

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

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

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри, д.т.н. професор

 В.О. Некрасов

« 19 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА


на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему:

**Концептуальне проєктування суховантажного судна
вантажопідйомністю 12000 тонн
та дослідження його ефективності і надійності**

Виконав:

студент 6112м групи

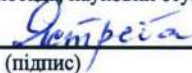
 Денисов В.М.

(підпис)

Керівник роботи:

Канд. техн. наук, ст. викл

(посада, науковий ступень вчене звання)

 Ястреба О.П.

(підпис)

Миколаїв – 2025 р.

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

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

- 4.2.1. Формування теоретичної поверхні суховантажного судна
- 4.2.2. Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення), забезпечення вимог класифікаційного товариства.
- 4.2.3. Розрахунок остійності суховантажного судна при великих кутах нахилу, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його остійності
- 4.2.4 Розрахунок ходовості суховантажного судна.

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

7. Дата видачі завдання 12.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проєктування	Тривалість етапів проєкту (роботи)	Примітка
4.1.	Вибір основних елементів судна та визначення його ефективності		
4.1.1.	Огляд основних тенденцій у розвитку флоту суховантажних суден	17.09.2025	
4.1.2.	Аналіз методів вибору основних елементів суховантажного судна	24.09.2025	
4.1.3.	Продукт-орієнтоване проєктування суховантажного судна	30.09.2025	
4.1.4.	Систем-орієнтоване проєктування суховантажного судна	07.10.2025	
4.1.5.	Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів	14.10.2025	
4.1.6.	Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації	21.10.2025	
4.1.7.	Програмний комплекс для вирішення проблеми оптимізації	28.10.2025	
4.1.8.	Дослідницький проєкт суховантажного судна	05.11.2025	
4.2.	Дослідження морехідних якостей судна, забезпечення вимог класифікаційного товариства до його надійності		
4.2.1.	Формування теоретичної поверхні суховантажного судна	07.11.2025	
4.2.2.	Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення)	12.11.2025	
4.2.3.	Розрахунок стійкості при великих кутах нахилу	15.11.2025	
4.2.4.	Розрахунок ходовості суховантажного судна	17.11.2025	
4.2.5.	Технічний проєкт суховантажного судна	08.12.202	
4.2.6.	Пояснювальна записка	14.12.2025	
4.2.7.	Презентація	20.12.2025	

Студент _____ Денисов Василь Михайлович
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи _____ Ястреба Олексій Петрович
(підпис) (ПІБ)

АННОТАЦІЯ

За завданням кафедри теорії та проектування суден у дипломній роботі досліджено два етапи процесу проектування судна: концептуальне та технічне проектування суховантажного судна для експлуатації на лінії Південний – Марсель (Чорне море - Середземне море).

При розробленні концептуального проекту було виконано:

- формування моделей експлуатації суховантажного судна та його інженерно-навігаційних властивостей, потрібних для аналізу комплексу функціональних операцій судна в умовах його роботи Чорному та Середземному морі;
- моделювання процесів експлуатації суховантажного судна в цих умовах та визначення завдань їх функціонування;
- визначення параметрів ефективності та надійності функціональних операцій на підставі застосування сучасних засобів дослідження та відповідних способів вирішення проблем функціонування судна;
- визначення та розв'язання задачі оптимізаційного підбору головних розмірів судна та отримання показниками максимальних значень критеріїв ефективності й надійності.

Головні розміри суховантажного судна були визначені за допомогою програми оптимізації, яка була розроблена викладачами кафедри теорії та проектування суден. Вона коригується під задану вантажопідйомність судна та певну кількість змінних. Критерій оптимізації - найбільший прибуток. Таким чином визначено ефективність вантажних операцій на заданій лінії експлуатації.

Підсумком концептуального проекту став проект суховантажного судна вантажопідйомністю 12 000 тонн, перевозить пшеницю на лінії порт Південний - порт Марсель. Судно має одну палубу, бульбовий форштевень, транцеву корму та надбудову, а також машинне відділення, розташоване в кормі

На етапі технічного проектування розроблено частину клас-проекту, що відповідає вимогам класифікаційного товариства. Була розроблена 3D-модель суховантажного судна у програмі Maxsurf. На її основі виконано розрахунки

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плавучості, остійності, непотоплюваності та ходовості за допомогою програмного забезпечення Maxsurf Modeler, Maxsurf Stability, Maxsurf Resistance. Було побудовано теоретичне креслення у програмі AutoCAD, розраховані та побудовані криві елементів теоретичного креслення, побудовано діаграму статичної остійності. Було побудовано залежності характеристик ходовості для різних швидкостей руху. Було обрано відповідний головний двигун з каталогу.

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ANNOTATION

According to the task of the Department of Ship Theory and Design, two stages of the ship design process were investigated in the diploma thesis: conceptual and technical design of a dry cargo ship for operation on the Yuzhny - Marseille line (Black Sea - Mediterranean Sea).

When developing the conceptual project, the following were performed:

- formation of models of operation of a dry cargo ship and its engineering and navigational properties necessary for analyzing the complex of functional operations of the ship in the conditions of its operation in the Black and Mediterranean Seas;
- modeling of the processes of operation of a dry cargo ship in these conditions and determination of the tasks of their functioning;
- determination of parameters of efficiency and reliability of functional operations based on the use of modern research tools and appropriate methods of solving problems of vessel functioning;
- determination and solution of the problem of optimization selection of the main dimensions of the ship and obtaining the maximum values of the efficiency and reliability criteria by indicators.

The main dimensions of the dry cargo ship were determined using an optimization program developed by teachers of the Department of Ship Theory and Design. It is adjusted for a given vessel capacity and a certain number of variables. The optimization criterion is the highest profit. Thus, the efficiency of cargo operations on a given line of operation is determined.

The result of the conceptual design was a project of a dry cargo vessel with a capacity of 12,000 tons, transporting wheat on the line Port Pivdenny - Port Marseille. The vessel has one deck, a bulbous bow, a transom and a superstructure, as well as an engine room located in the stern.

At the stage of technical design, a part of the class project was developed that meets the requirements of the classification society. A 3D model of the bulk carrier was developed in the Maxsurf program. Based on it, calculations of buoyancy, stability, unsinkability and maneuverability were performed using the Maxsurf Modeler, Maxsurf

					24. ДРМ.135.6112М.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Stability, Maxsurf Resistance software. A theoretical drawing was built in the AutoCAD program, the curves of the elements of the theoretical drawing were calculated and built, a static stability diagram was built.

Dependences of the running characteristics for different speeds were built. The appropriate main engine was selected from the catalog.

The development of a conceptual and technical design of a bulk carrier intended for operation on the Yuzhny - Marseille line meets the tasks of the Department of Theory and Design of Ships in ensuring 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 running, which guarantees its operational reliability

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

					24. ДРМ.135.6112М.03.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ	10
1. Вибір основних елементів суховантажного судна	15
1.1 Огляд основних тенденцій розвитку світового флоту суховантажних суден.....	16
1.1.1 Характеристики вантажоперевезень... ..	17
1.2 Аналіз методів вибору головних елементів суховантажного судна	19
1.3 Продукт-орієнтоване проектування суховантажного судна.....	21
1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт.... ..	21
1.3.2 Формування CER для будівництва суховантажного судна.....	23
1.3.3 Визначення вартості робіт з проектування і побудови суховантажного судна.....	27
1.4 Систем-орієнтоване проектування суховантажного судна	29
1.4.1 Моделі віртуальних просторів експлуатації суховантажного судна	30
1.4.1.1 Географічний простір суднових операцій.....	30
1.4.1.2 Простір погодних умов району експлуатації.....	33
1.4.1.3 Простір виробничих відносин робочого процесу.....	33
1.4.1.4 Простір фінансових відносин робочого процесу.....	34
1.4.2 Модель інженерно-навігаційних властивостей суховантажного судна.....	37
1.4.3 Модель експлуатації суховантажного судна	39
1.4.3.1 Імовірнісні характеристики надійності суховантажного судна	40
1.4.3.2 Імовірнісні характеристики ефективності суховантажного судна.....	42
1.4.3.3 Складні показники ефективності та надійності суховантажного судна.....	43
1.5 Постановка задачі оптимізаційного визначення основних розмірів суховантажного судна.....	45

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1.6	Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації.....	47
1.7	Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації.....	49
1.8	Концептуальний проєкт суховантажного судна.....	54
2.	Дослідження морехідних якостей проєктного рішення суховантажного судна	59
2.1	Формування теоретичної поверхні суховантажного судна	59
2.2	Розрахунки статички (елементи теоретичного креслення).....	61
2.3	Розрахунок остійності при великих кутах крена.....	64
2.4	Розрахунок швидкості та головного двигуна суховантажного судна.....	66
2.4.1	Розрахунок ходовості суховантажного судна у програмі Maxsurf Resistance	66
	Висновки.....	70
	Список використаної літератури.....	72

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Вибір оптимального проектного рішення для суховантажного судна заснований на дослідженні ряду операцій, які здійснюються протягом його життєвого циклу. Це - проектування, побудова, експлуатацію та утилізацію. При цьому найбільш важливою організація такої експлуатації суховантажного судна, щоб досягти максимальної результативності його роботи. При проектуванні суховантажних суден використовується метод розробки функціональної моделі та вибору основних компонентів.

Концептуальне проектування здійснюється на початковій стадії проектування. Під час проектуванні виконується пошук такого конструктивного рішення, в результаті якого формуються головні розміри та характеристики судна, які необхідні для досягнення заданої цілі його функціонування.

На пошук проектного рішення суттєво впливають умови будування судна і вкладення в нього коштів під час експлуатації. На початковій стадії проектування з'являються два напрямки пошуку:

- дизайн-орієнтований напрямок- процес створення судна як продукту промисловості з урахування умов експлуатації судна, як складної технічної системи;

- продукт-орієнтований дизайн визначає витрати на будування вантажного судна. Продукт-орієнтоване проектування передбачає оцінку витрат на створення, оновлення та технічну підтримку судна, тоді як систем-орієнтоване проектування зосереджується на досягненні оптимальних розмірів і характеристик суховантажного судна для максимізації ефективності його роботи.

Задачею систем-орієнтованого проектування є знаходження головних розмірів і характеристики такого суховантажного судна, за витратами якого у стадіях виробництва, побудови та експлуатації, воно має найбільшу ефективність [1].

Вибір оптимального варіанту проектного рішення виконується на етапі ескізного проектування суховантажного судна з точки зору його економічності і надійності.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

При цьому, визначається комбінація показників, який характеризує досягнутий рівень ефективності та надійності проєктованого судна.

Вибір оптимального проєктного рішення на цьому етапі спирається на математичні методи теорії дослідження операцій, що дозволяє [1]:

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

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

У межах цієї дипломної роботи розглядається теоретична база функціонування суховантажного судна, побудова моделей його функціонування, формулювання відповідних задач та пошук оптимальних методів їх розв'язання з використанням інструментів теорії ймовірностей, дослідження головних розмірів під час

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

воєнного стану, із врахуванням ризиків перевезення вантажу, фрахтових ставок, цін на паливо та забезпечення усіх поставчань.

На інтервалі часу, що дорівнює життєвому періоду судна T_{life} , періодом його створення є сума часу проєктування T_{design} і будівництва T_{build} . Період експлуатації судна ділиться на періоди ефективного використання $T_{j\ effc.use}$, протягом яких судно реалізує своє призначення, періоди обслуговування і поточного ремонту $T_{k\ Repair}$, і періоди 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 виготовлення 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, представлені в формулах (1.1) - (1.4), є випадковими величинами.

Проєктування суден виконується в науково-дослідних установах, в конструкторських бюро загального призначення і в конструкторських бюро суднобудівних підприємств (верфей). Спільними етапами проєктування для цієї

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

сукупності підприємств і організацій є концептуальне, технічне і робоче проектування. Для конструкторських бюро верфей назви етапів проектування суден дещо відрізняються (див. Табл. 1).

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

№	Етапи проектування (Результат)	Етапи проектування при укладенні контракту на будівництво судна верф'ю	Рівні структури розбиття корабля - SWBS	Рівні інформації	Наближення за оцінкою витрат	Співвідношення 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

Далі інформація отримує подальше узагальнення (укрупнення), аж до таких складових, як «Конструкції», «Пропульсивна установка» і т.д. При зворотному русі зверху вниз обсяг інформації безперервно деталізується .

На етапах технічного і концептуального проектування детальна інформація по судну як правило, відсутня. На цих етапах використовуються дані про розділи робіт по виробництву судна і відповідних величинах мас ESWBS (Empirical Ship Work Breakdown System), а також даних про розділи системи оцінки відповідних вартостей ECER (Empirical Cost Estimate Relations), отримані за допомогою обробки статистичних даних по експлуатуємим суднам [4,5,6,7]. Визначенню емпіричних співвідношень системи розбиття судових робіт (Empirical SBWS) і емпіричних співвідношень системи оцінок вартості робіт і матеріалів (Empirical CER) останнім часом приділяється особлива увага в зв'язку з наявним різким збільшенням вартості матеріалів та комплектуючих.

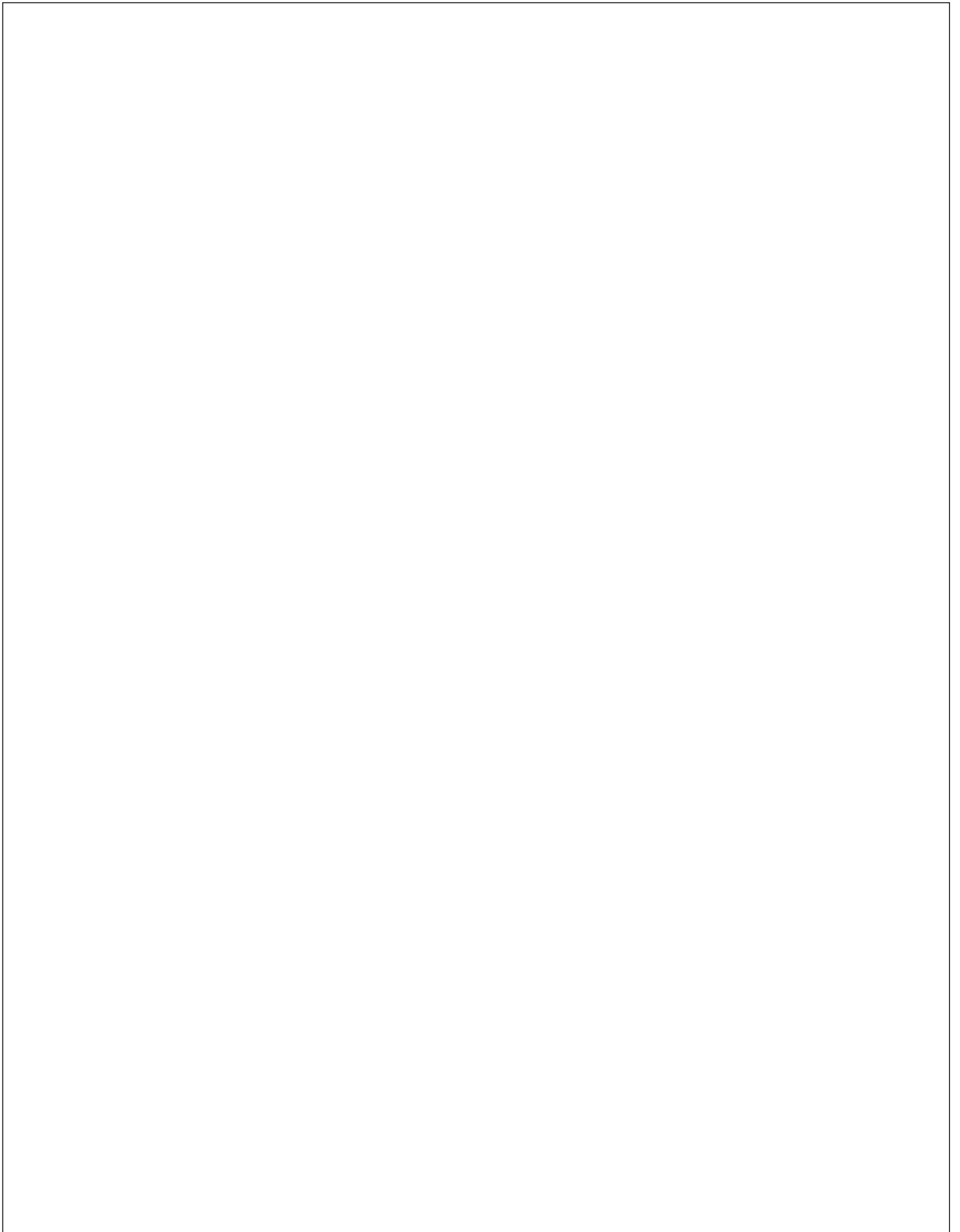
					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як видно із завдання на дипломну роботу, тип судна - вантажне, а тип його експлуатації - послідовні рейси між портами Південний та Марсель.

