

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально науковий інститут (факультет) _____ Кораблебудівний _____

Кафедра _____ теорії та проектування суден _____

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

 В.О. Некрасов

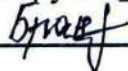
«19» 12/ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» на тему:

**« Концептуальне проектування балкера
вантажопідйомністю 50000 т.»**

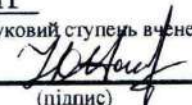
Виконав: студент групи 6112м

Браніште Р.П.  _____
.....(підпис)

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент

(посада, науковий ступень вчене звання)

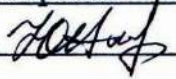
Пащенко ЮМ.  _____
(підпис)

Миколаїв-2025 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА**

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми к.т.н. доц. Ю.М. Пащенко
 " 1 " 09 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
студенту Браніште Роману Петровичу**

(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Концептуальне проєктування балкера вантажопід'ємністю 50000 т.

Науковий керівник роботи Пащенко Ю.М., к.т.н. доцент

(Прізвище, ім'я, по батькові, наукова ступень, звання)

Затверджена наказом ректора НУК від " " 2025 року

2. Термін виконання студентом 15.12.2025 року

3. Вихідні дані по роботі:

Довжина району експлуатації 3600 миль, Автономність 15 діб, Екіпаж 20 чоловік, Морехідність 8 балів, Швидкість 15 вузл. Тип силової установки – дизель, Кількість двигунів - 1, Транспортний вантаж насипний вантаж (зерно), Порти експлуатації: Південний - Алжир.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належать бути розробленими):

4.1. Вибір основних елементів судна, що проєктується.

- 4.1.1. Класифікація світового флоту балкерів.
- 4.1.2. Аналіз методів вибору основних елементів балкера.
- 4.1.3. Продукт-орієнтоване проєктування балкерів.
- 4.1.3.1 Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт - система ESWBS.
- 4.1.3.2 Формування CER для будівництва балкера.
- 4.1.3.3. Визначення вартості робіт з проєктування і побудови балкера.
- 4.1.4 Систем-орієнтоване проєктування балкера на інтервалах часу його ефективного використання.
- 4.1.4.1. Моделі віртуальних просторів експлуатації балкера.
- 4.1.4.2 Модель інженерно-навігаційних властивостей балкера.
- 4.1.4.3 Модель експлуатації балкера.
- 4.1.4.3.1 Імовірнісні характеристики надійності балкера.
- 4.1.4.3.2 Імовірнісні характеристики ефективності балкера.

4.1.4.3.3 Складні показники ефективності та надійності балкера.

4.1.5. Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера.

4.1.6. Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації.

4.1.7. Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації.

4.1.8. Концептуальний проєкт балкера.

4.2. Дослідження морехідних якостей судна проектного рішення.

4.2.1. Формування теоретичної поверхні балкера.

4.2.2. Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення).

4.2.3. Розрахунок остійності при великих кутах нахилу.

4.2.4. Розрахунок ходовості балкера.

5. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата			
		Завдання видано		Завдання прийнято	
4.1	Некрасов В.О., проф.		1.09.2025		05.11.2025

6. Дата видачі завдання 1.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проєктування	Термін виконання етапів роботи	Примітка
4.1.	Вибір основних елементів судна, що проєктується.		
4.1.1.	Класифікація світового флоту балкерів	17.09.2025	
4.1.2.	Аналіз методів вибору основних елементів балкера	24.09.2025	
4.1.3.	Продукт-орієнтоване проєктування балкера	30.09.2025	
4.1.4.	Систем-орієнтоване проєктування балкера	07.10.2025	
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.	Приклад дослідницького проєкту	05.11.2025	
4.2.	Дослідження морехідних якостей судна		
4.2.1.	Формування теоретичної поверхні балкера	12.11.2025	
4.2.2.	Розрахунки статички (елементів теоретичного креслення)	24.11.2025	
4.2.3.	Розрахунок остійності при великих кутах нахилу	01.12.2025	
4.2.4.	Розрахунок ходовості балкера	06.12.2025	

Студент _____
(підпис)

Браніште Р.П.
(Прізвище та ініціали)

Науковий керівник _____

Пащенко Ю.М.

АНОТАЦІЯ

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

При розробці концептуального проекту були реалізовані:

- формування моделей експлуатації балкера і його інженерно-навігаційних властивостей, необхідних для аналізу всього комплексу функціональних операцій цього судна в умовах його експлуатації в Чорному та Середземному морях;

- моделювання процесів експлуатації балкерів в цих умовах і постановка задач їх функціонування;

- визначення показників ефективності та надійності функціональних операцій на основі використання сучасних методів їх дослідження та відповідних методів вирішення проблем функціонування судна;

- постановка і рішення задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера на основі його поступового «занурення» в робоче середовище з наступною зупинкою процесу оптимізації при досягненні показників ефективності та надійності значень критеріїв ефективності і надійності.

Розміри балкера були визначені за допомогою програми оптимізації кафедри теорії та проектування суден, в якій в якості критерію був обран максимальний прибуток, і визначено ефективність операцій на даній лінії експлуатації.

Результатом концептуального проекту став балкер вантажопідйомністю 50000 т.

На етапі технічного проектування був розроблений аван-проект, який задовольнив основні вимоги класифікаційного товариства та доповнив отримане концептуальне рішення задоволенням вимог до експлуатаційної надійності судна.

Була побудована 3D-модель корпусу і за допомогою програми Maxsurf були виконані розрахунки плавучості, остійності, ходовості судна і спроектований гребний гвинт балкера.

Ключові слова: балкер, концептуальне проектування.

					24. МР.135.6112м.02.ПЗ.00	Лист
						3
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ABSTRACT

In accordance with the task of the department of ship theory and design, this work has implemented a study of two stages of the bulk carrier design process - conceptual (experimental, optimization) and technical design for operation on the Southern - Algiers line.

During the development of the project, the following were implemented:

- formation of models of the operation of the bulk carrier and its engineering and navigation properties, necessary for the analysis of the entire complex of functional operations of this vessel in the conditions of its operation in the Black and Mediterranean seas;
- modeling the processes of operation of bulk carriers in these conditions and setting the tasks of their operation;
- determination of indicators of efficiency and reliability of functional operations based on the use of modern methods of their research and appropriate methods of solving problems of ship operation;
- setting and solving the problem of optimizing the selection of the main dimensions of the bulker based on its gradual "immersion" in the working environment with the subsequent stop of the optimization process when the efficiency and reliability indicators of the values of the efficiency and reliability criteria are reached.

The dimensions of the bulker were determined using the optimization program of the department of ship theory and design, in which the maximum profit was chosen as a criterion, and the efficiency of operations on this line of operation was determined.

The result of the project was a bulk carrier with a carrying capacity of 50,000 t.

At the stage of technical design, a class project was developed that satisfied the basic requirements of the classification society and complemented the received conceptual solution by meeting the requirements for operational reliability of the vessel.

A 3D model of the hull was built and calculations of buoyancy, stability, and maneuverability of the vessel were performed using the Maxsurf program. Propeller was designed.

Key words: bulk carrier, conceptual design.

