

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 6000 тонн

та дослідження його ефективності і надійності

Виконав:

студент 6112м групи



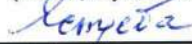
Щербаков Є.В.

(підпис)

Керівник роботи:

Канд. техн. наук, ст. викл.

(посада, науковий ступень вчене звання)



Ястреба О.П.

(підпис)

Миколаїв – 2025 р.

Кораблебудівний навчально науковий інститут

Освітня програма Кораблі та океанотехніка

« 12 » 09 2025 року

щодо здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

(прізвище, ім'я, по батькові)

вантажопідйомністю 6000 тонн та дослідження його ефективності і надійності

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

Затверджені наказом ректора № від « » 2025 року

2. Термін подання роботи: _____ 20.12.2025 р.

3. Вихідні дані по роботі:

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

3.2 Швидкість

3.3 Дальність плавання	400 миль
------------------------	----------

3.4 Район плавання Одеса-Стамбул

визначення оптимальних характеристик суховантажного судна

розробленим):

4.1. Вибір основних елементів судна, визначення його ефективності

4.1.1. Огляд основних тенденцій у розвитку світового флоту суховантажного судна

4.1.2. Аналіз методів вибору основних елементів суховантажного судна

4.1.3. Продукт-орієнтоване проектування суховантажного судна

ESWBS

4.1.3.2 Формування CER для будівництва суховантажного судна

4.1.3.3. Визначення вартості робіт з проєктування і побудови суховантажного судна

його ефективного використання

4.1.4.1. Моделі віртуальних просторів експлуатації суховантажного судна

4.1.4.2 Модель інженерно-навігаційних властивостей суховантажного судна

4.1.4.3 Модель експлуатації суховантажного судна

4.1.4.3.1 Імовірнісні характеристики надійності суховантажного судна

- 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 _____ Щербаков Євген Віталійович
(підпис) (ПІБ)

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

АНОТАЦІЯ

Згідно з завданням кафедри теорії та проєктування суден, у дипломній роботі здійснено дослідження двох етапів процесу проєктування судна – концептуального (дослідного, оптимізаційного) та технічного проєктування суховантажного судна для роботи на трасі Одеса - Стамбул (Чорне море).

При розробленні концептуального проєкту було виконано:

- формування моделей експлуатації суховантажного судна та його інженерно-навігаційних властивостей, потрібних для аналізу всього комплексу функціональних операцій цього судна в умовах його роботи у Чорному 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.

З огляду на це, головні розміри суховантажного судна були визначені за допомогою відкоригованої програми оптимізації кафедри теорії та проєктування суден, де критерій оптимізації була найбільший прибуток, і таким чином визначено ефективність вантажних операцій на цій лінії експлуатації.

Підсумком концептуального проєкту став проєкт суховантажного судна вантажопідйомністю 6000 т, архітектурно-конструктивним типом якого є однопалубне судно з чотирма трюмами, бульбовим носом, транцевою кормою та надбудовою, а також машинним відділенням, розташованими в кормі.

На етапі технічного проєктування суховантажного судна було розроблено так званий клас-проєкт, тобто проєкт, який задовольнив основні вимоги класифікаційного товариства та доповнив отримане концептуальне рішення задоволенням вимог до експлуатаційної стійкості судна.

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цього за наслідками концептуального проєктування було збудовано 3D-модель корпусу суховантажного судна і за допомогою рекомендованого класифікаційним товариством програмного продукту Maxsurf було виконано розрахунки плавучості, остійності, непотоплюваності та ходових якостей судна. 3D-модель корпусу була також доопрацьована у Maxsurf із застосуванням рендерингу, щоб надати уявлення про зовнішній вигляд спроектованого суховантажного судна з його вантажем і надбудовами.

Таким чином, розробка концептуального та технічного проєкту суховантажного судна, призначеного для роботи на лінії Одеса - Стамбул, відповідає завданням на проєктування та вимогам Міжнародної морської організації (ІМО) до морехідних якостей судна, що забезпечує його плавучість, остійність, непотоплюваність і ходові якості.

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

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

ANNOTATION

According to the task of the Department of Theory and Design of Ships, the thesis carried out a study of two stages of the ship design process - conceptual (research, optimization) and technical design of a dry cargo ship for operation on the Odesa - Istanbul route (Black Sea).

When developing the conceptual project, the following were implemented:

- formation of models of operation of a dry cargo ship and its engineering and navigational properties, necessary for analyzing the entire complex of functional operations of this ship in the conditions of its operation in the Black Sea;

- 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 for solving problems of vessel operation;

- determination and solution of the problem of optimization selection of the main dimensions of the ship based on its gradual "immersion" in the working environment with subsequent termination of the optimization process when the indicators obtain maximum values of efficiency and reliability criteria.

In view of this, the main dimensions of the dry cargo ship were determined using the adjusted optimization program of the Department of Ship Theory and Design, where the optimization criterion was the highest profit, and thus the efficiency of cargo operations on this line of operation was determined.

The result of the conceptual design was a design of a dry cargo ship with a carrying capacity of 6,000 tons, the architectural and structural type of which is a single-deck ship with four holds, a bulbous bow, a transom stern and a superstructure, as well as an engine room located in the stern.

At the stage of technical design of the dry cargo ship, a so-called class-design was developed, i.e. a design that satisfied the basic requirements of the classification society and supplemented the resulting conceptual solution by meeting the requirements for the operational stability of the ship.

					24. ДРМ.135.6112М.10.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

To this end, a 3D model of the dry cargo ship hull was built based on the results of the conceptual design and calculations of the buoyancy, stability, unsinkability and running qualities of the ship were performed using the Maxsurf software product recommended by the classification society.

The 3D hull model was also refined in Maxsurf using rendering to provide an idea of the appearance of the designed dry cargo ship with its cargo and superstructures.

Thus, the development of a conceptual and technical design of a dry cargo ship intended for operation on the Odesa - Istanbul route meets the design tasks and the requirements of the International Maritime Organization (IMO) for the seaworthiness of the ship, ensuring its buoyancy, stability, unsinkability and running qualities.

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

					24. ДРМ.135.6112М.10.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 проєктування суховантажного судна.....	24
1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт.... ..	24
1.3.2 Формування CER для будівництва суховантажного судна.....	25
1.3.3 Визначення вартості робіт з проєктування і побудови суховантажного судна.....	29
1.4 Систем-орієнтоване проєктування суховантажного судна	32
1.4.1 Моделі віртуальних просторів експлуатації суховантажного судна	32
1.4.1.1 Географічний простір судових операцій.....	32
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.10.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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	61
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.10.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Вступ

Вибір варіанта при проектуванні суховантажного судна реалізується на основі дослідження операцій, які виконуються при проектуванні, будівництві, експлуатації та утилізації цього судна.

Функціонування транспортного судна будується таким чином, щоб виконання його завдання було з максимальним позитивним результатом. Відповідно до цього поположення був створений процес проектування суховантажного судна.

При проектуванні суховантажних суден використовується метод створення функціональної моделі і вибору основних компонентів. Концептуальне проектування судна виконується на початковій стадії проектування. При проектуванні виконується пошук конструктивного рішення судна, 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 під час експлуатації. На початковій стадії проектування з'являються два напрямки пошуку: дизайн-орієнтований - створення судна як продукту промисловості і направлений на врахування умов експлуатації судна як складної технічної системи. Продукт-орієнтований дизайн визначає витрати на будування вантажного судна. 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. При цьому, визначається комбінація показників, який характеризує досягнутий рівень ефективності та надійності проектного судна.

Математичним апаратом підбору оптимального суховантажного судна на стадії концептуального проектування є апарат теорії досліджень операцій [2]. Використання цієї теорії забезпечує [1]:

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

- визначення умов експлуатації суховантажного судна;
- формування середовища існування суховантажного судна;
- створення віртуальної моделі суховантажного судна;
- моделювання процесів життєдіяльності та ефективного використання суховантажного судна в просторі функціонування;
- визначення показників ефективності та надійності суховантажного судна при його роботі в функціональному просторі;
- формування методів розв'язання задач функціонування суховантажного судна;
- організація процесу пошуку оптимального рішення судна
- призначення ознаки зупинки процесу пошуку оптимального рішення по моменту досягнення показників ефективності і надійності свого мінімального або максимального значення.

Тому одними з головних питань концептуального проєктування є створення моделей функціонування судна в умовах його експлуатації, формулювання завдань функціонування і визначення та підбор методів їх вирішення.

При концептуальному проєктуванні розглядається весь набір операцій по створенню і експлуатації судна. При цьому кожна з операцій має дві основні характеристики - ресурс операції і час операції. До типових проміжків часу, що розглядаються при концептуальному проєктуванні відносяться життєвий період судна, рік його експлуатації, час кругового рейсу і інші, а узагальненим показником ресурсу зазвичай є вартість трудових і матеріальних складових операції [1].

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 $T_{m\ overhaul}$:

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

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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

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

в якій

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

Тут E_{design} - витрати на проєктування судна; E_{build} - витрати на його будівництво; $E_{k\text{ repear}}$ - витрати на поточні ремонти; $E_{m\text{ overhaul}}$ - 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 сукупності підприємств і організацій є концептуальне, технічне і робоче проєктування. Для конструкторських бюро верфей, в силу специфіки їх роботи, що має виражений виробничий характер, назви етапів проєктування суден дещо відрізняються (див. Табл. 1).

Процес формування інформації про судно може реалізовуватися за двома напрямками, як при русі знизу-вгору, від деталей до узагальнених характеристик, так і зверху-вниз, в зворотному напрямку. При русі знизу-вгору інформація, отримана під час розгляду детальних креслень і відомостей із зазначенням величин мас і вартостей деталей (статей масової навантаження), узагальнюється в

інформацію про розділи масової навантаження судна, робіт зі створення розділів і вартостей матеріалів і обладнання, що входять в розділи.

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

№	Етапи проєктування (Результат)	Етапи проєктування 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 проєктування (Аванпроєктів або ескізний проєкт)	Концептуальний проєкт	1-й разряд ESWBS	Характеристики судна	Параметричне	Емпіричні CER (ECER)
2	Технічне проєктування (Клас-проєкт)	Попередній проєкт	2-й разряд SWBS/ ESWBS	Характеристики судна і систем	Параметричне	Емпіричні CER і прямі CER
3	Робоче проєктування (Робочий проєкт)	Контрактний проєкт	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 (розширюється).

На етапах технічного і концептуального проєктування детальна інформація по судну природно 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 побудованим судам [4,5,6,7]. Визначенню емпіричних співвідношень системи розбиття суднових 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, що використовуються при будівництві судів.

Як впливає із завдання на дипломну роботу, тип судна, є вантажним, а тип його експлуатації - послідовні рейси між портами Одеса та Стамбул.

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

- розгляд усього спектру функціональних операцій суховантажного судна, що 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 для подальшого успішного вирішення проблем вибору його основних розмірів та характеристик;
- формулювання оптимізаційної задачі вибору розмірів суховантажного судна, вибір алгоритму її розв'язання та розв'язання цієї задачі з метою отримання проєкту суховантажного судна з найвищими показниками ефективності та надійності на лінії експлуатації Одеса – Стамбул.

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

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ							
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата								
Студент		Щербаков Є.В.			Вибір основних елементів суховантажного судна			Літ.		Арк.	Аркушів	
Керівник		Ястреба О.П..								15		
Консульт.		Некрасов В.О.						НУК				
Зав.Каф.		Некрасов В.О.										

1. ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУХОВАНТАЖНОГО СУДНА.

1.1 Огляд основних тенденцій розвитку світового флоту суховантажних суден

Попит на сировину, таку як залізна руда, мідь, зерно та ін., значно зріс. З 2000 по 2018 рік вантажі, що перевозяться суховантажними суднами за рік, зросли майже вдвічі [9]. Це наслідок глобалізації та великого попиту на сировину в Китаї та інших країнах, що розвиваються в Південно-Східній Азії, завдяки швидкому економічному зростанню. Це означає, що промисловість Південно-Східної Азії, серед іншого, поглинає велику кількість залізної руди, тоді як зростаюче населення споживає інші сипучі вантажі, такі як зерно та соєві боби.

Таким чином, ринок насипних вантажів був дуже привабливим, що спричинило величезний поштовх у підписанні контрактів на будівництво до останньої економічної кризи в 2008 р. Розвиток тоннажу на замовлення для різних типів суден показано на рис. 1.1

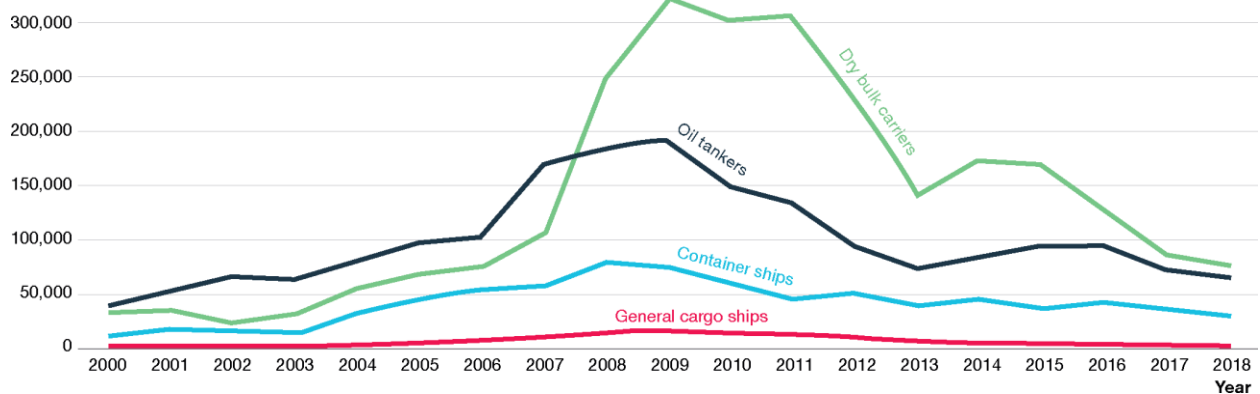


Рис.1.1 -Розробка тоннажу на замовлення для різних типів суден, 2000-2018 [9]

Світова економіка розвивається, тарифи на вантажні перевезення покращуються, на ринок виводяться значно ефективніші технології, що призводить до конкурентних переваг сучасних суден для масових вантажів, що поставляються зараз, порівняно з конструкціями, поставленими приблизно в 2008-2010 роках. Завдяки цим факторам, замовлення на вантажоперевезення, як очікується, зростуть із нинішньої нижчої точки.

