW	3318
Швидкість	knots	12,5
Водотоннажність порожньому	т	4956,1
Маса вантажу 1 у прямому півреїсі	т	13900,3
Маса вантажу 2 у зворотному півреїсі	т	13900,3
Дедвейт	т	14417,6
Водотоннажність повна	т	18997,2

Рис 1.36 - Оптимальні основні розміри та масове навантаження балкера

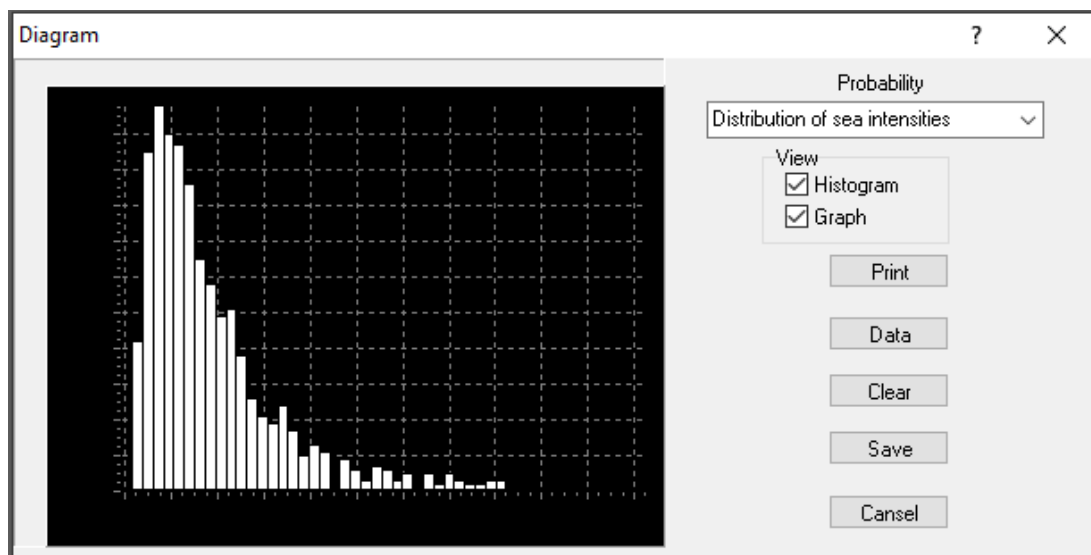
Параметри балкера	Розмірення	Значення при $OF_1 = \max$
Маса конструкцій	т	3971,3
Маса пропульсивної установки	т	426,8
Маса електричної установки	т	52,3
Маса системи управління	т	8,0
Маса допоміжних систем	т	188,6
Маса обладнання та фурнітури	т	309,4
Маса баласту	т	0.0
Маса екіпажу і провізії	т	3,6
Маса прісної води	т	24,0
Маса палива та мастила	м	490,3
Апліката центру ваги	м	7,8
Апліката центру плавучості	м	4,4
Поперечний метацентричний радіус	м	4,0
Початкова метацентрична висота	м	0,5
Максимальне плече остійності	м	1,2
Кут максимального плеча остійності	град	50,3
Кут заката діаграми остійності	град	82,2
Критерії погоди		21,0
Період вільної бортової хитамиці	сек	27,4

Рис 1.37 - Характеристики остійності

					24.ДРМ.135.6112м.01.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Параметри балкера	Розмірення	Значення ($OF_1 = \max$)
Час кругового рейсу	годин	133
Фрахтова ставка на вантаж 1 у прямому півреїсі	\$/т	20,51
Величина вантажу 1	т	13900
Фрахтова ставка на вантаж 2 у зворотному півреїсі	\$/т	20,51
Величина вантажу 2	т	13900
Час півреїсу	годин	66
Число рейсів за рік		65
Ймовірність виконання транспортних операцій		1,0
Добовий фрахт	\$/добу	2162,72
Мінімальний Тайм - Чартер	\$/добу	21549,67
Мінімальні щоденні витрати фрахтівника	\$/добу	28164,48
Мінімально необхідна фрахтова ставка	\$/т	7,49
Наведені витрати	\$/т за рік	7,54
Дохід від рейсу	мільйон \$	1,050172
Річний дохід	мільйон \$	68,716475
Витрати за рік експлуатації	мільйон \$	10,163783
Річний прибуток (після сплати податків)	мільйон \$	40,881347
Витрати на проектування і будівництво судна	мільйон \$	25,589355
Загальна вартість будівництва і експлуатації судна	мільйон \$	168,037161
Прибуток за термін служби судна (24 роки)	мільйон \$	919,830314

Рис 1.38 - Значення оптимальних характеристик балкера
та значення їх обмежень



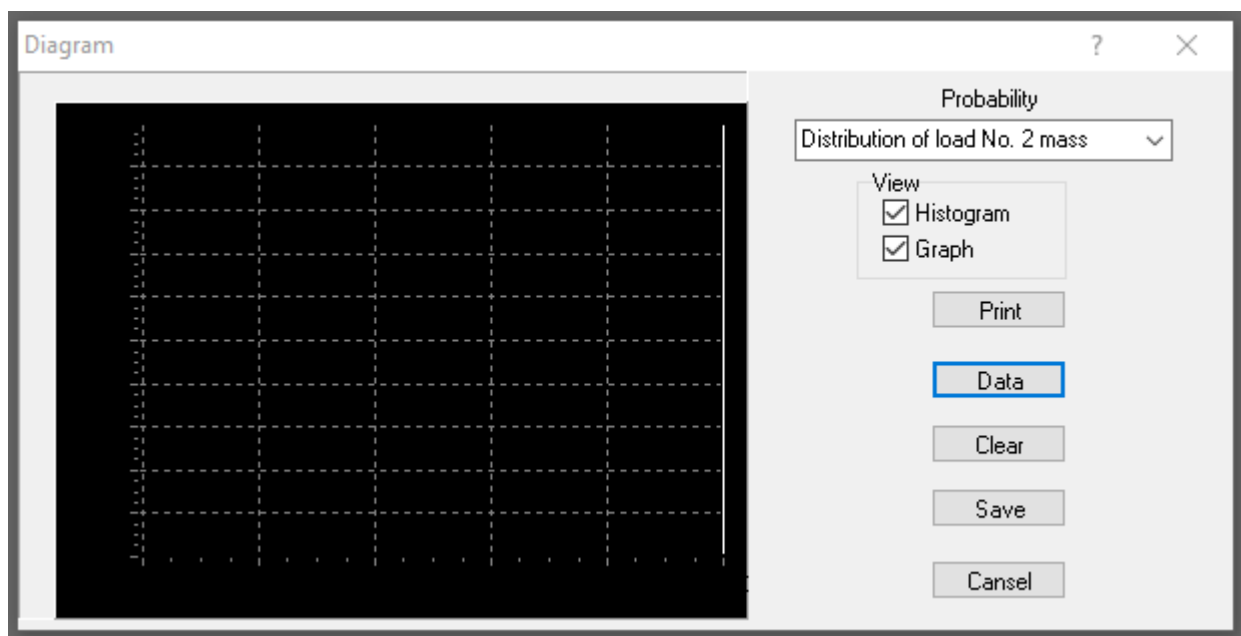
Statistical characteristics

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

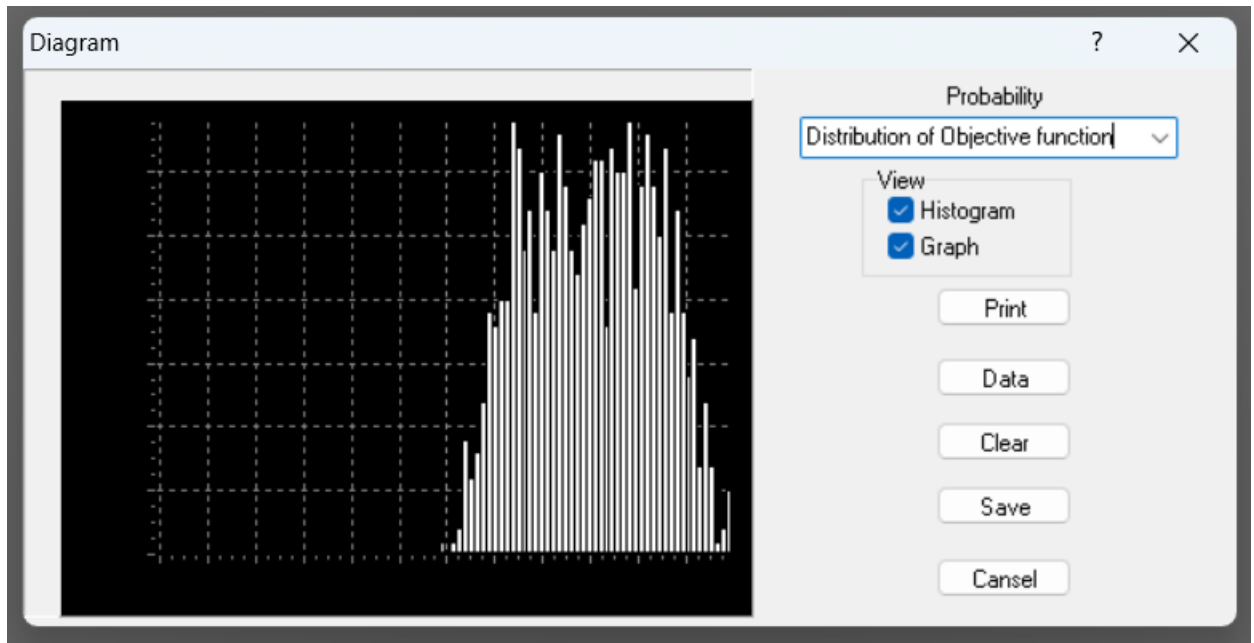
Ok Cancel Print

Рис 1.39 - 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)



Statistical characteristics	
Sampling characteristics	Table of frequencies
Average value	9988.83
Variance	98157.74
Center Moment 3	-969578237.
Center Moment 4	9596460046
Standard Deviation	313.30
Skewness	-31.58
Excess	995.00
Coefficient of variation	0.03
Ok Cancel Print	

Рис 1.40 - Приклад кінцевих розподілів випадкових значень:
Розподіл суднового навантаження № 2 по масі



Statistical characteristics	
Sampling characteristics	Table of frequencies
Average value	89.83
Variance	179.67
Center Moment 3	-47.77
Center Moment 4	64812.02
Standard Deviation	13.40
Skewness	-0.02
Excess	-0.99
Coefficient of variation	0.15
Ok Cancel Print	

Рис 1.41 - Приклад кінцевих розподілів випадкових значень:
Розподіл Цільової функції задачі оптимізації

Висновки. При розробці концептуального проекту було виконано:

- формування моделей експлуатації суховантажного судна та його інженерно-навігаційних властивостей,;
- моделювання процесів експлуатації суховантажного у цьому середовищі та постановку задач його функціонування;
- визначення показників ефективності та надійності функціональних операцій;
- постановку та розв'язання задачі оптимізаційного вибору основних габаритів суховантажного судна з досягненням показників ефективності та надійності їх максимальних значень.

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

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ.02						
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата							
Студент		Зінкевич В.В.			Дослідження морехідних якостей проектного рішення балкеру			Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник		Ястреба О.П.								71	25
Рецензент		Некрасов В.О.						НУК			
Зав.Каф.		Некрасов В.О.									

2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ БАЛКЕРА

2.1 Формування теоретичної поверхні балкера

Для формування поверхні корпусу балкера використовується програмний продукт Maxsurf Modeler Advanced [13], результати, представлені на рис. 2.1. За допомогою цього програмного продукту також створюються проєкції теоретичного креслення балкера (див. Рис. 2.2) для його побудови в AutoCAD.