					24. MP.135.6112M.02.П3.00	Лист
						4
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
1. Класифікація сучасних балкерів.....	9
2. Аналіз методів вибору головних елементів балкера.	17
3. Продукт-орієнтоване проєктування балкера	23
3.1. Розширена система структурного підрозділу суднобудівних робіт	24
3.2. Формування CER для будівництва балкера.....	25
3.3. Визначення вартості робіт з проєктування і побудови балкера.	30
4. Систем-орієнтоване проєктування балкера на інтервалах його ефективного використання	33
4.1. Моделі віртуальних просторів експлуатації балкера	33
4.1.1. Географічний простір суднових операцій.....	33
4.1.2. Простір погодних умов району експлуатації	33
4.1.3. Простір виробничих відносин робочого процесу.....	34
4.1.4. Простір фінансових відносин робочого процесу.....	35
4.2. Модель інженерно-навігаційних властивостей балкера.....	38
4.3. Модель експлуатації балкера.....	40
4.3.1 Імовірнісні характеристики надійності балкера	41
4.3.2 Імовірнісні характеристики ефективності балкера.....	43
4.3.3 Складні показники ефективності та надійності балкера.....	44
Постановка задачі оптимізаційного визначення основних розмірів балкара.....	45
4.5. Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації.....	48
4.6. Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації.....	50
4.7. Концептуальне проєктування балкера.....	54
5. Дослідження морехідних якостей балкера.....	58
5.1 Формування теоретичної поверхні балкера	59
5.2 Розрахунки елементів теоретичного креслення.....	59
5.3 Розрахунок остійності при великих кутах нахилу.....	61
5.4 Розрахунок швидкості та головного двигуна балкера.....	67

5.4.1 Розрахунок ходовості балкера у програмі Maxsurf Resistance.....	68
5.4.2 Проєктування гвинта в програмі Hydrocomp Prop CAD	70
6. Основні складові аван-проекту балкера.....	71
Висновки.....	75
Література.....	76

					24. МР.135. 6112м.02.ПЗ.00	Лист
						5
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

					24.МР.135.6112м.02.ПЗ.01			
Зм.	Арк.	№докум.	Подпис	Дата				
					Вступ	Лист	Лист	Листов
Студент	Браніште Р.П.						7	
Консульт.	Пащенко Ю.М					НУК		
Керівник.	Пащенко Ю.М							
Зав. Кафедр.	Нєкрасов В.О.							

Вступ

Вибір варіанта проектного рішення балкера реалізується на основі дослідження цілого ряду операцій, що виконуються при його функціонуванні – проектуванні, будівництві, експлуатації та утилізації. При цьому активна частина функціонування балкера – його експлуатація – організовується таким чином, щоб мета його призначення досягалася з максимально позитивною віддачою. Концептуальне проектування будь-якого судна виконується на початковій стадії процесу проектування, коли проводиться пошук такого конструктивного рішення судна. Пошук проектного рішення значно залежить від умов створення судна і його технічної підтримки під час експлуатації. Математичним апаратом вибору оптимального проектного рішення балкера на стадії концептуального проектування є апарат теорії дослідження операцій.

Використання цієї теорії забезпечує:

- визначення типу та умов експлуатації балкера;
- формування середовища існування балкера, яке забезпечується шляхом створення віртуальних просторів його існування під час проектування, будівництва, модернізації та використання за призначенням, тобто - побудови так званих просторів функціонування;
- створення віртуальної моделі балкера, яке супроводжується формуванням моделей його інженерних та навігаційних (морехідних) якостей;
- призначення ознаки зупинки процесу пошуку оптимального проектного рішення на момент досягнення комплексним показником ефективності і надійності свого екстремального значення, що обумовлює закінчення процесу оптимізації проектного рішення.

Отже, при виконанні даної дипломної роботи виклад загальних проблем функціонування розглянутого балкера супроводжується побудовою моделей функціонування, формулюванням задач функціонування та пошуком методів розв'язання цих проблем на основі використання вищевказаних об'єктів теорії ймовірності.

1. Класифікація сучасних балкерів.

1.1. За конструктивними особливостями.

Балкери з розвантажувальним устаткуванням на борту (*Geared bulkcarriers*) – стрілами, кранами або конвеєрними стрічками, за допомогою яких здійснюється завантаження і розвантаження без використання берегових пристроїв, здатні заходити практично у будь-який порт світу.

Зазвичай знаходяться в діапазоні розмірів від *Хендісайз* до *Хендімакс*, хоча існує невелика кількість суден *Панамакс*, також оснащених вантажно-розвантажувальним обладнанням. Як оператори обладнання можуть виступати як члени екіпажу, так і персонал порту.

Балкери без розвантажувального устаткування (*Gearless bulkcarrier*) повністю залежні від берегових навантажувально-розвантажувальних механізмів, найчастіше стоять на обслуговуванні конкретної лінії із закріпленими портами завантаження і вивантаження. За рахунок відсутності спеціалізованого вантажного устаткування відбувається значне зниження їх вартості при будівництві і обслуговуванні.

Комбіновані балкери (*Combined carriers*) або нафторудовози (*Ore – bulk – oil carriers*) об'єднують в собі конструктивні особливості суховантажника і танкера, завдяки чому можуть одночасно перевозити і руду, і сирі нафтопродукти.

Саморозвантажні балкери (*self-dischargerbulks*) оснащені транспортною конвеєрною стрічкою із стрілою, по якій вантаж вивантажується на берег, або пневматичними перевантажувачами (пневматичний спосіб розвантаження всмоктуючими-нагнітаючими навантажувачами, пневмотранспортерами). При усіх економічних перевагах і зручності цієї системи розвантаження, існує цілий ряд недоліків, основною з яких є частота поломок стрічок і вартість їх ремонту.

					24. МР. 135. 6112-м. 02. ПЗ. 01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

Лейкери або озерники (Lakers, Lakefreighters) експлуатуються у Великих озерах в Північній Америці, є найбільшими неморськими вантажними суднами, в довжину досягають 300 метрів, завширшки 22 метри. Більшість озерників відносяться до класу Seawaymax. Для більшої зручності проходження річкових шляхів і шлюзів надбудова лейкерів переміщена в носову частину. Їх використовують для перевезення руди, цементу, піску і інших сипучих вантажів. За рахунок того, що озерники ходять в прісних водах, термін їх експлуатації у багато разів більше морських і океанських балкерів.

Балкери BIBO (BulkIn, BagsOut– навалом всередину, мішками назовні) оснащені спорядженням для упаковки вантажу в мішки при розвантаженні. За одну годину за допомогою цих систем розвантажується майже 300 тонн.

1.2 По типу грузу.

Велика частина з широкого різноманіття навалювальних вантажів перевозиться універсальними балкерами, менша - вузькоспеціалізованими навалювальниками в силу серйозної економічної вигоди, формуючи наступну класифікаційну групу:

- Універсальні
- Вузькоспеціалізовані:
 - Вуглевози
 - Зерновози
 - Цементовози
 - Нафторудовози
 - Рудовози

Універсальні балкери (Multipurpose bulkcarriers) призначені для транспортування всіляких сипких вантажів і складають майже 80% балкерного флоту.

Вузькоспеціалізовані балкери використовуються для перевезення одного конкретного типу вантажу.

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

Вуглевози або вугільники (Colliers) - однопалубні суховантажі з мінімальним надводним бортом, призначені для перевезення кам'яного вугілля, з'явилися в середині XIX століття для забезпечення масового попиту на вугіль в енергетиці, промисловості і транспортній сфері.

Вантажопідйомність варіюється від 2 до 20 тисяч тон. На саморозвантажних вуглевозах під трюмами встановлені подовжні стрічкові транспортери у вигляді воронки, за допомогою яких вантаж подається на палубний розвантажувач і потім на берег.

Зерновози (Graincarriers) виділяють в самостійну групу, оскільки судновласники використовують їх виключно для транспортування зерна із-за високої вартості перевезення (фрахту) зернових культур і щоб уникнути витрат і простоїв на замивання трюмів після інших вантажів.

Цементовози (Cementcarriers) призначені для перевезення цементу, основна конструктивна особливість полягає в наявності спеціальних пневматичних, механічних або комбінованих систем для саморозвантажування.

Нафторудовози або судна типу ОВО (*Ore-bulk-oilcarriers*) призначені для одночасного транспортування нафти і руди. У 70-і роки XX століття мали велику популярність, завдяки зменшенню витрат за рахунок відсутності баластних переходів. Є найбільш старими представниками комбінованих суден.

Рудовози (Ore carriers) призначені для перевезення навалюванням різних рудних матеріалів, конструктивно відрізняються від універсальних тільки розмірами, майже усі мають велику вантажопідйомність (більше 180 тисяч тон дедвейту), а найсучасніші перевищують 400 тисяч тонн дедвейту (DWT).