У зв'язку з цим метою даної дипломної роботи є:

- розгляд усіх функціональних операцій суховантажного судна, яке працює за схемою послідовних рейсів;
- визначення характеристик цих операцій на основі використання сучасних імовірнісних методів дослідження операцій;
- вибір необхідного критерію ефективності функціональних операцій суховантажного судна;
- формулювання оптимізаційної задачі вибору розмірів суховантажного судна, вибір алгоритму її розв'язання та розв'язання цієї задачі з метою отримання проекту суховантажного судна з найвищими показниками ефективності та надійності на маршруті порт Південний – порт Марсель.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Вибір основних елементів суховантажного судна	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Щербаков С.В.					15	
Керівник		Ястреба О.П.						
Консульт.		Некрасов В.О.						
Зав.Каф.		Некрасов В.О.						
						НУК		

1. ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУХОВАНТАЖНОГО СУДНА.

1.1 Огляд основних тенденцій розвитку світового флоту суховантажних суден

Останнім часом спостерігається збільшення попиту на сировину, таку як руда, вугілля, зерно та ін. З 2000 по 2018 рік об'єм вантажів, які перевозяться суховантажними суднами збільшилися майже вдвічі [9]. Це наслідок розвитку промисловості в Китаї та інших країнах, що розвиваються в Південно-Східній Азії, завдяки швидкому економічному зростанню. З цього можна зробити висновок, що промисловість Південно-Східної Азії, серед іншого, поглинає велику кількість руди, тоді як зростаюча кількість населення більше споживає інші сипучі вантажі, такі як зерно, соя, бобові.

Таким чином, ринок насипних вантажів є дуже привабливим, що спричинило величезний поштовх у підписанні контрактів на будівництво суховантажних суден. Розвиток тоннажу на замовлення для різних типів суден показано на рис. 1.1

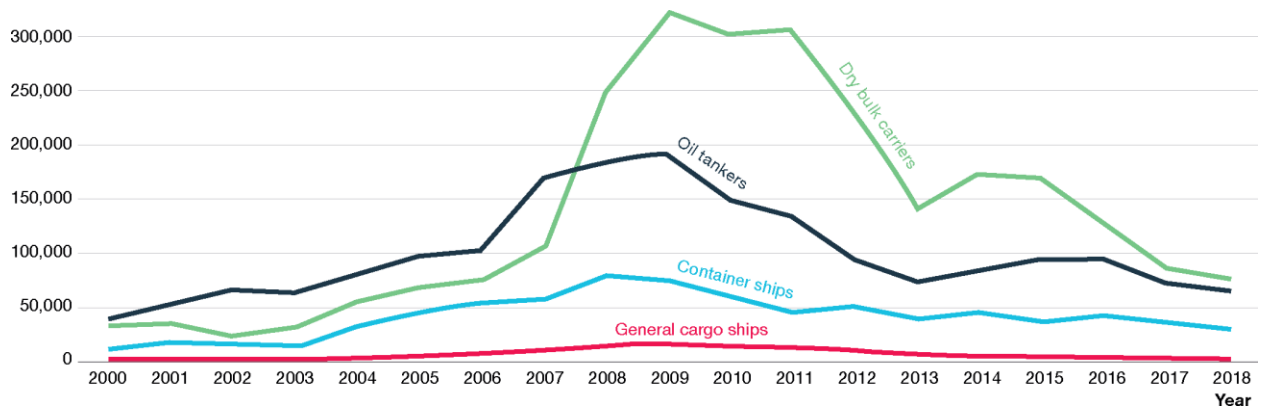


Рис.1.1 -Розробка тоннажу на замовлення для різних типів суден, 2000-2018 [9]

Світова економіка, незважаючи на існуючі проблеми, розвивається, тарифи на вантажні перевезення збільшуються, на ринок виходять більш ефективні технології, що призводить до конкурентних переваг сучасних суден для масових вантажів. Завдяки цим факторам, замовлення на вантажоперевезення, як очікується, зростуть з нинішньої нижчої точки.

1.1 Характеристики вантажоперевезень

Суховантажні судна складають майже три чверті загального дедвейту флоту суден для перевезення насипних та генеральних вантажів.

Середній вік універсальних суховантажних суден складає 26,4 роки. Близько 59,2% суден даного типу (38,01% сумарного дедвейту) мають вік більше 20 років

Завдяки універсальності таких суден за родом сухого вантажу, що перевозиться, їх існування продовжиться ще тривалий час. Проте потреба в нових судах цього типу і об'єми їх побудови будуть відносно невеликими.

Країни, у яких зосереджено найбільшу кількість суднобудівних верфей, на яких будують суховантажні судна це Китай, Японія, Південна Корея, В'єтнам, Польща, Німеччина, Нідерланди.

Флот сучасних суховантажних суден складається в основному з суден відносно невеликого розміру. Тільки близько 5% суден мають дедвейт більше 20 тис. т. На початок 2009 р. середній дедвейт суховантажних суден, що знаходяться в експлуатації, дорівнював 5460 т. В портфелі замовлень суховантажні судна дедвейтом більше 20 тис. т. склали вже близько 20%. Тобто простежується тенденція збільшення дедвейту однопалубних суховантажних суден.

Перевага віддається відносно невеликим за розмірами суднам, пояснюється специфікою їх використання на перевезеннях різноманітних вантажів відносно невеликої партії, коли використати спеціалізованих суден стає не вигідним.

Суховантажні судна з декількома палубами поступово списуються і замінюються однопалубними, тому саме вони представлятимуть найбільший інтерес при розгляданні перспектив розвитку суховантажних суден.

Невеликі суховантажні судна дедвейтом до 5000 т переважно працюють на прибережних лініях. Багато хто з них має специфічні особливості, пов'язані з конкретними умовами експлуатації. Їх будується щорічно досить багато.

Група суден дедвейтом 5...10 тис. т – найбільш стабільна у флоті. Об'єм їх будівництва останніми роками досягав від 13 до 150 одиниць на рік.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ

Арк.

17

Група суховантажних суден дедвейтом 10...20 тис. т стала перспективною останніми роками.

Перспективи замовлень на будівництво суден великого дедвейту в найближчі 5...10 років невеликі, оскільки ефективніше на перевезеннях великих партій вантажу використати спеціалізовані, а не універсальні судна.

Аналіз «географії» перевезень вантажів з України показує що досить значний обсяг таких перевезень припадає на Чорне та Середземне море. Для перевезення зерна одним з перспективних типів є суховантажне судно середнього тоннажу (10-15 тисяч тонн. Велика кількість зерна транспортується з України до портів Туреччини, Болгарії, Греції, Франції та інших країн Чорноморського та Середземноморського регіонів.

Таким чином, розробка концептуального проєкта суховантажного судна вантажопідйомністю 12 000 тонн є на сьогоднішній час актуальною.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Аналіз методів вибору головних елементів суховантажного судна

Під час проєктування судна доводиться вирішувати велику кількість задач по узгодженістю ряду технічних вимог. Наприклад, збільшення швидкості проведення завантажувально–розвантажувальних операцій потребує максимального розкриття верхньої палуби судна. Також необхідно проводити рівномірний розподіл вантажу по довжині та ширині судна. Ця ускладнює забезпечення загальної та місцевої міцності корпусу. Відповідно до вимог непотоплюваності, необхідно намагались збільшувати кількість водонепроникних переборок, але на вантажних суднах це призводить до збільшення ваги корпусу на зменшення корисної вантажопідйомності.

Одним із найважливіших питань проєктування є отримання основних елементів судна, від яких залежать його основні експлуатаційні та навігаційні і якості. Ця проблема в основному вирішується за допомогою аналітичного методу із застосуванням статистичного методу як допоміжного, методу порівняння, методу градієнта та методу випадкового пошуку.

Аналітичний метод - це метод математичного аналізу, який широко використовує системи рівнянь, що виражають функціональні залежності між елементами проєктованого судна та елементами завдання. Ці залежності включають відомі та невідомі величини та параметри.

У практичному проєктуванні аналітичний метод найчастіше поєднується зі статистичним методом, який широко використовує дані, отримані з досвіду проєктування, будівництва та експлуатації суден певного призначення. При використанні статистичного методу, необхідно враховувати наступні умови: числові значення, на базі яких виконуються розрахунки статистичних даних, повинні засновуватися на чітко визначених та перевірених даних. Ці дані повинні бути отримані для досить великої кількості суден. повинні мати однакові позначення та архітектурно-конструктивний тип із проєктованим судном і повинні плавати за однакових умов.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Метод порівняння заснований на порівнянні даних технічного завдання з даними проєктів суден, подібних до проєктованих, а також на даних про конструкцію та експлуатацію цих суден.

Метод перерахунку з прототипу застосовується у випадках, коли вимогам технічного завдання дуже тісно відповідає будь-який з побудованих або зпроєктованих суден.. Приймаючи це судно як прототип, до проєкту вносяться лише ті зміни, які спричинені вимогами технічних специфікацій.

Методу послідовних наближень отримав широке застосування в практиці проєктування суден. Цей метод характеризується такими головними принципами:

- певна послідовність різних наближень;
- використання для перших наближень функціональних залежностей, які містять мінімальну кількість змінних величин;
- послідовне збільшення для подальших наближень кількості змінних;
- розуміння ступеня точності формул, що встановлюють функціональні залежності між окремими змінними;

Відповідно до цих положень, суть застосування методу послідовних наближень для вирішення цієї проблеми полягає в наступному.

Якщо необхідне подальше роз'яснення основних елементів проєктованого корабля, тоді можуть бути введені нові змінні, які не були враховані при першому вирішенні, і проблема може бути вирішена знову за допомогою серії послідовних наближень.

Доцільно поєднувати метод послідовних наближень з методом варіацій. Цей метод дозволяє при порівняльному аналізі вибрати з числа комбінацій основні елементи судна, які задовольняють основним вимогам завдання - найкращий варіант. Метод варіації, що забезпечує багатозначне рішення, широко використовується сьогодні в практиці проєктування.

Використовуючи метод варіацій, можна зменшити результати розрахунку елементів судна для всіх варіантів в одній таблиці, що дозволить порівняти характеристики судна, які отримані для різних варіантів, і обрати найкращий варіант.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Істотним недоліком варіаційного методу, який обмежує кількість варіантів, є великий обсяг роботи.

Метод градієнта набагато економічніший, ніж метод варіації. З розрахункової точки зору він дозволяє у просуванні до екстремуму проходити найкоротший шлях незалежно від типу та розміру цільової функції.

Суть методу полягає в наступному. Ми обираємо деяке початково допустиме рішення, тобто такий набір бажаних величин, який відповідає вимогам щодо морехідних та експлуатаційних якостей судна, одночасно обчислюючи перше значення цільової функції. Після цього ми визначаємо напрямок, при русі по якому цільова функція найшвидше прагне до екстремального значення. Цей напрямок визначається похідними цільової функції для невідомих, тобто градієнтом.

На відміну від градієнтного методу, у метод випадкового пошуку вводиться елемент випадковості, який у певних ситуаціях дає можливість побудувати дуже прості та ефективні алгоритми.

«Глобальний» метод випадкового пошуку полягає в тому, що певна кількість інтервалів розбивається в межах можливих змін бажаних змінних, систематично випадково обчислює і запам'ятовує значення цільової функції.

Перевага методів випадкового пошуку полягає в тому, що вибір випадкового вектора для виконання пробних кроків не залежить від форми поверхні цільової функції; немає необхідності обчислювати похідні. Простота алгоритму полегшує його впровадження на комп'ютері. Метод особливо ефективний для оптимізації завдань із значною кількістю змінних та обмежень, оскільки зі збільшенням кількості незалежних змінних його ефективність зростає.

1.3 Продукт-орієнтоване проектування суховантажного судна

1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт

Для попередньої оцінки вартості судна на початкових стадіях проектування та прогнозування вартості нових проектних рішень всі окремі компоненти судна класифікуються на групи залежно від їх ваги.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У Сполучених Штатах 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 судових консолідованих показників (BSCI). Ця система, як правило, подібна до системи SWBS / ESWBS, є лише відмінності між категоризацією певних посад.

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 ваг.

Загалом усі три системи, як правило, 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.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Таблиця 1.5 –Складові структурного розбиття судна на частини
в системах SWBS/ESWBS и NES**

Номер групи	Назва SWBS	Опис групи
Група 100	Конструкції	Ваги зовнішньої обшивки, набору, палуб, перебірок, надбудов і фундаментів
Група 200	Пропульсивна установка	Вага дизелів, турбін, редукторів, валопроводов і рушіїв
Група 300	Електрична установка	Вага обладнання для вироблення електроенергії, силових кабелів, освітлювальних систем і аварійних систем електропостачання
Група 400	Управління та моніторинг	Включає ваги навігаційної системи, системи внутрішнього зв'язку, протипожежної системи, системи спостереження, радіолокаторів, гідролокатором, радіоприймачів та інших систем управління і контролю
Група 500	Допоміжні системи	Включає ваги систем кондиціонування, вентиляції, охолодження і пожежогасіння, 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	Невесовая категорія. Включає такі елементи, як креслення корабля, 3D-моделі, забезпечення якості, сертифікаційні стандарти, обладнання для навчання та навчання.
Група 900	Збірка і сервіси підтримки	Невесовая 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 суховантажного судна.

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 корабля визначається регресійними залежностями вищезазначених норм праці, терміни проектування та будівництва головного корабля 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 5000-10 000 тонн (повне водотоннажність).

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

Таблиця 1.6 - Типові регресійні рівняння (ECERs) концептуального проектування суховантажного судна

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, як правило, використовують власний досвід будівництва кораблів. Тоді вони складають основу для власних регресійних залежностей розподілу робіт на види та визначення необхідної кількості робітників на етапах складання попередніх проєктів 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. 1.13 та 1.14.

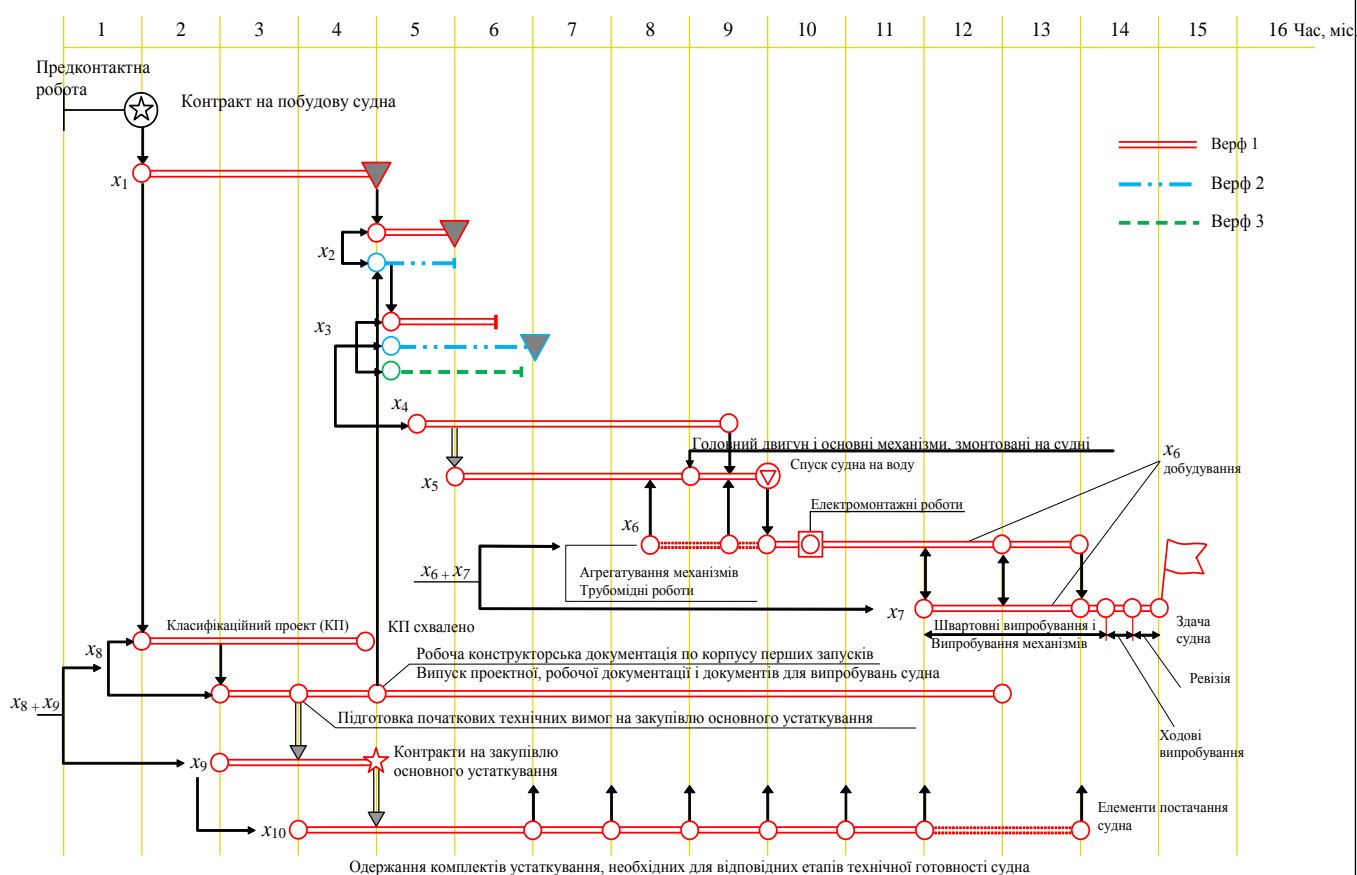


Рис. 1.13 Мережевий графік будівництва корабельного проєкту 17012 на віртуальній верфі [1]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