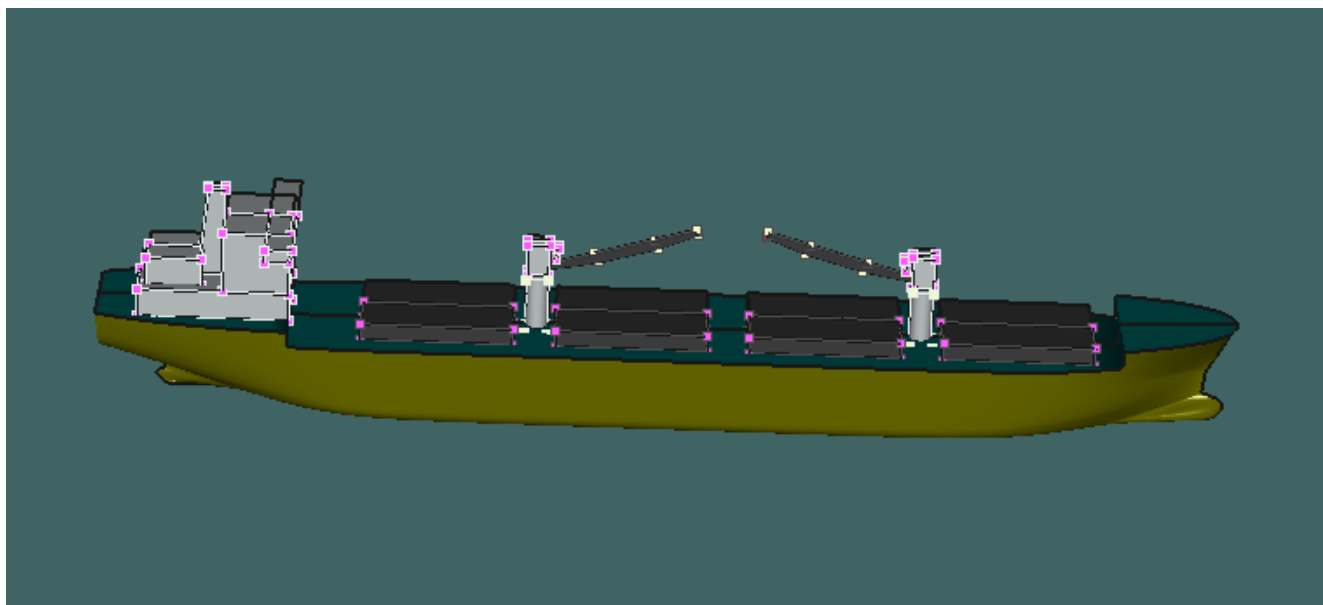
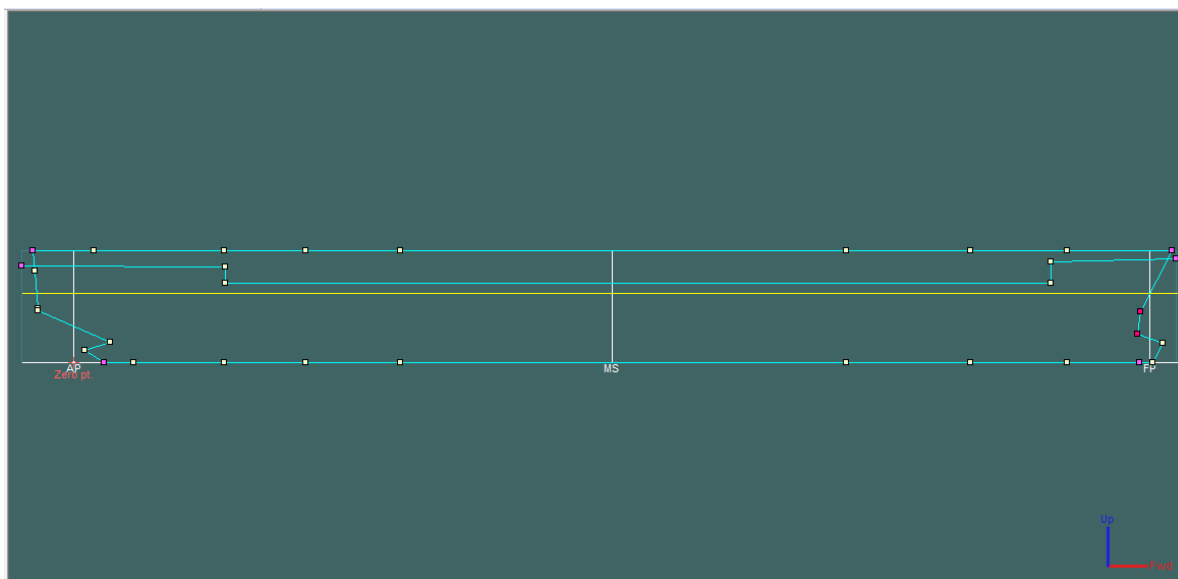
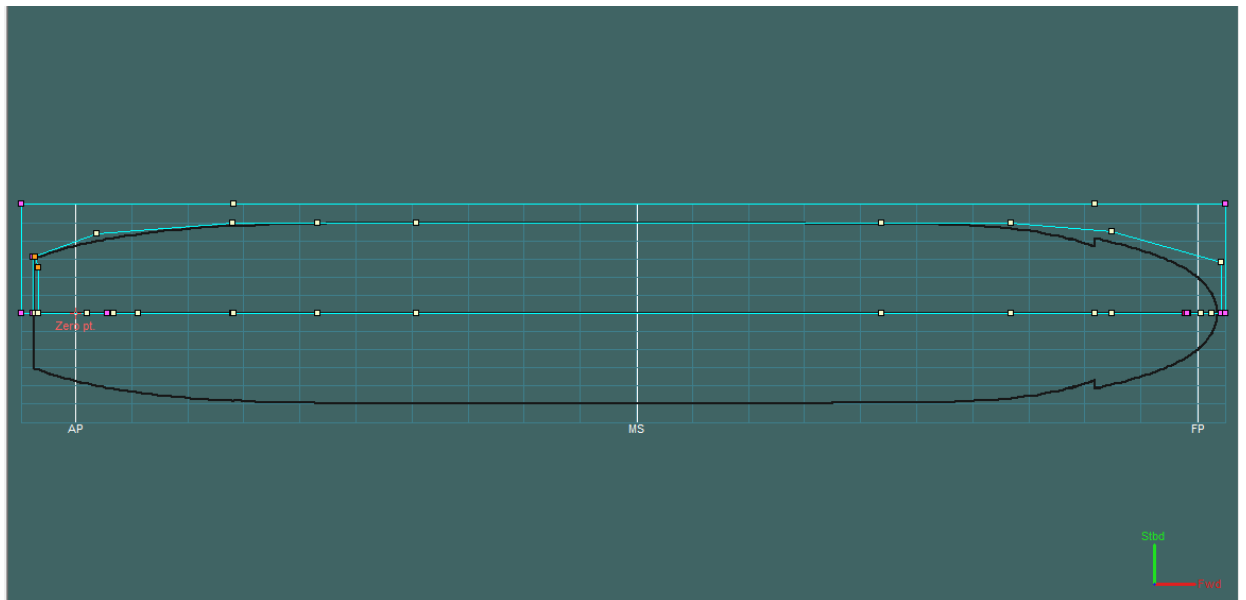


Рис 2.1 - Створення поверхні балкера в Maxsurf

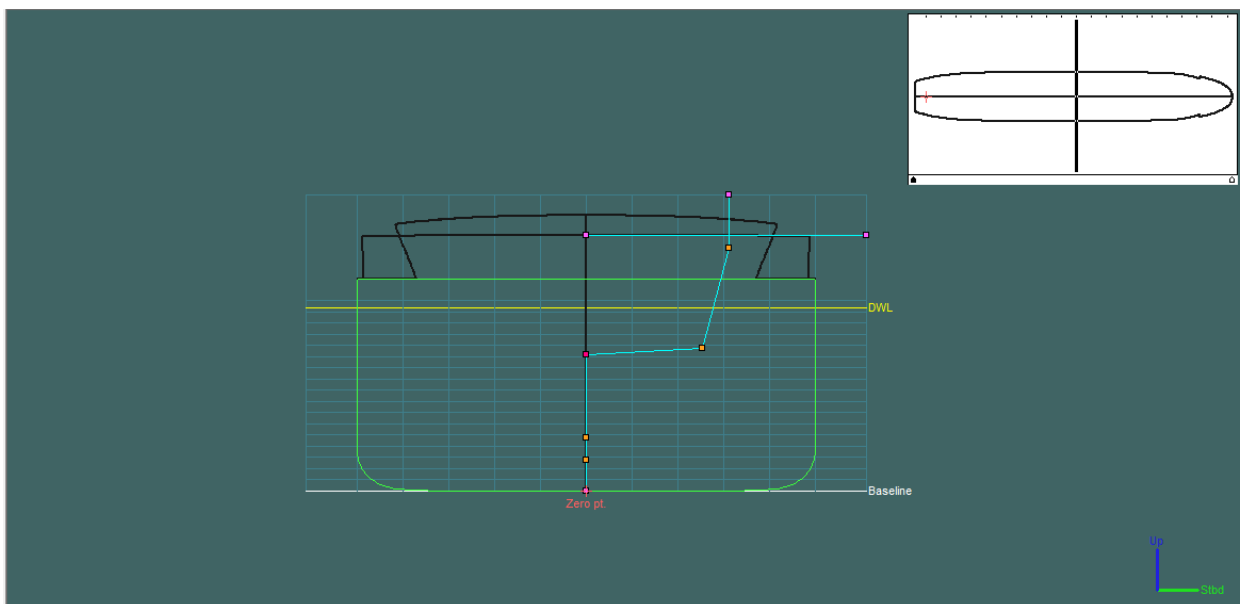


а)

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71



b)



c)

Рис 2.2 - Проекції теоретичного креслення балкера.

					24. ДРМ.135.6112м.06.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунок гідростатичних кривих – кривих елементів теоретичного креслення балкера

Для розрахунку кривих елементів теоретичного креслення судна використовується програмне забезпечення Maxsurf Stability Advanced, результати якого представлені в таблиці 2.1 та на рисунку 2.1.