.

1.1 Характеристики вантажоперевезень

Суховантажні судна складають майже 75% дедвейту флоту суден для перевезення насипних та генеральних вантажів.

На 1 січня 2019 р. світовий флот суховантажників налічував 16 945 одиниць загальним дедвейтом 74,0 млн т. 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.

Традиційними будівниками суховантажних суден є Китай, Японія, Південна Корея, В'єтнам, Польща, Німеччина, Нідерланди.

Флот 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 суховантажі дедвейтом більше 20 тис. т. складали вже близько 20%. Тобто простежується тенденція збільшення дедвейту однопалубних суховантажних суден.

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

Багатопалубні суховантажні судна поступово списуються і замінюються однопалубними, тому саме вони представлятимуть інтерес при аналізі перспектив розвитку суховантажних суден.

Суховантажні судна дедвейтом до 5000 т переважно працюють на прибережних лініях, тому 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 130...150 одиниць на рік.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ

Арк.

17

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

Перспективи замовлень на будівництво суден більшого 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 цих вантажів одним із перспективних типів є багатоцільове суховантажне судно.

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Аналіз методів вибору головних елементів суховантажного судна

Складність процесу проектування судна посилюється узгодженістю ряду технічних вимог. Таким чином, швидкісна механізація вантажних операцій, як правило, вимагає максимального відкриття верхньої палуби корабля і рівномірного розподілу вантажу по довжині та ширині корабля, що значно ускладнює забезпечення загальної та місцевої міцності корпусу. Відповідно до вимог повені, слід прагнути збільшити кількість водонепроникних переборок, але на пасажирських судах це може ускладнити рух пасажирів.

Одним із найважливіших питань проектування є створення основних елементів корабля, від яких в кінцевому рахунку залежать його основні навігаційні та експлуатаційні якості. Ця проблема в основному вирішується за допомогою аналітичного методу із застосуванням статистичного методу як допоміжного, методу порівняння (у конкретному випадку це метод перерахунку прототипу), методу градієнта та методу випадкового пошуку. Іноді, виходячи із специфікацій, одним із допоміжних методів можна прийняти основний.

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

У практичному проектуванні аналітичний метод, як правило, поєднується зі статистичним методом, який широко використовує дані, отримані з досвіду проектування, будівництва та експлуатації кораблів певного призначення. Використовуючи статистичний метод, необхідно дотримуватися таких умов: числові значення, що приймаються на основі статистичної обробки, повинні базуватися на чітко визначених та перевірених даних для досить великої кількості суден; кораблі, для яких відбираються статистичні дані, повинні мати однакові позначення та архітектурно-конструктивний тип із запроектованим кораблем і повинні плавати за однакових умов; усі необхідні числові значення слід отримати, обробляючи ті самі методи; використовуючи статистичні значення

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різних характеристик та показників для першого наближення, він не повинен базуватися лише на середніх показниках: необхідно сприймати їх критично, тобто з точки зору специфіки завдання та отримати оптимальні показники ефективності для спроектованого корабля.

Метод порівняння заснований на порівнянні даних технічного завдання з даними проєктів суден, подібних до проєктованих, а також на даних про конструкцію та експлуатацію цих кораблів. На основі аналізу результатів порівняння цих даних проводиться відбір основних елементів проєкту, що проєктується.

Окремим випадком методу порівняння є метод перерахунку з прототипу, що застосовується у випадках, коли вимогам технічного завдання дуже тісно відповідає будь-який з побудованих або спроектованих кораблів. Приймаючи цей корабель як прототип, до проєкту вносяться лише ті зміни, які спричинені вимогами технічних специфікацій.

В силу дуже великої кількості невідомих величин, аналітичні методи проєктування, навіть при найширшому використанні статистичних матеріалів, забезпечують, як правило, лише приблизне рішення проблеми, яка потребує подальшого вдосконалення. Таке вдосконалення досягається за допомогою методу послідовних наближень, який отримав широке визнання в практиці проєктування кораблів. Цей метод можна охарактеризувати такими основними принципами: певна послідовність різних наближень; використання для перших наближень функціональних залежностей, що містять мінімальну кількість змінних (невідомі величини та параметри); послідовне збільшення для подальших наближень кількості змінних (шляхом поступового введення в проблему тимчасово відкинутих вторинних невідомих змінних); розуміння ступеня точності формул, що встановлюють функціональні залежності між окремими змінними, які, як правило, мають приблизний характер завдяки наявності в них емпіричних та статистичних коефіцієнтів.

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

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуючи один із наступних аналітичних методів, визначте в першому наближенні водотоннажність проєктованого судна D та потужність основних двигунів N_e виходячи з чистої вантажопідйомності P (або дедвейта), швидкості судна v та діапазону Z водотоннажності, беручи до уваги аналітичні залежності, що характеризують основні якості судна (плавучість, стійкість, міцність), визначають у першому наближенні основні розміри L , B та тягу T (якщо вона не встановлена) та перевіряють вимоги до умов (категорія) плавання. Якщо основні елементи задовольняють зазначеним умовам, то проблема вибору цих елементів вирішується в першому наближенні; в іншому випадку проблема вирішується у другому наближенні і т. д. Потім, вказуючи ряд додаткових параметрів, що характеризують швидкість корабля (величина змоченої поверхні, коефіцієнти опору, число Фруда тощо), визначають практичну потужність буксирування та потужність корабель із використанням перевірених емпіричних формул або даних модельних та польових випробувань. основні механізми у другому наближенні. Якщо знайдена таким чином потужність буксирування збігається з даними, отриманими в першому наближенні, то задача обчислення потужності у другому наближенні вважається вирішеною; в іншому випадку необхідно визначити нові значення основних елементів корабля і повторювати розрахунки, поки значення потужності, знайдені в двох сусідніх наближеннях, не будуть збігатися.

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, що дозволяє при порівняльному критичному аналізі вибрати з числа комбінацій основні елементи корабля, які задовольняють основним вимогам завдання, їх найбільш вигідні комбінації, тобто найкращий варіант. Метод варіації, що забезпечує багатозначне рішення, широко використовується сьогодні в практиці проєктування. Тут особливо важливим завданням є вибір саме для варіювання тих

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеристик цього типу кораблів, які визначають його найважливіші навігаційні та експлуатаційні якості. Отже, для бункера основними якостями є зручність експлуатації, рушійність, керованість, стійкість (безпека судноплавства та плавне подавання), а найважливішими співвідношеннями основних елементів, які слід варіювати, можуть бути основні розміри, такі як L/B , що впливає на продуктивність, керованість та зручність експлуатації, або B/T , що впливає на продуктивність та стабільність. У той же час, збільшення числового значення L/B позитивно впливає на прохідність, стабільність курсу та експлуатаційні зручності, а на поворотність - негативно. Збільшення V/T позитивно впливає на початкову стабільність (збільшується) та негативно на продуктивність (у деяких випадках) та висоту качки.

Використовуючи метод варіацій, можна зменшити результати розрахунку елементів корабля для всіх варіантів в одній таблиці, що дозволить порівняти характеристики корабля, отримані для різних варіантів, і вибрати найкращий варіант за аналізуючи ці характеристики.

Істотним недоліком варіаційного методу, який обмежує кількість варіантів, є великий обсяг роботи. У деяких випадках це обмеження може призвести до того, що оптимальний варіант основних елементів корабля не буде включений до серії варіантів.

Метод градієнта набагато економічніший, ніж метод варіації, з розрахункової точки зору, оскільки просування до екстремуму проходить найкоротший шлях незалежно від типу та розміру цільової функції, однак він дозволяє отримати лише локальний екстремум.

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.

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо обрана початкова точка не є оптимальною (складові градієнта не дорівнюють нулю), то для досягнення максимуму ми рухаємось у напрямку градієнта, а мінімальної - у зворотному. Тож маленькими кроками (ітераціями), регулюючи напрямок руху кожного разу, ми досягаємо екстремуму.

Градiєнтні методи мають кілька недоліків. Для того, щоб весь час рухатись у напрямку градієнта, сходинки потрібно вибирати не дуже великі, а тому їх буде багато. Оскільки на кожному кроці необхідно ще раз визначити напрямок градієнта, що вимагає значних витрат часу, процес наближення до оптимуму буде повільним. Додаткові труднощі виникають, якщо крайня точка лежить у "яру" або на довгому вузькому хребті. У цьому випадку метод градієнта може спричинити стрибок через "яр" і не призвести до справжнього оптимуму.

На відміну від градієнтного методу, у метод випадкового пошуку вводиться елемент випадковості, який у певних ситуаціях дає можливість побудувати дуже прості та ефективні алгоритми для визначення не тільки локального, а й глобального оптимуму.

«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. Після ітерації через достатню кількість комбінацій у пам'яті комп'ютера залишається лише граничне значення функції та відповідні невідомі.

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. Недоліки: загалом напрямки робочих сходінок не є оптимальними; низька конвергенція, якщо поверхня відгуку рівна.

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Продукт-орієнтоване проєктування суховантажного судна

1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт

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

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 суднових 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 проєктування (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.10.ПЗ	Арк.
						24
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	Включає ваги обшивки, набору, палуб, перегородок, надбудов і фундаментів
Група 200	Пропульсивна установка	Включає ваги дизелів, турбін, редукторів, валопроводов і рушіїв
Група 300	Електрична установка	Включає ваги обладнання для вироблення електроенергії, силових кабелів, освітлювальних систем і аварійних систем електропостачання
Група 400	Управління та моніторинг	Включає ваги навігаційної системи, системи внутрішнього зв'язку, протипожежної системи, системи спостереження, радіолокаторів, гідролокатором, радіоприймачів та інших систем управління і контролю
Група 500	Допоміжні системи	Включає ваги систем кондиціонування, вентиляції, охолодження і пожежогасіння, 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 проєктування знизу вгору інформація про витрати праці для всіх груп SWBS, необхідна для визначення термінів будівництва судна, стає доступною для обробки на етапі попереднього проєктування. На цьому етапі проєктування він служить основою для визначення строку будівництва судна. Через те, що загальний час проєктування, підготовки виробництва та будівництва корабля визначається регресійними залежностями вищезазначених норм праці, терміни проєктування 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 проєктування.

Таблиця 1.5 відображає параметричну обробку даних для будівництва судна насипного типу водотоннажністю 5000-10 000 тонн (повне водотоннажність).

Аналіз закономірностей проєктно-орієнтованого проєктування показує, що найбільш підходящим для прогнозування вартості та строку будівництва судна на початкових етапах його будівництва є рівень попереднього проєктування, при якому форма майбутнього судна визначається розширена структура 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 проєктування 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.

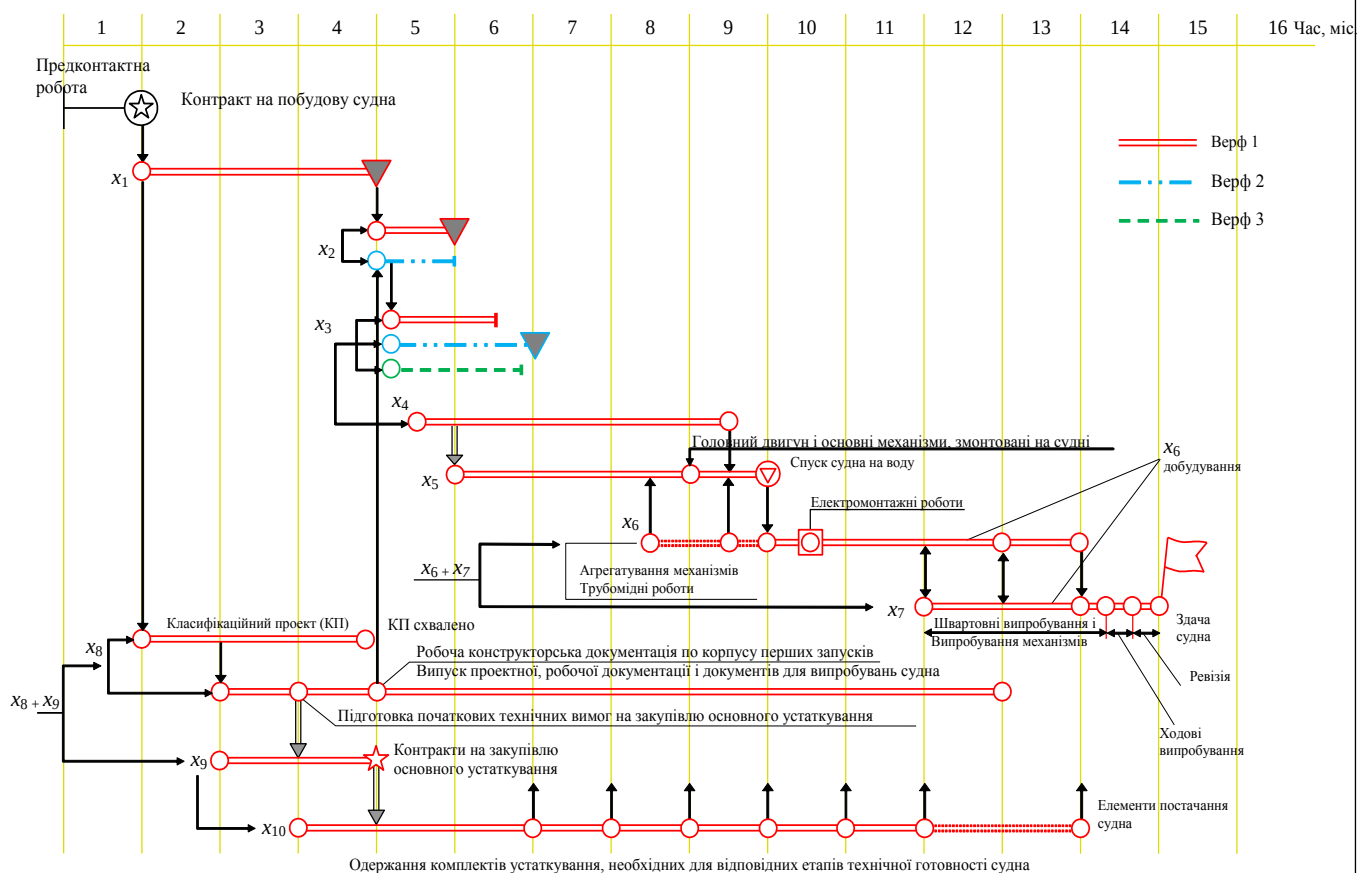


Рис. 1.13 Мережевий графік будівництва корабельного проєкту 17012 на віртуальній верфі [1]