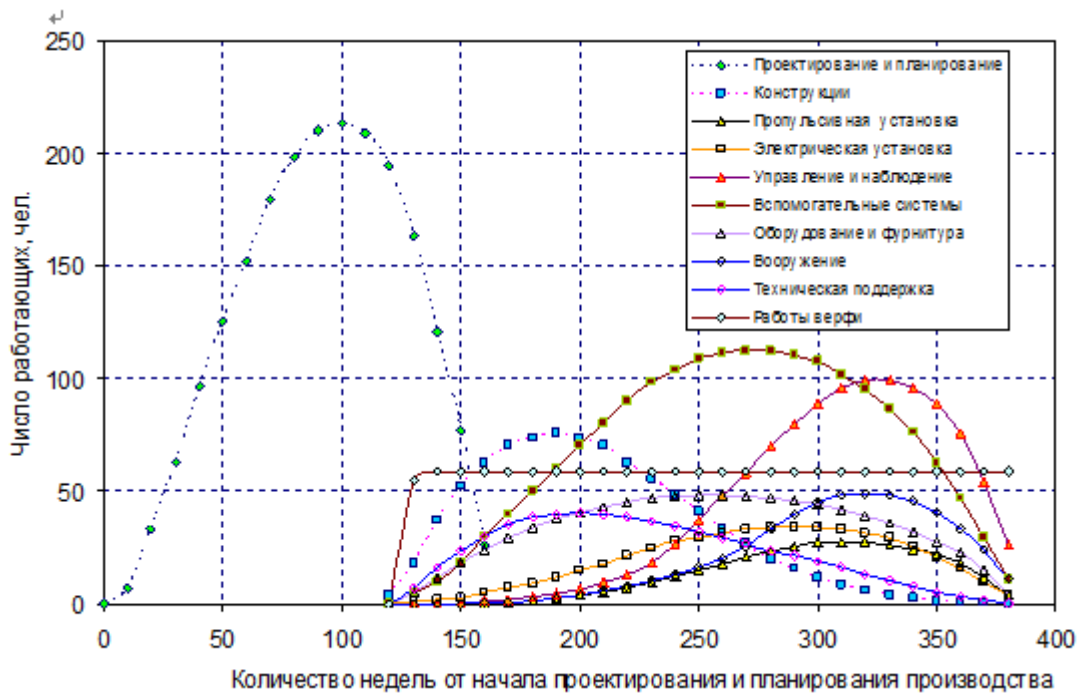


Рис. 1.14 - Вимоги до робочої сили при проектуванні, підготовці, будівництві, завершення, запуск та випробування випробувань розробленого проекту
 За даними розрахунків на рис. 1.14, використовується так званий коефіцієнт типу TF суднобудування, який залежить від типу судна, і коефіцієнт продуктивності PF, який залежить від продуктивності суднобудівного заводу. Ці фактори визначаються за допомогою таблиць 1.7 та 1.8.

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

No	Тип корабля	Значення TF коефіцієнт
1	2	3
1	Танкер для сирої нафти	0.80
2	Цистерна для перевезення нафтопродуктів	1.13
3	Хімічний танкер	1.25
4	Танкер з подвійним корпусом	0.90
5	Наповнювач	0.85
6	Універсальне вантажне судно	0.95
7	Контейнеровоз	0.96
8	Корабель ро-ро	0.83
9	Корабель для перевезення автомобілів	0.61
10	Пором	1.25
11	Пасажирське судно	3.00
12	Риболовецьке судно	2.20
13	Буксир	0.80
14	Бойовик - крейсер (ядерний)	9.00
15	Бойовик - руйнівник	8.00
16	Бойовик - Фрегат	7.00

17	Десантний корабель - LHA / LHD	7.00
18	Десантний корабель - LSD / LPD	5.00
19	Допоміжний корабель - Танкер	2.50
20	Допоміжне судно - тендер	4.50
21	Дослідницьке судно	1.25
22	Морський буксир, океан	1.00
23	Криголам берегової охорони	4.50
24	Буй берегової охорони тендер	2.00

Таблиця 1.87 - Значення коефіцієнтів продуктивності верфі [1]

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

1.3.3 Визначення вартості робіт з проектування і побудови суховантажного судна.

Верф, обрана для побудови судна, знаходиться в певній країні, в якій встановлений певний рівень заробітної плати, податків та прибутку. Модель витрат повинна враховувати ці обставини, особливо стосовно рівня заробітної плати, який суттєво впливає на вартість корабля. В алгоритмі визначення вартості та строку будівництва суден передбачається використовувати вихідні дані про

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

заробітну плату та інші стандарти, залежно від законодавства та рівня розвитку виробництва в країні, де знаходиться суднобудівний завод.

Найбільш комплексний метод проектування суден, орієнтованого на продукт, був висунутий асоціацією SPAR. Остаточний алгоритм методу був представлений компанією у вигляді таблиці, зображеної на малюнку 1.15. Це обчислювальна таблиця. Вихідними даними для таблиці є: тип корабля (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 в період суднобудування за допомогою відповідних коефіцієнтів продуктивності суднобудівного заводу та коефіцієнтів регресії ECER, отриманих на базі ESWBS (див. 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 верфівського виробництва та створення розглянутого суховантажного судна. Розрахунки результатів за допомогою цього алгоритму представлені на рис. 1.14 та 1.15.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4.1 Моделі віртуальних просторів експлуатації суховантажного судна

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 корабля.

Таке середовище визначається положенням району експлуатації судна і відстанню між портами призначення. Згідно з завданням, судно експлуатується в районі Чорного та Середземного моря, рис. 1.16. Судно перевозить насипні вантажі з України, порт Південний - в порт Марсель, переважно в морський порт. Відстані між портами цього регіону близько 1710 миль.

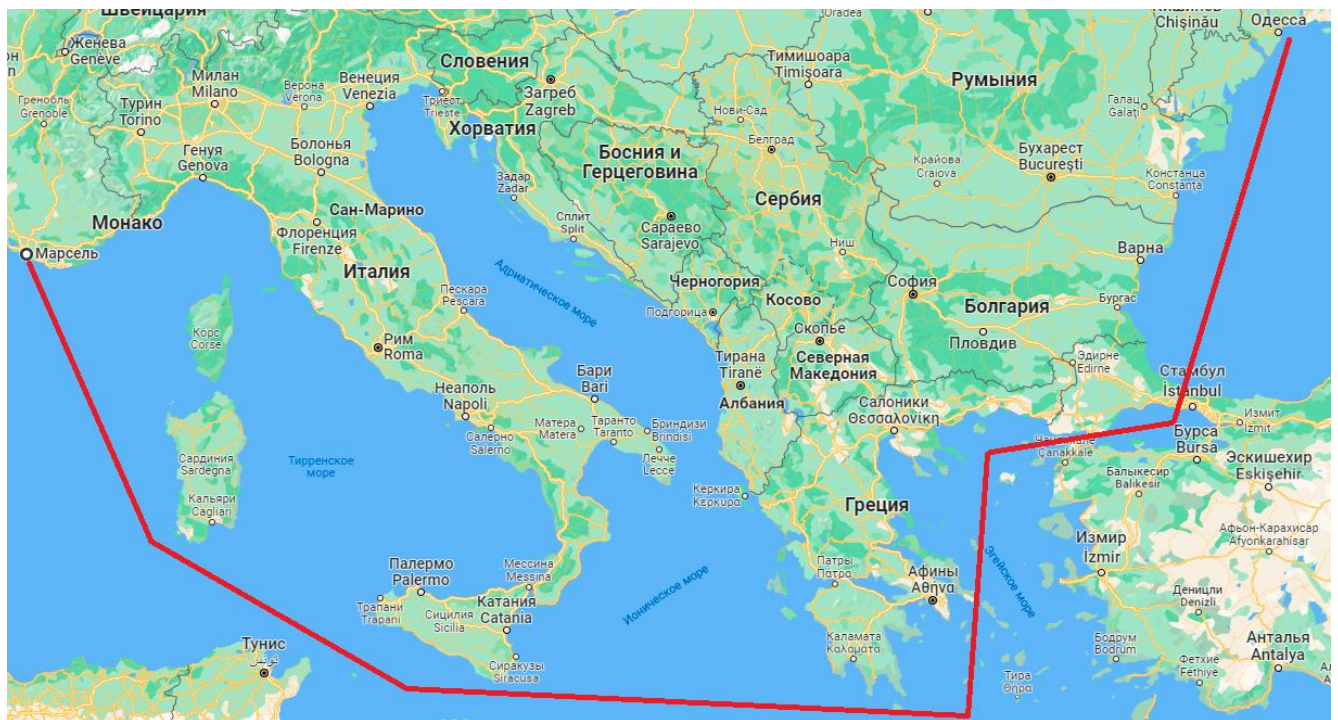


Рис 1.16 Район експлуатації суховантажного судна

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	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 корабля 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 корабель низкою стаціонарних режимів морських течій, дії вітру та хвиль. Зміна в часі життя корабля 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 корабля та портових служб. Існують наступні типи основних функціональних операцій корабля, які здійснюються шляхом послідовних поїздок, транспортування вантажів на вільних лініях експлуатації (трамп), руху за розкладом, службового використання, використання для відпочинку та туризму.

Характерною особливістю корабля послідовних поїздок є його експлуатація відповідно до довгострокових контрактних міжурядових або корпоративних угод.

Як правило, кораблі послідовних поїздок здійснюють кругові поїздки 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 малюнку 1.17.

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.03.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

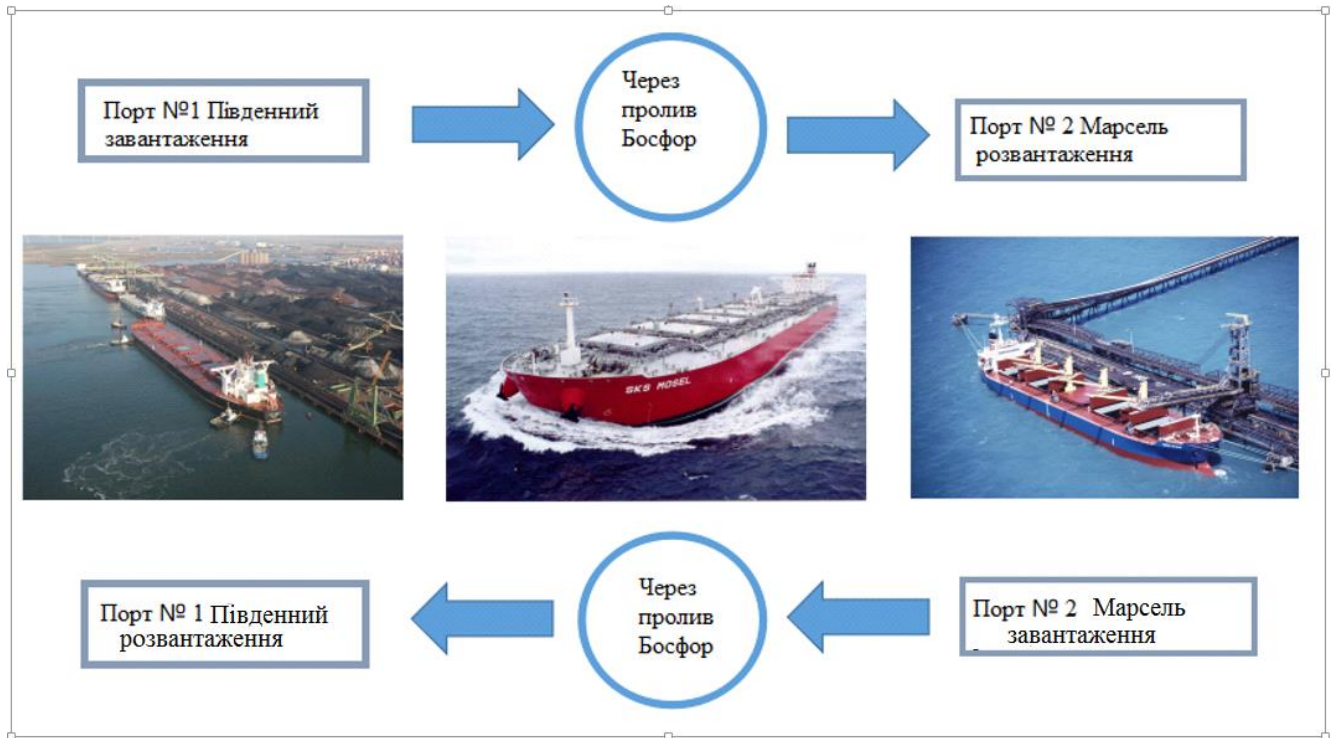


Рис 1.17 - Модель кругового рейсу судна послідовних рейсів

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

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

1.4.1.4. Простір фінансових відносин робочого процесу

Стан транспортного ринку і розподіл потоків фінансових ресурсів між традиційними учасниками ринку - вантажовідправником, 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: вантажовідправником,

фрахтувальником і власником судна, може бути представлено схемою, наведеною на Рис. 1.18 [1].

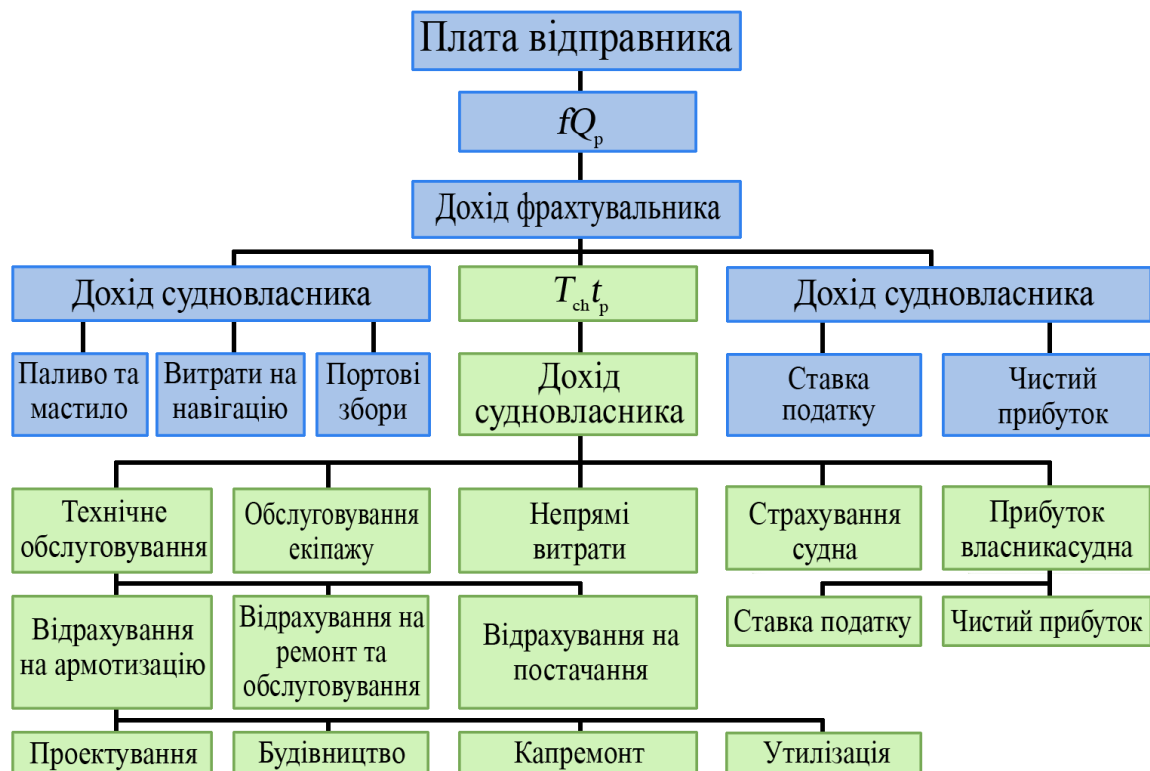


Рис. 1.18 - Розподіл грошових коштів між учасниками транспортної операції одного кругового рейса: вантажовідправником (Consignor), фрахтователем (Charterer) власником судна (Ship Owner)

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 суховантажного судна рисунок 1.18 вводить такі позначення:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- дохід судновласника.