	Draft Amidships m	7,600	7,200	6,800	6,400	6,000	5,600	5,200	4,800	4,400	4,000	3,600	3,200	2,800	2,400	2,000
1	Displacement t	20049	18848	17660	16487	15328	14182	13049	11931	10826	9735	8658	7597	6550	5516	4496
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	0,0	0,0	0,0
3	Draft at FP m	7,600	7,200	6,800	6,400	6,000	5,600	5,200	4,800	4,400	4,000	3,600	3,200	2,800	2,400	2,000
4	Draft at AP m	7,600	7,200	6,800	6,400	6,000	5,600	5,200	4,800	4,400	4,000	3,600	3,200	2,800	2,400	2,000
5	Draft at LCF m	7,600	7,200	6,800	6,400	6,000	5,600	5,200	4,800	4,400	4,000	3,600	3,200	2,800	2,400	2,000
6	Trim (+ve by stern)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	WL Length m	153,55	152,15	150,76	149,37	147,97	146,58	145,21	143,92	142,74	141,68	140,81	140,23	142,17	144,44	145,17
8	Beam max extents	22,500	22,500	22,500	22,500	22,500	22,500	22,500	22,500	22,500	22,500	22,500	22,500	22,500	22,495	22,383
9	Wetted Area m²	4603,1	4461,5	4323,0	4185,6	4050,3	3917,2	3783,6	3653,1	3526,5	3397,6	3266,4	3133,9	3002,0	2863,0	2725,5
10	Waterpl. Area m²	2947,4	2912,2	2878,1	2843,9	2810,4	2778,3	2743,9	2711,7	2677,4	2643,3	2607,8	2571,3	2535,8	2506,1	2465,2
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,760	0,762	0,764	0,766	0,768	0,770	0,772	0,773	0,774	0,774	0,773	0,771	0,754	0,737	0,726
12	Block coeff. (Cb)	0,745	0,746	0,747	0,748	0,749	0,749	0,749	0,749	0,747	0,745	0,741	0,734	0,713	0,690	0,675
13	Max Sect. area coe	0,980	0,979	0,978	0,976	0,975	0,973	0,971	0,968	0,965	0,962	0,958	0,952	0,946	0,937	0,929
14	Waterpl. area coeff.	0,853	0,851	0,848	0,846	0,844	0,842	0,840	0,837	0,834	0,829	0,823	0,815	0,793	0,771	0,759
15	LCB from zero pt. (	76,048	76,315	76,576	76,828	77,075	77,315	77,554	77,787	78,019	78,251	78,484	78,724	78,977	79,234	79,482
16	LCF from zero pt. (	71,560	72,175	72,752	73,319	73,850	74,332	74,851	75,289	75,749	76,169	76,582	76,972	77,317	77,891	78,404
17	KB m	4,025	3,810	3,595	3,381	3,168	2,956	2,743	2,532	2,321	2,110	1,900	1,690	1,481	1,271	1,060
18	KG m	7,600	7,600	7,600	7,600	7,600	7,600	7,600	7,600	7,600	7,600	7,600	7,600	7,600	7,600	7,600
19	BMt m	5,554	5,848	6,177	6,548	6,969	7,452	8,010	8,663	9,436	10,365	11,504	12,926	14,754	17,175	20,342
20	BML m	228,54	234,16	240,96	248,70	257,97	269,22	281,58	297,20	315,11	337,18	364,05	397,98	443,82	513,57	611,49
21	GMt m	1,979	2,058	2,172	2,329	2,538	2,808	3,154	3,594	4,156	4,875	5,803	7,016	8,635	10,846	13,802
22	GML m	224,97	230,37	236,96	244,48	253,54	264,58	276,72	292,14	309,83	331,69	358,35	392,07	437,70	507,24	604,95
23	KMt m	9,579	9,658	9,772	9,929	10,138	10,408	10,754	11,194	11,756	12,475	13,403	14,616	16,235	18,446	21,402
24	KML m	232,57	237,97	244,56	252,08	261,14	272,18	284,32	299,74	317,43	339,29	365,95	399,67	445,30	514,84	612,55
25	Immersion (TPC) to	30,211	29,851	29,501	29,150	28,807	28,478	28,125	27,795	27,444	27,094	26,731	26,356	25,993	25,688	25,269
26	MTC tonne m	300,53	289,31	278,83	268,58	258,93	250,01	240,61	232,23	223,49	215,15	206,74	198,45	191,01	186,42	181,22
27	RM at 1deg = GMt	692,43	676,92	669,50	670,26	678,80	694,88	718,19	748,42	785,32	828,27	876,96	930,19	987,02	1044,0	1082,9
28	Max deck inclinatio	0,0000	0,0000	0,0000	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	0,0000	0,0000	0,0000	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 21 - Розрахункові значення кривих елементів теоретичного креслення балкера

Гідростатичні криві наведено у додатку. Вони свідчать про те, що отримане концептуальне проектне рішення задовольняє вимогам Міжнародної конвенції про вантажну марку по запасу плавучості:

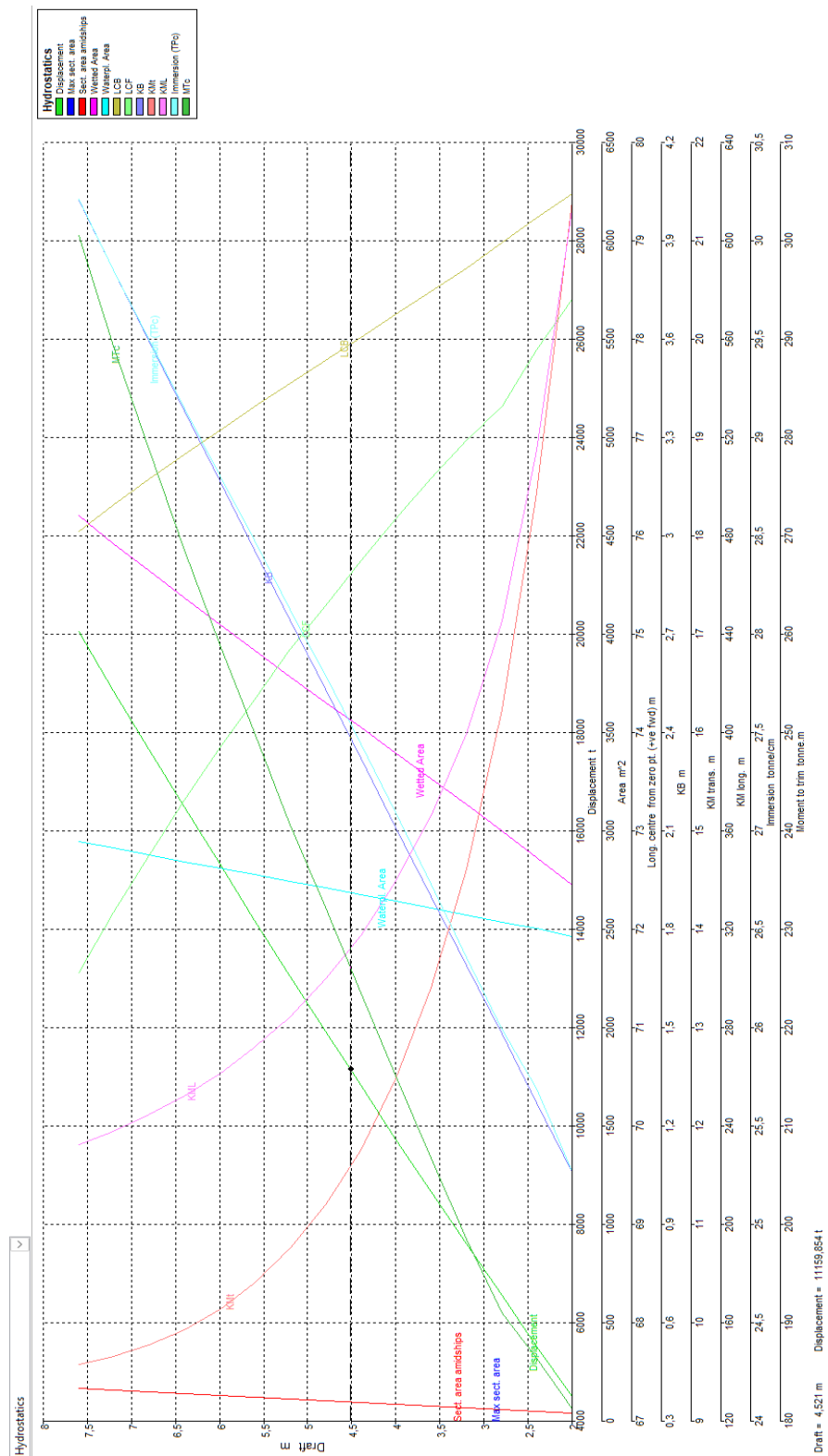


Рисунок 4.3 - Гідростатичні криві - криві елементів теоретичного креслення балкера

- висота надводного борту $D-d = 10,8 - 7,6 = 3,2$ м, при значенні мінімального надводного борту згідно з вимогами до Вантажної марки [8] для судна довжиною 150 м $(D-d)_{\min} = 2,315$ м.

та вимогам ІМО до початкової остійності при $h = 3,4$ м при значенні мінімальної поперечної метацентричної висоти $h_{\min} = 0.15$ м.

2.3 Розрахунок остійності при великих кутах нахилу.

Відповідно до вимог ІМО, остійність балкера слід перевіряти за наступними варіантами навантаження:

- судно із повними запасами;

Дані про завантаження судна представлені на рис. 2.4. Результати розрахунку остійності при 100% навантаженні наведені на рис. 2.5-2.6.

Перевірка стійкості виконується з використанням вимог ІМО, результати перевірки представлені в рис. 2.7.

	Item Name	Specific gravity	Fluid type	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	LightShip			1	6222,800	6222,800			75,041	0,000	6,800	0,000	
2	Total Lightship					6222,800			75,041	0,000	6,800	0,000	
3	Tank001_PS	Tank default	Water Balla	0%	893,102	0,000	871,319	0,000	28,915	-0,005	0,000	0,000	Maximum
4	Tank012_PS	Tank default	Water Balla	0%	499,809	0,000	487,618	0,000	56,893	-10,114	2,200	0,000	Maximum
5	Tank002_PS	Tank default	Water Balla	0%	329,067	0,000	321,041	0,000	56,893	-0,989	0,000	0,000	Maximum
6	Tank003_PS	Tank default	Water Balla	0%	328,020	0,000	320,020	0,000	81,898	-2,898	0,000	0,000	Maximum
7	Tank013_PS	Tank default	Water Balla	0%	497,647	0,000	485,509	0,000	81,898	-10,115	2,200	0,000	Maximum
8	Tank004_PS	Tank default	Water Balla	0%	200,302	0,000	195,416	0,000	106,844	-0,699	0,000	0,000	Maximum
9	Tank014_PS	Tank default	Water Balla	0%	295,974	0,000	288,756	0,000	106,844	-10,075	2,200	0,000	Maximum
10	Tank005_PS	Tank default	Water Balla	0%	351,696	0,000	343,118	0,000	124,068	-0,063	0,000	0,000	Maximum
11	Tank001_SB	Tank default	Water Balla	0%	893,102	0,000	871,319	0,000	28,915	0,005	0,000	0,000	Maximum
12	Tank002_SB	Tank default	Water Balla	0%	329,067	0,000	321,041	0,000	56,893	0,989	0,000	0,000	Maximum
13	Tank012_SB	Tank default	Water Balla	0%	499,809	0,000	487,618	0,000	56,893	10,114	2,200	0,000	Maximum
14	Tank003_SB	Tank default	Water Balla	0%	328,020	0,000	320,020	0,000	81,898	2,898	0,000	0,000	Maximum
15	Tank013_SB	Tank default	Water Balla	0%	497,647	0,000	485,509	0,000	81,898	10,115	2,200	0,000	Maximum
16	Tank004_SB	Tank default	Water Balla	0%	200,302	0,000	195,416	0,000	106,844	0,699	0,000	0,000	Maximum
17	Tank014_SB	Tank default	Water Balla	0%	295,974	0,000	288,756	0,000	106,844	10,075	2,200	0,000	Maximum
18	Tank005_SB	Tank default	Water Balla	0%	351,696	0,000	343,118	0,000	124,068	0,063	0,000	0,000	Maximum
19	Total Ballast			0%	6791,234	0,000	6625,594	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
20	Fresh Water_PS	Tank default	Fresh Water	98%	46,203	45,279	46,203	45,279	9,588	-6,993	9,168	0,000	Maximum
21	Fresh Water_SB	Tank default	Fresh Water	98%	46,203	45,279	46,203	45,279	9,588	6,993	9,168	0,000	Maximum
22	Total Fresh Water			98%	92,407	90,559	92,407	90,559	9,588	0,000	9,168	0,000	
23	Lube Oil PS	Tank default	Lube Oil	100%	47,868	47,868	52,031	52,031	15,226	-6,460	7,580	0,000	Maximum
24	Lube Oil SB	Tank default	Lube Oil	100%	47,868	47,868	52,031	52,031	15,226	6,460	7,580	0,000	Maximum
25	Total Lube Oil			100%	95,736	95,736	104,061	104,061	15,226	0,000	7,580	0,000	
26	Cargo #1	Tank default	Cargo	100%	3906,379	3906,379	4595,740	4595,740	43,383	0,000	6,012	0,000	Maximum
27	Cargo #2	Tank default	Cargo	100%	3700,790	3700,790	4353,871	4353,871	69,253	0,000	6,014	0,000	Maximum
28	Cargo #3	Tank default	Cargo	100%	3698,570	3698,570	4351,258	4351,258	94,251	0,000	6,014	0,000	Maximum
29	Cargo #4	Tank default	Cargo	94,6%	2848,067	2694,271	3350,667	3169,731	116,386	0,000	5,808	7852,965	Maximum
30	Total Cargo			98,91%	14153,806	14000,011	16651,537	16470,601	77,709	0,000	5,974	7852,965	
31	Fuel 1	Tank default	Fuel Oil	95,3%	89,614	85,402	94,900	90,439	127,000	0,000	5,678	172,885	Maximum
32	Fuel 2	Tank default	Fuel Oil	100%	312,535	312,535	330,970	330,970	24,528	0,000	5,600	0,000	Maximum
33	Total Fuel			98,95%	402,148	397,936	425,869	421,409	46,520	0,000	5,617	172,885	
34	Bow	Tank default	Tank default	0%	293,187	0,000	286,036	0,000	145,083	0,000	0,000	0,000	Maximum
35	Total Loadcase					20807,042	24185,504	17086,629	75,731	0,000	6,235	8025,850	
36	FS correction										0,386		
37	VCG fluid										6,621		