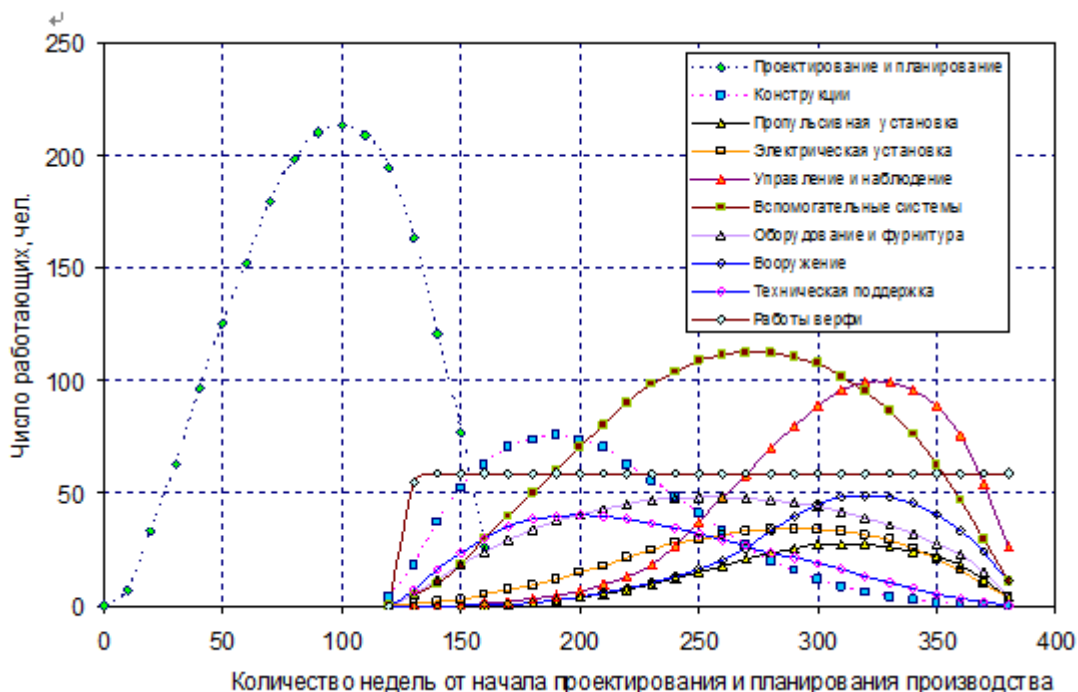


Рис. 1.14 - Вимоги до робочої сили при проектуванні, підготовці, будівництві, завершення, запуск та випробування випробувань розробленого проекту

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.

Таблица 1.7 - Значения коэффициента TF для разных типов судов [1]

No	Тип корабля	Значения TF коэффициент
1	2	3
1	Танкер для сырой нефти	0.80
2	Цистерна для перевезення нефтепродуктов	1.13
3	Химический танкер	1.25
4	Танкер с двойным корпусом	0.90
5	Наповнювач	0.85
6	Универсальное грузовое судно	0.95
7	Контейнеровоз	0.96
8	Корабль ро-ро	0.83
9	Корабль для перевезення автомобилей	0.61
10	Пором	1.25
11	Пассажирское судно	3.00
12	Рыболовецкое судно	2.20
13	Буксир	0.80
14	Бойовик - крейсер (ядерный)	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 проєктування і побудови суховантажного судна.

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

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

Найбільш комплексний метод 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 проєктна 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 проєктування, планування, підготовки верфівського виробництва та створення розглянутого булкера. Розрахунки результатів за допомогою цього алгоритму представлені на рис. 1.14 та 1.15.

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. ДРМ.135.6112_м.10.ПЗ

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

[illegible]

1.4 Системно-орієнтована проєктування суховантажного судна на інтервалах його ефективного використання

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 моря, рис. 1.16. Судно перевозить насипні вантажі з України, порт Чорноморський в порти Стамбула, переважно в морський порт. Відстані між портами цього регіону близько 400 миль.

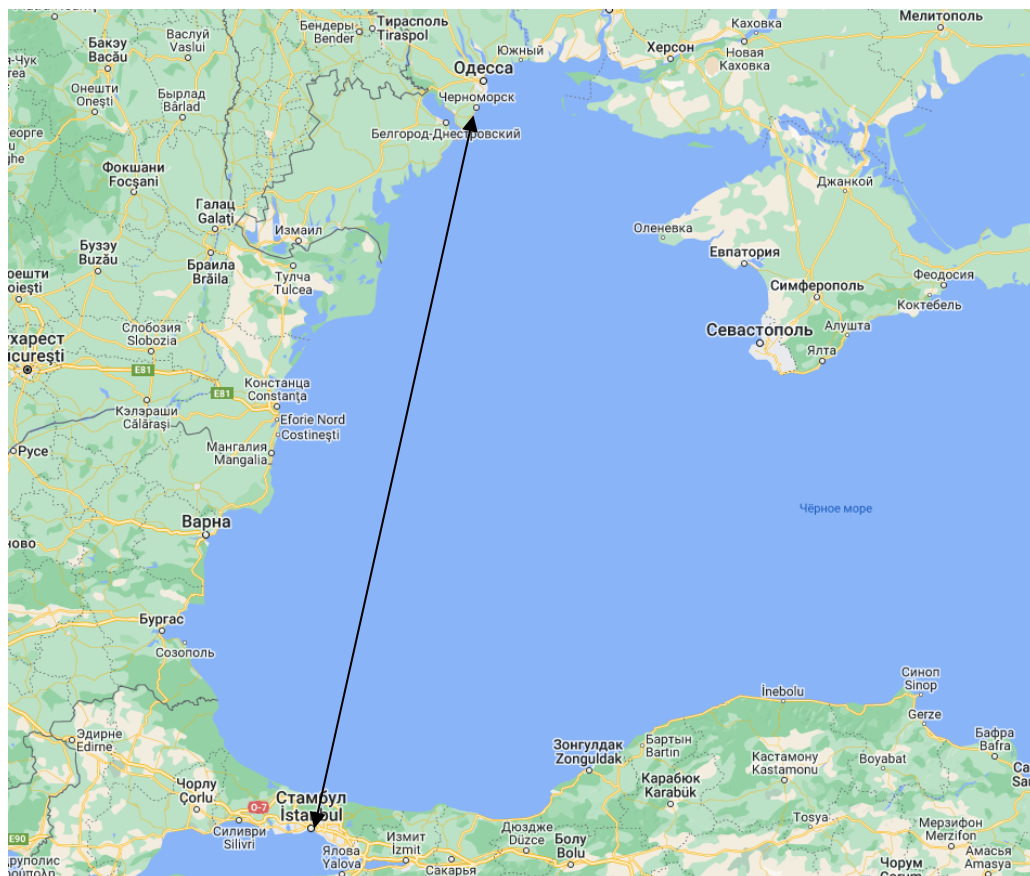


Рис 1.16 Район експлуатації суховантажного судна

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						32
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.10.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].

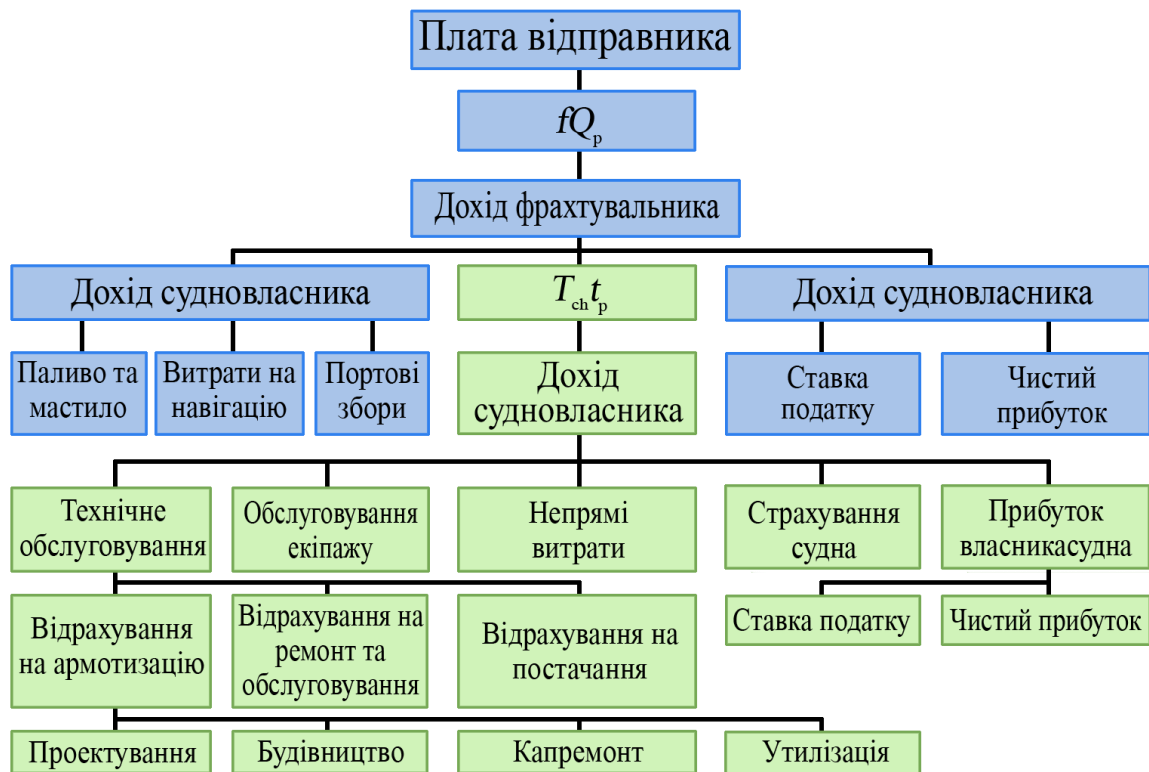


Рис. 1.18 - Распределение денежных средств между участниками транспортной операции одного кругового рейса: грузоотправителем (Consignor), фрахтователем (Charterer) и владельцем судна (Ship Owner)

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

t_{rt} - тривалість послідовного рейсу;

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

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

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

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

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення ймовірнісних характеристик вартості палива $E_{l_{fuel}}$ паливо наважного 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 , опади d , висоти борту D , коефіцієнтів повноти C_B , C_W , C_m , швидкості ходу v_s і параметрів силової установки, зазначених в розділі 1, а також від параметрів систем і устаткування судна.

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

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

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

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

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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 ходкости судна вимагає рівності буксировочної потужності ЕНР твору потужності енергетичної установки корабля N_E на Пропульсивную коефіцієнт η , що враховує КПД рушійні комплексу на режимах руху судна:

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

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 ветроволнових режимів району його експлуатації. Задоволення умов населеності і експлуатації обладнання досягається, якщо переміщення s , швидкості s' і прискорення s'' русі судна під впливом ветроволнових 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.10.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модель інженерно-навігаційних властивостей судна, створена для використання на етапі концептуального проєктування, допускає спрощення. Так, наприклад, оскільки вага судна визначається з використанням структури ESWBS, складеної за допомогою даних про побудованих судах, які мають необхідні товщини елементів конструкцій для забезпечення міцності і необхідну кількість водонепроникних перегородок для забезпечення непотоплюваності, нерівності (1.21) і (1.22) можуть не розглядатися. Вони можуть бути прийняті до уваги на наступних етапах проєктування 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.10.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 сталася.

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.10.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, представлене 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

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

Підсумовуючи середній прибуток за L поїздки в обидва кінці, загальна тривалість яких дорівнює часу продуктивного використання 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.10.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]

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

					24. ДРМ.135.6112м.10.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_l - 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 проєктне рішення для максимізації прибутку, другий OF_2 зводиться до мінімуму для досягнення мінімальних витрат при виконанні судна набору основних функціональних можливостей операцій. Представлення характеристик надійності в цих індексах не є повним. Більш повне відображення факторів надійності здійснюється при формуванні обмежень під час створення задачі оптимізації дослідницького проєкту судна.

					24. ДРМ.135.6112м.10.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.10.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 (балкер 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.

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).

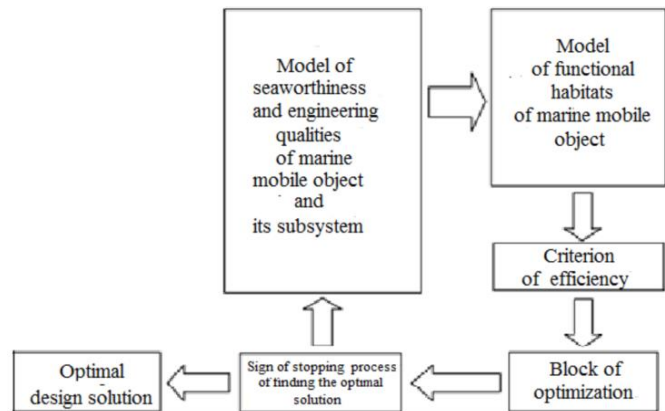


Рисунок 1.19 - Структурна схема пошуку оптимального рішення проблеми синтезу морського рухомого об'єкта для умов їх експлуатації

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.

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.

1.7 Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації.