In expressions (1.3) - (1.6):

C_f - ціна палива;

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

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

t_{rt} - тривалість послідовного рейсу;

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

T_{ch} -тайм-чартерний еквівалент, який включає витрати судновласника на обслуговування судна E_{sm} , утримання екіпажу E_{cm} , непрямі витрати E_{uc} , страхування судна E_{si} , і прибуток судновласника до оподаткування P_{sowner} (см. рис1.18).

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

$$E_l = E_{lfuil \& \ oil} + \Delta E_{l \ var} + E_{lsm} + E_{lcm} + E_{luc} + E_{lsv} \quad (1.7)$$

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

1.4.2 Модель інженерно-навігаційних властивостей суховантажного судна.

Моделі інженерних і навігаційних (морехідних) властивостей судна визначають особливості його функціонування як складної системи. Ці властивості представляються набором характеристик, які залежать від основних елементів корабля - довжини L , ширини B , осадки 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 характеристик судна зазвичай відносять місткість і міцність. Навігаційними характеристиками є такі морехідні якості, як плавучість, остійність, непотоплюваність, ходовість, керованість і морехідність.

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

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

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

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Непотоплюваність корабля вимагає виконання нерівності

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

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

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

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

Забезпечення необхідної ходовості судна вимагає рівності буксирувальної потужності EHP та потужності енергетичної установки корабля N_E на Пропульсивний коефіцієнт η , що враховує КПД рушійного комплексу на режимах руху судна:

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

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

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

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	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 побудовані судна, які мають необхідні товщини елементів конструкцій для забезпечення міцності і необхідну кількість водонепроникних перегородок для забезпечення непотоплюваності, нерівності (1.21) і (1.22) можуть не розглядатися. Вони можуть бути прийняті до уваги на наступних етапах проектування судна.

1.4.3 Модель експлуатації суховантажного судна

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

Для навальника, який експлуатується у формі послідовних поїздок, модель роботи показана на рис. 1.17. При побудові цієї моделі передбачається, що вантажоперевезення здійснює рейси в обидва боки між двома портами №1 та №2. Під час поїздки в обидва кінці корабель завантажується в порт № 1, здійснює транзит морським транспортом, перевозячи вантаж. У порту № 2 судно вивантажується і повертається до порту № 1 разом з іншими товарами. Основною операцією корабля в цьому випадку є операція туди і назад.

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.03.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4.3.1 Імовірнісні характеристики надійності суховантажного судна

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

-корабель відправляється в подорож в погодних умовах району операції (подія F_1);

-в погодних умовах оперативного району подорож реалізується (подія F_2).

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

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

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

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

Відповідно до діаграми на рис. 1.17, реалізація поїздки 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}). Подорож в обидва кінці вважається реалізованою, коли всі ці проміжні операції (події) виконуються разом ($F_2 = F_{21} \times F_{22} \times F_{23}$). Тому ймовірність здійснення туди і назад обчислюється за формулою

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

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

Подія \bar{F} , що полягає в тому, що операція в обидва кінці не була здійснена, є подією, протилежною події F . Подія \bar{F} , протилежній події F_1 , відображає те, що корабель не вилетів в обидва кінці в штормових погодних умовах зона операції.

Подія \bar{F} , навпаки події F_2 , має місце, якщо на будь-якому етапі поїздки в обидва кінці трапляється аварія, що тягне за собою її нереалізацію.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.4.3.2 Імовірнісні характеристики ефективності суховантажного судна

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

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

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

де I_l - отриманий дохід, E_l - витрати.

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

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

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

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

де $M[\dots]$ - операція усереднення.

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

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

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

1.4.3.3 Складні показники ефективності та надійності суховантажного судна.

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів суховантажного судна.

Для вирішення проблем дослідження, розробки та охорони ресурсів морського басейну Університет кораблебудування розробив комплексний метод вивчення функціонування рухомих морських об'єктів, оцінюючи ефективність функціонування за критеріями продуктивності та надійності, і синтез оптимальних проєктних 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 проєктування, подальшого проходження всіх етапів будівництва, продуктивного використання, капітального ремонту і закінчується переробкою. На часових інтервалах продуктивного використання корабля або групи кораблів враховуються особливості їх використання в місцях проживання. Ці кораблі розглядаються як учасники технологічних ланцюгів транспортування вантажів, видобування морських ресурсів або обслуговування ресурсовиробничих споруд. Вони працюють в умовах дії вітру та хвилі та інших кліматичних факторів силового впливу на кораблі та морські споруди.

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

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 (суховантажне судно або інший корабель) або їх сукупності (флоту) формулюється наступним чином [1]

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

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

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

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

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

Де $E_N(x) \geq 0$ являються 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 охороняється водного простору, бортове озброєння і т. Д.);

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

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

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

$[PK_L]$ граничні значення цих фондів;

U це вектор параметрів зовнішнього середовища і умов технічного завдання;

x це вектор незалежних змінних (основних елементів судна);

x_Q це вектор обмежень на незалежних змінних.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6 Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації.

Задача пошуку оптимального проектного рішення здійснюється згідно зі схемою, наведеною на рис. 1.19 [1].

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

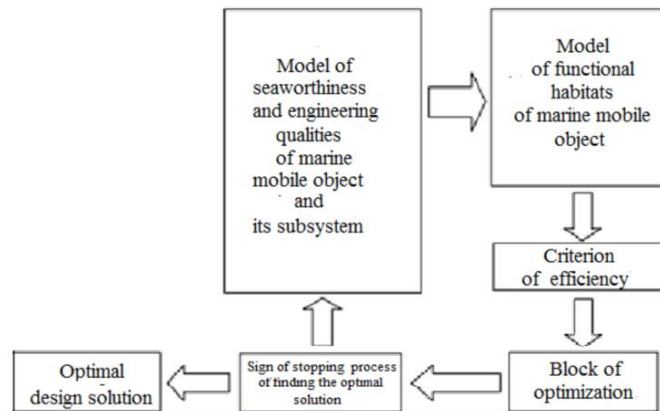


Рисунок 1.19 - Структурна схема пошуку оптимального рішення проблеми синтезу морського рухомого об'єкта для умов їх експлуатації

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

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Комплексний метод дослідження функціонування рухомих морських об'єктів, оцінки ефективності їх експлуатації на основі критеріїв продуктивності та надійності та синтезу оптимальних проєктних 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 кораблів 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 корабля та теорія випадкових функцій. Також моделюється середовище існування судна, яке враховує можливість порту та інші послуги судна, включаючи його переробку в кінці періоду життя. Погодні умови в районі експлуатації корабля визначаються довготривалими розподілами характеристик вітру, хвиль і течій.

Ефективність, надійність та безпека експлуатації розглянутого судна базується на аналізі виконання основних функціональних операцій за складним критерієм за типом (1.28).

Аналіз процесу проводиться за допомогою алгоритму оптимізації, в якому в якості цільової функції використовується зазначений критерій. Програма призначена для вибору основних розмірів пасажирського судна, вантажного судна, вантажних баків, танкерів, контейнеровозів, бензовозів, буксирів, рятувальних суден, суден берегової охорони та інших. Нижче наведено інтерфейс програми для вибору основних розмірів судна для насипу для басейну Чорного та Середземного морів.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.7 Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації.