Рисунок 2.4 - Дані масового навантаження судна

	Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0	120,0
1	GZ m	-1,329	-1,038	-0,522	0,000	0,522	1,038	1,328	1,525	1,453	1,182	0,792	0,336	-0,145	-0,618	-1,053	-1,418
2	Area under GZ curv	22,476	10,494	2,5772	0,0000	2,5764	10,497	22,465	36,866	51,982	65,276	75,216	80,893	81,855	78,023	69,614	57,218
3	Displacement t	20806	20805	20807	20807	20807	20807	20807	20807	20807	20807	20807	20807	20807	20807	20807	20807
4	Draft at FP m	8,481	7,927	7,813	7,798	7,813	7,924	8,483	9,215	10,296	11,993	15,239	24,690	n/a	12,287	2,892	-0,199
5	Draft at AP m	7,729	7,760	7,856	7,896	7,856	7,764	7,728	7,797	8,050	8,492	9,345	11,831	n/a	-2,002	-4,549	-5,564
6	WL Length m	155,40	154,78	154,53	154,39	154,53	154,78	155,40	156,24	158,22	159,48	159,67	159,16	158,12	156,38	154,27	156,89
7	Beam max extents	20,712	21,993	22,847	22,500	22,847	21,995	20,713	19,053	16,331	14,480	13,480	13,104	13,021	13,757	14,694	15,996
8	Wetted Area m^2	5606,1	4915,6	4696,7	4694,5	4696,7	4915,8	5588,6	6181,4	6497,5	6666,8	6977,8	6987,9	6848,9	7332,4	7498,7	7828,5
9	Waterpl. Area m^2	2754,5	2828,8	3009,9	2972,1	3009,9	2829,0	2754,5	2500,7	2189,0	1963,2	1823,1	1751,5	1738,1	1787,2	1861,1	1992,6
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,767	0,763	0,760	0,759	0,760	0,763	0,767	0,771	0,770	0,770	0,773	0,778	0,785	0,795	0,805	0,787
11	Block coeff. (Cb)	0,538	0,573	0,628	0,741	0,628	0,573	0,538	0,532	0,575	0,619	0,655	0,630	0,577	0,518	0,475	0,426
12	LCB from zero pt. (	75,740	75,745	75,730	75,729	75,730	75,734	75,744	75,753	75,763	75,772	75,781	75,788	75,793	75,794	75,793	75,793
13	LCF from zero pt. (	71,042	70,724	71,275	71,086	71,275	70,724	71,044	72,401	73,221	73,283	73,090	72,763	72,272	71,545	72,081	72,293
14	Max deck inclinatio	30,000	20,000	10,000	0,0374	10,000	20,000	30,000	40,001	50,002	60,002	70,001	80,001	90,000	99,998	109,99	119,99
15	Trim angle (+ve by	-0,287	-0,063	0,0167	0,0374	0,0165	-0,060	-0,288	-0,541	-0,857	-1,336	-2,249	-4,897	-90,00	-5,438	-2,838	-2,047

Рисунок 2.5 - Результати розрахунку статичної стійкості для повного навантаження

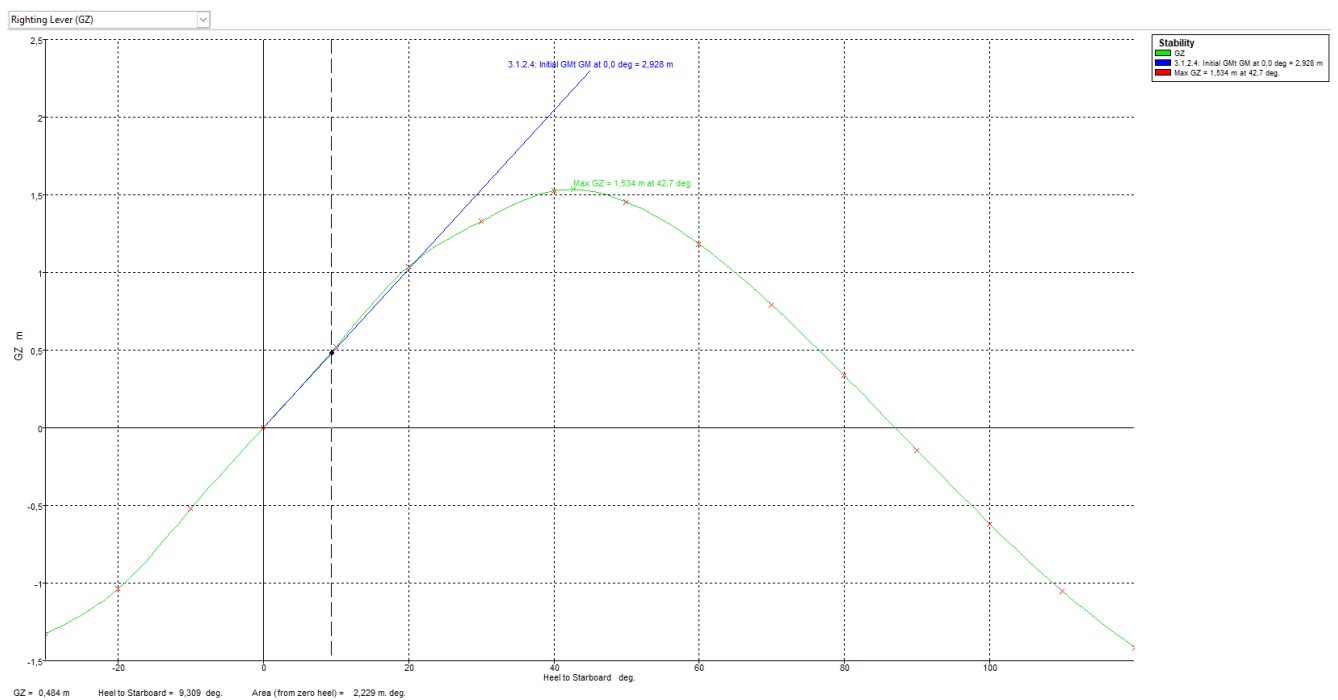


Рисунок 2.6 - Діаграма статичної остійності для випадку повного навантаження

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	87,0	deg			
7		shall not be less than ($\geq$)	3,1513	m.deg	22,4658	Pass	+612,91
8							
9	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		from the greater of					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first downflooding angle	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	87,0	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	5,1566	m.deg	36,8667	Pass	+614,94
17							
18	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
19		in the range from the greater of					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	90,0	deg			
23		angle of max. GZ	42,7	deg	42,7		
24		shall not be less than ($\geq$)	0,200	m	1,534	Pass	+667,00
25		Intermediate values					
26		angle at which this GZ occurs		deg	42,7		
27							
28	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
29		shall not be less than ($\geq$)	25,0	deg	42,7	Pass	+70,91
30							
31	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
32		spec. heel angle	0,0	deg			
33		shall not be less than ($\geq$)	0,150	m	2,928	Pass	+1852,00
34							

Рисунок 2.7 - Перевірка вимог остійності при повному навантаженні

За результатами остійності балкер відповідає вимогам ІМО щодо стійкості. неущкодженого судна.

2.4 Розрахунок остійності пошкодженого судна при затопленні машинного відсіку.

Відповідно до вимог Marpol, остійність балкера слід перевіряти за наступними варіантами навантаження:

- судно із повними запасами;
- затоплення машинного відсіку.

Дані про завантаження судна представлені на рис. 2.4.

Вибираємо варіант затоплення машинного відсіку (рис. 2.8).

Результати розрахунку остійності пошкодженого судна при затопленні машинного відсіку наведені на рис. 2.9-2.11.

Перевірка стійкості виконується з використанням вимог MARPOL, результати перевірки представлені в рис. 2.12.

Assembly			
- Design - Bow Thruster - Hold - Hull - Hatches - Hull - Deck - Bonded Transom - Deck(P) - Structure - Compartmentation - Compartmentation - Boundary1 - Boundary2 - Boundary3 - Boundary4 - Boundary5 - Tank012_PS - Tank013_PS - Tank014_PS - Tank005_PS - Tank012_SB - Tank013_SB - Tank014_SB - Tank005_SB			
Room		Intact	DamageCa
1	Tank001_PS	☐	☐
2	Tank012_PS	☐	☐
3	Tank002_PS	☐	☐
4	Tank003_PS	☐	☐
5	Tank013_PS	☐	☐
6	Tank004_PS	☐	☐
7	Tank014_PS	☐	☐
8	Tank005_PS	☐	☐
9	Tank001_SB	☐	☐
10	Tank002_SB	☐	☐
11	Tank012_SB	☐	☐
12	Tank003_SB	☐	☐
13	Tank013_SB	☐	☐
14	Tank004_SB	☐	☐
15	Tank014_SB	☐	☐
16	Tank005_SB	☐	☐
17	Fresh Water_PS	☐	☐
18	Fresh Water_SB	☐	☐
19	Lube Oil PS	☐	☐
20	Lube Oil SB	☐	☐
21	Cargo #1	☐	☐
22	Cargo #2	☐	☐
23	Cargo #3	☐	☐
24	Cargo #4	☐	☐
25	Fuel 1	☐	☐
26	Fuel 2	☐	☐
27	Engine Room	☐	☒
28	Stern	☐	☐
29	Bow	☐	☐
30	Bow Thruster	☐	☐