1.3 По розміру

В останні роки відбувається серйозне перестроювання всієї світової економіки. У зв'язку з цим відбувається реструктуризація і в світовому флоті, спрямована на підвищення економічної ефективності морських перевезень за рахунок збільшення числа великих суден з більшою вантажопідйомністю.

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

Також запущені проекти по поліпшенню навігації основних магістральних напрямків морських перевезень.

В даний час відбувається розширення і поглиблення Суецького і Панамського каналів. У зв'язку з цим звичні для всіх параметри розмірів «тах» і «size» піддаються періодичним коригуванням.

Балкери, в свою чергу, також поділяються на п'ять основних розмірних категорій:

- Мінібалкери
- Handysize
- Handymax и Supramax
- Panamax и New Panamax
- Capesize
 - VLCC (Very Large Crude Carriers)
 - ULCC (Ultra Large Crude Carriers).

Міні-балкери - група найменших балкерів з дедвейтом до 10 тисяч тонн (DWT), в основному використовуються для каботажного плавання і перевезення вантажів по внутрішніх шляхах.

Handysize (Хендісайз) - маломірні балкеріери з місткістю від 10 тисяч до 35 тисяч тонн дедвейту (DWT), ідеально підходять як для малих, так і великих портів, саме тому становлять більшість океанічних балкерів в світі.

Handymax і Supramax (Хендімакс, Супрамакс) - малогабаритні балкеріери з місткістю від 35 тисяч до 60 тисяч тонн дедвейту (DWT). Їх невеликий розмір дозволяє працювати в регіонах з маленькими портами, де довжина та осадка обмежені. Зазвичай довжина handymax складає 150-200 метрів, однак існують обмеження для певних терміналів, наприклад, в Японії ці судна обмежені довжиною в 190 метрів. Сучасні судна типу handymax мають велику вантажопідйомність, яка варіюється від 52 до 60 тисяч тонн (DWT).

Panamax і NewPanamax (Панамакс, Нью Панамакс) - спеціальні балкеріери для проходження через Панамський канал, мають середню вантажопідйомність 65 тисяч тонн (DWT), використовуються в основному для транспортування вугілля в Карибському і латиноамериканському регіонах. Нинішні шлюзи і глибина каналу обмежують судна в довжину - не більше 294,13 метрів,

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

завширшки - не більше 32,31 метрів і осадку - не більше 12,04 метрів. Однак після запуску проекту по розширенню каналу був створений новий клас – newpanamax, так як після реконструкції канал зможе приймати більш великі судна. Допустимі розміри збільшені до 427 метрів в довжину, 55 метрів в ширину і до 18,30 метрів в глибину.

Capesize(Кепсайз) - категорія дуже великих і ультра великих балкерієров з вантажопідйомністю понад 150 тисяч тонн дедвейту (DWT). Включає в себе підкатегорії VLCC (VeryLargeCrudeCarriers) і ULCC (UltraLargeCrudeCarrier). Термін capesize зазвичай використовується для опису балкерів, проте зараз все частіше можна зустріти цю класифікацію і серед танкерів. Стандартні балкери цього класу мають вантажопідйомність в 175 тисяч тонн (DWT) і використовуються в основному для транспортування вугілля і залізної руди. Пізніше з'явилися більш великі судна з дедвейтом понад 180 тисяч тонн, і в класифікацію Capesize були додані підкатегорії:

- VLCC балкерієри (VeryLargeCrudeCarriers), для танкерів - VLOC (VeryLargeOilCarriers) з дедвейтом від 180 тисяч до 320 тисяч тонн
- ULCC балкерієри (UltraLargeCrudeCarriers), для танкерів - ULOC (UltraLargeOilCarriers) з дедвейтом понад 320 тисяч тонн.

У дослівному перекладі - це дуже великі і ультра великі вузькоспеціалізовані вантажні судна, 95% вантажу що перевозиться складають вугілля і руда. Через величезні розміри і глибоку осадку їх можуть приймати тільки сучасні найбільші глибоководні портові термінали.

1.4. За районами плавання.

Враховуються глибини проток, каналів, прибережних зон і внутрішніх морів, габарити шлюзів і розміри причалів. У позначення балкера тут входить повне абревіатурне названня каналу, міста, порту, моря, протоки:

- Seawaymax
- Kamsarmax
- Setouchmax
- Dunkirkmax

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 01	Лист
						13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Newcastlemax
- Malaccamax

Seawaymax балкерієри мають максимально можливі габарити для проходу через шлюзи каналу Святого Лаврентія (St. LawrenceSeaway), що з'єднує Великі озера Північної Америки з Атлантичним океаном. Максимальна довжина корпусу становить 226 метрів.

Kamsarmax балкерієри - досить новий тип, здатний заходити в порт Камсар в республіці Гвінея, трохи крупніше класу Панамакс (Panamax). Їх довжина дорівнює 229 метрам, що відповідає довжині рудонавалочних і нафтоналивних терміналів цього порту.

Setouchmax балкерієри відносяться до найбільшого за розміром типу, який може ходити у Внутрішньому Японському морі (more Setouch), мають дедвейт 203 тисячі тонн.

Dunkirkmax балкерієри відносяться до найбільшого за розміром типу, який може приймати порт Дюнкерк у Франції, мають вантажопідйомність в 175 тисяч тонн дедвейту і довжину 289 метрів.

Newcastlemax балкерієри відносяться до найбільшого за розміром типу, який в змозі увійти в порт Ньюкасл (Австралія), мають вантажопідйомність в 185 тисяч тонн дедвейту, максимальну ширину 50 метрів, довжину 300 метрів.

Malaccamax балкерієри відносяться до найбільшого за розміром типу, який може проходити через Малаккську протоку (StraitofMalacca) глибиною 25 метрів. Відповідно до допустимих меж Malaccamax може мати максимальну довжину в 400 метрів, ширину - 59 метрів і осадку - 14.5 метрів.

Chinamax. Категорія об'єднує балкери, розміри яких дозволяють їм використовувати китайські гавані при повному завантаженні. Максимальний розмір такого судна становить осадку 24 м, ширину 65 м та загальну довжину 360 м. Прикладом суден такого розміру є балкери *Валемакс*.

1.5. Відповідно до розмірів.

Аналіз тенденцій розвитку флоту балкерів здійснюється зазвичай стосовно окремих груп суден:

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

Minibulker дедвейтом до 10 тис. т;
 Small Bulkers дедвейтом 10-25 тис. т;
 Handysize дедвейтом 25-40 тис. т;
 Handymax дедвейтом 40-60 тис. т;
 Panamax дедвейтом 60-100 тис. т;
 Capesize дедвейтом більше 100 тис. т.

Судна класу Minibulker дуже схожі з сучасними однопалубними універсальними суховантажними суднами, тому часто виключаються зі статистики.

Призначені переважно для каботажного плавання та річкових перевезень.

Розміри дозволяють цим суднам проходити під мостами і по мілководдю.

Small Bulkers перевозять дрібні навалочні або штучні вантажі.

Завдяки своїм розмірам судна Handysize ідеально підходять як для малих, так і великих портів. Складають майже 71% всього флоту за тоннажем.

Зазвичай довжина «Хендімакс» складає 150-200 метрів, проте є обмеження для певних терміналів. Розміри цих балкерів дозволяють працювати в регіонах з невеликими портами, де довжина та осадка обмежені.

З метою максимального використання вантажопідйомності суден, що проходять через Панамський канал, будують судна що називаються «Panamax», розміри яких обрані максимальними виходячи з габаритів каналу. Вони складають близько 23 % суден, що щорічно проходять каналом.

Для сучасних балкерів типу «Panamax» характерні наступні співвідношення головних розмірювань: $L/B = 6,7$ і $B/T = 2,6$ при дедвейті близько 60-68 тис. т (довжина судна близько 215-220,0 м, осадка 12,5 м, Нью Панамакс до 18 м.).