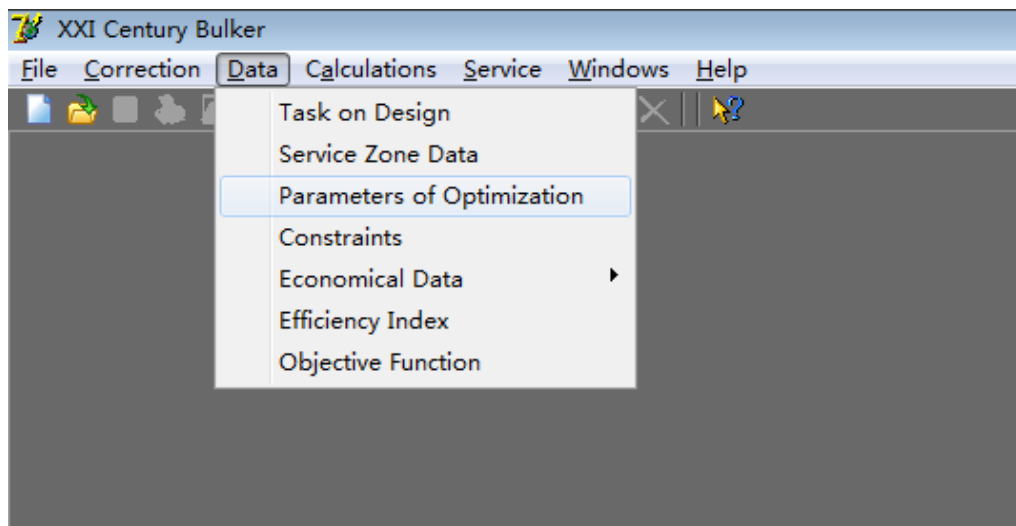


Рис 1.20 - Головне вікно програми

The image displays the 'Initial Data' dialog box within the software. It features a tabbed interface with the 'First Part of Task on Design' tab selected. The dialog contains several input fields: 'Endurance, days' with a value of 15.0, 'Crew, persons' with a value of 13, 'Seakeeping, states' with a dropdown menu showing 8, 'Type of engine' with radio buttons for 'Average-speed' (selected) and 'High-speed', and 'Number of Engines' with a dropdown menu showing 1. At the bottom of the dialog are 'Ok' and 'Cancel' buttons.

Рис 1.21 - Вікно дизайнерського завдання

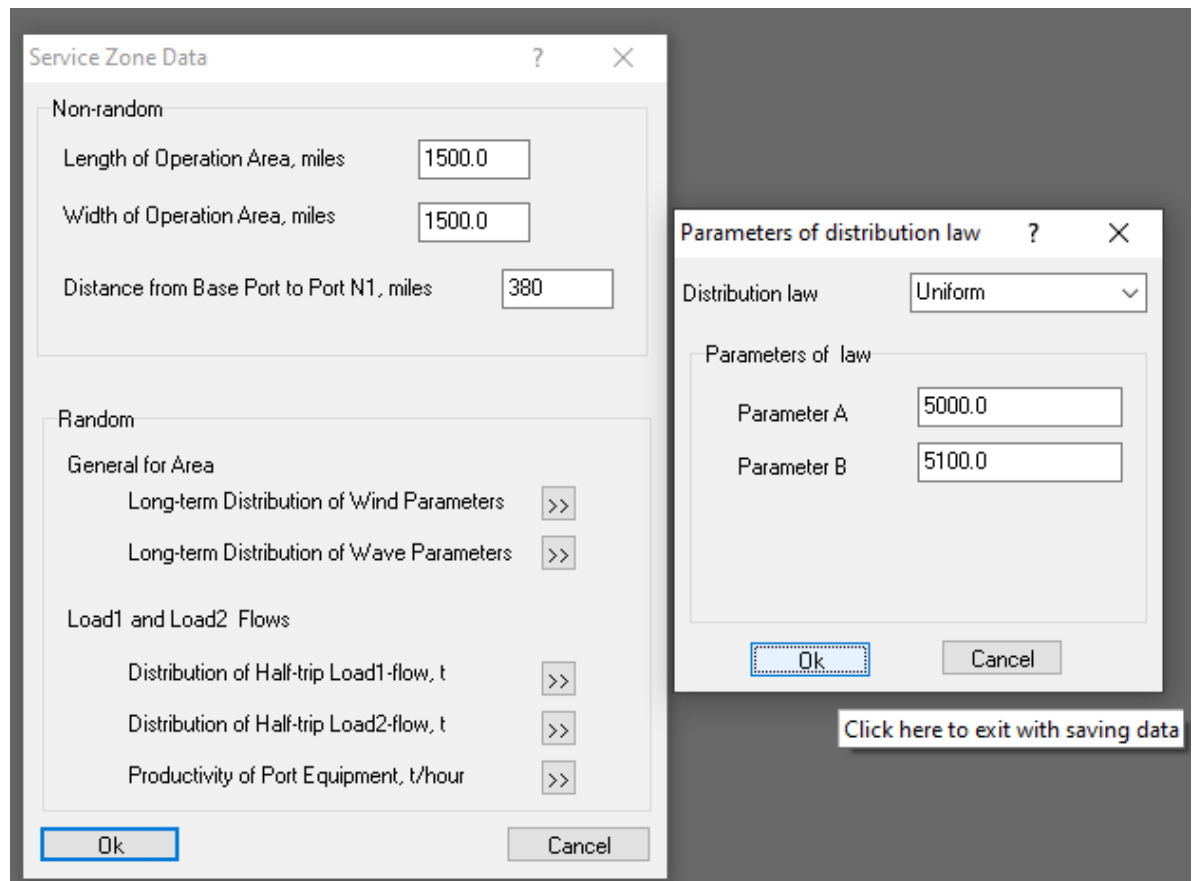


Рис 1.22 - Вікно даних зони обслуговування

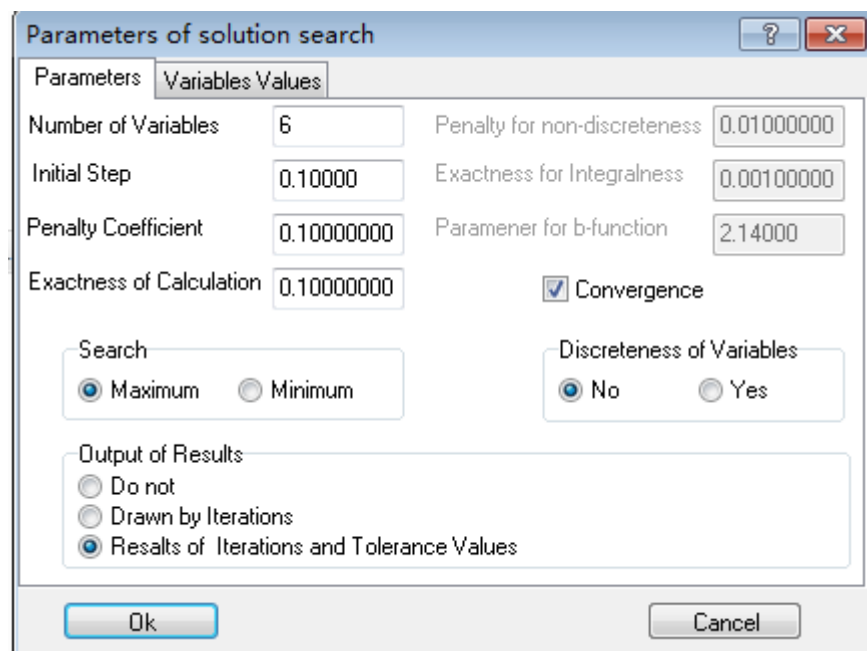


Рис 1.23 - Вікно параметрів пошуку рішення

Parameters of solution search

Parameters Variables Values

Name	Initial	Normalizing
Length L, m - X1	95.000	95.000
Breadth B, m - X2	17.000	17.000
Draught d, m - X3	7.500	7.500
Depth H, m - X4	11.000	11.000
Block coefficient Cb - X5	0.800	0.800
Full Speed, knots - X6	14.600	14.600

Ok Cancel

Рис 1.24 - Вікно незалежних змінних

Choice of Constraints

Constraints Choice Values setting

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

Clean Choose all

Ok Cancel

Рис 1.25 - Вибір вікна обмежень

Stochastic Data

?

X

I DESIGN EXPENSES

Rate of Design Costs, %

>>

II BUILDING EXPENSES

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

>>

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

>>

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

>>

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

>>

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

>>

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

>>

Rate of Productivity of 1 Worker, reg. t

>>

Average Salary of Shipbuilder, \$/month

>>

Duration of Ship Construction, months

>>

III MAJOR OVERHAUL AND RECYCLING EXPENSES

Rate of Major Overhaul Costs, %

>>

Cost of 1 ton Ship Scrapping, \$/т

>>

IV OPERATION EXPENSES

Price of 1 ton of Foil, \$/т

>>

Price Of 1 ton of Oil, \$/т

>>

Rate of Supply Costs, %

>>

Repair and Maintenance Costs, %

>>

Average Salary of Crew, \$/month

>>

Rate of Undirect Expenses, %

>>

Rate of Ship Insurance, %

>>

V INCOME

Freight Rate of Load No. 1, \$/т

>>

Freight Rate of Load No. 2, \$/т

>>

OK

Cancel

Рис 1.26 - Вікно економічних стохастичних даних

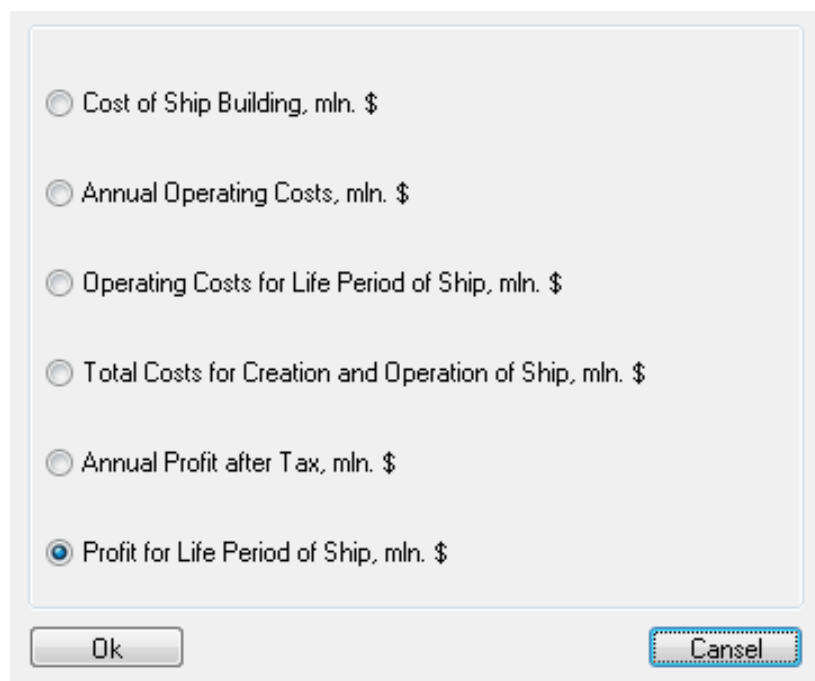


Рис 1.27 - Вікно показників економічної ефективності

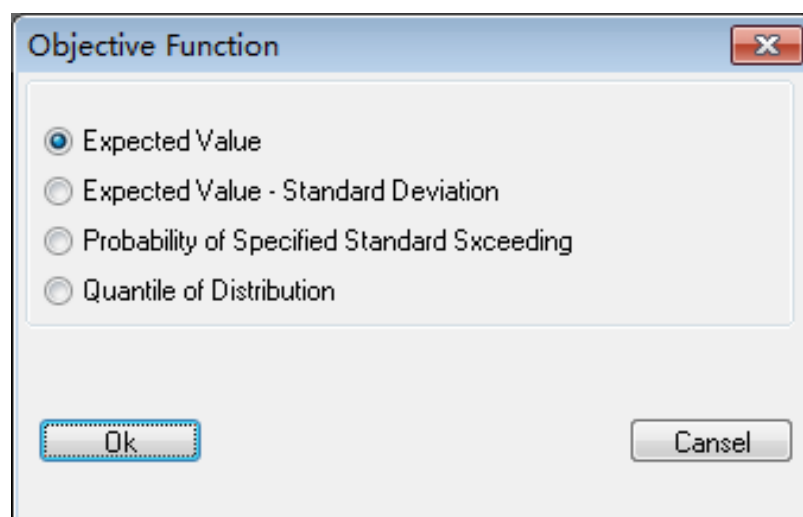


Рис1.28 - Вікно цільових функцій

1.8 Концептуальный проект суховантажного судна.