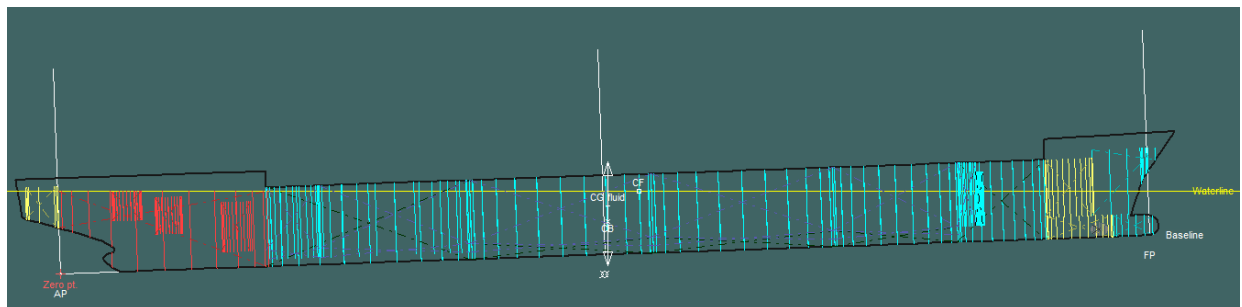


Рисунок 2.8 – Затоплення машинного відділення

	Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0	120,0
1	GZ m	-0,979	-0,818	-0,458	0,000	0,458	0,819	0,979	1,027	0,943	0,736	0,447	0,113	-0,238	-0,582	-0,905	-1,185
2	Area under GZ curv	17,955	8,8496	2,3208	0,0000	2,3219	8,8459	17,970	28,092	38,058	46,540	52,509	55,334	54,711	50,599	43,133	32,663
3	Displacement t	20805	20807	20807	20807	20807	20806	20807	20807	20807	20807	20807	20807	20808	20807	20807	20807
4	Draft at FP m	6,132	6,023	6,001	6,055	5,999	6,021	6,134	6,241	6,306	6,345	6,359	6,438	n/a	-5,954	-6,229	-6,453
5	Draft at AP m	12,561	11,732	11,449	11,329	11,451	11,733	12,561	14,130	16,747	21,035	29,260	53,082	n/a	39,618	16,119	8,291
6	WL Length m	154,66	154,61	154,56	154,38	154,56	154,61	154,66	154,72	154,78	156,77	158,61	157,68	153,73	149,08	144,02	139,73
7	Beam max extents	20,772	22,069	22,847	22,500	22,847	22,073	20,773	18,998	16,309	14,475	13,847	13,872	14,030	14,076	14,532	15,001
8	Wetted Area m²	6359,3	5822,5	5249,9	5059,4	5250,2	5812,7	6414,1	6957,3	7237,2	7543,4	7937,0	7860,7	7662,8	8436,0	8434,9	8836,5
9	Waterpl. Area m²	2162,0	2320,9	2512,6	2518,5	2512,7	2320,9	2162,0	2026,2	1851,6	1704,5	1600,2	1554,3	1543,2	1540,7	1546,3	1591,3
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,624	0,621	0,610	0,607	0,610	0,621	0,624	0,627	0,628	0,623	0,618	0,622	0,634	0,650	0,666	0,674
11	Block coeff. (Cb)	0,462	0,484	0,522	0,534	0,521	0,484	0,462	0,460	0,496	0,523	0,490	0,444	0,457	0,418	0,416	0,421
12	LCB from zero pt. (	75,642	75,654	75,659	75,661	75,655	75,650	75,644	75,633	75,607	75,588	75,573	75,565	75,579	75,577	75,591	75,605
13	LCF from zero pt. (	82,204	80,775	79,270	80,025	79,264	80,777	82,204	83,430	83,576	84,019	84,950	86,489	87,410	87,854	88,277	88,598
14	Max deck inclinatio	30,068	20,100	10,205	2,0127	10,205	20,100	30,068	40,055	50,048	60,039	70,028	80,014	90,000	99,986	109,97	119,96
15	Trim angle (+ve by	2,4529	2,1784	2,0787	2,0127	2,0801	2,1799	2,4519	3,0088	3,9793	5,5901	8,6758	17,264	90,000	16,890	8,4694	5,6109

Рисунок 2.9 - Результати розрахунку статичної остійності пошкодженого судна

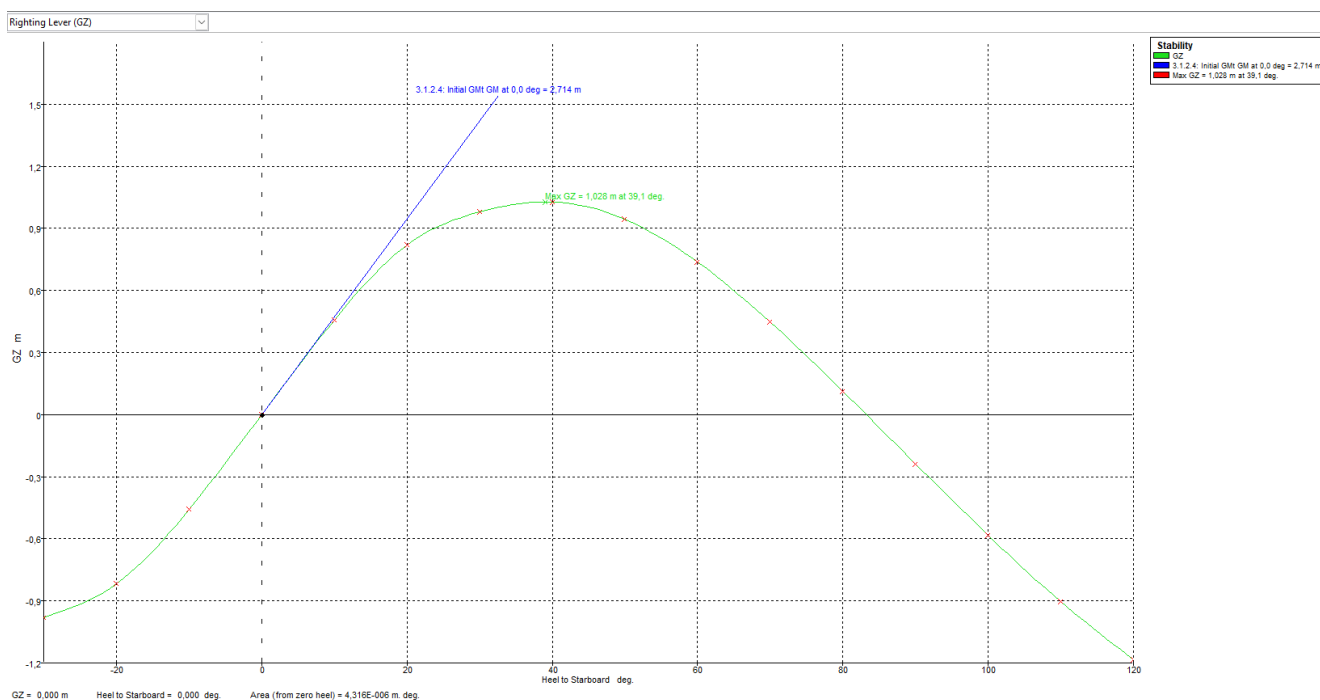


Рисунок 2.10 - Діаграма статичної остійності для випадку пошкодженого судна

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	Regulation 28 GZ-based	28.3.3 Range of positive stability including DF				Pass	
2		from the greater of					
3		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		first downflooding angle	n/a	deg			
6		angle of vanishing stability	83,2	deg	83,2		
7		shall not be less than ($\geq$)	20,0	deg	83,2	Pass	+316,15
8							
9	Regulation 28 GZ-based	28.3.3 Residual righting lever				Pass	
10		in the range from the greater of					
11		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,0)	deg	20,0		
14		angle of max. GZ	39,1	deg			
15		first downflooding angle	n/a	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	0,100	m	0,819	Pass	+719,00
17		Intermediate values					
18		angle at which this GZ occurs		deg	20,0		
19							
20	Regulation 28 GZ-based	28.3.3 Area under GZ curve				Pass	
21		from the greater of					
22		angle of equilibrium	0,0	deg	0,0		
23		to the lesser of					
24		spec. angle above equilibrium	20,0 (20,0)	deg	20,0		
25		first downflooding angle	n/a	deg			
26		angle of vanishing stability	83,2	deg			
27		shall not be less than ($\geq$)	1,0027	m.deg	8,8459	Pass	+782,21
28							

Рисунок 2.12 - Перевірка вимог остійності пошкодженого судна

За результатами остійності балкер відповідає вимогам MARPOL щодо остійності пошкодженого судна.

					24. ДРМ.135.6112м.06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

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

2.4.1 Розрахунок ходовості балкера у програмі Maxsurf Resistance [13]