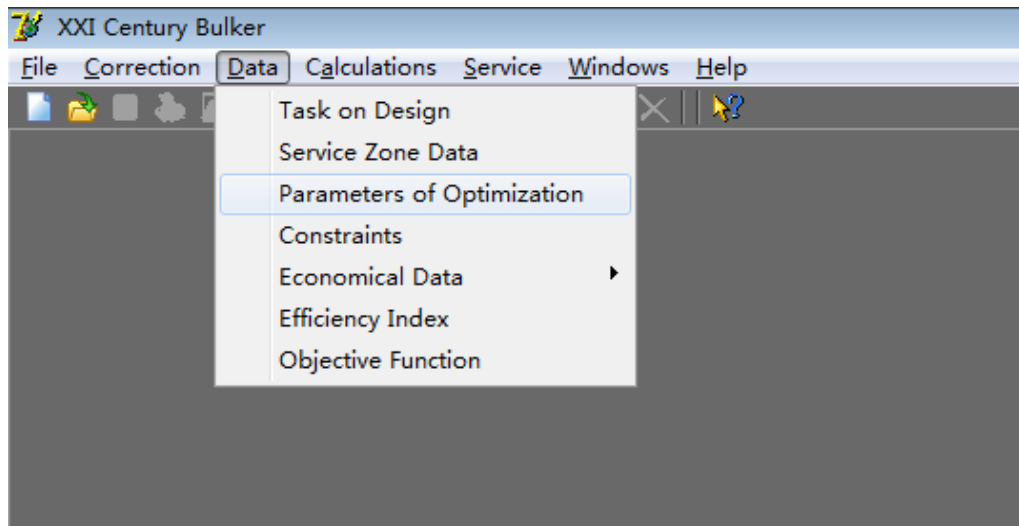


Рис 1.20 - Головне вікно програми

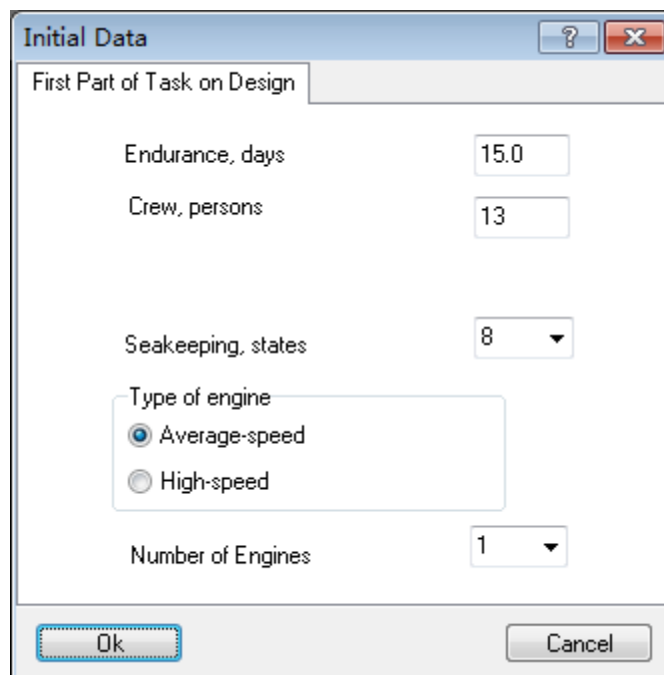


Рис 1.21 - Вікно дизайнерського завдання

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

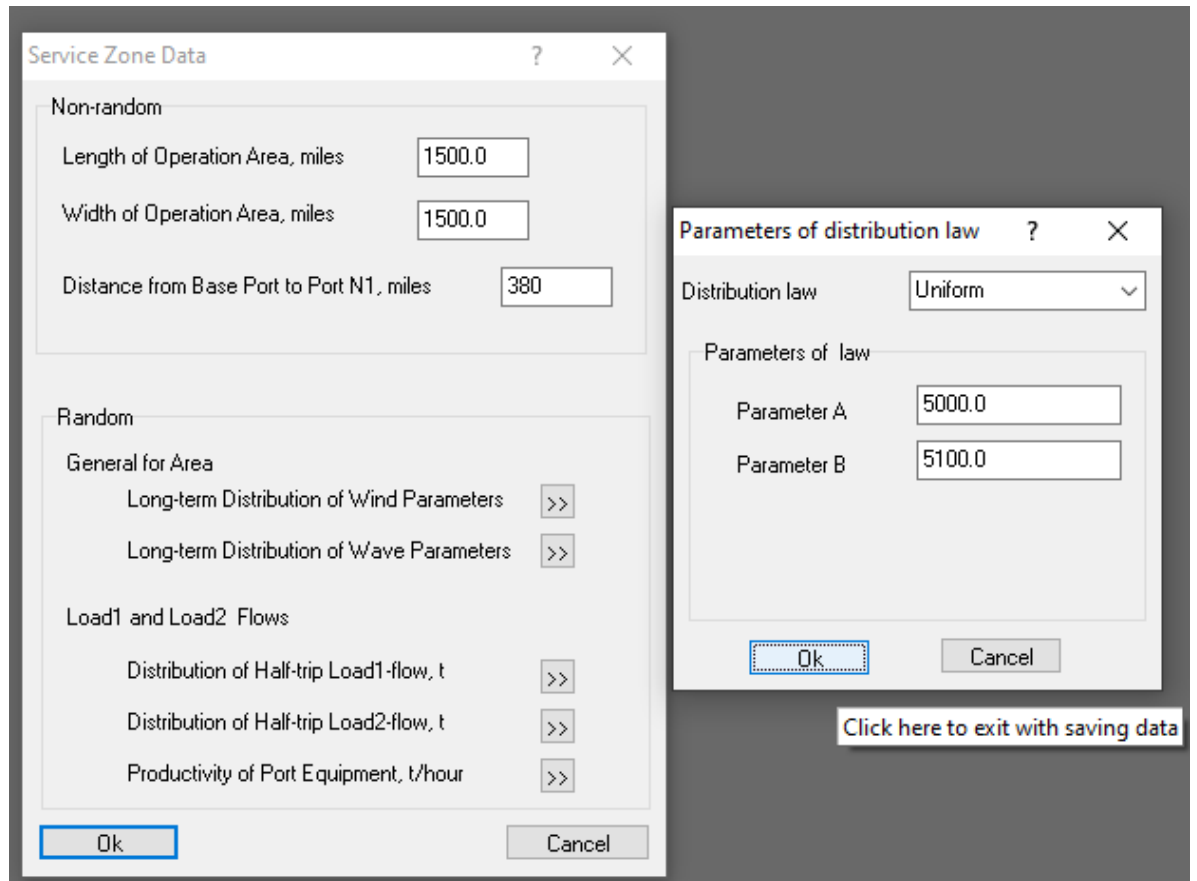


Рис 1.22 - Вікно даних зони обслуговування

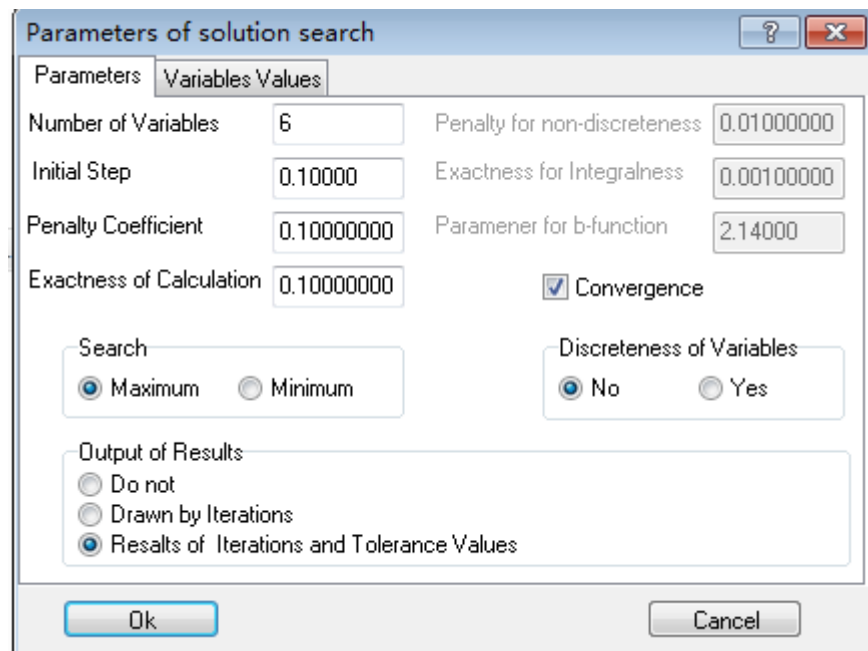


Рис 1.23 - Вікно параметрів пошуку рішення

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

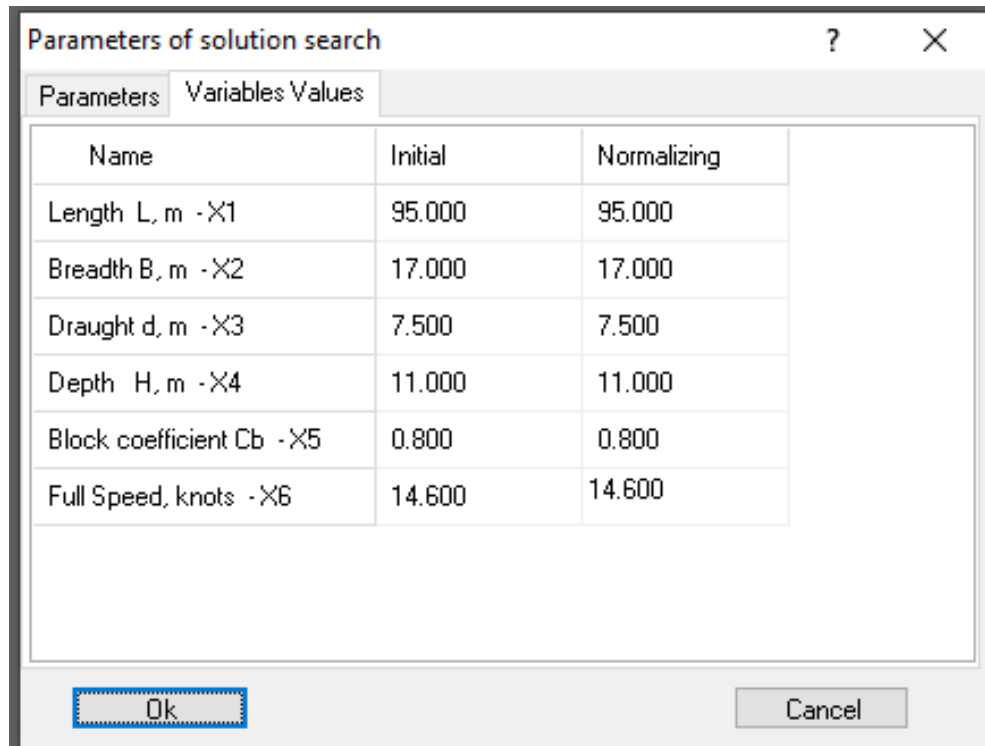


Рис 1.24 - Вікно незалежних змінних

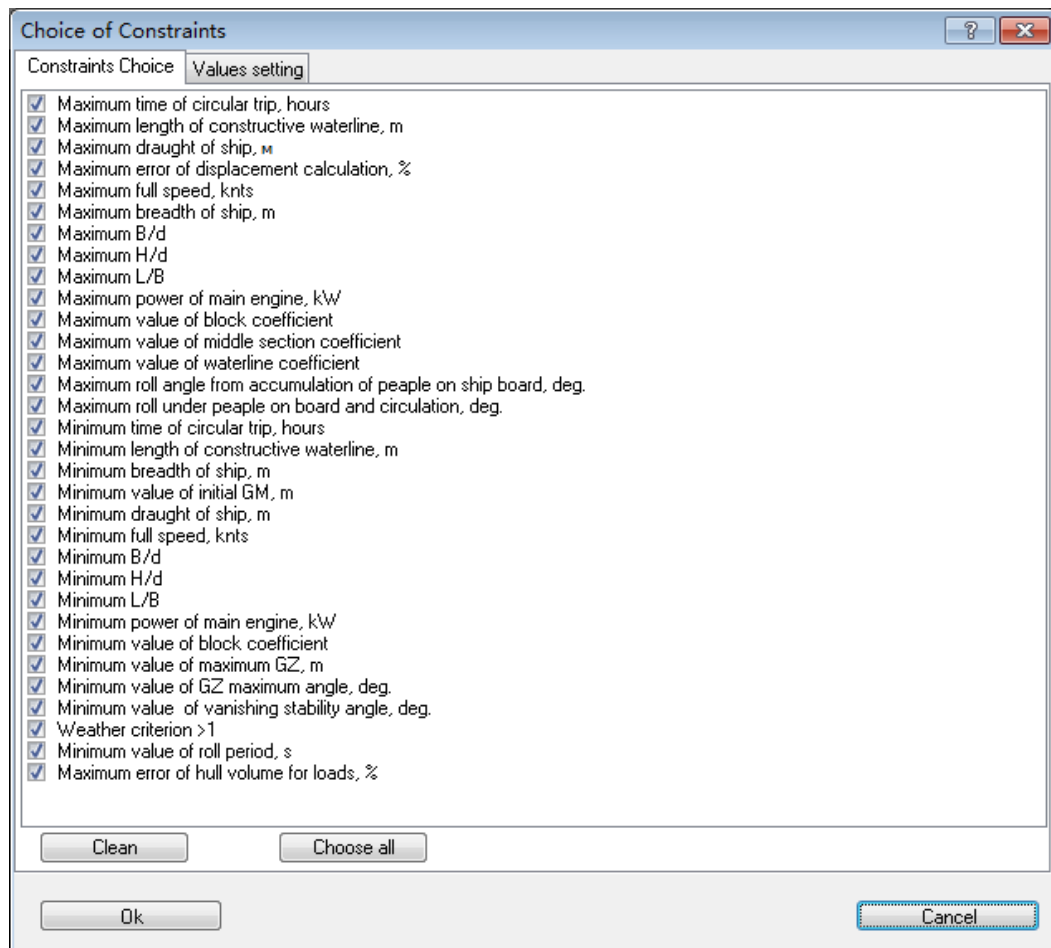


Рис 1.25 - Вибір вікна обмежень

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ

Арк.

51

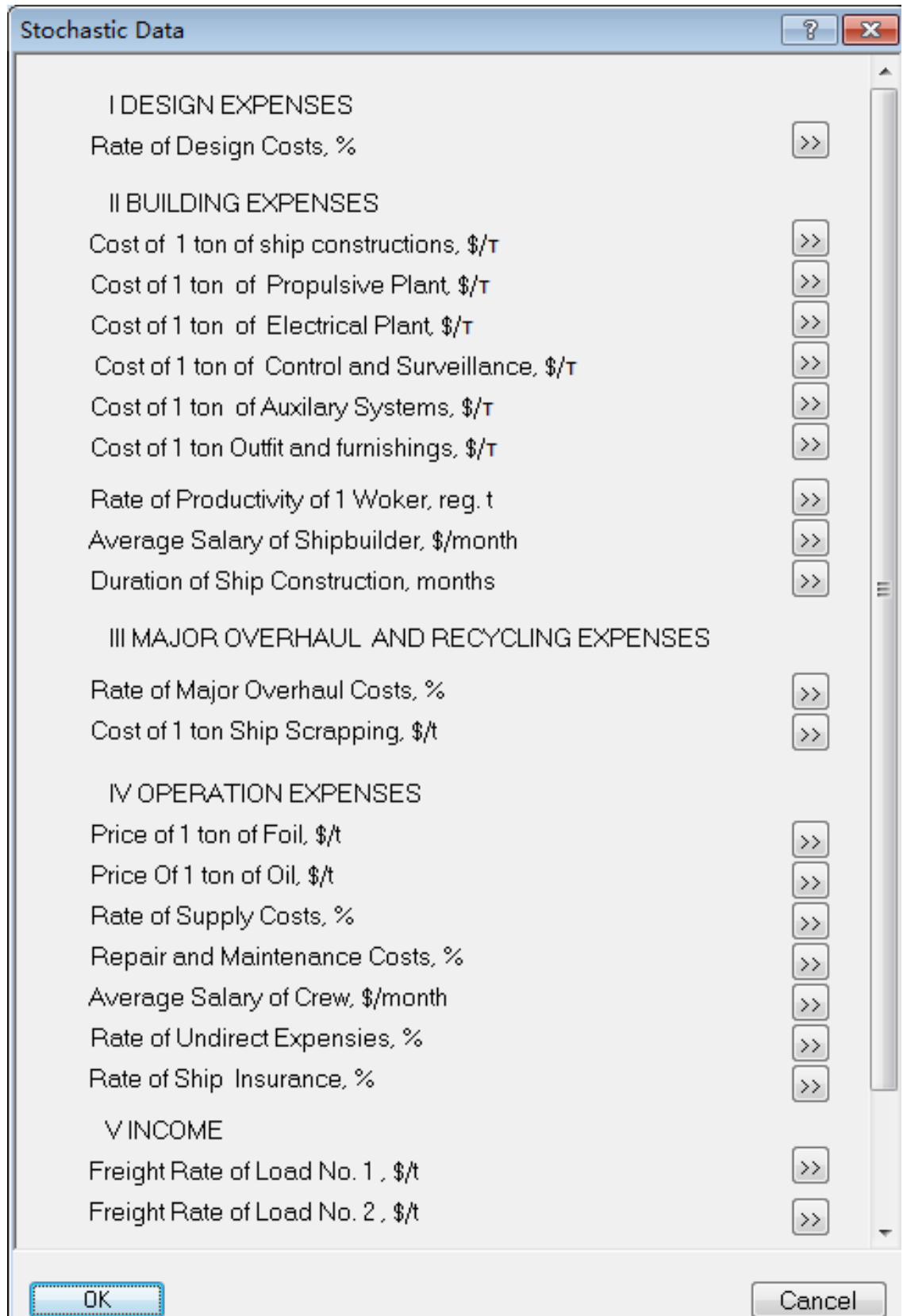


Рис 1.26 - Вікно економічних стохастичних даних

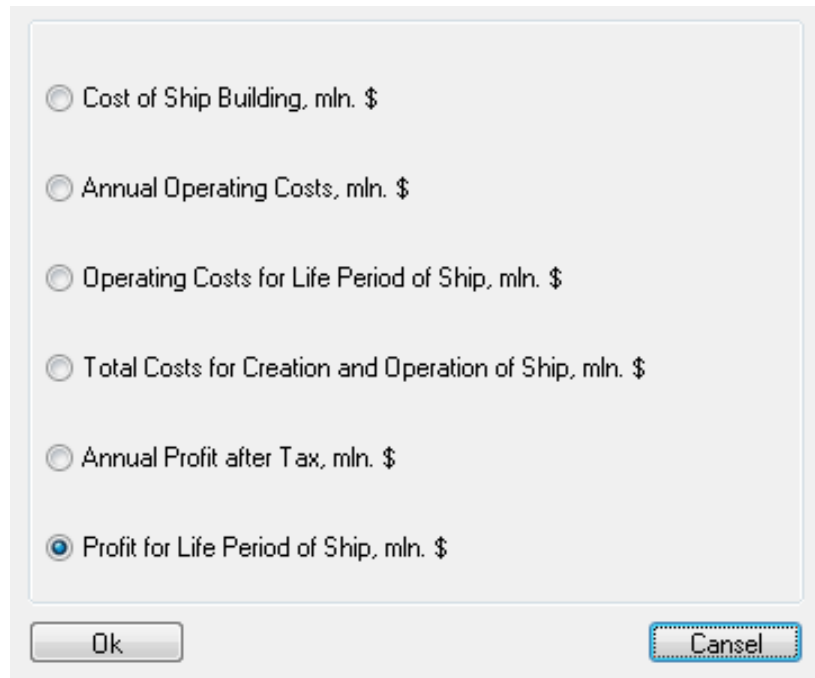


Рис 1.27 - Вікно показників економічної ефективності

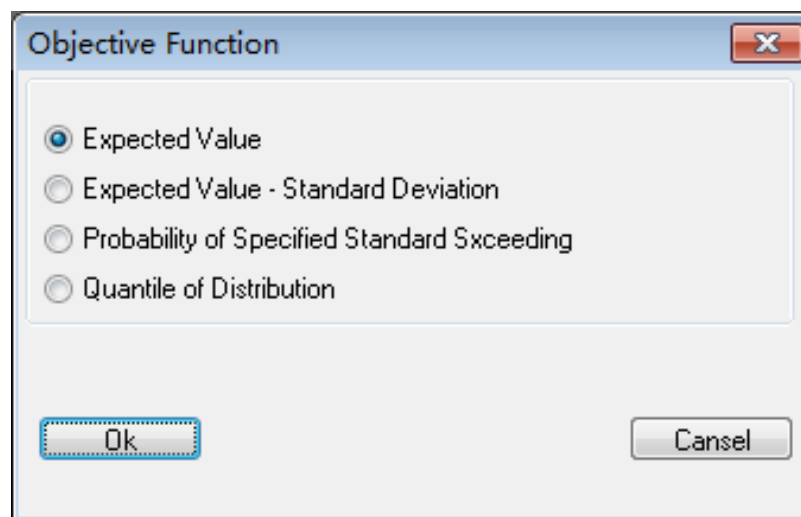


Рис1.28 - Вікно цільових функцій

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1.8 Концептуальний проєкт суховантажного судна.

Параметри суховантажного судна	Розмірення	Значення при $OF_1 = \max$
Довжина	м	159.8
Ширина	м	23.1
Осадка	м	8.1
Висота борту	м	13.8
Коефіцієнт загальної повноти		0.610
Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута		0.883
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії		0.729
Об'ємна водотоннажність	м ³	18241.3
Потужність головного двигуна	kW	3762.1
Швидкість	knots	13.5
Водотоннажність порожньому	т	5926
Маса вантажу 1 у прямому півреїсі	т	12001.7
Маса вантажу 2 у зворотному півреїсі	т	11996.4
Дедвейт	т	13071.3
Водотоннажність повна	т	18697

Рис 1.30 - Оптимальні основні розміри та масове навантаження судна

Параметри суховантажного судна	Розмірн я	Значення при OF ₁ = max
Час кругового рейсу	годин	344
Фрахтова ставка на вантаж 1 у прямому півреїсі	\$/т	36,75
Величина вантажу 1	т	12001,7
Фрахтова ставка на вантаж 2 у зворотному півреїсі	\$/т	38.50
Величина вантажу 2	т	11996
Час півреїсу	годин	172
Число рейсів за рік		25
Ймовірність виконання транспортних операцій		0.987
Добовий фрахт	\$/добу	1684.81
Мінімальний Тайм - Чартер	\$/добу	13910.5
Мінімальні щоденні витрати фрахтівника	\$/добу	29873.82
Мінімально необхідна фрахтова ставка	\$/т	21.39
Наведені витрати	\$/т за рік	21.6
Дохід від рейсу	мільйон \$	0.709919
Річний дохід	мільйон \$	17.715455
Витрати за рік експлуатації	мільйон \$	10.975356
Річний прибуток (після сплати податків)	мільйон \$	4.793810
Витрати на проектування і будівництво судна	мільйон \$	28.526544
Загальна вартість будівництва і експлуатації судна	мільйон \$	216.101729

Рис 1.31 - Показники ефективності судна

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

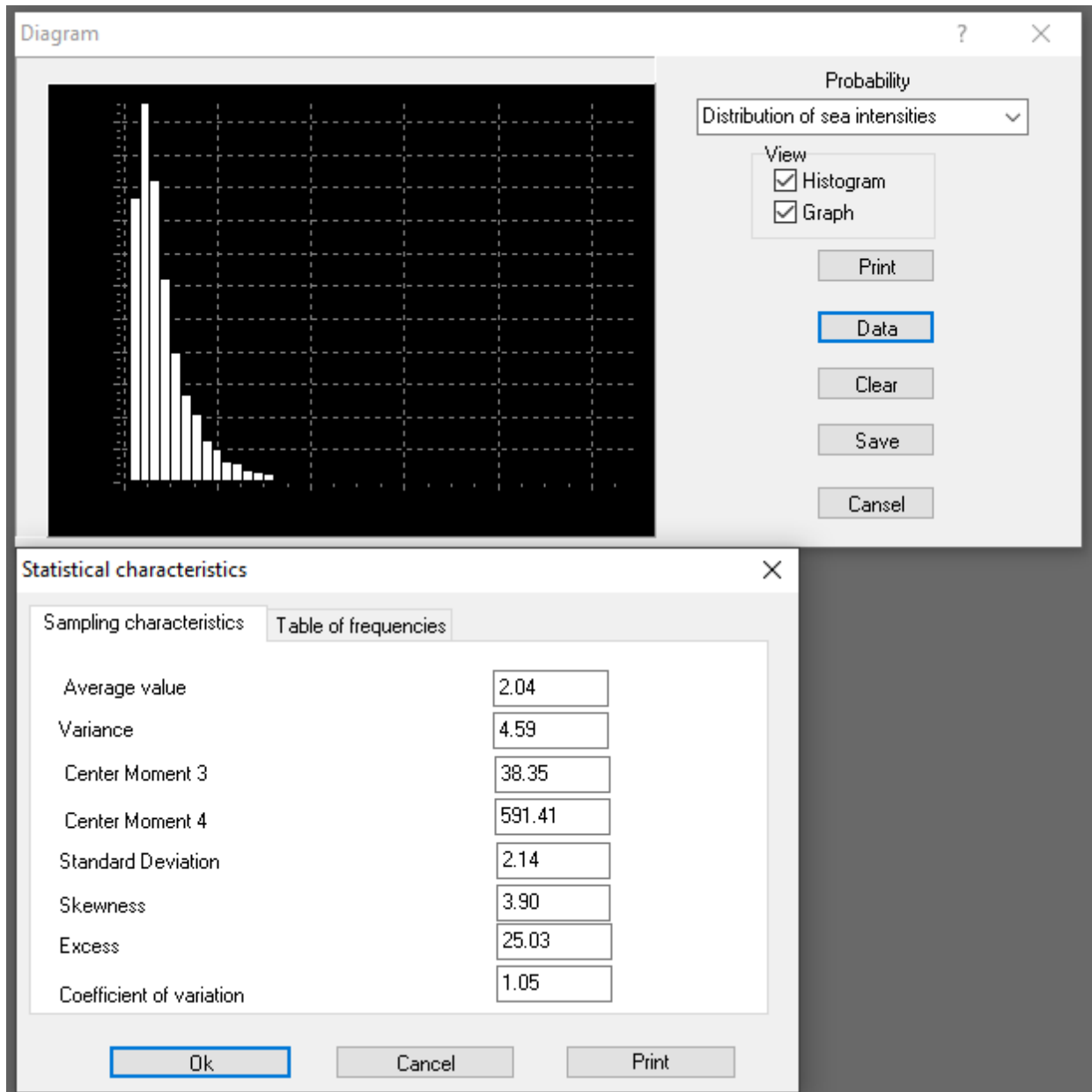


Рис 1.32 - Приклад розподілу початкових випадкових значень: Довготривалий розподіл інтенсивності моря в зоні експлуатації корабля (Розподіл $h_{3\%} = 1.32H_{1/3}$, де $H_{1/3}$ - значна висота хвилі)