Result 4 – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

Calculation Date: 20.10.2025 Calculation Time: 19:21:19
 DESIGN ASSIGNMENT
 Objective Function Type 6
 1. Cost of Ship Building, mln. \$
 2. Annual Operating Costs, mln. \$
 3. Operating Costs for Life Period of Ship, mln. \$
 4. Total Costs for Creation and Operation of Ship, mln. \$
 5. Annual Profit after Tax, mln. \$
 6. Profit for Life Period of Ship, mln. \$
 Extremum of Objective Function (1: minimum, -1: maximum)..... -1
 Endurance, days 15
 Crew, men 13
 Seakeeping, states 8
 Type of main engine Average-speed
 Engine number 1

Рис 1.29 - Дані проектного завдання

CALCULATION RESULTS:

Main Dimensions:

Length, m..... 122.4
 Breadth, m..... 16.6
 Draught, m..... 4.86
 Depth, m..... 10.2
 Block coefficient C_b 0.843
 Middle section coefficient C_m 0.940
 Waterline area coefficient C_w 0.757
 Volume Displacement V , m^3 8275
 Model of Main Engine
 Power of Main Engine N_e , kW 1300
 Speed V_s , knots 11.3
 Mass of constructions, t..... 1697.4
 Mass of propulsion plant, t..... 239.5
 Mass of electrical plant, t..... 29.3
 Mass of control system, t..... 4.5
 Mass of auxiliary system, t..... 105.8
 Mass of equipment and furniture, t..... 173.4
 Mass of ballast, t..... 0.00
 Light displacement, t..... 2249.8
 Mass of crew and provisions, t 2.2
 Mass of freshwater, t..... 39.0
 Mass of ship fuel and oil, t..... 202.8
 Mass of Load 1 in HalfTrip 1, t 6000.7
 Mass of Load 2 in HalfTrip 2, t 6000.9
 Deadweight, t..... 6301.8
 Displacement full, t..... 8481.9

Рис 1.30 - Оптимальні основні розміри та масове навантаження судна

Vertical ship gravity center, m.....	6.7
Vertical ship buoyancy center, m.....	4.2
Transversal metacentric radius, m.....	2.7
Initial metacentric height, m.....	0.1
Maximum righting lever arm, m.....	0.4
Angle of maximum lever arm, deg.....	46.5
Angle of vanishing stability, deg.....	71.4
Criteria of stability.....	29.4
Angle of heel from people accumulation on side of ship, deg....	0.1
Heeling angle from people accumulation during circulation, deg.	9.4
Period of free rolling, sec.....	47.552

INDEXES OF SHIP EFFICIENCY AND RELIABILITY:

(Corresponding to the Type of Objective Function)

Time of Circular Trip, hours	112
Freight rate of Load 1 in HalfTrip 1, \$/t	35.50
Value of Load 1 in HalfTrip 1, t	5001
Freight rate of Load 2 in HalfTrip 2, \$/t	35.50
Value of Load 2 in HalfTrip 2, t	5001
Time of HalfTrip 2, hours.....	56
Number of Circular Trip per year	75
Probability of Transport Operations Fulfillment	0.989
Daily cost of the ship, \$/day	1215.78
Minimum Time-Charter, \$/day	8348.27
Minimum Freighter daily expenses, \$/day	14093.97
Minimum needed Freight rate, \$/t	6.60
Reduced Costs, \$/t per year	6.66
Income from Trip, mln.\$	0.355073
Income per year, mln.\$	26.705321
Expenses per operation year, mln.\$	4.505225
Annual Profit (after taxes), mln.\$	15.102535
Cost of Ship Design and Building, mln.\$	10.503967
Total Costs for Creation and Operation of Ship, mln. \$	96.326768
Profit of Ship Life Period (24 years), mln.\$	326.214750

Рис 1.31 - Характеристики остійності судна та
Показники ефективності та надійності суден

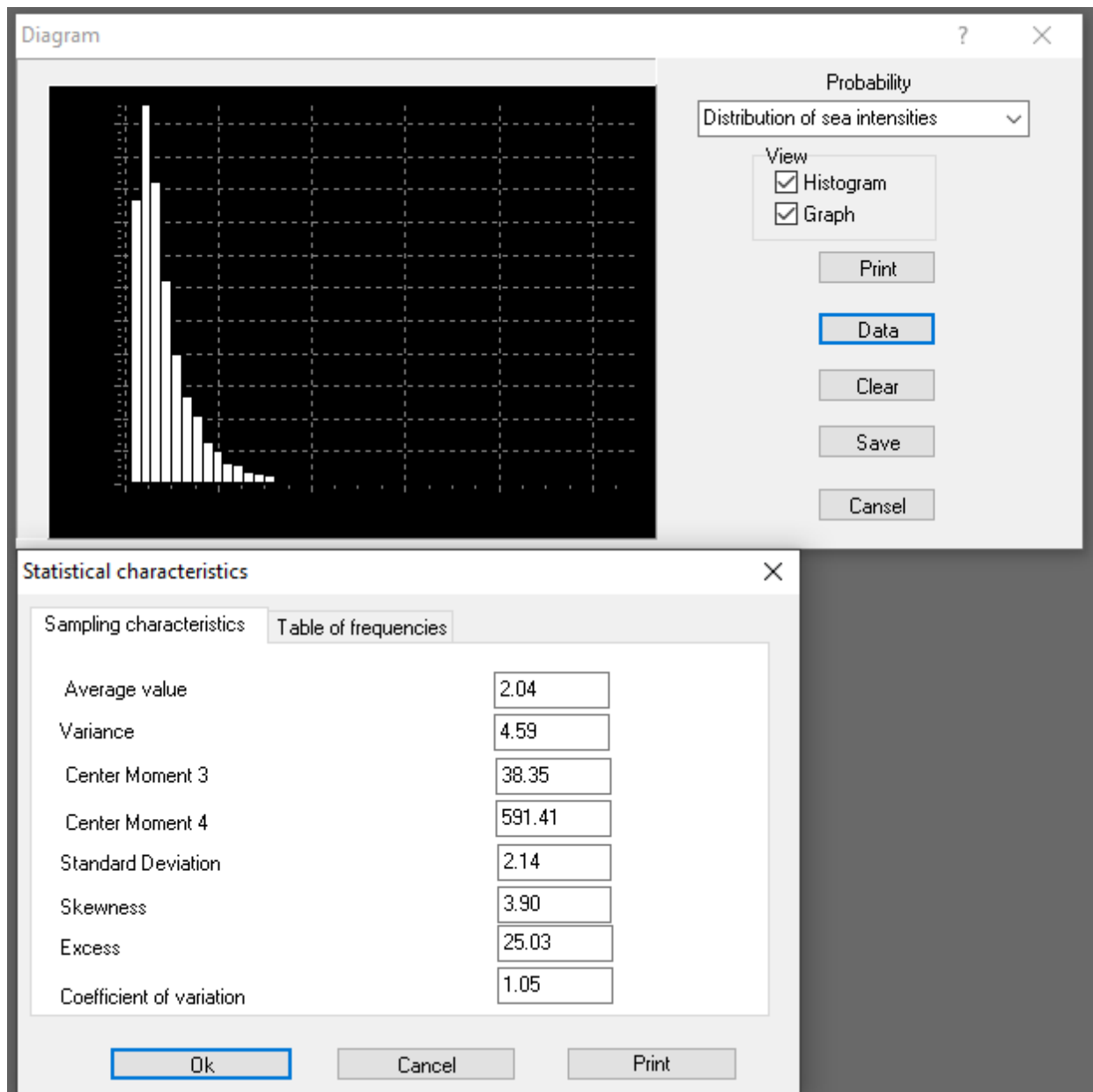


Рис 1.32 - Приклад розподілу початкових випадкових значень: Довготривалий розподіл інтенсивності моря в зоні експлуатації корабля (Розподіл $h3\% = 1.32H1 / 3$, де $H1 / 3$ - значна висота хвилі)

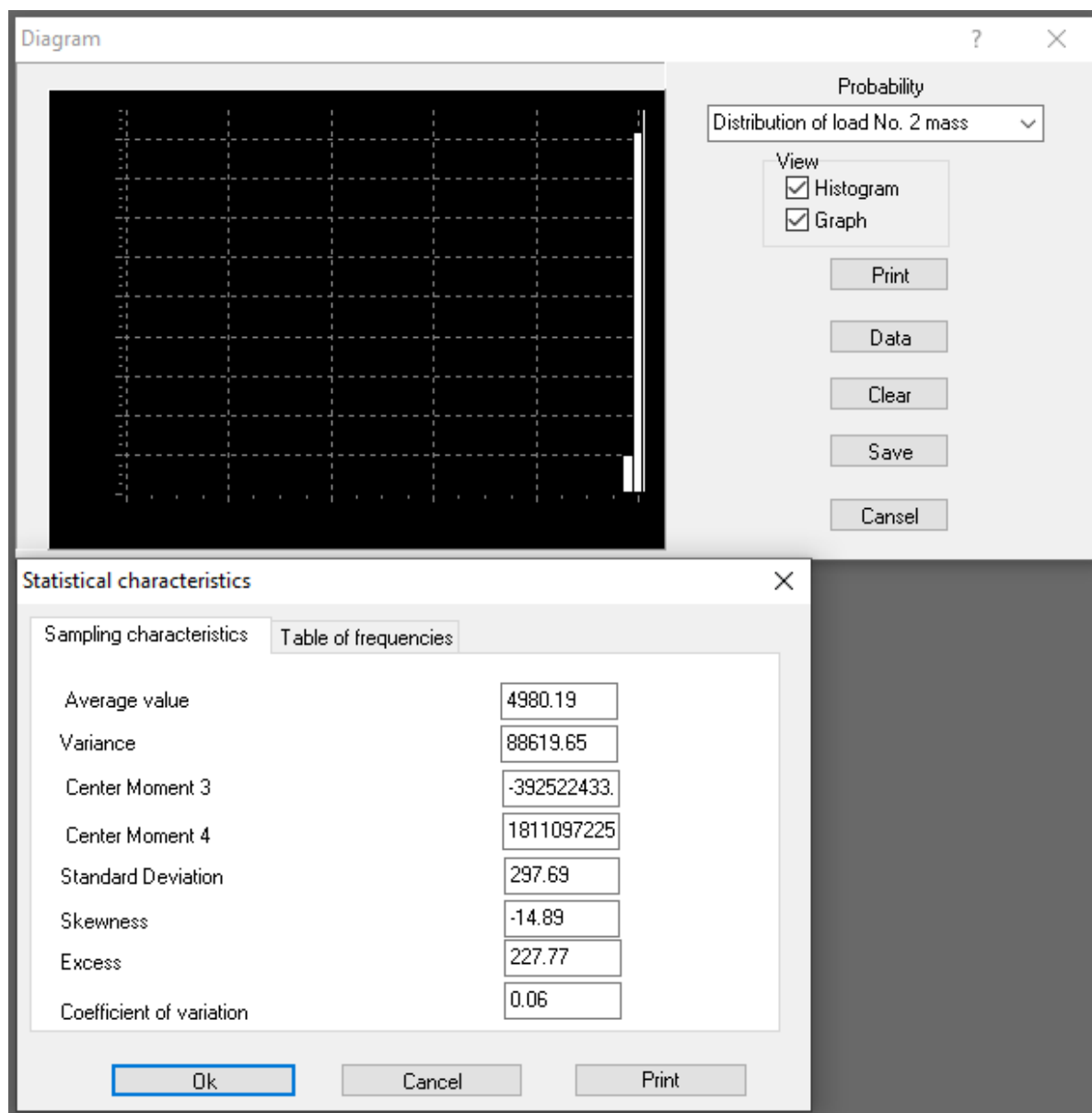


Рис 1.33 - Приклад кінцевих розподілів випадкових значень:
Розподіл суднового навантаження No2 по масі

Висновки. При розробці концептуального проекту було виконано:

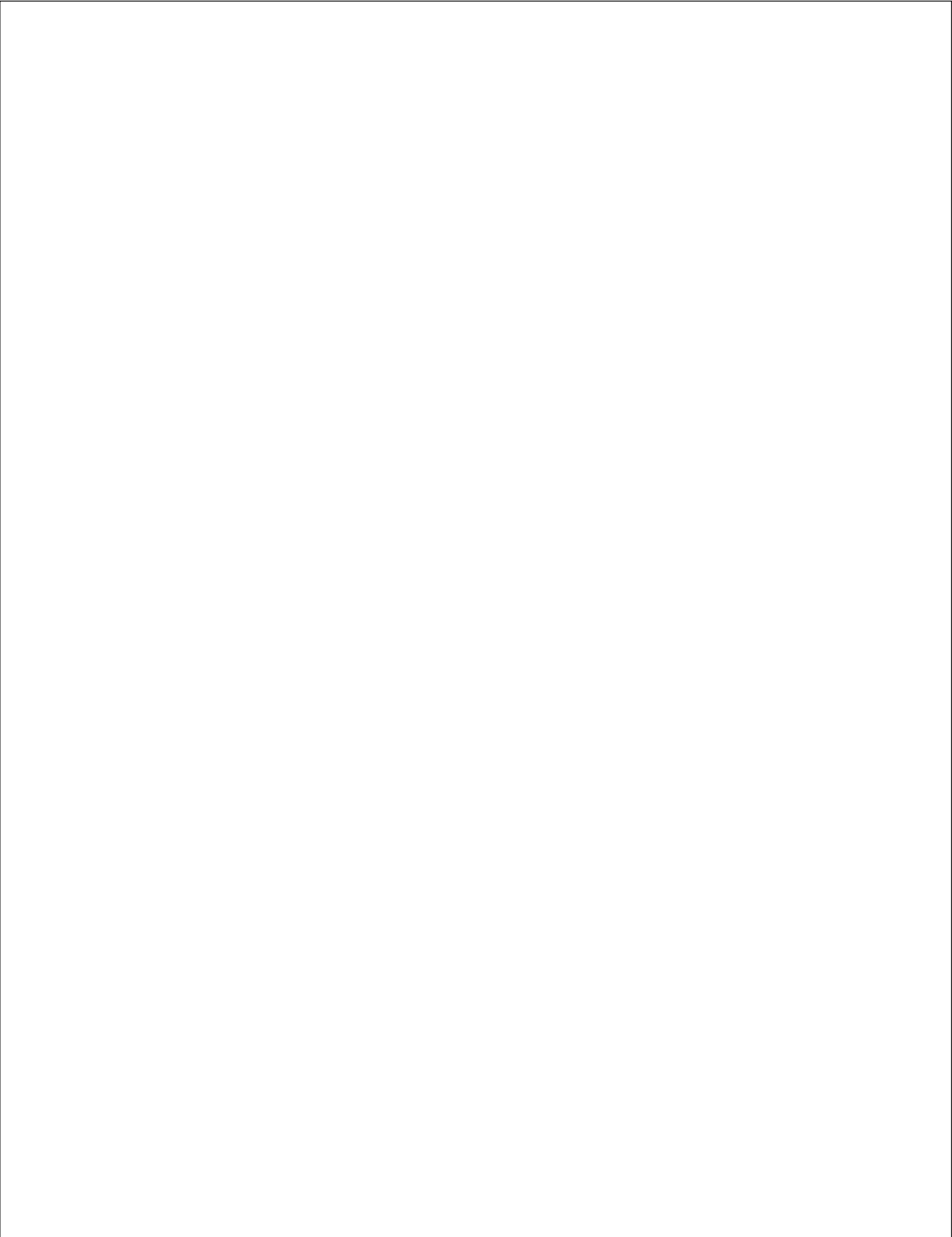
- формування моделей експлуатації суховантажного судна та його інженерно-навігаційних властивостей,;
- моделювання процесів експлуатації суховантажного у цьому середовищі та постановку задач його функціонування;
- визначення показників ефективності та надійності функціональних операцій;
- постановку 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.10.ПЗ

Арк.