Судна Capesize у зв'язку із своїми значними розмірами не здатні проходити каналами, тому при виході з Азії або Австралії в Європу вони вимушені огинати Африканський континент, тобто проходити повз мис Доброї Надії. Іноді виділяють до окремих підгруп категорії «Кепсайз» судна з вантажопідйомністю понад 180 тисяч тон дедвейту:

- дуже великі балкери (англ. VeryLargeCrudeCarriers чи VLCC);[4]
- ультра великі балкери (англ. UltraLargeCrudeCarriers або ULCC).

					24. МР. 135. 6112. 02. ПЗ. 01	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

- Дуже великі рудовози «Валемакс» (Valemax, Verylargeorecarriersабо VLOC) 380 000 - 400 000 тисяч тон дедвейту. Флот дуже великих рудовозів, що належать або зафрахтовані гірничодобувною компанією Vale S. A. для перевезення залізняку з Бразилії в європейські та азіатські порти.

1.6. Ринок вантажоперевезень.

На сьогоднішній день флот вантажоперевезень вантажопідйомністю понад 5000 т становить понад 11000 суден.

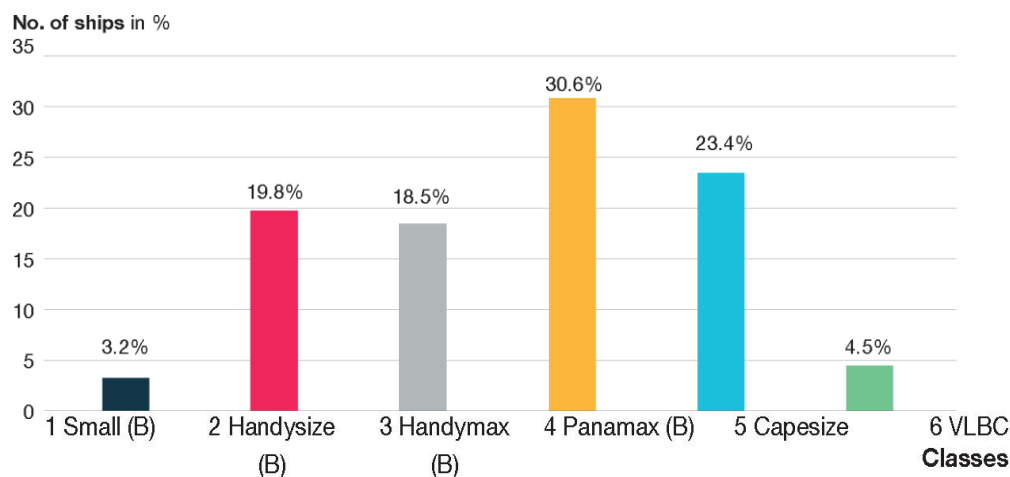


Рис. 1 -Розподіл основних класів балкерів DW понад 5000 т,

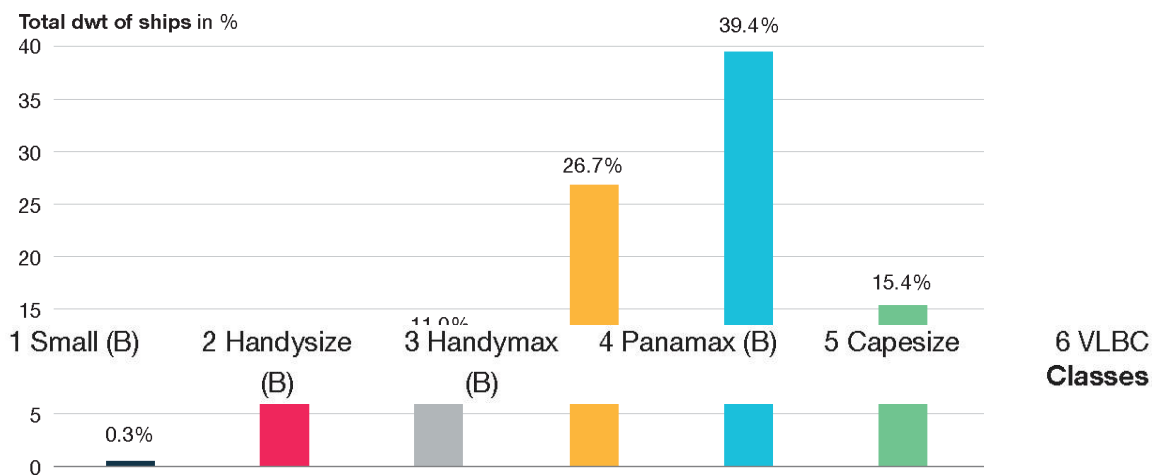


Рис. 2 -Розподіл основних класів балкерів понад 5000 т, по дедвейту.

					24. МП. 135. 6112м. 02. ПЗ. 02			
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата				
					Аналіз методів вибору головних елементів балкера	Лит.	Лист	Листів
Студент	Браніште Р.П						17	
Консульт.	Пашенко Ю.М.					НУК ім. адм. Макарова		
Керівник	Пашенко Ю.М.							
Зав.каф.	Нєкрасов В.О.							

2. Аналіз методів вибору основних елементів балкера.

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

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

У практичному проєктуванні аналітичний метод, як правило, поєднується зі статистичним методом, який широко використовує дані, отримані з досвіду проєктування, будівництва та експлуатації суден.

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;

Судна, для яких відбираються статистичні дані, повинні мати однакові позначення та архітектурно-конструктивний тип із запроектованим і повинні плавати за однакових умов;

Усі необхідні числові значення слід отримати, обробляючи ті самі методи; використовуючи статистичні значення 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 судна.

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

Окремим випадком методу порівняння є метод перерахунку з прототипу, що застосовується у випадках, коли вимогам технічного завдання близько відповідає

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 02	Лист
						18
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

будь-яке з побудованих або спроектованих суден.

Приймаючи цей прототип, до проекту вносяться лише ті зміни, які спричинені вимогами технічних специфікацій.

В силу дуже великої кількості невідомих величин, аналітичні методи проектування, 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 проектування суден. 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.

Використовуючи один із наступних аналітичних методів, визначаємо в першому наближенні водотоннажність проєктованого судна D та потужність основних двигунів N_e виходячи з чистої вантажопідйомності P (або дедвейту), швидкості судна та діапазону водотоннажності, беручи до уваги аналітичні залежності, що характеризують основні якості судна (плавучість, остійність, міцність), визначають у першому наближенні основні розміри L , B та тягу T (якщо вона не встановлена) та перевіряють вимоги до умов (категорії) 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 судна (величина змоченої поверхні, коефіцієнти опору, число Фруда тощо), визначають буксирувальну потужність.

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 02	Лист
						19
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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 судна і повторювати розрахунки, поки значення потужності, знайдені в двох сусідніх наближеннях, не будуть збігатися.

Якщо необхідне подальше визначення основних елементів проєктованого судна, 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 судна, 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 характеристик цього типу суден, які визначають його найважливіші навігаційні та експлуатаційні якості. Отже, для балкера основними якостями є зручність експлуатації, ходовість, керованість, остійність та плавна хитаவிця.

Використовуючи метод варіацій, можна об'єднати результати розрахунку елементів корабля судна для всіх варіантів в одній таблиці, що дозволить порівняти характеристики судна, отримані для різних варіантів, і вибрати найкращий варіант

Істотним недоліком варіаційного методу, який обмежує кількість варіантів, є великий обсяг роботи. Іноді це обмеження може призвести до того, що оптимальний варіант основних елементів судна 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. Обираємо деяке початково допустиме рішення, тобто такий набір бажаних величин, який

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 02	Лист
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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, тобто градієнтом.

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.

Градієнтні 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 методі 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.