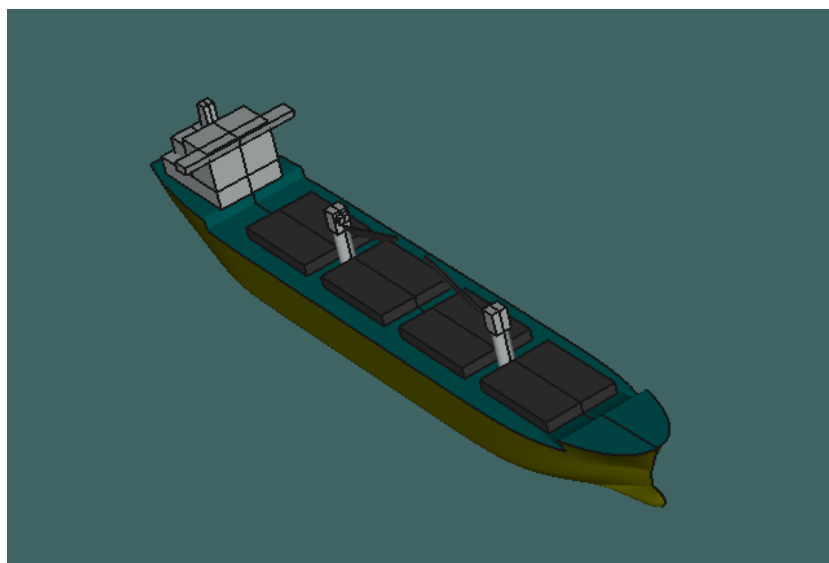


Рисунок 2.13 - Зображення поверхні балкера в Maxsurf Resistance

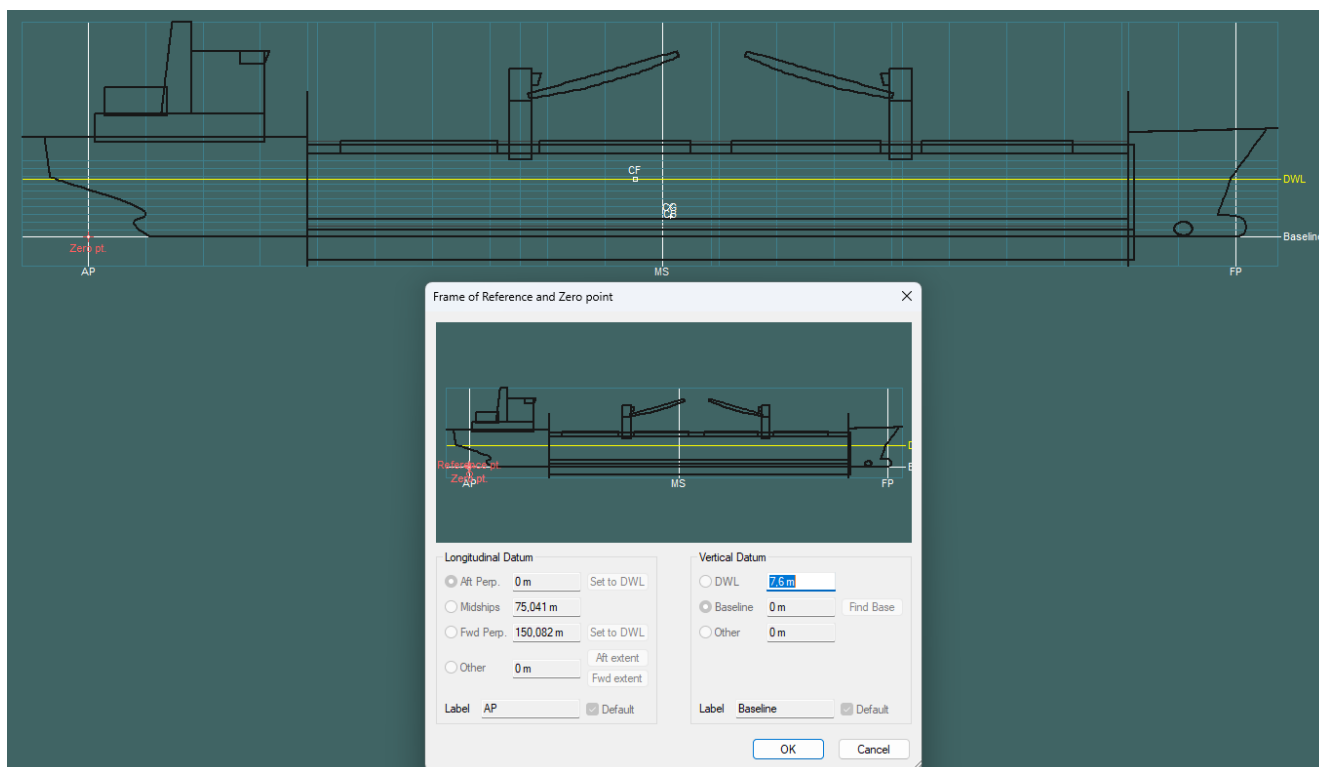


Рисунок 2.14 – Встановлення необхідної осадки балкера

					24. ДРМ.135.6112м.06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

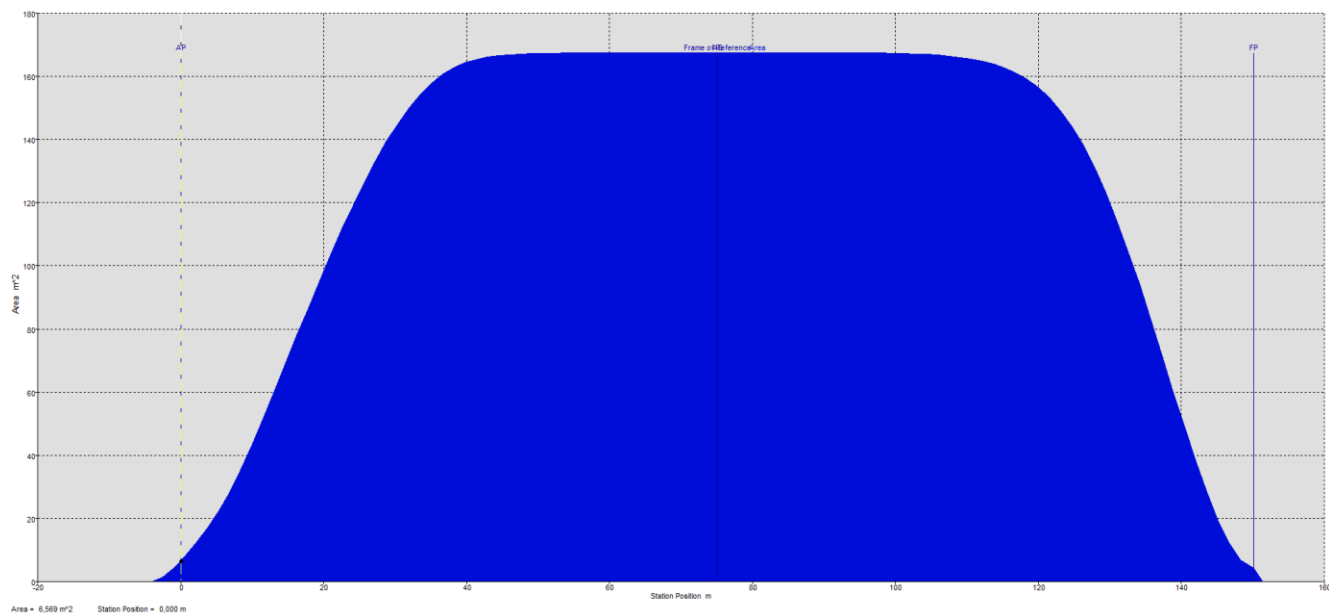


Рисунок 2.15 - Крива занурених площ шпангоутів

					24. ДРМ.135.6112м.06.ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	20807	t
2	Volume (displaced)	20167,934	m ³
3	Draft Amidships	7,600	m
4	Immersed depth	7,600	m
5	WL Length	153,553	m
6	Beam max extents o	22,500	m
7	Wetted Area	4648,518	m ²
8	Max sect. area	167,580	m ²
9	Waterpl. Area	2949,322	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,761	
11	Block coeff. (Cb)	0,746	
12	Max Sect. area coeff	0,980	
13	Waterpl. area coeff.	0,854	
14	LCB length	76,095	from z
15	LCF length	71,565	from z
16	LCB %	49,556	from z
17	LCF %	46,606	from z
18	KB	4,023	m
19	KG fluid	0,000	m
20	BMT	5,550	m
21	BML	228,521	m
22	GMt corrected	9,573	m
23	GML	232,544	m
24	KMt	9,573	m
25	KML	232,544	m
26	Immersion (TPc)	30,231	tonne/c
27	MTc	311,077	tonne.
28	RM at 1deg = GMt.Di	3354,364	tonne.
29	Length:Beam ratio	6,825	
30	Beam:Draft ratio	2,961	
31	Length:Vol ^{0.333} rati	5,696	
32	Precision	High	115 sta

Density (water)

Std. densities

VCG

Рисунок 2.16 – Начальні дані розрахунку ходовості балкера

Для отримання залежностей буксирувального опору та буксирувальної потужності був використаний програмний продукт Maxsurf Resistance, за допомогою якого результати розрахунків цих залежностей були представлені на рис. 2.17.

	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	0,016	0,5	0,186
3	1,000	0,013	0,032	2,0	1,358
4	1,500	0,020	0,047	4,2	4,355
5	2,000	0,027	0,063	7,3	9,964
6	2,500	0,033	0,079	11,0	18,948
7	3,000	0,040	0,095	15,6	32,047
8	3,500	0,046	0,111	20,8	49,988
9	4,000	0,053	0,127	26,8	73,486
10	4,500	0,060	0,142	33,4	103,245
11	5,000	0,066	0,158	40,8	139,963
12	5,500	0,073	0,174	48,9	184,331
13	6,000	0,080	0,190	57,6	237,034
14	6,500	0,086	0,206	67,0	298,765
15	7,000	0,093	0,221	77,1	370,231
16	7,500	0,099	0,237	87,9	452,179
17	8,000	0,106	0,253	99,4	545,428
18	8,500	0,113	0,269	111,6	650,915
19	9,000	0,119	0,285	124,7	769,751
20	9,500	0,126	0,301	138,6	903,283
21	10,000	0,133	0,316	153,5	1053,16
22	10,500	0,139	0,332	169,6	1221,41
23	11,000	0,146	0,348	186,9	1410,49
24	11,500	0,152	0,364	205,8	1623,35
25	12,000	0,159	0,380	226,4	1863,49
26	12,500	0,166	0,396	249,0	2134,98
27	13,000	0,172	0,411	273,9	2442,48
28	13,500	0,179	0,427	301,4	2791,29
29	14,000	0,186	0,443	331,9	3187,26
30	14,500	0,192	0,459	365,7	3636,73
31	15,000	0,199	0,475	403,1	4147,42
32	15,500	0,205	0,490	444,6	4727,37
33	16,000	0,212	0,506	490,3	5381,30
34	16,500	0,219	0,522	540,3	6114,51
35	17,000	0,225	0,538	595,5	6944,19
36	17,500	0,232	0,554	657,9	7897,36
37	18,000	0,239	0,570	728,0	8987,82
38	18,500	0,245	0,585	803,4	10194,8
39	19,000	0,252	0,601	880,4	11474,2
40	19,500	0,259	0,617	957,1	12802,1
41	20,000	0,265	0,633	1036,1	14214,3

Рисунок 2.17- Буксирувальний опір та буксирувальна потужність балкера при різних швидкостях