57



					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Дослідження морехідних якостей проєктного рішення суховантажного судна	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Щербаков С.В..						
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)

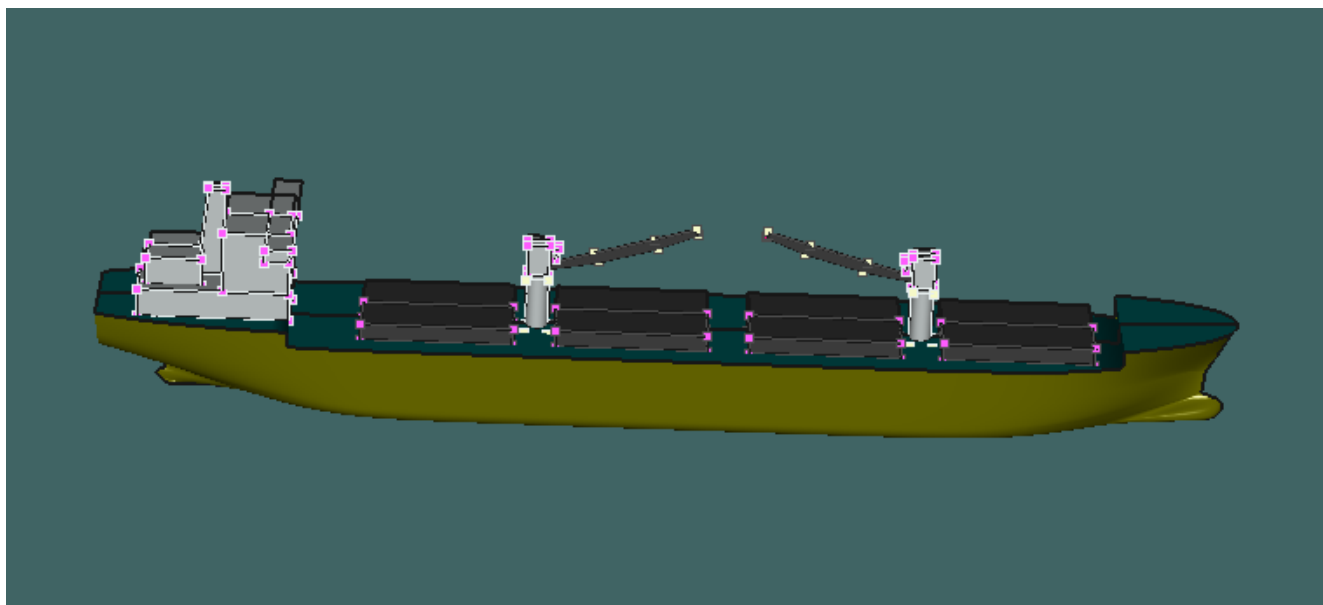
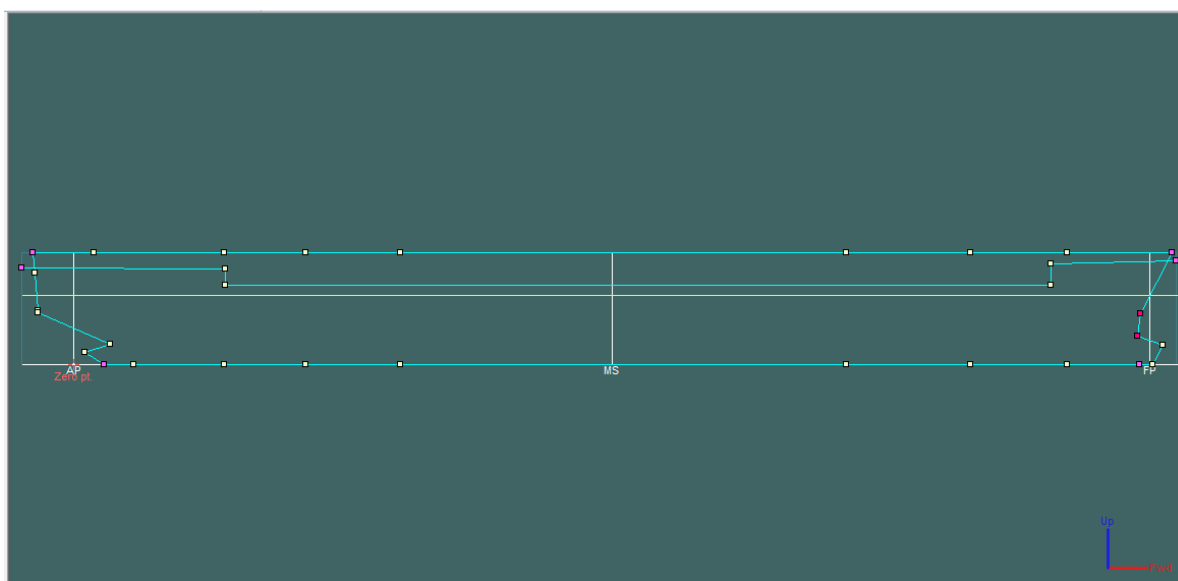
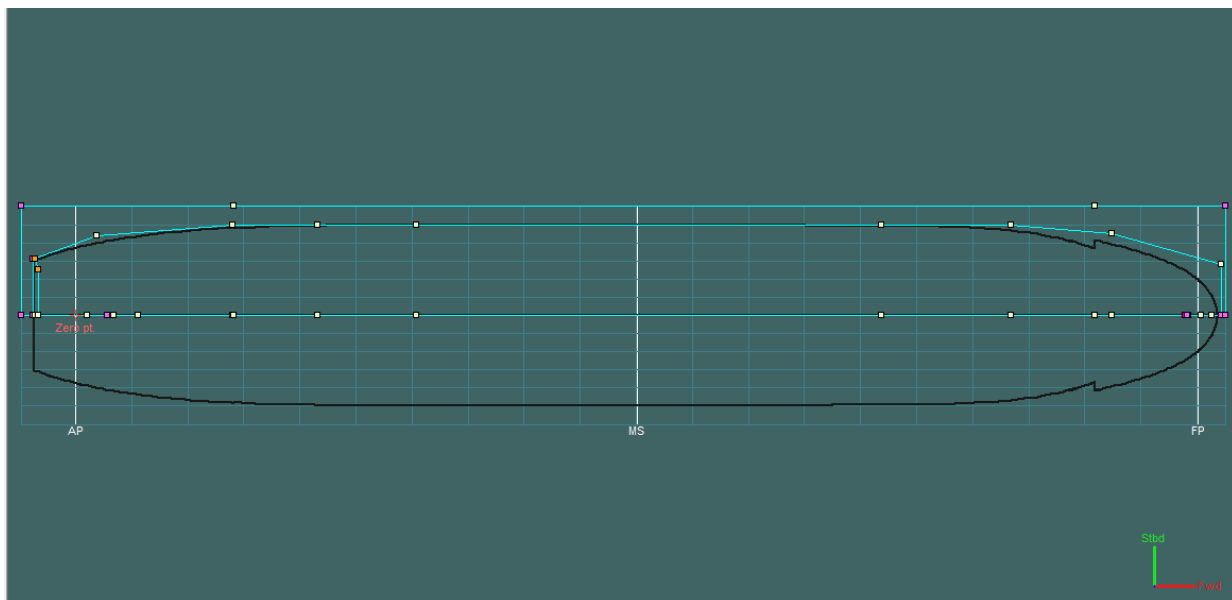


Рис 2.1 - Створення поверхні суховантажного судна в Maxsurf

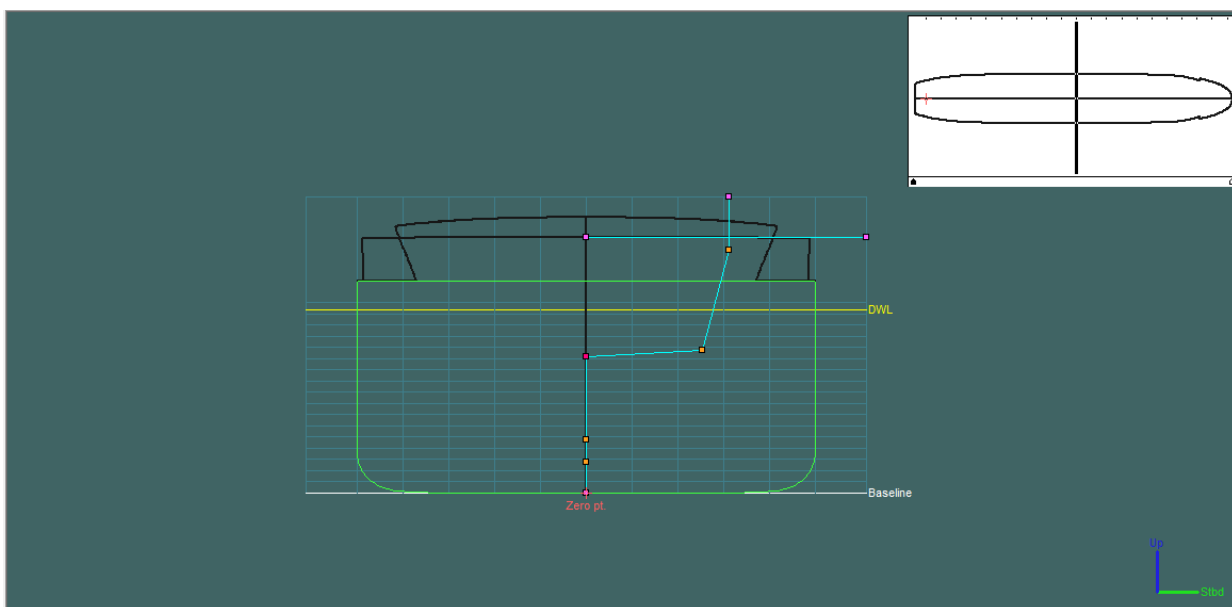


а)

					24. ДРМ.135.6112м10.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



b)



c)

Рис 2.2 - Проекції теоретичного креслення суховантажного судна.

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунки статичи (елементи теоретичного креслення)

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

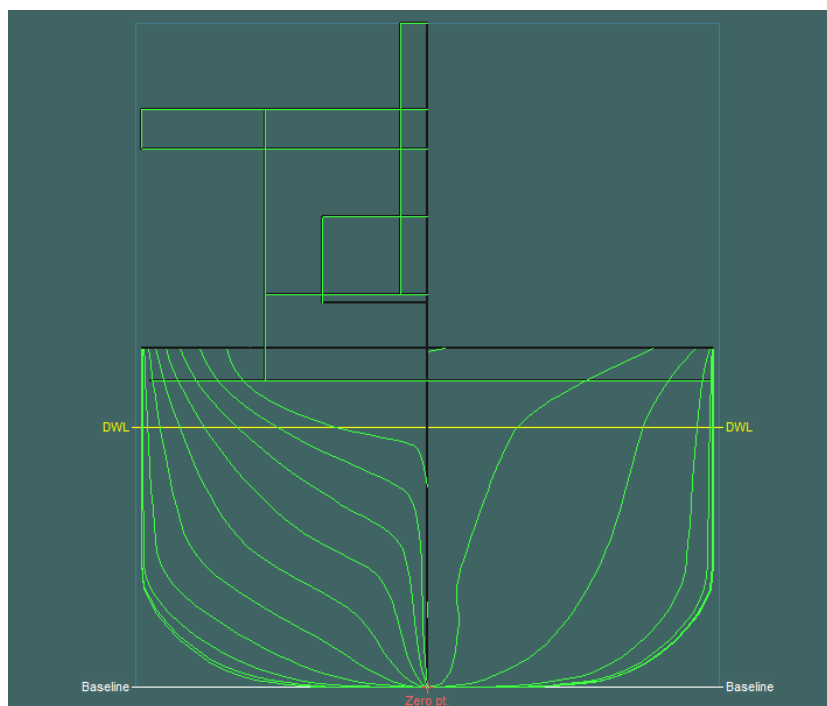
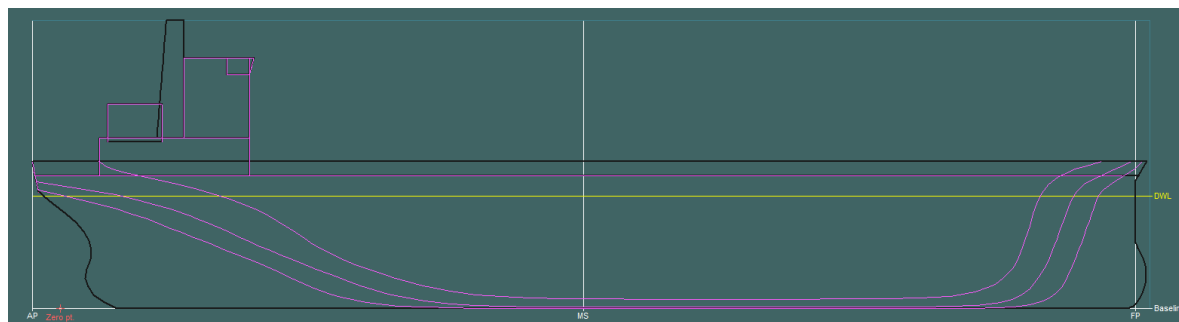
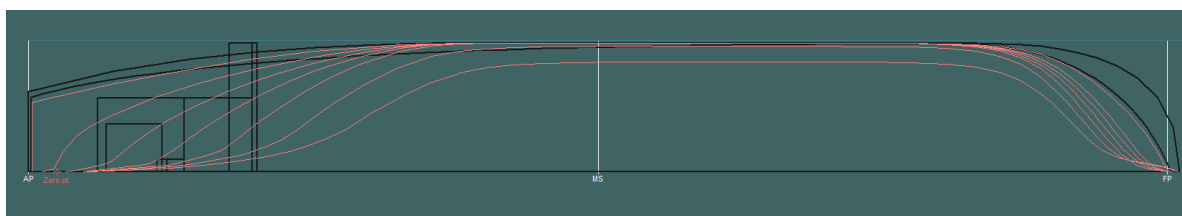


Рис 2.3 - Крок 1. Відкриється mds-файл проєктованого суховантажного судна



а)



б)

Рис 2.4 - Крок 2. Встановить кількість судових ватерліній та батоксів

Крок 3. Проводиться розрахунок елементів теоретичного креслення, результати якого представлені в таблиці 2.1 та на рисунку 2.5.