У "локальному" випадковому пошуку вибирається якесь початкове можливе рішення, з якого в просторі невідомих систематично роблять випадкові малі кроки, доки не буде знайдений той, що змінює всю функцію у сприятливий напрямок (і всі обмеження виконуються), після який новий пункт проводиться подібними тестами, поки не досягне екстремуму.

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; є низька конвергенція, якщо поверхня відгуку рівна. [1]

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 02	Лист
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					24. МП. 135. 6112м. 02. ПЗ. 03			
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата				
					Продукт-орієнтоване проєктування балкера	Лит.	Лист	Листів
Студент	Браніште Р.П.						23	
Консульт.	Некрасов В.О.					НУК ім. адм. Макарова		
Керівник	Пащенко Ю.М.							
Зав.каф.	Некрасов В.О.							

3. Продукт-орієнтоване проєктування балкера.

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 США 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 3.1.

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 [2]

					24. МР. 135. 6112-м. 02. ПЗ. 03	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

3.2. Формування CER для будівництва балкера.

Таблиця 3.1. - Составні структурного розбиття судна на частки в системах SWBS/ESWBS и NES

Номер групи	Назва SWBS	Опис групи
Група 100	Конструкції	Включає ваги обшивки, набору, палуб, перебірок, надбудов і фундаментів
Група 200	Пропульсивна установка	Включає ваги дизелів, турбін, редукторів, валопроводів і рушіїв
Група 300	Електрична установка	Включає ваги обладнання для вироблення електроенергії, силових кабелів, освітлювальних систем і аварійних систем електропостачання
Група 400	Управління та моніторинг	Включає ваги навігаційної системи, системи внутрішнього зв'язку, протипожежної системи, системи спостереження, радіолокаторів, 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 дільних речей, ізоляції, фарбування, обладнання та фурнітури житлових приміщень, санітарних приміщень, офісів, медичних приміщень, сходів, комор, пралень і майстерень
Група 700	Озброєння	Включає ваги систем артилерійської, торпедної та ракетної зброї, боєприпасів, систем зберігання та обробки боєприпасів.
Група F*	Вантаж	Включає ваги всіх змінних вантажів: команди з багажем, води, харчів, палива, мастил і т. і.
Група M	Запаси	Включає ваги доданих систем, змін та інших доповнень
Група 800	Інтеграція / Інжиніринг	Невагова категорія. Включає такі елементи, як креслення судна, 3D-моделі, забезпечення якості, сертифікаційні стандарти, обладнання для навчання та навчання.
Група 900	Збірка і сервіси підтримки	Невагова категорія. Включає все, що необхідно для побудови судна, його спуску і випробувань. Сюди входять будівельні ліси, страхування, елементи спуску, здавальних випробувань і ін.

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

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

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

Таблиця 3.2 відображає параметричну обробку даних для будівництва судна насипного типу водотоннажністю 5000-10 000 тонн (повна водотоннажність).

Аналіз закономірностей проектно-орієнтованого проектування показує, що найбільш підходящим для прогнозування вартості та строку будівництва судна на початкових етапах його будівництва є рівень попереднього проектування, при якому форма майбутнього судна визначається розширеною структурою його розподілу - ESWBS та відповідними емпіричними співвідношеннями 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 3.2). Крім того, потрібно враховувати рівні оплати праці, податків та зборів.

Таблиця 3.2 -Типові регресійні рівняння (ECERs) концептуального проектування балкеру [3]

N	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 проектів будівництва кораблів. Однак графіки мережевого суднобудування та рівняння регресії робочої сили можуть бути введені. Приклади таких набраних мережевих діаграм та розподілу робочої сили на стадіях суднобудування, сформованих мережевим графіком, наведені на рис. 3.1 та 3.2.

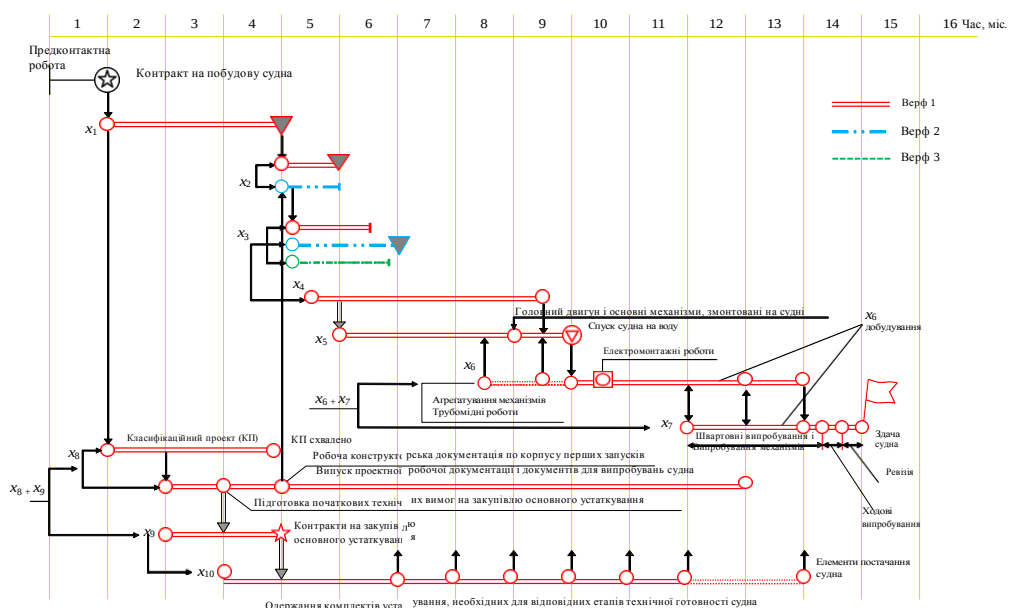


Рис. 3.1 Мережевий графік будівництва корабля на віртуальній верфі [2].

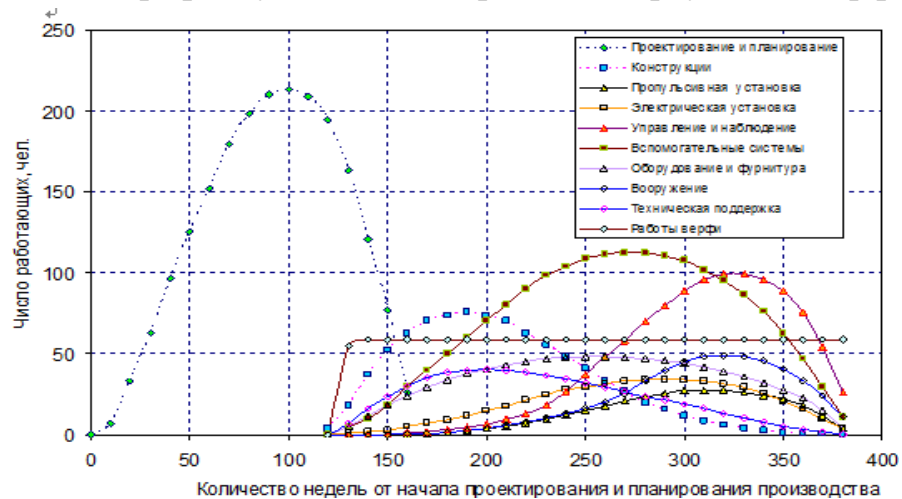


Рис.3.2 - Вимоги до робочої сили при проектуванні, підготовці, будівництві, запуску та випробуванню розробленого проекту балкеру.

За даними розрахунків на рис. 3.2, використовується так званий коефіцієнт типу TF суднобудування, який залежить від типу судна, і коефіцієнт продуктивності PF, який залежить від продуктивності суднобудівного заводу.