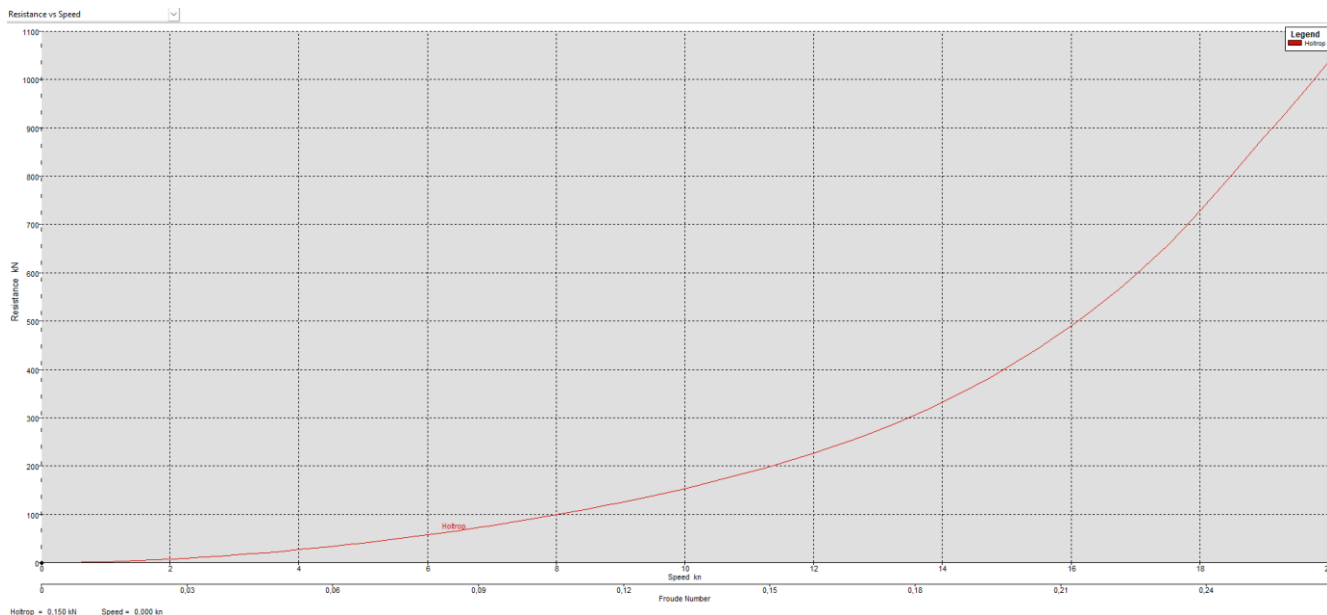


Рисунок 2.18 – Буксировальний опір балкера при різних швидкостях

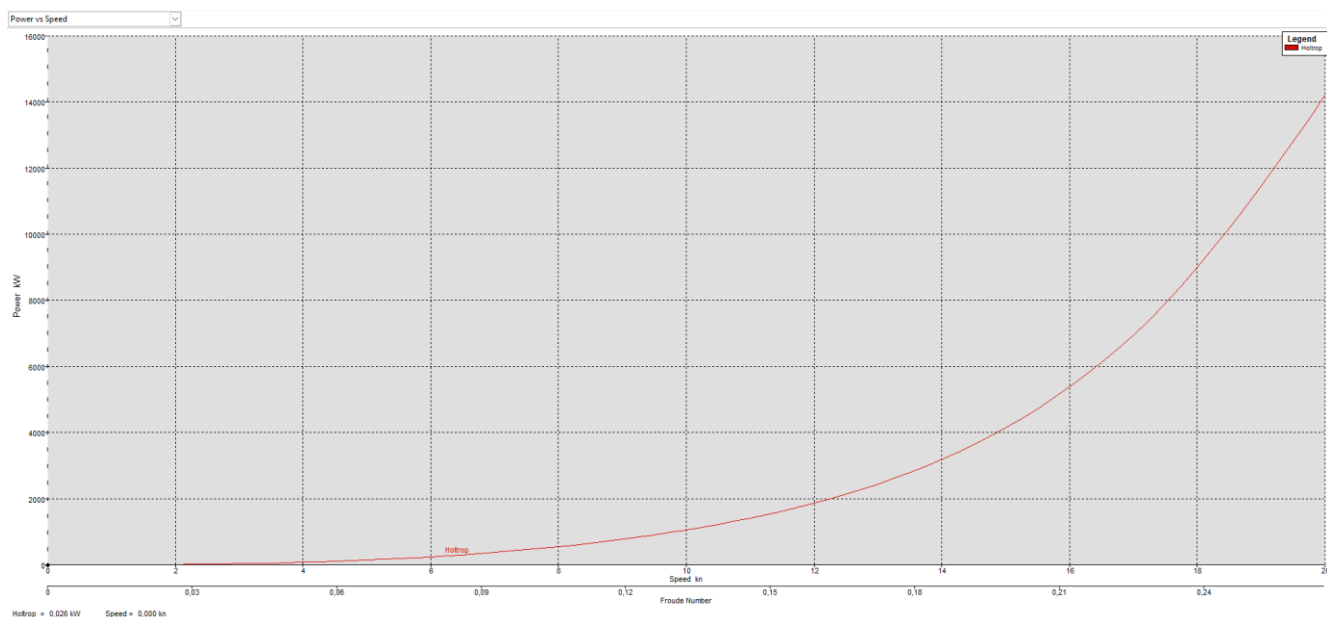


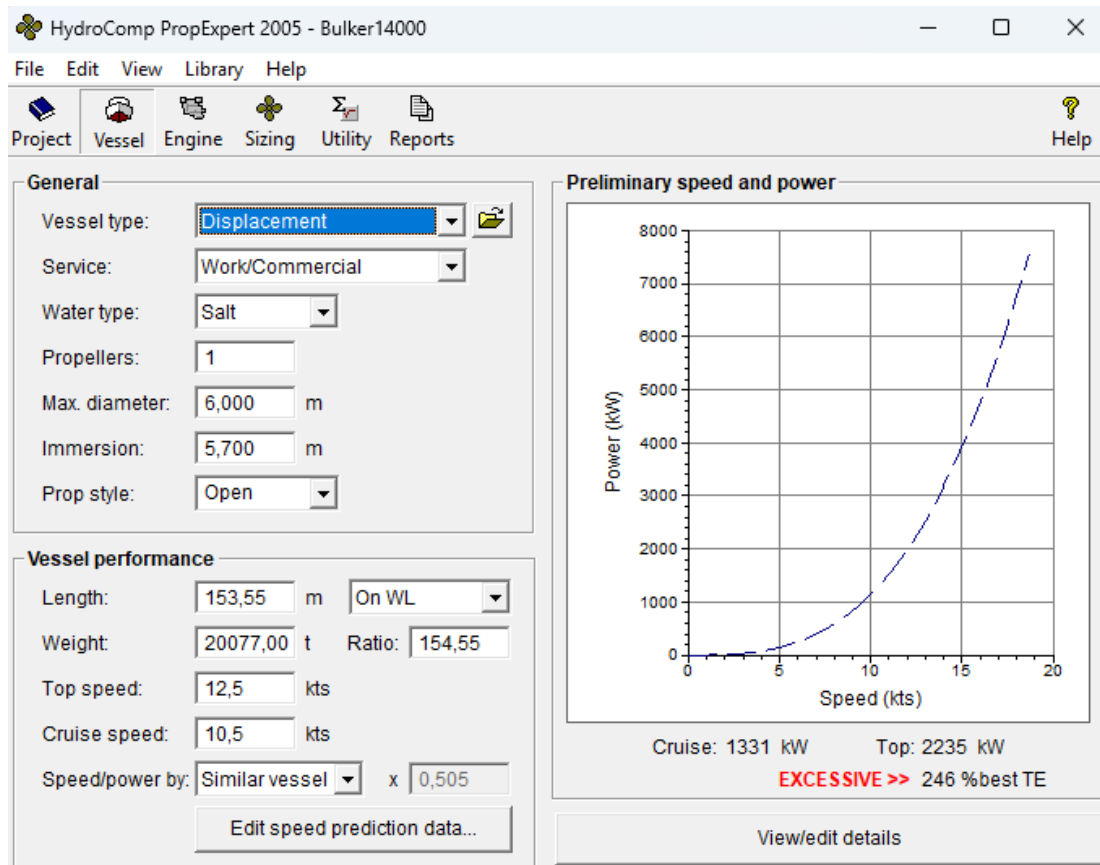
Рисунок 2.19 – Буксирувальна потужність балкера при різних швидкостях

Отримані значення буксировального опору та буксировальної потужності балкера при отриманій оптимальній швидкості 12,5 вузлів склали:
249 кН та 2135 кВт.

					24. ДРМ.135.6112м.06.ПЗ	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 представлені на рис. 2.20 - 2.24.