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Розрахункові значення теоретичних кривих суховантажного
судна

	Draft Amidships m	7,200	6,700	6,200	5,700	5,200	4,700	4,200	3,700	3,200	2,700	2,200	1,700	1,200	0,700	0,200
1	Displacement t	8113	7488	6871	6259	5653	5054	4464	3884	3316	2759	2212	1675	1150	640,5	163,3
2	Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Draft at FP m	7,200	6,700	6,200	5,700	5,200	4,700	4,200	3,700	3,200	2,700	2,200	1,700	1,200	0,700	0,200
4	Draft at AP m	7,200	6,700	6,200	5,700	5,200	4,700	4,200	3,700	3,200	2,700	2,200	1,700	1,200	0,700	0,200
5	Draft at LCF m	7,200	6,700	6,200	5,700	5,200	4,700	4,200	3,700	3,200	2,700	2,200	1,700	1,200	0,700	0,200
6	Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	WL Length m	75,275	75,161	75,084	75,046	75,038	75,042	74,547	73,598	72,703	72,699	72,897	73,212	72,833	71,803	69,887
8	Beam max extents on WL	16,996	17,007	17,017	17,030	17,040	17,044	17,029	17,024	17,036	17,048	17,054	17,067	17,097	17,057	16,288
9	Wetted Area m²2	2105,763	2032,468	1951,274	1870,592	1789,884	1709,544	1621,347	1531,254	1443,096	1356,801	1272,119	1186,971	1099,926	1005,820	877,526
10	Waterpl. Area m²2	1224,547	1211,587	1199,363	1187,849	1175,728	1161,379	1141,092	1119,822	1097,267	1076,723	1057,388	1037,417	1011,512	971,323	873,477
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,861	0,856	0,849	0,842	0,834	0,825	0,821	0,822	0,822	0,812	0,799	0,782	0,771	0,761	0,748
12	Block coeff. (Cb)	0,859	0,853	0,846	0,838	0,829	0,820	0,816	0,817	0,815	0,803	0,788	0,768	0,749	0,726	0,689
13	Max Sect. area coeff. (Cm)	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,993	0,991	0,988	0,980	0,968	0,973
14	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,957	0,948	0,939	0,929	0,919	0,908	0,899	0,894	0,886	0,869	0,851	0,830	0,812	0,793	0,767
15	LCB from zero pt. (+ve fwd)	-36,142	-35,958	-35,745	-35,503	-35,233	-34,936	-34,621	-34,315	-34,031	-33,775	-33,544	-33,331	-33,112	-32,861	-32,446
16	LCF from zero pt. (+ve fwd)	-38,344	-38,356	-38,293	-38,139	-37,898	-37,564	-37,007	-36,330	-35,616	-34,995	-34,446	-34,004	-33,620	-33,231	-32,708
17	KB m	3,774	3,510	3,245	2,981	2,716	2,452	2,187	1,924	1,662	1,402	1,143	0,884	0,625	0,365	0,106
18	KG m	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200
19	BMT m	3,547	3,753	4,003	4,310	4,685	5,143	5,709	6,430	7,376	8,675	10,577	13,594	19,076	32,208	102,909
20	BML m	67,780	71,479	75,919	81,275	87,558	94,686	101,799	110,647	121,993	138,812	164,519	206,599	282,118	457,499	1450,374
21	GMT m	0,121	0,063	0,048	0,091	0,201	0,394	0,696	1,154	1,839	2,877	4,520	7,278	12,501	25,373	95,815
22	GML m	64,354	67,789	71,964	77,056	83,075	89,938	96,787	105,371	116,456	133,014	158,462	200,283	275,543	450,664	1443,280
23	KMT m	7,321	7,263	7,248	7,291	7,401	7,594	7,896	8,354	9,039	10,077	11,720	14,478	19,701	32,573	103,015
24	KML m	71,554	74,989	79,164	84,256	90,275	97,138	103,987	112,571	123,656	140,214	165,662	207,483	282,743	457,864	1450,480
25	Immersion (TPc) tonne/cm	12,552	12,419	12,293	12,175	12,051	11,904	11,696	11,478	11,247	11,036	10,838	10,634	10,368	9,956	8,953
26	MTc tonne.m	68,337	66,445	64,717	63,126	61,471	59,497	56,547	53,570	50,543	48,029	45,876	43,909	41,459	37,781	30,842
27	RM at 1deg = GMt Disp sin	17,172	8,235	5,781	9,941	19,863	34,790	54,255	78,223	106,415	138,509	174,477	212,741	250,789	283,623	273,008
28	Max deck inclination deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
29	Trim angle (+ve by stern) d	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

2.3 Розрахунок остійності при великих кутах крена.

Відповідно до вимог ІМО, стійкість бункера слід перевіряти за наступними варіантами навантаження:

-Судно із повними запасами;

Дані про завантаження судна представлені на рис. 2.6. Результати розрахунку стійкості при 100% навантаженні наведені на рис. 2.7-2.8. Перевірка стійкості виконується з використанням вимог ІМО, результати перевірки представлені в таблиці 2.9.

	Item Name	Quan	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	2249,800	2249,800			55,756	0,000	0,000	0,000	User Specifie
2	Fresh Water	96%	40,853	39,219	40,853	39,219	0,292	0,000	8,501	345,704	Maximum
3	LubeOil	91%	224,623	204,407	244,156	222,182	32,189	-1,475	0,596	2577,702	Maximum
4	DB4 starboard	0%	118,621	0,000	118,621	0,000	43,327	1,026	0,000	0,000	Maximum
5	DB5 port side	0%	112,721	0,000	112,721	0,000	52,315	-0,915	0,000	0,000	Maximum
6	DB5 starboard	0%	112,721	0,000	112,721	0,000	52,315	0,915	0,000	0,000	Maximum
7	DB6 port side	0%	12,707	0,000	12,707	0,000	67,787	-0,002	0,000	0,000	Maximum
8	DB6 starboard	0%	12,707	0,000	12,707	0,000	67,787	0,002	0,000	0,000	Maximum
9	DB7 port side	0%	12,707	0,000	12,707	0,000	67,787	-0,002	0,000	0,000	Maximum
10	DB7 starboard	0%	12,707	0,000	12,707	0,000	67,787	0,002	0,000	0,000	Maximum
11	ForeKofferdamm	0%	143,542	0,000	143,542	0,000	66,839	0,000	1,140	0,000	Maximum
12	ForePeak	0%	270,232	0,000	270,232	0,000	69,778	0,000	1,140	0,000	Maximum
13	WB1 port side	0%	64,005	0,000	64,005	0,000	31,055	-7,500	1,608	0,000	Maximum
14	WB1 starboard	0%	64,005	0,000	64,005	0,000	31,055	7,500	1,608	0,000	Maximum
15	WB2 port side	0%	127,948	0,000	127,948	0,000	46,764	-7,500	1,476	0,000	Maximum
16	WB2 starboard	0%	127,948	0,000	127,948	0,000	46,764	7,500	1,476	0,000	Maximum
17	WB3 port side	0%	104,415	0,000	104,415	0,000	48,931	-7,500	1,477	0,000	Maximum
18	WB3 starboard	0%	104,415	0,000	104,415	0,000	48,931	7,500	1,477	0,000	Maximum
19	Hold 1	99%	1597,190	1581,218	1879,047	1860,257	23,024	0,000	5,382	0,000	Maximum
20	Hold 2	96%	1780,892	1709,656	2095,167	2011,360	39,901	0,000	4,985	4178,812	Maximum
21	Hold 3	96%	1769,673	1698,886	2081,968	1998,689	57,330	0,000	5,003	4178,813	Maximum
22	AftKofferdamm	0%	104,253	0,000	104,253	0,000	12,959	0,000	1,140	0,000	Maximum
23	AftRoom	0%	143,559	0,000	143,559	0,000	10,524	0,000	1,140	0,000	Maximum
24	AfterPeak	0%	3,391	0,000	3,391	0,000	3,718	0,000	0,054	0,000	Maximum
25	Total Loadcase			7483,186	7993,794	6131,707	44,640	-0,040	3,473	11281,031	
26	FS correction								1,508		
27	VCG fluid								4,980		

Ри с 2.6 - Дані масового навантаження судна

	Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0	120,0
1	GZ m	-2,169	-1,894	-1,116	0,040	1,196	1,970	2,239	2,210	2,017	1,810	1,502	1,008	0,401	-0,267	-0,957	-1,625
2	Area under GZ curve from zero h	41,625	21,03	5,5492	0,000	6,3547	22,60	43,991	66,4223	87,6191	106,773	123,472	136,159	143,268	143,971	137,8464	124,920
3	Displacement t	7487	7487	7487	7487	7487	7487	7487	7487	7487	7487	7487	7487	7487	7487	7487	7487
4	Draft at FP m	1,336	1,837	2,063	2,134	2,063	1,838	1,339	0,508	-0,838	-3,306	-8,025	-21,495	n/a	-30,942	-17,599	-13,101
5	Draft at AP m	0,463	1,136	1,523	1,652	1,523	1,136	0,460	-0,676	-2,626	-5,959	-12,899	-33,550	n/a	-47,600	-26,883	-19,773
6	WL Length m	72,126	73,01	73,308	73,34	73,308	73,01	72,123	58,537	53,763	53,192	57,912	64,639	68,855	71,853	74,208	76,314
7	Beam max extents on WL m	12,117	13,67	15,369	15,92	15,369	13,67	12,119	11,505	11,680	11,778	10,831	10,258	9,987	9,869	9,855	9,997
8	Wetted Area m²	744,07	809,9	864,82	879,2	864,82	809,9	744,01	691,345	676,250	736,710	821,006	900,401	747,065	1059,04	1143,754	1234,37
9	Waterpl. Area m²	617,17	681,8	748,77	767,5	748,77	681,8	617,14	571,492	558,550	577,709	548,869	523,646	509,489	500,734	497,687	503,126
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,596	0,599	0,602	0,603	0,602	0,599	0,596	0,715	0,757	0,750	0,684	0,609	0,569	0,545	0,529	0,519
11	Block coeff. (Cb)	0,377	0,373	0,406	0,479	0,406	0,373	0,377	0,458	0,475	0,482	0,499	0,499	0,494	0,388	0,327	0,288
12	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	44,806	44,79	44,785	44,76	44,786	44,79	44,813	44,821	44,845	44,864	44,900	44,944	44,985	45,018	45,038	45,041
13	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	43,081	43,20	43,397	43,48	43,397	43,20	43,086	43,713	43,633	43,271	42,766	42,558	42,526	42,550	42,625	42,680
14	Max deck inclination deg	30,004	20,00	10,007	0,360	10,007	20,00	30,004	40,0048	50,0054	60,0050	70,0050	80,0038	90,0000	99,9928	109,9820	119,968
15	Trim angle (+ve by stern) deg	-0,654	-0,525	-0,404	-0,360	-0,405	-0,52	-0,658	-0,8877	-1,3407	-1,9892	-3,6506	-8,9666	-90,000	-12,300	-6,9286	-4,9911

Рис 2.7 - Результати розрахунку статичної остійності для повного навантаження

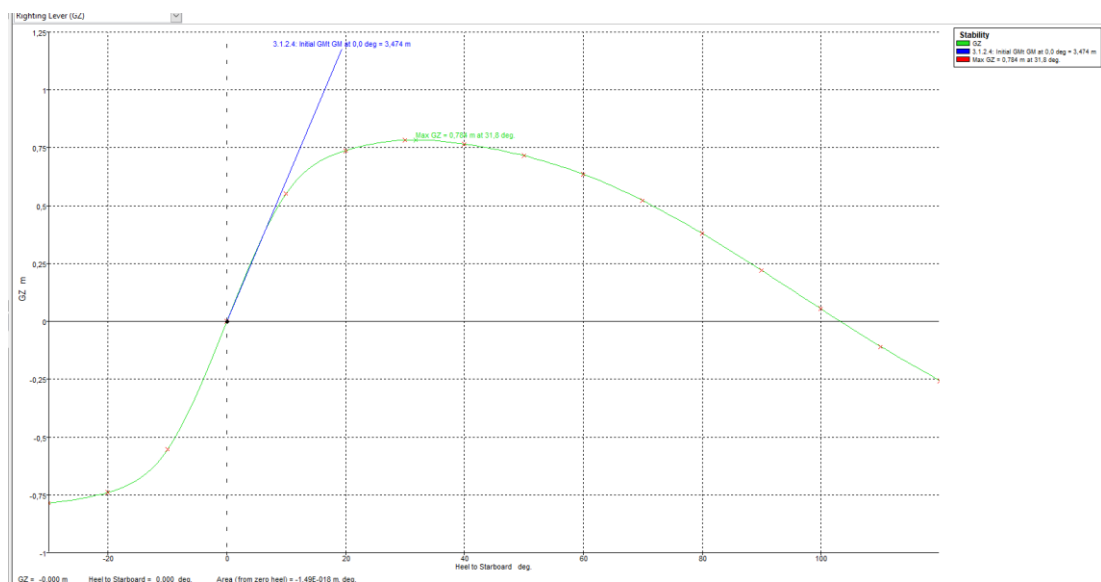


Рис 2.8 - Діаграма статичної остійності для випадку повного навантаження

	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		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	96,1	deg			
7		shall not be less than ($\geq$)	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		from the greater of					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first downflooding angle	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	96,1	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	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		from the greater of					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
23		first downflooding angle	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	96,1	deg			
25		shall not be less than ($\geq$)	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		in the range from the greater of					
29		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
30		to the lesser of					
31		spec. heel angle	90,0	deg			
32		angle of max. GZ	33,6	deg	33,6		
33		shall not be less than ($\geq$)	0,200	m	2,255	Pass	+1027,50
34		Intermediate values					
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 ($\geq$)	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 ($\geq$)	0,150	m	6,960	Pass	+4540,00
43							