No	Тип судна	Значення TF коефіцієнту
1	2	3
1	Танкер для сирої нафти	0.80
2	Цистерна для перевезення нафтопродуктів	1.13
3	Хімічний танкер	1.25
4	Танкер з подвійним корпусом	0.90
5	Наповнювач	0.85
6	Універсальне вантажне судно	0.95
7	Контейнеровоз	0.96
8	Корабель ро-ро	0.83
9	Корабель для перевезення автомобілів	0.61
10	Пором	1.25
11	Пасажирське судно	3.00
12	Риболовецьке судно	2.20
13	Буксир	0.80
14	Бойовик - крейсер (ядерний)	9.00
15	Бойовик - руйнівник	8.00
16	Бойовик - Фрегат	7.00
17	Десантний корабель - LHA / LHD	7.00
18	Десантний корабель - LSD / LPD	5.00
19	Допоміжний корабель - Танкер	2.50
20	Допоміжне судно - тендер	4.50
21	Дослідницьке судно	1.25
22	Морський буксир, океан	1.00

23	Криголам берегової охорони	4.50
24	Буй берегової охорони тендер	2.00

Таблиця 3.3 - Значення коефіцієнта TF для різних типів суден

N	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	-	-
	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	-	-

Таблиця 3.4 - Значення коефіцієнтів продуктивності верфі [4]

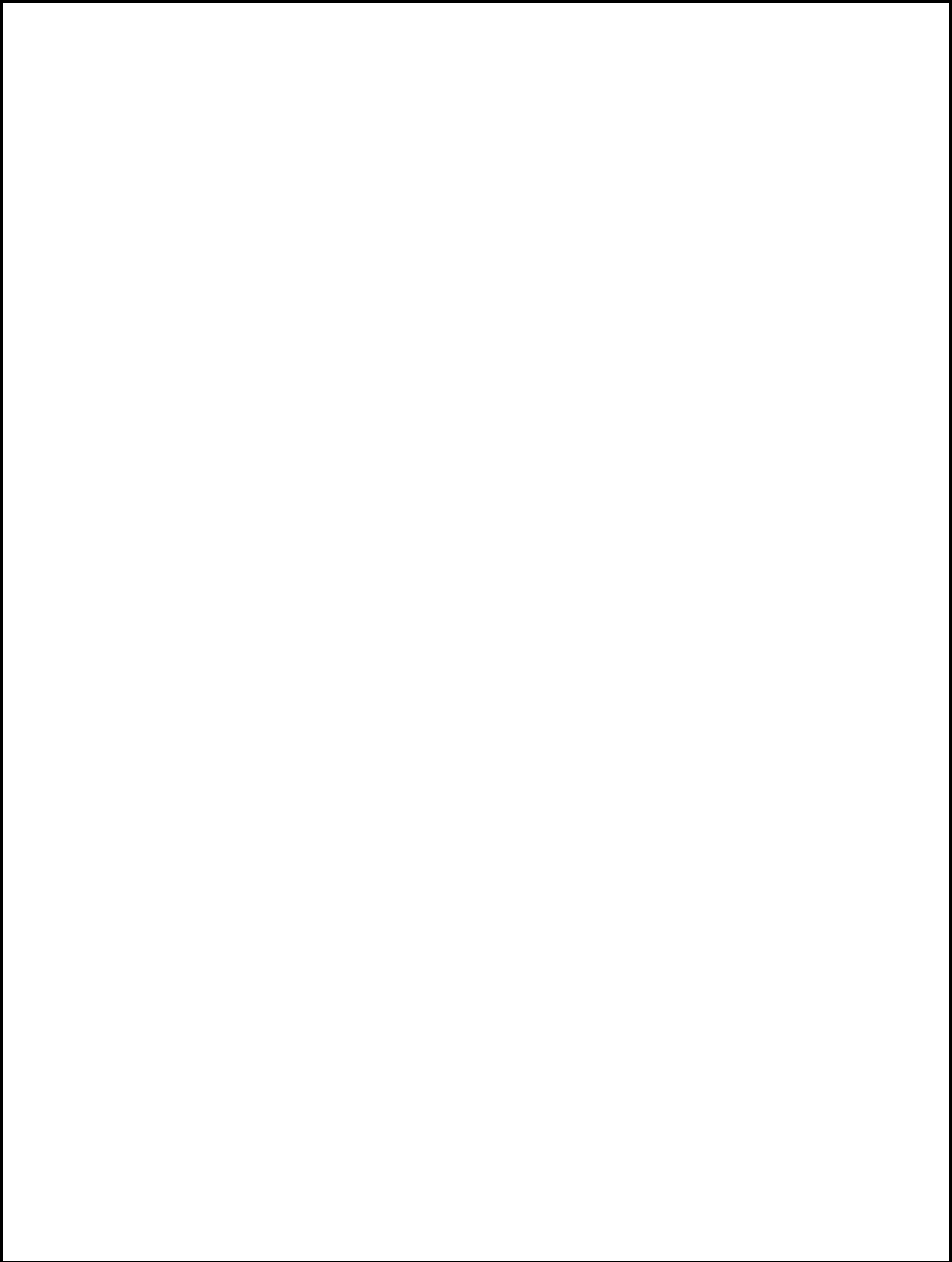
3.3. Визначення вартості робіт з проєктування і побудови балкера.

Верф, яка обрана для будівництва корабля, знаходиться в 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 проєктування суден, орієнтованого на продукт, був висунутий асоціацією SPAR. Остаточний алгоритм методу був представлений компанією у вигляді таблиці, зображеної на малюнку 3.3. Це обчислювальна таблиця. Вихідними даними для таблиці є: тип корабля (коефіцієнт T_F), його повна 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.

На основі такого типу таблиці в дипломній роботі був використаний алгоритм визначення вартості та тривалості робіт з проєктування, планування, підготовки виробництва верфі та створення розглянутого балкера. Розрахунки результатів за допомогою цього алгоритму представлені на рис. 3.3 [2]

31



					24. МП. 135. 6112м. 02. ПЗ. 04								
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата									
					Систем-орієнтоване проектування балкера на інтервалах його ефективного використання			Лит.		Лист		Листів	
Студент	Браніште Р.П									32			
Консульт.	Нєкрасов В.О..							НУК ім. адм. Макарова					
Керівник	Пашенко Ю.М.												
Зав.каф.	Нєкрасов В.О.												

4. Системно-орієнтовано проєктування балкера на інтервалах його ефективного використання.

4.1. Моделі віртуальних просторів експлуатації балкара.

4.1.1. Географічний простір суднових операцій.

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

Основним параметром, який найбільш часто використовується для цього простору, є географічне положення портів і відстань між портами

Порт №1 – Південний (Україна).

Порт №2 – Алжир (Алжир).

Відстань між портами не перевищує 1780 міль.



Рис. 4.1 Район експлуатації балкера.

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.

4.1.3. Простір виробничих відносин робочого процесу.

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

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

Як правило, судна послідовних рейсів 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 4.1.

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

Тип портового устаткування для навантаження та розвантаження сипучих вантажів транспортного засобу такого судна визначає продуктивність портових послуг.

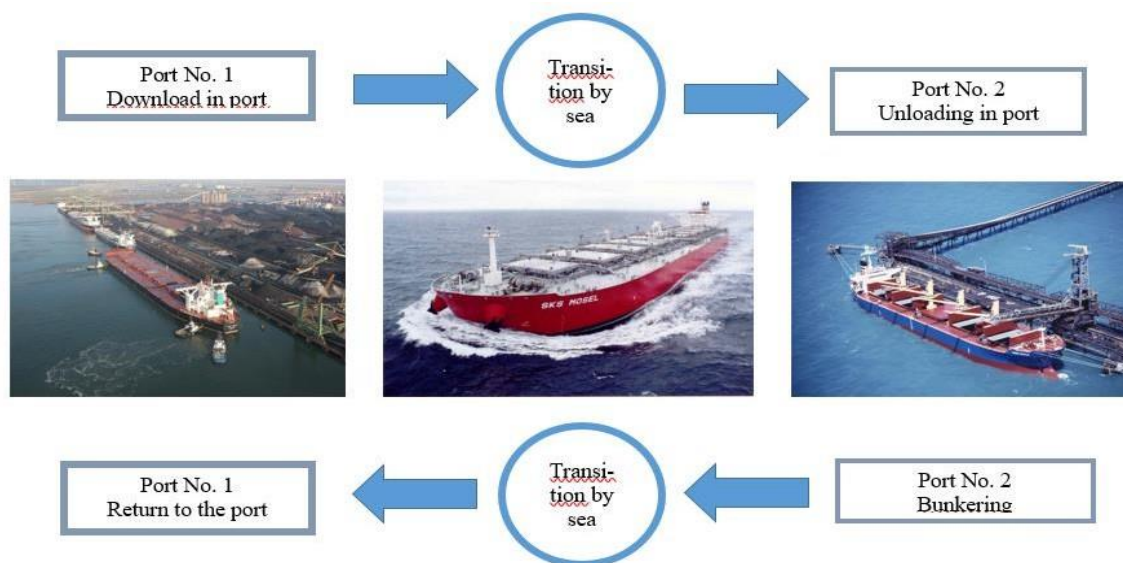


Рис 4.1 Модель кругового рейсу судна послідовних рейсів

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 рейсу в обидва кінці буде визначатися виразом