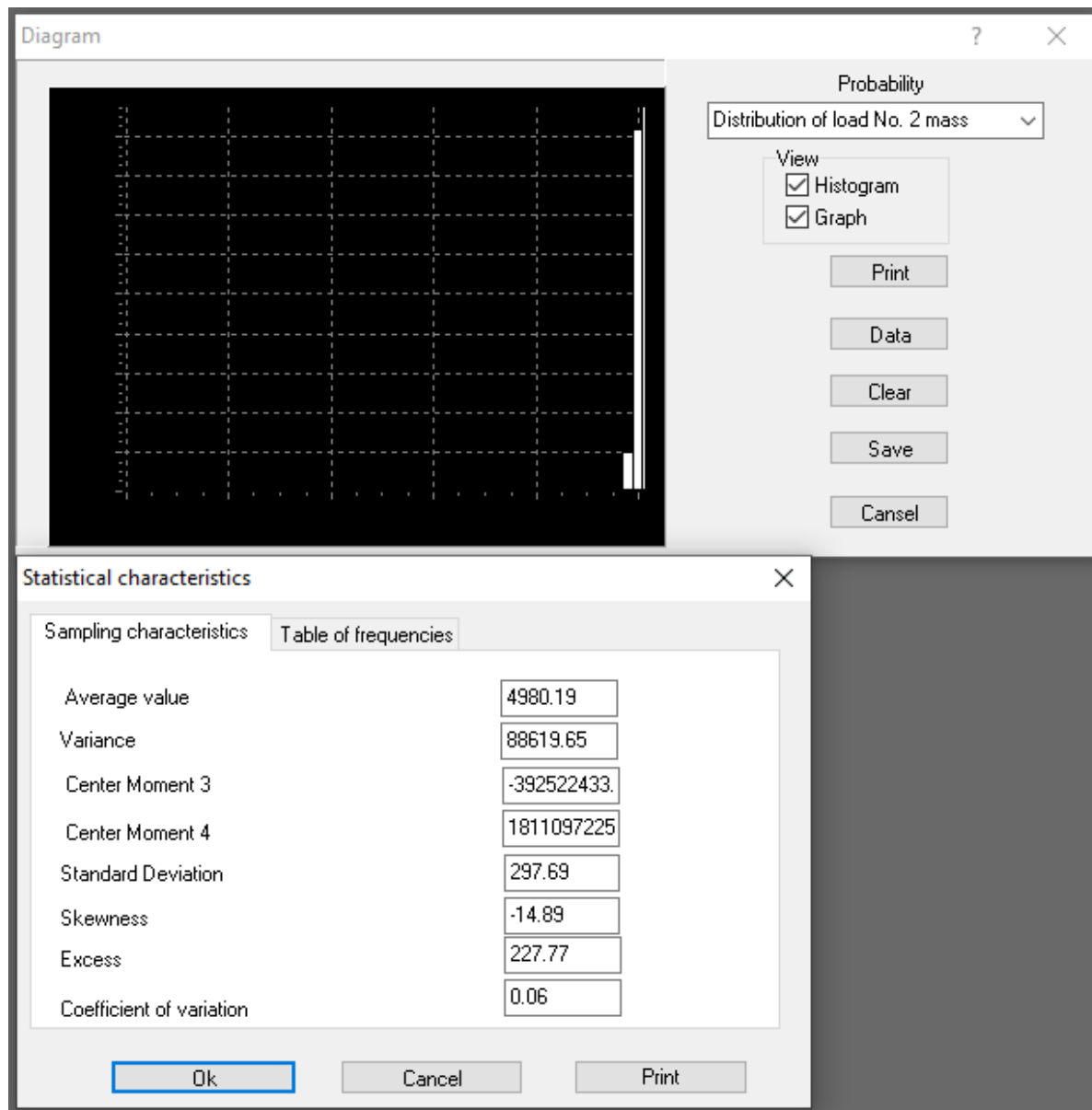
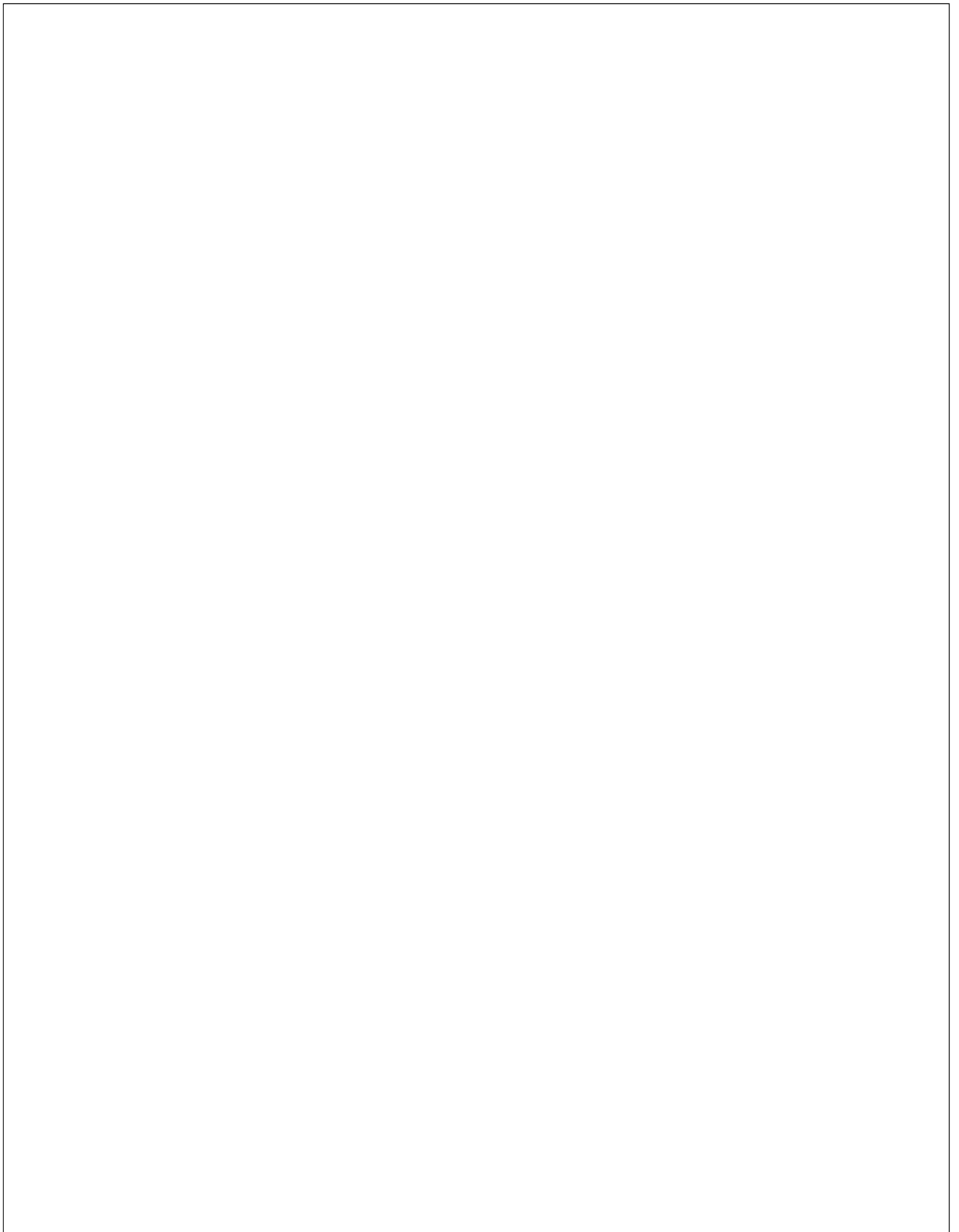


Рис 1.33 - Приклад кінцевих розподілів випадкових значень:
Розподіл суднового навантаження No2 по масі

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.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Дослідження морехідних якостей проектного рішення суховантажного судна	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Денисов В.М.						
Керівник		Ястреба О.П.					58	
Консулат.		Пащенко Ю.М.				НУК		
Зав.Каф.		Некрасов В.О.						

2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ ПРОЄКТНОГО РІШЕННЯ СУХОВАНТАЖНОГО СУДНА

2.1 Формування теоретичної поверхні суховантажного судна.

Для формування поверхні корпусу суховантажного судна використовується програмний продукт Maxsurf Modeler Advanced [13], результати, представлені на рис. 2.1. За допомогою цього програмного продукту також створюються лінії корпусу суховантажного судна (див. Рис. 2.2)

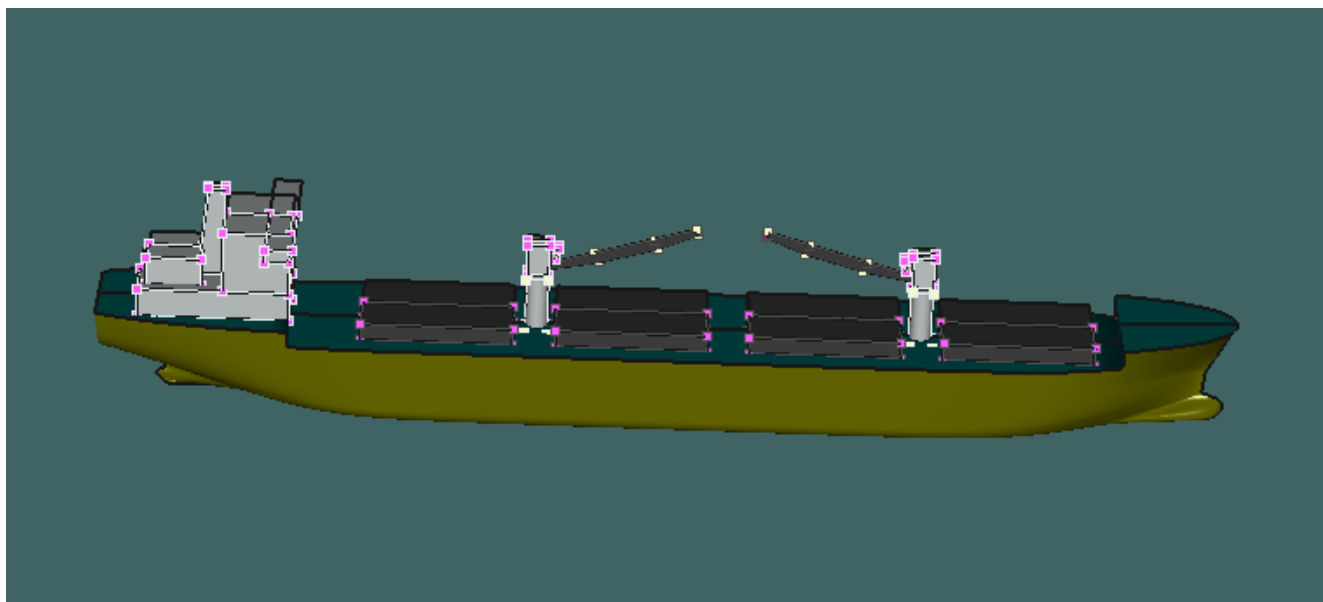
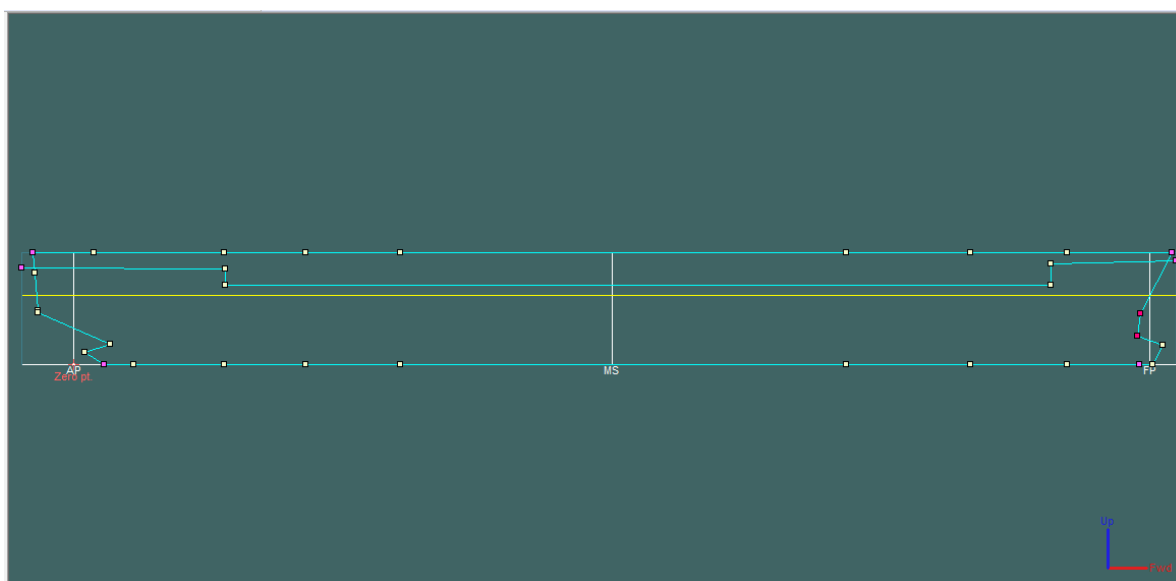


Рис 2.1 - Створення поверхні суховантажного судна в Maxsurf



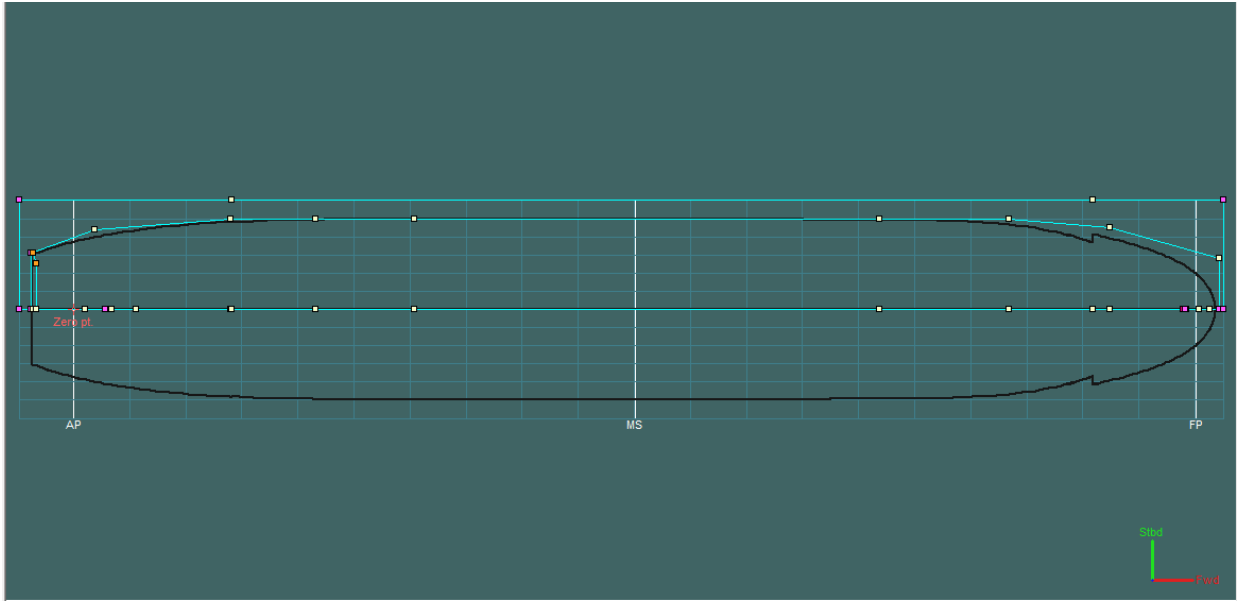
a)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