Рис 2.9 - Перевірка вимог остійності при повному навантаженні

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

					Арк.
					65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ

2.4 Розрахунок швидкості та головного двигуна суховантажного судна

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

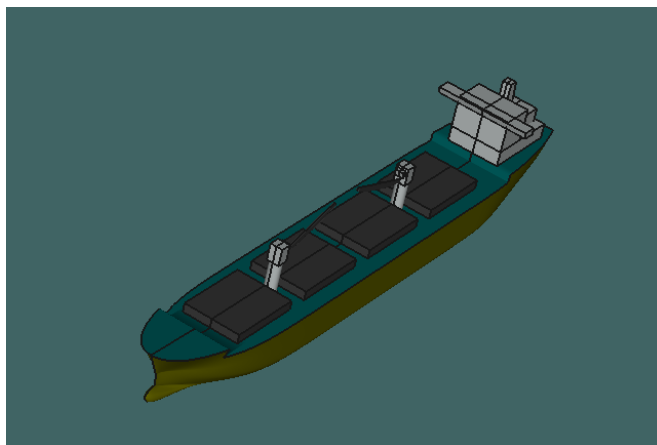


Рис 2.10 - Зображення поверхні суховантажного судна в Maxsurf Resistance

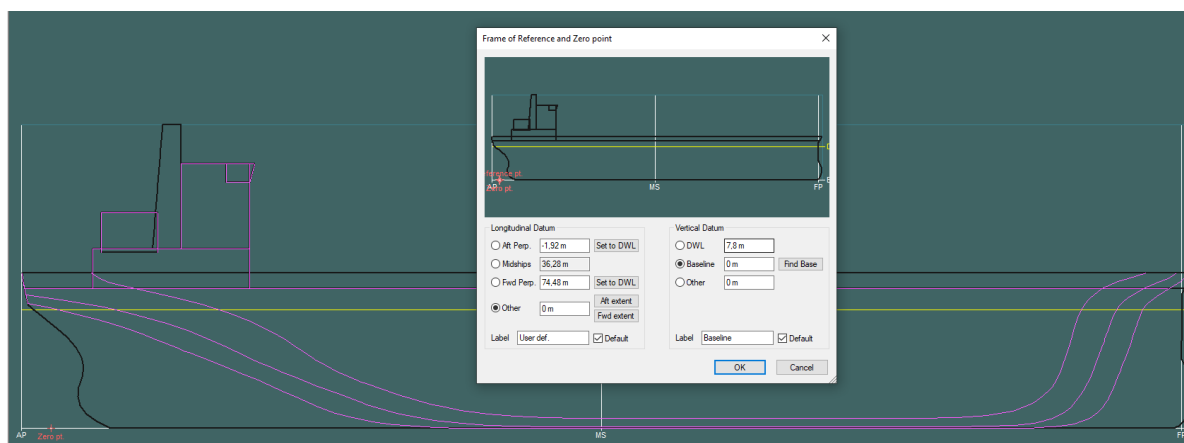


Рис 2.11 – Встановлення необхідної осадки суховантажного судна

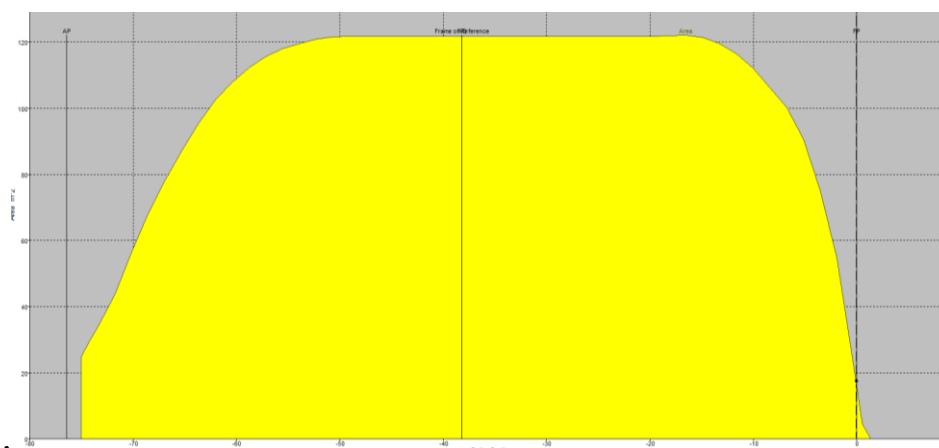


Рис 2.12 - Крива занурених площ шпангоутів

	Item	Value	Units
1	LWL	122,4	m
2	Beam	16,6	m
3	Draft	4,86	m
4	Displaced volume	8275	m ³
5	Wetted area	2608,572	m ²
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,797	
7	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,899	
8	1/2 angle of entrance	16,3	deg.
9	LCG from midships(+ve for	-3,237	m
10	Transom area	0	m ²
11	Transom w/ beam	7,641	m
12	Transom draft	0	m
13	Max sectional area	84,849	m ²
14	Bulb transverse area	0	m ²
15	Bulb height from keel	0	m
16	Draft at FP	7	m
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	
29	Kinematic viscosity	0,0000011	m ² /s
30	Water Density	1,026	tonne/

Рис 2.13 – 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. 2.14.

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	5,000	0,076	0,182	24,1	103,219
2	5,200	0,079	0,190	25,9	115,606
3	5,400	0,082	0,197	27,8	128,930
4	5,600	0,085	0,204	29,8	143,227
5	5,800	0,088	0,212	31,9	158,531
6	6,000	0,091	0,219	34,0	174,877
7	6,200	0,094	0,226	36,2	192,302
8	6,400	0,098	0,234	38,4	210,846
9	6,600	0,101	0,241	40,7	230,548
10	6,800	0,104	0,248	43,1	251,453
11	7,000	0,107	0,255	45,6	273,605
12	7,200	0,110	0,263	48,1	297,056
13	7,400	0,113	0,270	50,7	321,856
14	7,600	0,116	0,277	53,4	348,066
15	7,800	0,119	0,285	56,2	375,747
16	8,000	0,122	0,292	59,0	404,968
17	8,200	0,125	0,299	62,0	435,802
18	8,400	0,128	0,307	65,0	468,330
19	8,600	0,131	0,314	68,2	502,640
20	8,800	0,134	0,321	71,4	538,825
21	9,000	0,137	0,328	74,8	576,988
22	9,200	0,140	0,336	78,2	617,239
23	9,400	0,143	0,343	81,9	659,697
24	9,600	0,146	0,350	85,6	704,489
25	9,800	0,149	0,358	89,5	751,749
26	10,000	0,152	0,365	93,5	801,623
27	10,200	0,155	0,372	97,7	854,263
28	10,400	0,158	0,380	102,0	909,834
29	10,600	0,162	0,387	106,6	968,505
30	10,800	0,165	0,394	111,3	1030,459
31	11,000	0,168	0,401	116,2	1095,884
32	11,200	0,171	0,409	121,3	1164,980
33	11,400	0,174	0,416	126,7	1237,954
34	11,600	0,177	0,423	132,2	1315,024
35	11,800	0,180	0,431	138,0	1396,409
36	12,000	0,183	0,438	144,1	1482,337
37	12,200	0,186	0,445	150,4	1573,043
38	12,400	0,189	0,452	157,0	1668,789
39	12,600	0,192	0,460	163,8	1769,859
40	12,800	0,195	0,467	171,0	1876,550
41	13,000	0,198	0,474	178,5	1989,135

Рис 2.14 – Буксирувальний опір та буксирувальна потужність суховантажного судна при різних швидкостях

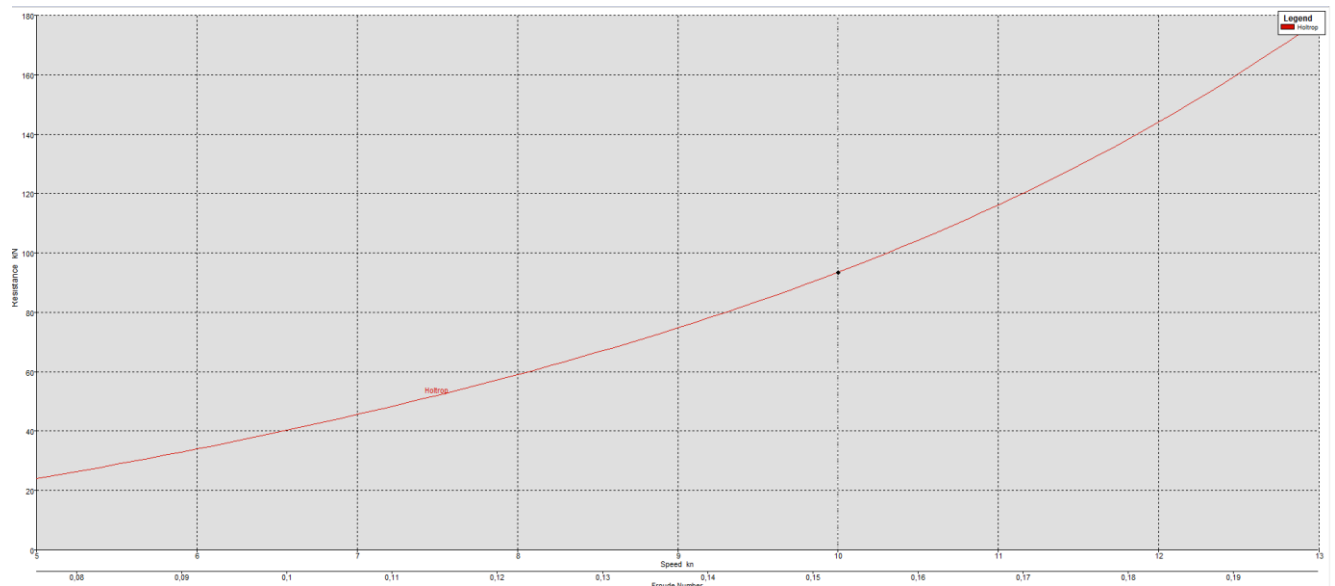


Рис 2.15 – Буксирувальний опір суховантажного судна при різних швидкостях

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ

Арк.

68

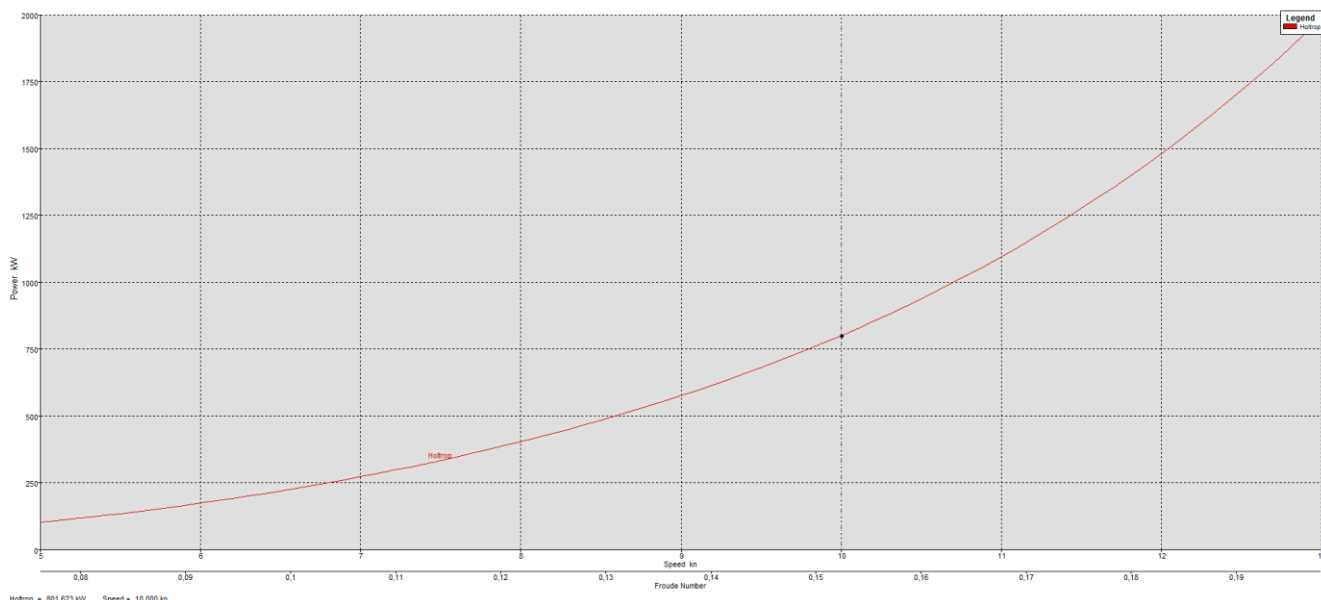


Рис 2.16 – Буксирувальна потужність суховантажного судна при різних швидкостях

Визначення буксирувальної потужності суховантажного судна при швидкості 11,3 вузлів

Вибір двигуна: Виконавши аналіз паспортних даних двигунів провідних дизелебудівних фірм, вибираю двигун MAN маркою STX 11S26MC з основними характеристиками: L3:

Engine Power: 1360kW
 Rated Engine Speed: 212 rpm
 Thruster Weight: 32t
 Engine Fuel Type: Diesel Engine
 Mep Bar: 18.5
 Cylinder Oil Consumption: 0.7-1.5 g/kWh

- Потужність двигуна PSN*, кВт	1360.
- Макс. швидкість обертання, об/хв	212.
- питома витрата палива, г/(кВт.год.)	0.7-1.5
- Габарити LxBxH, мм	6890x2015x3032.
- Маса, т.	32.

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 Одеса-Стамбул (Чорне море).

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 судів, 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 6000 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.10.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 проєктування 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 проєкту суховантажного судна, який експлуатуватиметься на маршруті Одеса - Стамбул, відповідає проєктним завданням та вимогам Міжнародної морської організації (ІМО) щодо основних морехідних якостей судна, забезпечуючи його ефективність, надійність, плавучість, остійність і ходовість.

					24. ДРМ.135.6112м.10.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.10.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

					24. ДРМ.135.6112м.10.ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		