$$t_{hrt} = t_{load} + t_{std} + t_{unload} \quad (4.1)$$

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 суден.

Для комерційного транспортного судна найбільш загальною характеристикою стану ринку перевезень є ймовірність укладання довгострокового контракту або фрахту PF. Якщо така операція відбулася, то розподіл коштів між учасниками транспортних операцій: вантажовідправником, фрахтувальником і власником судна, може бути представлено схемою, наведеною на Рис. 4.2 [5].

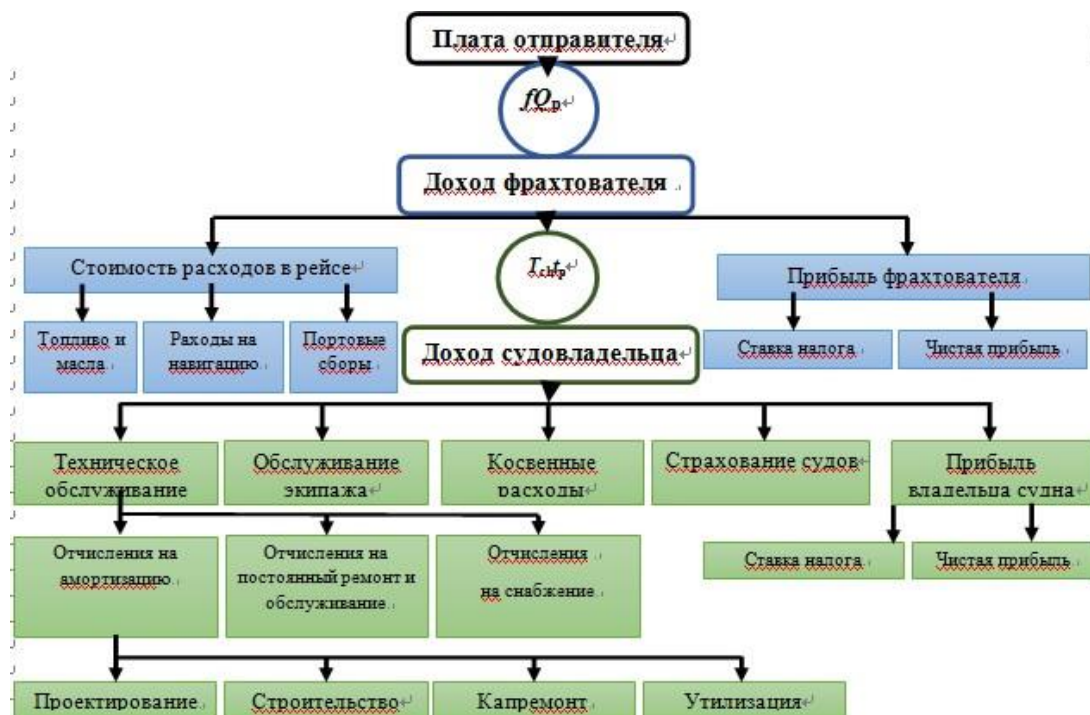


Рис.4.2 Розподіл коштів між учасниками транспортної операції одного кругового рейсу: відправником вантажу (Consignor), фрахтувальником (Charterer) і власником судна (Ship Owner)

Схема рис.4.2 також визначає складові доходу і одержаного прибутку учасниками транспортної операції, витрати на навігацію, обслуговування судна і амортизацію, які мають місце по завершенню одного кругового рейсу. Такі ж складові фінансових операцій визначають оборот грошових коштів за інтервали часу, рівні році експлуатації і терміну життя судна.

Для l -го кругового рейсу балкера малюнок 4.2 вводить такі позначення:

$$I_l = fQ_p \quad (4.2)$$

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

$$fQ_p = E_{var} + P_{charterer} + T_{ch}(t_{tr} / 24) \quad (4.3)$$

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;

$$E_{var} = E_{fuel\&oil} + \Delta E_{var}, \quad (4.4)$$

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

$$E_{fuel\&oil} = C_f g_l (q_l t_{load} + q_d t_{std} + q_u t_{unload} + q_b t_{stb}); \quad (4.5)$$

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.

$$T_{ch} (t_{rt} / 24) = I_{iso} \quad (4.6)$$

- дохід судновласника.

В виразах (4.3) - (4.6):

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. (4.5));

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} (див. рис 4.2).

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

$$E_l = E_{fuel\&oil} + \Delta E_{var} + E_{lsm} + E_{lcm} + E_{luc} + E_{lsv} \quad (4.7)$$

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

$$I_l = I_{charterer} + I_{sowner}; P_l = P_{charterer} + P_{sowner} \quad (4.8)$$

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

4.2. Модель інженерно-навігаційних властивостей балкера.

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

До інженерних характеристик судна зазвичай відносять місткість і міцність. Навігаційними характеристиками є такі морехідні якості, як плавучість, остійність, непотоплюваність, ходовість, керованість і мореплавність.

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:

$$V_C \geq |V_d|; \quad A_C \geq |A_d| \quad (4.9)$$

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 $|\sigma_c|$:

$$\sigma_C \leq |\sigma_c| \quad (4.10)$$

Облік плавучості призводить до необхідності використання рівняння плавучості, тобто до необхідності задоволення рівності сили ваги, яка визначається масами W_{100} розширеної структури розбиття суднових робіт на

частини ESWBS, і сили плавучості $\rho g L B d C_B$ в положенні рівноваги судна на тихій воді:

$$\sum_{i=1}^7 g W_{i00} + g W_F = \rho g L B d C_B \quad (4.11)$$

Непотоплюваність корабля вимагає виконання нерівності

$$R > |R| \quad (4.12)$$

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

Остійність судна при великих кутах крену забезпечується шляхом виконання таких нерівностей, як критерій погоди і обмежень.

$$K > 1; h_0 > 0.05m; \theta_m > 30\text{deg.}; \theta_v > 60\text{deg.}; \dots \quad (4.13)$$

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

$$E_{HP} = \eta N_E \quad (4.14)$$

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 $|D_C|$:

$$D_c \leq |D_c| \quad (4.15)$$

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

режимів району експлуатації не перевищують встановлені критичні значення $|s|, |\dot{s}|, |\ddot{s}|$:

$$s < |s|, \dot{s} < |\dot{s}|, \ddot{s} < |\ddot{s}| \quad (4.16)$$

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

4.3. Модель експлуатації балкера.

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

Для навальника, який експлуатується у формі послідовних рейсів, модель роботи показана на рис. 4.1. При побудові цієї моделі передбачається, що вантажоперевезення здійснюється в обидва боки між двома портами №1 та №2. Під час поїздки в обидва кінці судно завантажується в порту No 1, здійснює транзит, перевозячи вантаж. У порту № 2 судно вивантажується і повертається до порту № 1 разом з іншими товарами. Основною операцією судна 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 судна

4.3.1. Імовірнісні характеристики надійності балкера.