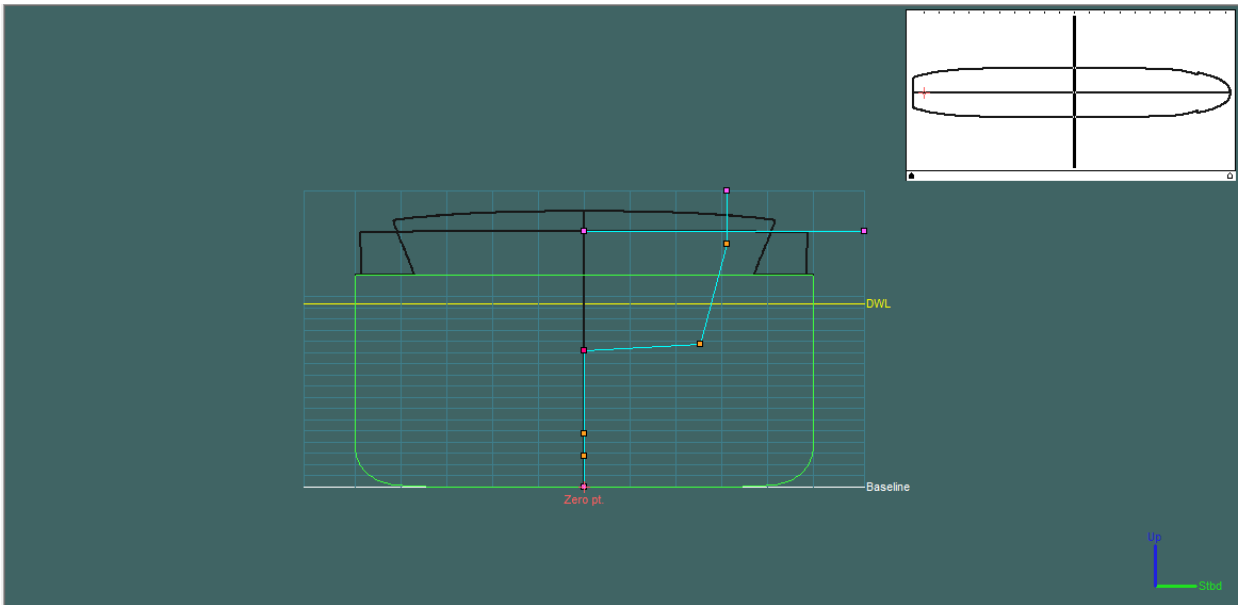
24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ

Арк.

59



b)



c)

Рис 2.2 - Проекції теоретичного креслення суховантажного судна.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ

Арк.
60

2.2 Розрахунки статички (елементи теоретичного креслення)

Для обчислення статички судна використовується програмне забезпечення Maxsurf Stability Advanced Розрахунок проводиться поетапно (див. Рис. 2.3 та 2.4).

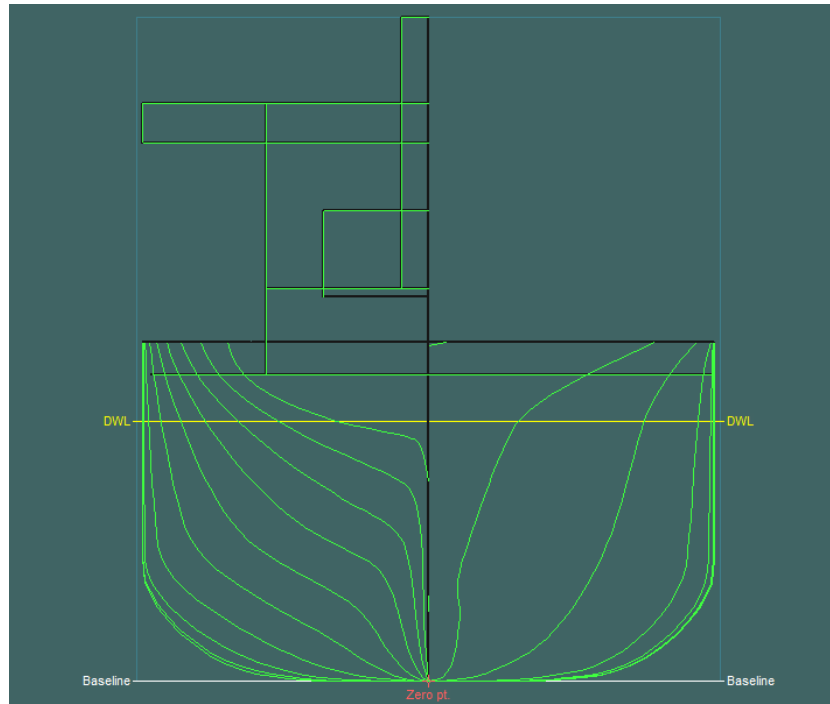
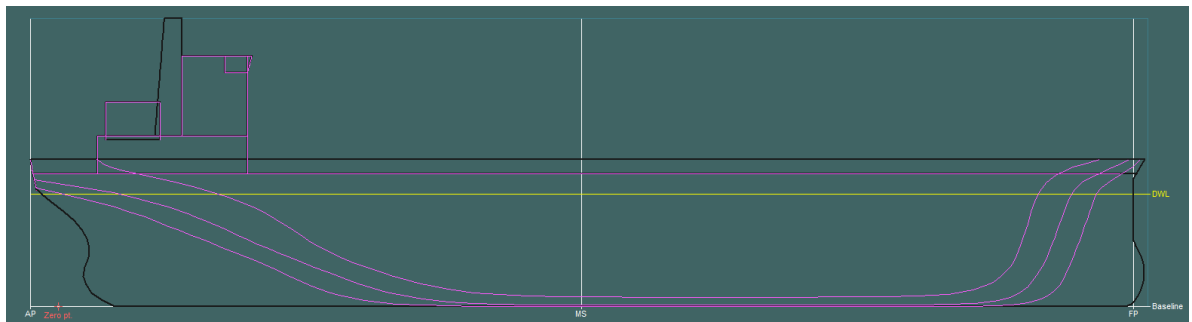
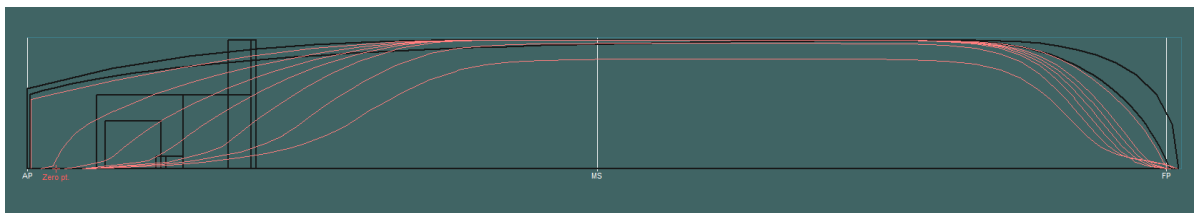


Рис 2.3 - Крок 1. Відкриття mds-файл проєктованого суховантажного судна



а)



б)

Рис 2.4 - Крок 2. Встановлення кількості судових ватерліній та батоксів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ

Арк.

61

	Draft Amidships m	1,000	2,775	4,550	6,325	8,100
1	Displacement t	1303	4902	9154	13779	18676
2	Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Draft at FP m	1,000	2,775	4,550	6,325	8,100
4	Draft at AP m	1,000	2,775	4,550	6,325	8,100
5	Draft at LCF m	1,000	2,775	4,550	6,325	8,100
6	Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	WL Length m	141,676	152,004	158,235	162,689	165,593
8	Beam max extents on	20,771	22,708	23,187	23,237	23,154
9	Wetted Area m ²	1736,06	2502,27	3131,01	3741,02	4353,04
10	Waterpl. Area m ²	1680,15	2196,77	2452,75	2621,68	2760,00
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,442	0,527	0,573	0,607	0,635
12	Block coeff. (Cb)	0,385	0,477	0,532	0,575	0,612
13	Midship Sect. area coef	0,871	0,906	0,928	0,947	0,963
14	Waterpl. area coeff. (C)	0,508	0,608	0,665	0,709	0,750
15	LCB from zero pt. (+ve	2,849	-0,577	-2,356	-3,533	-4,380
16	LCF from zero pt. (+ve	0,447	-3,331	-5,227	-6,368	-7,101
17	KB m	0,576	1,566	2,547	3,521	4,491
18	KG m	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
19	BMt m	28,076	12,612	8,243	6,102	4,864
20	BML m	1200,92	529,267	356,088	274,974	229,360
21	Gmt m	20,651	6,179	2,791	1,623	1,355
22	GML m	1193,50	522,833	350,635	270,495	225,851
23	KMt m	28,651	14,179	10,791	9,623	9,355
24	KML m	1201,50	530,833	358,635	278,495	233,851
25	Immersion (TPc) tonne/	17,222	22,517	25,141	26,872	28,290
26	MTc tonne.m	97,750	161,097	201,738	234,261	265,126
27	RM at 1deg = GMt Disp.	469,640	528,615	445,828	390,307	441,676
28	Max deck inclination de	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
29	Trim angle (+ve by ster	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Таблиця 2.1 – Елементи плавучості і початкової остійності судна при осадці по ГВЛ

					24. ДРМ.135.6112М.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

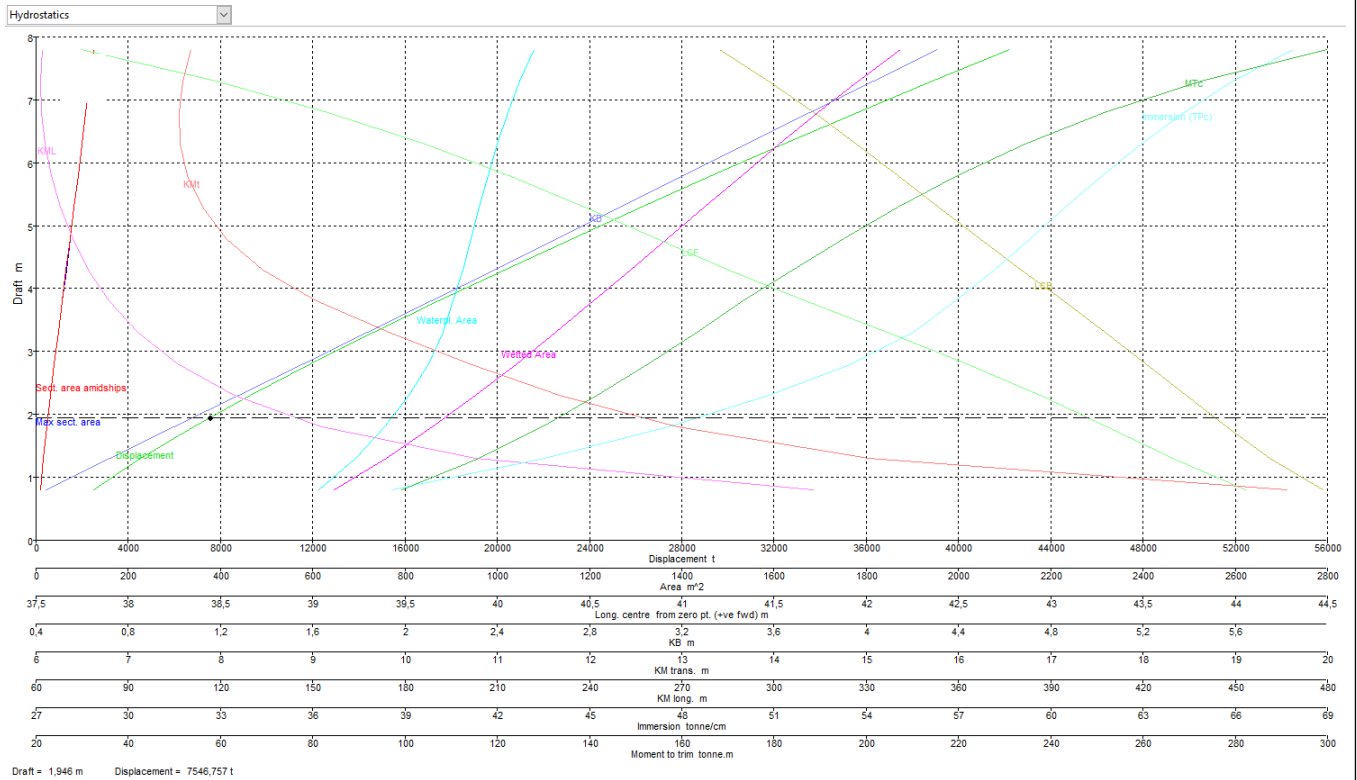


Рис 2.5 - Гідростатичні криві - криві теоретичного креслення суховантажного судна

2.3 Розрахунок остійності при великих кутах крена.

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

-Судно із повними запасами;

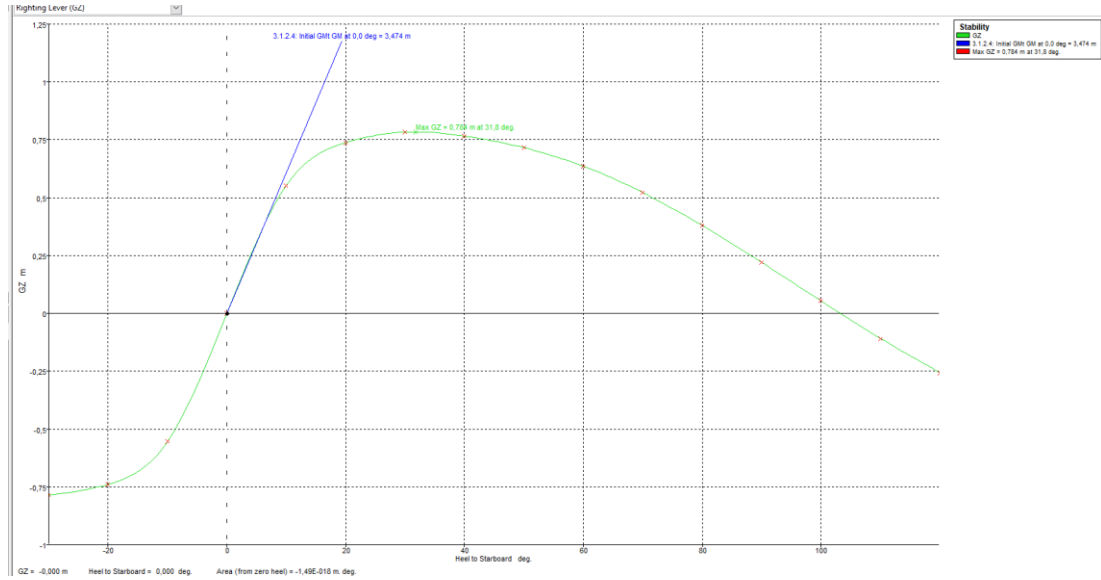


Рис 2.6 - Діаграма статичної остійності для випадку повного навантаження

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ

Арк.