Based on similar vessel

Observed condition

Data confidence: High Low

Trial speed: 12,5 kts

Trial performance

Vessel drag: 249,00 kN

System efficiency: 100,0 %

Get from vessel database

Vessel

Client: Mitsiuk

Vessel: Bulker14000

Vessel type: Displacement

Service: Work/Commercial

Length: 153,55 m On WL

Weight: 20077,00 t

Propellers: 1

OK Cancel Help

Рис 2.20 – Дані про балкер

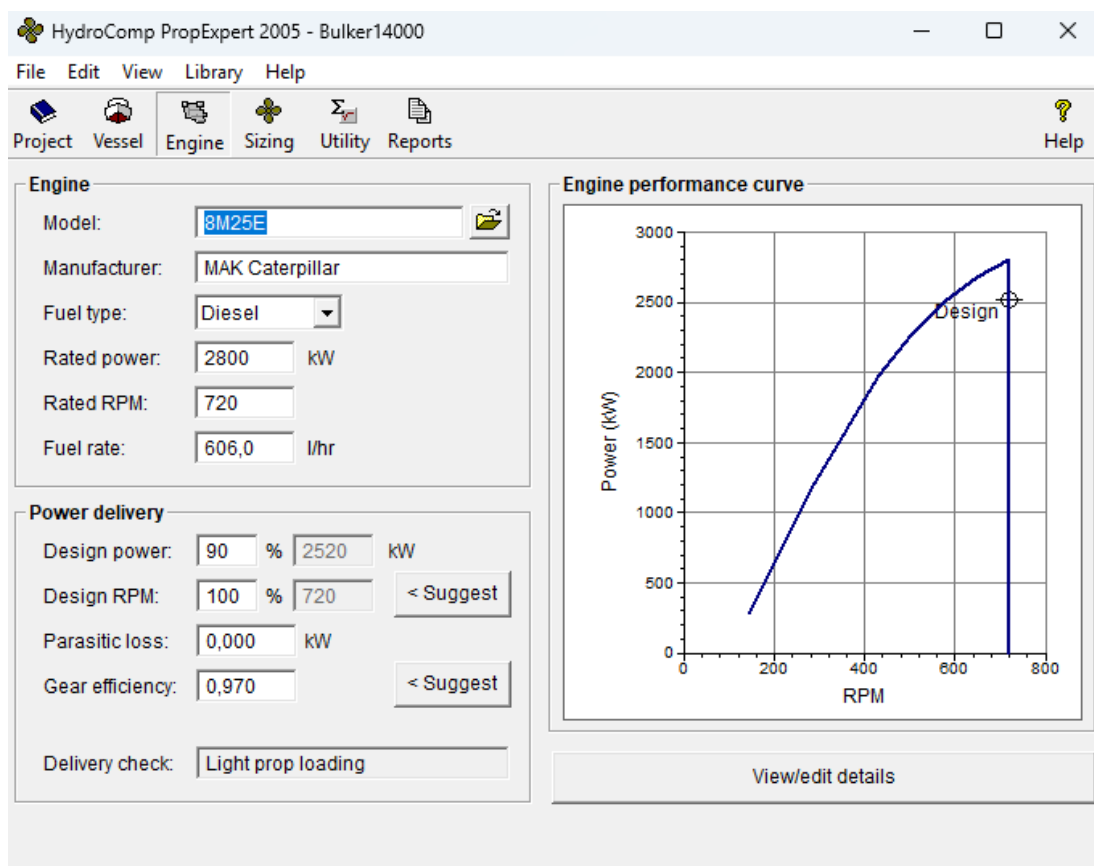


Рис 2.21 – Параметри двигуна

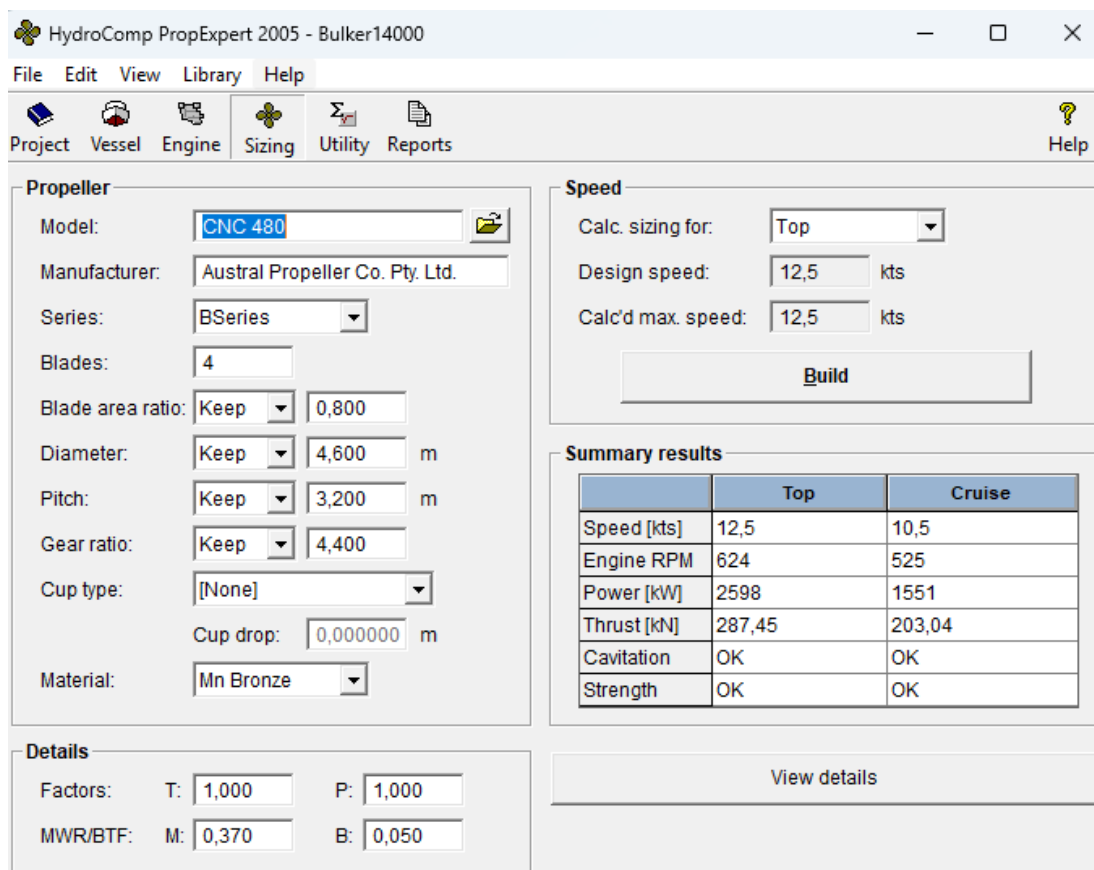


Рис 2.22 - Параметри обраного суднового гвинта

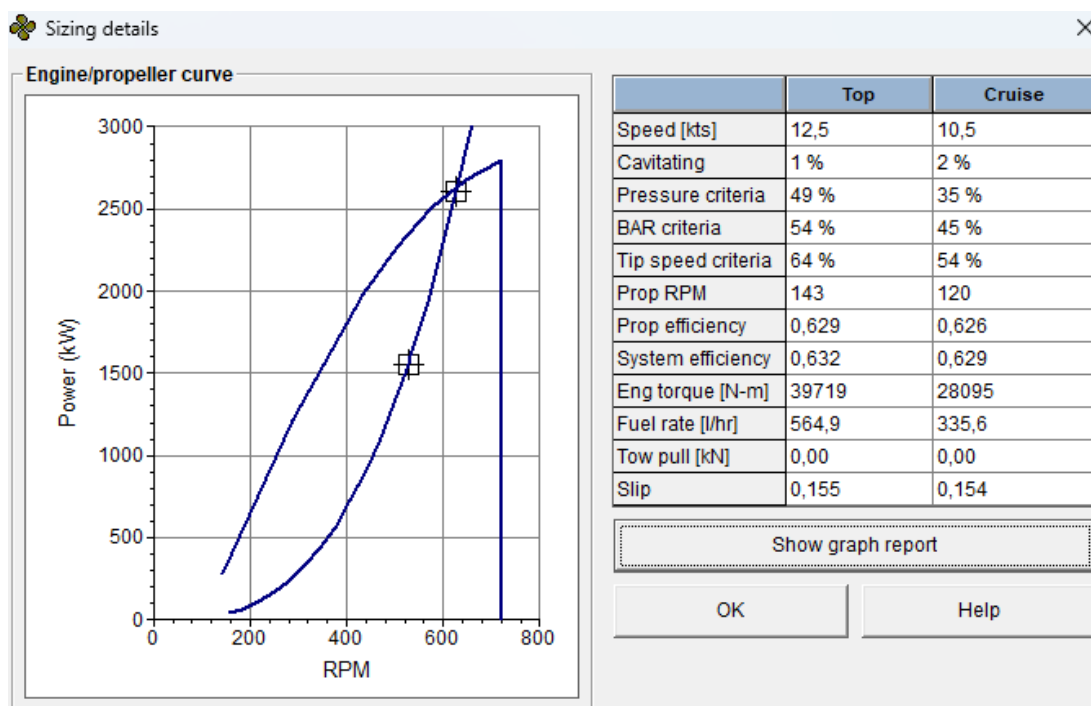


Рис 2.23 – Характеристика силового рушійного комплексу

HydroComp PropExpert 2005 - Bulker14000

File Edit View Library Help

Project Vessel Engine Sizing Utility Reports

Shafting

Material: Stainless Steel 304

Shear strength: 137895,1 kPa

Safety factor: 10 <Suggest

Calc power: 2716 kW

Calc shaft RPM: 164

Req'd min diam: 0,4065 m

SF Top: 10,7

SF Cruise: 15,2

Duty cycle

Time at Top: 100 % <Suggest

at 12,5 kts

Time at Cruise: 0 % <Suggest

at 10,5 kts

Hours/year: 0

Total annual fuel: 0 liter

Engine/propeller resonance

Cylinders: 6

Firing frequency: 2160 1/min

Blade frequency: 655 1/min

Phase check: OK

Рис 2.24 – Необхідні параметри валу

Як впливає з результатів цих розрахунків, для досягнення проектної швидкості розглянутого балкера 12.5 вузлів потрібно мати головний двигун потужністю 2716 кВт. Однак такого двигуна в каталогах двигунів немає. Тому обирається двигун мануфактури Caterpillar [14] потужністю 2800 кВт але відповідний йому оптимальний 4-й лопатевий гвинт мануфактури Austral Propeller Co діаметром 4.6 м відсутній у каталозі, тому будемо проектувати гвинт у програмі HydroComp PropCAD, 2005 [16] який дасть можливість розвинути максимальну швидкість спроектованому балкеру 15.2 вузлів, що більше оптимальної проектної швидкості 12.5 вузлів.

2.4.3. Проектування гвинта в програмі Hydrocomp PropCAD [16]

Вибір типу та елементів рушійної системи, а також її раціональне компонування з корпусом багато в чому визначають рушійні якості балкера.

Балкери використовують звичайні гвинти з горизонтальними валами. Такі рухові системи мають досить високий ККД.

Вибір кількості лопатей. Для гвинтів кількість лопатей повинна бути якомога меншою, оскільки зі зменшенням кількості лопатей ефективність гвинтів в режимах роботи зростає. Гвинти з чотирма лопатями мають високу ефективність.

Труднощі із використанням чотирилопасних гвинтів призвели до того, що кавітації чотирилопасних гвинтів були найпоширенішими на сучасних балкерах.

Розрахунок оптимальних елементів та характеристик гвинта (необхідної потужності та швидкості) визначається параметрами головного двигуна.

Такий розрахунок виконується за допомогою програми PropCAD.

Результати розрахунку представлені на рис.2.25 - 2.29.

					24. ДРМ.135.6112м.06.ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

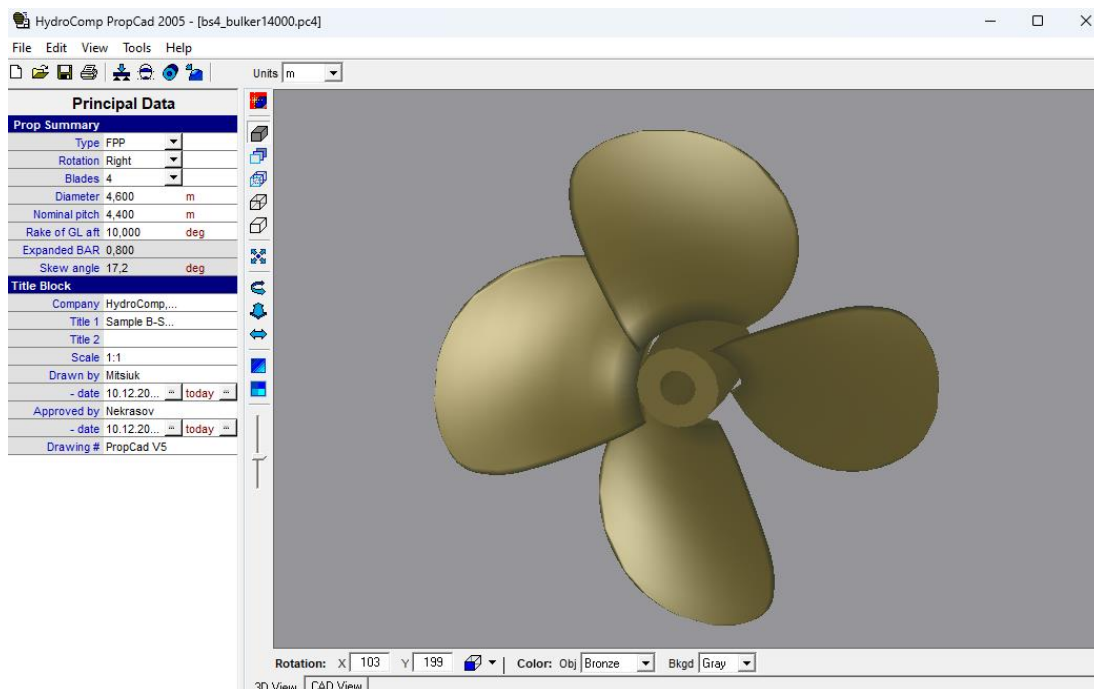


Рис 2.25 – Спроектуйте модель гвинта в HydroComp PropCAD

Principal characteristics

Show	Text	Value	Units
☒	Propeller type	FPP	
☒	Rotation	Right	
☒	Number of blades	4	
☒	Diameter	4,60000	m
☒	Pitch (nominal)	4,40000	m
☒	Expanded area ratio	0,800	
☒	Rake aft	10	Deg
☒	Skew	17,2	Deg
☒	Material type	Mn-Ni-Al bronz	
☒	Density	7,5	g/cm3
☒	Design power	2800	kW
☒	Design RPM	720	
☒	Thickness rule	ABS Large	
☒	Weight	10655,4	kg
☒	Mass moment of inertia	10620,92	kg-m2

Buttons: Insert, Delete, Copy, Paste, OK, Cancel, Help

Рис 2.26 – Основні характеристики гвинта

Material/strength properties

Classification Society: ABS

Rule parameters

Thickness rule: ABS Steel Vessels (2003)

Material type: Mn-Ni-Al bronze [5]

Loading: Free-run

Design conditions

Material density: 7,5 g/cm3

Design power: 2800 kW

Design RPM: 720

OK Cancel Help

Рис 2.27– Властивості матеріалу та міцності гвинта

Prop Builder

Blade geometry

Sections and r/R: B-series

Pitch distribution: 80% hub

Expanded BAR: 0,8

Outline: BB-series

Rake aft: 10 deg

Rake distribution: Linear

Exp skew at tip/D: 0

Skew distribution: BB-series

Hub diam/D: 0,1804347

Hub/shafting

Shaft diameter: 0,4 m

Hub rule: [User]

Shaft taper: 1 / 16

Hub length: 1,21 m

Thickness

Thickness rule: B-series

Tip/edge thickness: 0,01380 m

Root thickness: 0,14904 m

@ r/R: 0,30

Thickness distribution: Linear

☐ Camber

Camber/chord (f/c): 0

Peak chord-wise position: 0

Camber shape: C-shape (arc)

Radial f/c distribution: Constant

Peak r/R position: 0

☐ Cupping

Drop: 0 m

Root fairing: 0 to 0

Tip fairing: 0 to 0

Build Cancel Help

Рис 2.28 – Дані конструктора гвинта

					24. ДРМ.135.6112м.06.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

ВИСНОВКИ

Відповідно до завдання кафедри теорії та проектування суден у даній дипломній роботі реалізовано дослідження двох етапів процесу проектування балкера – концептуального (дослідницького, оптимізаційного) та технічного проектування навалочного судна для експлуатації на лінії порт Південний – порт Варна.

При розробці концептуального проекту було виконано:

- формування моделей експлуатації навалочного судна та його інженерно-навігаційних властивостей, необхідних для аналізу всього комплексу функціональних операцій цього судна за умов його експлуатації у Чорномуморі;
- моделювання процесів експлуатації навалочного судна у цьому середовищі та постановку задач його функціонування;
- визначення показників ефективності та надійності функціональних операцій на основі використання сучасних методів їх дослідження та відповідних методів вирішення проблем функціонування судна;
- постановку та розв'язання задачі оптимізаційного вибору основних габаритів балкера на основі його поступового "занурення" в робоче середовище з подальшою зупинкою процесу оптимізації при досягненні показників ефективності та надійності їх максимальних значень.

Виходячи з цього, основні розміри балкера були визначені за допомогою скоригованої оптимізаційної програми кафедри теорії та проектування суден, в якій як критерій оптимізації було обрано максимальний прибуток, і таким чином вирішено питання ефективності транспортних операцій балкера на заданій лінії цього експлуатації.

Результатом концептуального проектування став балкер вантажопідйомністю 13 900 т. Архітектурно-конструктивний тип - однопалубне судно з чотирма трюмами, бульбовим носом, транцевою кормою, машинним відділенням та надбудовами, що розташовані в кормі.

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Лист
						94
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

На етапі технічного проектування балкера було реалізовано основна частина так званого класифікаційного проекту, тобто проекту, що відповідає вимогам класифікаційного товариства, та було отримано перевірку того, що балкер отриманого концептуального рішення задовільняє вимогам ІМО до експлуатаційної надійності судна.

З цією метою за результатами концептуального проектування було створено 3D-модель балкера, а також розраховано його плавучість, остійність та ходовість за допомогою програмного продукту Maxsurf, рекомендованого класифікаційним товариством. За допомогою програмного пакету HydroComp PropExpert/PropCad були також уточнені рухові характеристики судна, спроектований гребний гвинт, обран головний двигун.

Таким чином, дослідження концептуального та технічного проекту балкера, який експлуатуватиметься на маршруті порт Південний – порт Варна, відповідає проектному завданню кафедри щодо забезпечення його ефективності та задовільнення вимогам Міжнародної морської організації (ІМО) щодо основних морехідних якостей судна, які забезпечують експлуатаційну надійність балкера - плавучість, остійність і ходовість.

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		95

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[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 [Текст]: Довідник. – США: Міністерство оборони, MIL-HDBK-881A, 2005. – 128 с.

[5] Класифікація вагових груп надводних кораблів [Текст]. - 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 [Текст] / 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.10.ПЗ	Лист
						96
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

- [13] Maxsurf Enterprise V8i, Bentley Engineering, 2013.
- [14] Marine Power Solutions «CATERPILLAR», Edition 2021, May.
- [15] HydroComp PropExpert, 2005
- [16] HydroComp PropCAD, 2005

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Лист
						97
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		