64

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all s	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		<i>from the greater of</i>					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		<i>to the lesser of</i>					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	96,1	deg			
7		shall not be less than (>=)	3,1513	m.deg	43,9916	Pass	+1295,98
8							
9	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all s	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		<i>from the greater of</i>					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		<i>to the lesser of</i>					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first downflooding angle	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	96,1	deg			
16		shall not be less than (>=)	5,1566	m.deg	66,4223	Pass	+1188,10
17							
18	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all s	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
19		<i>from the greater of</i>					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		<i>to the lesser of</i>					
22		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
23		first downflooding angle	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	96,1	deg			
25		shall not be less than (>=)	1,7189	m.deg	22,4307	Pass	+1204,94
26							
27	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all s	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
28		<i>in the range from the greater of</i>					
29		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
30		<i>to the lesser of</i>					
31		spec. heel angle	90,0	deg			
32		angle of max. GZ	33,6	deg	33,6		
33		shall not be less than (>=)	0,200	m	2,255	Pass	+1027,50
34		<i>Intermediate values</i>					
35		angle at which this GZ occurs		deg	33,6		
36							
37	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all s	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than (>=)	25,0	deg	33,6	Pass	+34,54
39							
40	A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all s	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
41		spec. heel angle	0,0	deg			
42		shall not be less than (>=)	0,150	m	6,960	Pass	+4540,00
43							

Рис 2.7 - Перевірка вимог остійності при повному навантаженні

За результатами остійності суховантажне судно відповідає вимогам ІМО щодо остійності неушкодженого судна

2.4 Розрахунок швидкості та головного двигуна суховантажного судна

2.4.1 Розрахунок ходовості суховантажного судна у програмі Maxsurf Resistance [13]

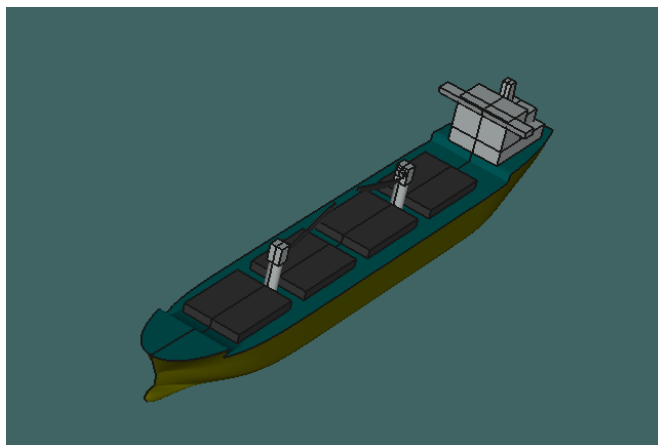


Рис 2.8 - Зображення поверхні суховантажного судна в Maxsurf Resistance

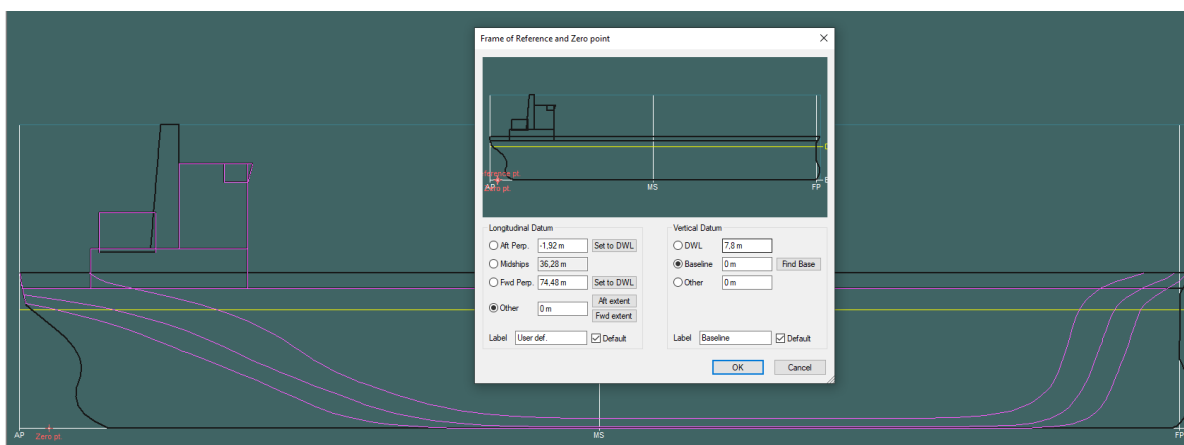


Рис 2.9 – Встановлення необхідної осадки суховантажного судна

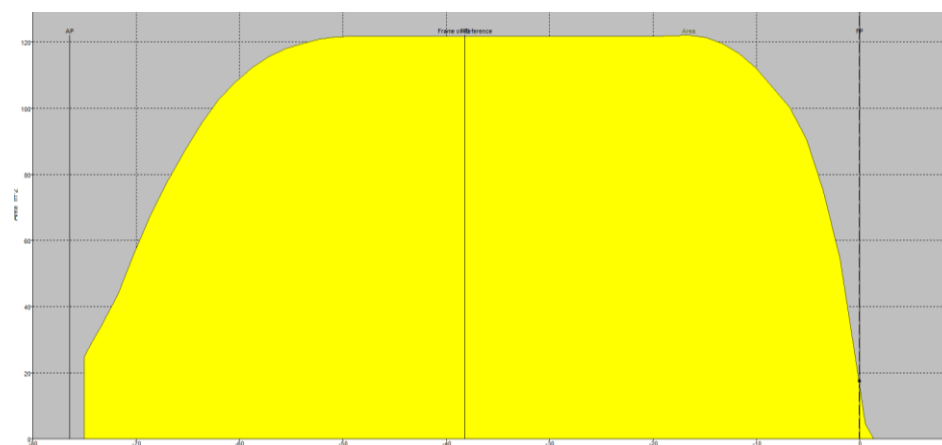


Рис 2.10 - Крива занурених площ шпангоутів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

	Item	Value	Units	Holtrop
1	LWL	165,593	m	165,593
2	Beam	23,162	m	23,162
3	Draft	8,123	m	8,123
4	Displaced volume	18233,859	m ³	18233,85
5	Wetted area	4354,722	m ²	4354,722
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,61		0,61
7	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,72		0,72
8	1/2 angle of entrance	13,7	deg.	13,7
9	LCG from midships(+ve for	-4,386	m	-4,386
10	Transom area	0	m ²	0
11	Transom w/ beam	1,084	m	—
12	Transom draft	0	m	—
13	Max sectional area	180,476	m ²	—
14	Bulb transverse area	0,002	m ²	0,002
15	Bulb height from keel	0	m	0
16	Draft at FP	8,1	m	8,1
17	Deadrise at 50% LWL	0	deg.	—
18	Hard chine or Round bilge	Round bilge		—
19				
20	Frontal Area	0	m ²	
21	Headwind	0	kn	
22	Drag Coefficient	0		
23	Air density	0,001	tonne/	
24	Appendage Area	0	m ²	
25	Nominal App. length	0	m	
26	Appendage Factor	1		
27				
28	Correlation allow.	0,0004		Calculate
29	Kinematic viscosity	0,0000011	m ² /s	
30	Water Density	1,026	tonne/	

Рис 2.11 – Початкові дані розрахунку ходовості суховантажного судна

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. 2.12.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	5,000	0,064	0,160	35,8	153,514
2	5,250	0,067	0,168	39,3	176,760
3	5,500	0,070	0,176	42,9	202,200
4	5,750	0,073	0,184	46,6	229,926
5	6,000	0,077	0,192	50,5	260,034
6	6,250	0,080	0,200	54,6	292,616
7	6,500	0,083	0,208	58,8	327,765
8	6,750	0,086	0,216	63,2	365,576
9	7,000	0,089	0,224	67,7	406,141
10	7,250	0,093	0,232	72,3	449,555
11	7,500	0,096	0,240	77,1	495,914
12	7,750	0,099	0,248	82,1	545,316
13	8,000	0,102	0,256	87,2	597,860
14	8,250	0,105	0,264	92,4	653,649
15	8,500	0,109	0,272	97,8	712,790
16	8,750	0,112	0,280	103,4	775,394
17	9,000	0,115	0,288	109,1	841,577
18	9,250	0,118	0,296	114,9	911,465
19	9,500	0,121	0,304	121,0	985,188
20	9,750	0,124	0,312	127,1	1062,889
21	10,000	0,128	0,320	133,5	1144,720
22	10,250	0,131	0,328	140,1	1230,843
23	10,500	0,134	0,336	146,8	1321,437
24	10,750	0,137	0,344	153,7	1416,694
25	11,000	0,140	0,352	160,8	1516,820
26	11,250	0,144	0,360	168,2	1622,040
27	11,500	0,147	0,368	175,7	1732,598
28	11,750	0,150	0,376	183,5	1848,757
29	12,000	0,153	0,384	191,5	1970,800
30	12,250	0,156	0,392	199,8	2099,032
31	12,500	0,160	0,400	208,4	2233,781
32	12,750	0,163	0,408	217,3	2375,398
33	13,000	0,166	0,416	226,5	2524,258
34	13,250	0,169	0,424	236,0	2680,761
35	13,500	0,172	0,432	245,8	2845,334
36	13,750	0,176	0,440	256,0	3018,427
37	14,000	0,179	0,448	266,6	3200,514
38	14,250	0,182	0,456	277,6	3392,093
39	14,500	0,185	0,464	289,1	3593,689
40	14,750	0,188	0,472	300,9	3805,856
41	15,000	0,191	0,480	313,3	4029,193

Рис 2.12 – Буксирувальний опір та буксирувальна потужність суховантажного судна при різних швидкостях

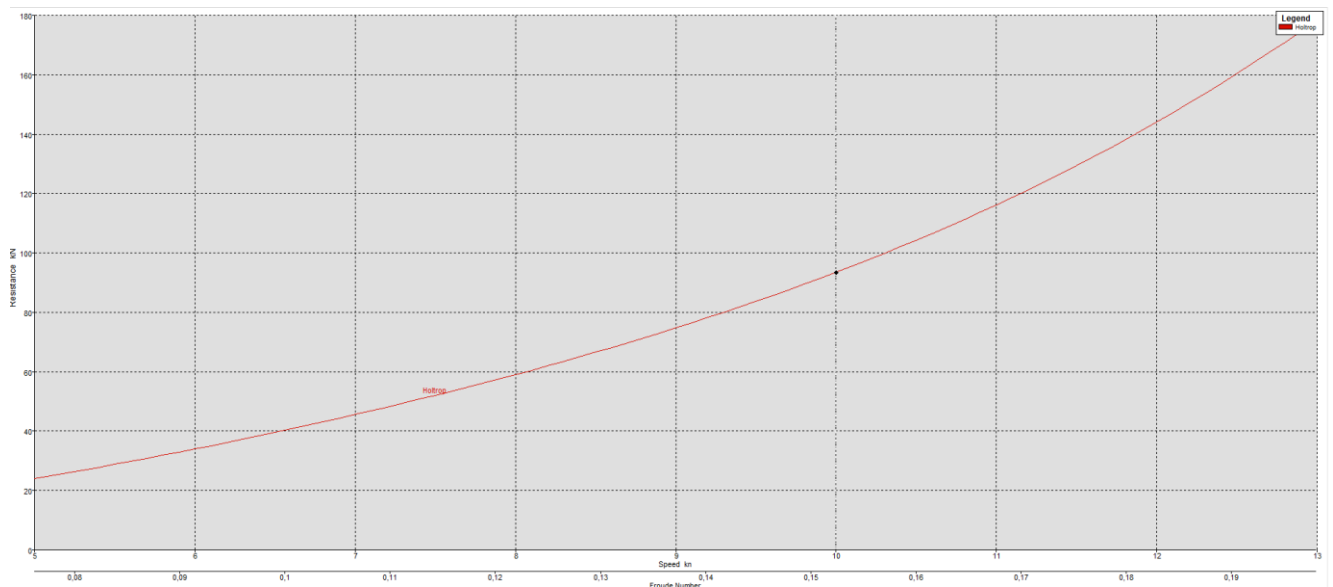


Рис 2.13 – Буксирувальний опір суховантажного судна при різних швидкостях

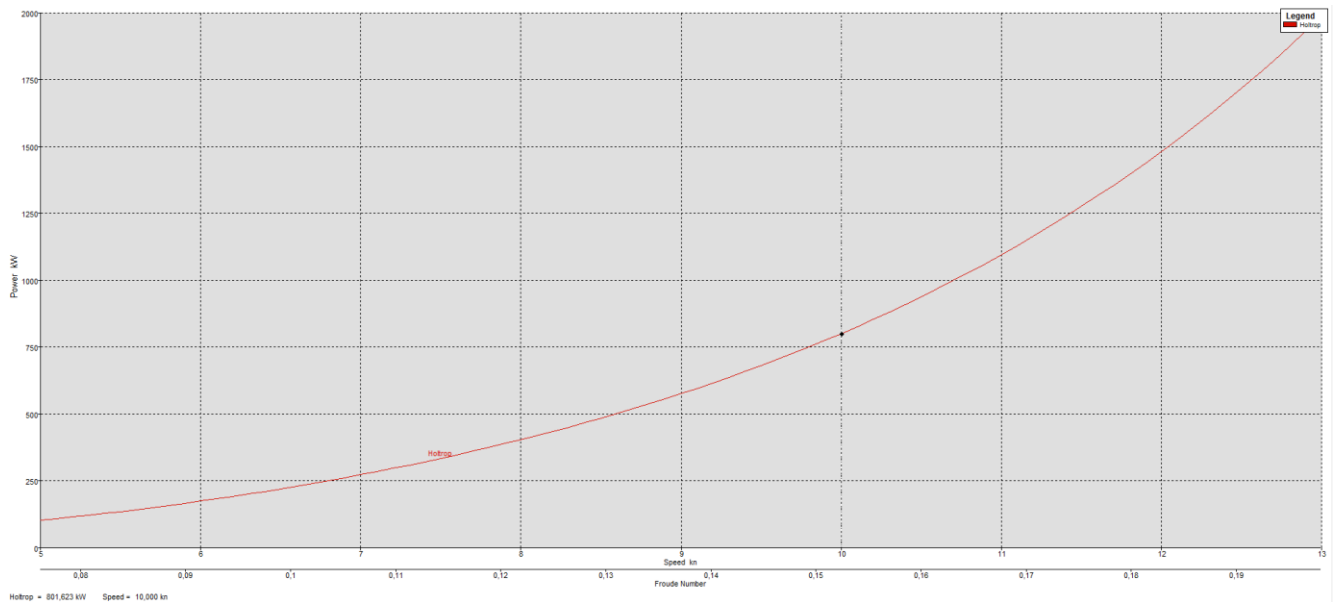


Рис 2.14 – Буксирувальна потужність суховантажного судна при різних швидкостях

Визначення буксирувальної потужності суховантажного судна при швидкості 13.5 вузлів та загальному пропульсивному коефіцієнті, що дорівнює 0.60, показує, що необхідна потужність головного двигуна суховантажного судна дорівнює 2845 кВт

Вибір двигуна: Виконавши аналіз паспортних даних двигунів провідних дизелебудівних фірм, вибираю двигун MAN B&W маркою **STX 4S35MC Low Speed 2-st Marine Propulsion Diesel Engine** з основними характеристиками:

- Потужність двигуна PSN*, кВт 2960
- Макс. швидкість обертання, об/хв 170
- питома витрата палива, г/(кВт.год.) 177
- Габарити LxVxH, мм 3600x2200x6400.
- Маса, т. 56

ВИСНОВКИ

Відповідно до завдання кафедри теорії та проектування суден у даній дипломній роботі реалізовано дослідження двох етапів процесу проектування суховантажного судна – концептуального (дослідження, оптимізація) та технічного проектування суховантажного судна для експлуатації на лінії Південний -Марсель.

При розробці проекту було враховано:

- формування моделей експлуатації суховантажного судна та його інженерно-навігаційних властивостей, необхідні для аналізу всього комплексу функціональних операцій цього судна за умов його експлуатації у Чорному морі;
- моделювання процесів експлуатації суховантажного судна у цьому середовищі та постановка завдань його функціонування;
- визначення показників ефективності та надійності функціональних операцій на основі використання сучасних методів їх дослідження та відповідних методів вирішення проблем функціонування судна;
- постановка та вирішення завдання оптимізаційного вибору основних габаритів суховантажного судна на основі його поступового "занурення" в робоче середовище з подальшою зупинкою процесу оптимізації при досягненні показників ефективності та надійності максимальних значень цих показників.

Виходячи з цього, основні розміри суховантажного судна були визначені за допомогою скоригованої програми оптимізації кафедри теорії та проектування суден, в якій як критерій оптимізації було обрано максимальний прибуток, і таким чином вирішувалася ефективність вантажних операцій на даної лінії роботи.

Результатом концептуального проекту стало суховантажне судно вантажопідйомністю 12000 т. однопалубне судно з чотирма трюмами, бульбовою носовою кінцівкою, транцевою кормою, машинним відділенням та надбудовою, що розташовані в кормі.

На етапі технічного проектування суховантажного судна було розглянуто так званий класифікаційний проект, тобто проект, що відповідає вимогам

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

класифікаційного товариства, та додатково було отримане задовільнення вимог до експлуатаційної надійності судна.

З цією метою за результатами концептуального проектування було створено 3D-модель корпусу суховантажного судна, а також розраховано плавучість, стійкість та ходовість судна за допомогою програмного продукту Maxsurf, рекомендованого класифікаційним товариством.

3D-модель корпусу також була покращена за допомогою рендерингу Maxsurf, щоб надати концепцію дизайну зовнішнього вигляду суховантажного судна, його вантажу і надбудови.

Таким чином, дослідження концептуального та технічного проекту суховантажного судна, який експлуатуватиметься на маршруті Південний - Марсель., відповідає проектним завданням та вимогам Міжнародної морської організації (ІМО) щодо основних морехідних якостей судна, забезпечуючи його ефективність, надійність, плавучість, остійність і ходовість.

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 проєкту 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 проєктування суден [Текст]/Л. Дешам, К. Грінвелл. - США: SPAR Associates, Inc., 2009. -24 с.
- [7] Орієнтована на продукт модель витрат на проєктування 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 проєктування 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 проєктного індексу досягнутої енергоефективності (EEDI) для нових суден», 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.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.03.ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		