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

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

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

$$P[F] = P[F_1] \times P[F_2 | F_1] \quad (4.17)$$

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

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

Відповідно до діаграми на рис. 4.1, реалізація рейсу в обидва кінці супроводжується проміжними операціями: завантаження в порту № 1 (подія F_{21}), перевезення вантажів (подія F_{22}) та розвантаження судна в порту 2 (подія F_{23}). 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

$$P[F_2 | F_1] = P[F_{21}] \times P[F_{22}] \times P[F_{23}] \quad (4.18)$$

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

$$P[\bar{F}] = 1 - P[F], P[\bar{F}_1] = 1 - P[F_1], P[\bar{F}_2 | F_1] = 1 - P[F_2 | F_1] \quad (4.19)$$

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

$$P[\bar{F}_2 | F_1] \approx P[\bar{F}_{21}] + P[\bar{F}_{22}] + P[\bar{F}_{23}] = \sum_{k=1}^3 P[\bar{F}_{2k}] \quad (4.20)$$

Вона отримана розкладанням залежностей (4.18) 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 судна) 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 судна визначається за формулою

$$P[A] = \sum_{i=1}^I P[T_i] \times \left\{ \sum_{k=1}^{K_i} P[L_{ik}] \right\} \quad (4.21)$$

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

$$C = \sum_{i=1}^I P[T_i] \times \left\{ \sum_{k=1}^{K_i} P[L_{ik}] \times C_{ik} \right\} \quad (4.22)$$

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.

4.3.2. Імовірнісні характеристики ефективності балкера.

Навантажувально-розвантажувальні роботи судна 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. 4.2.

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

$$P_l = I_l - E_l \quad (4.23)$$

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 рейсу 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]

$$\bar{P}_l = M[P_l], \bar{I}_l = M[I_l], \text{ та } \bar{E}_l = M[E_l] \quad (4.24)$$

де $M[...]$ - операція усереднення.

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

$$D_p = M \left[\left(P_l - \bar{P} \right)^2 \right], D_I = M \left[\left(I_l - \bar{I} \right)^2 \right], D_E = M \left[\left(E_l - \bar{E} \right)^2 \right] \quad (4.25)$$

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

$$\frac{1}{N} \sum_{l=1}^L \bar{P}_l = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^L (\bar{I} - \bar{E}_l) = \bar{P}_1 \quad (4.26)$$

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

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

$$\bar{P}_1^* = P[F_1] \frac{1}{N} \sum_{l=1}^L \bar{P}_l \quad (4.27)$$

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.

4.3.3. Складні показники ефективності та надійності балкера.

Ринкові дані за цінами на матеріали та обладнання, які використовуються в суднобудуванні, вказують на їх велику мінливість і слабку передбачуваність. Тому вважається раціональним, що на першому етапі життєвого періоду судна - стадії його створення, показники ефективності судна повинні бути такими комплексними характеристиками

його ефективності і надійності, які відображають чисту поточну вартість.

Найпростіші уявлення таких комплексних показників мають вигляд [1]

$$OF_1 = \sum_{l=1}^L (P_{ll} \bar{I}_l - \bar{E}_l) - \bar{B} \quad (4.28)$$

$$OF_2 = \frac{\sum_{l=1}^L (\bar{E}_l) + \bar{B}}{\prod_{i=1}^M P_i} \quad (4.29)$$

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

У процесі пошуку оптимального конструктивного рішення судна перший з індексів OF_1 максимізується, конфігуруючи проектне рішення для максимізації прибутку, другий OF_2 зводиться до мінімуму для досягнення мінімальних витрат при виконанні судном набору основних функціональних можливостей операцій. Представлення характеристик надійності в цих індексах не є повним. Більш повне відображення факторів надійності здійснюється при формуванні обмежень під час створення задачі оптимізації дослідницького проекту судна [5].

4.4. Постановка задачі оптимізаційного вибору основних розмірів балкера.

Завідувачем кафедри теорії та проєктування суден НУК д.т.н. професором Некрасовим В.О. розроблено комплексний метод вивчення функціонування рухомих морських об'єктів, оцінюючи ефективність функціонування за критеріями продуктивності та надійності, і синтез оптимальних проектних рішень як для окремих об'єктів експлуатації, так і для їх сукупності, призначених для реалізації конкретних практичних цілей [6].

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 судна або групи суден враховуються особливості їх використання в місцях експлуатації. Ці судна розглядаються як учасники технологічних ланцюгів транспортування вантажів, видобування морських ресурсів або обслуговування ресурсовиробничих споруд. Вони працюють в умовах дії вітру, хвиль та інших кліматичних факторів силового впливу на судна та морські споруди.

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

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

$$OF_1^* = \sum_{j=1}^J \frac{\bar{I}_j - \bar{E}_j}{(1+i)^j} \quad (4.30)$$

де підсумовування середньорічного прибутку $\bar{I}_j - \bar{E}_j$ поширюється на всі роки j життя об'єкта, а значення i - це ставка дисконтування, яка враховує рівень інфляції та інші ризики інвестування у відповідний сектор економіки.

Використовуючи вищезазначені цільові функції, проблема пошуку оптимального конструктивного рішення для рухомого морського об'єкта (балкер або інший корабель) або їх сукупності (флоту) формулюється наступним чином [1]

Знайти: $OF\{U, x\} \Rightarrow \text{extr}$ (4.31)

в: $E_N(X) \geq 0, N = 1, 2, 3;$ (4.32)

$F_K(X) \geq [F_K], K = 1, 2, \dots, K;$ (4.33)

$PK_L[\Pi_T] \leq [PK_L], L = 1, 2, \dots, L;$ (4.34)

$x \leq x_Q, Q = 1, 2, \dots, Q$ (4.35)

де

$E_N(x) \geq 0$ являються обмеження, які забезпечують необхідний рівень ефективності рухомого об'єкта (обмеження на плавучість, ємність, навігації та основні функціональні підсистеми надання допомоги, пожежогасіння, підсистеми ліквідації розливів нафти, РЛС виявлення порушників охорони водного простору, бортове озброєння і т.і.);

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

$[F_K]$ - нормативні значення цих показників, які регулюються класифікаційними товариствами;

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

[PKL] - граничні значення цих фондів;

U - вектор параметрів зовнішнього середовища і умов технічного завдання;

x - вектор незалежних змінних (основних елементів судна);

xq - вектор обмежень незалежних змінних.

4.5. Опис алгоритму вирішення задачі оптимізації.

Задача пошуку оптимального проектного рішення здійснюється згідно зі схемою, наведеною на рис. 4.4 [].

Критеріями оптимізації є крайні значення цільової функції (4.28) або (4.29). Для розглянутого насипного вантажу обраний вираз (4.28).

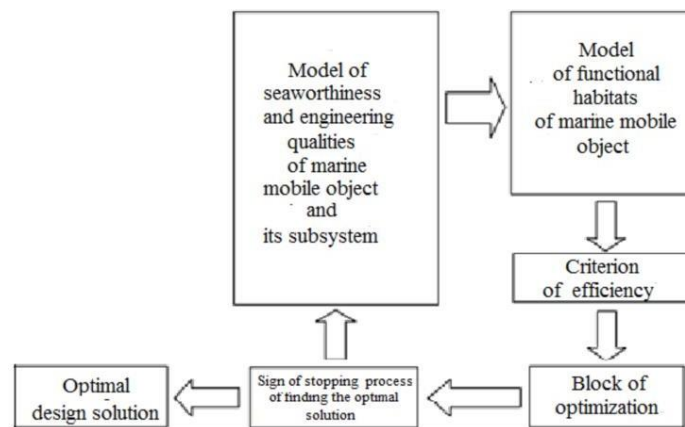


Рисунок 4.4 - Структурна схема пошуку оптимального рішення проблеми синтезу морського рухомого об'єкта для умов їх експлуатації

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 проектних рішень як для окремих об'єктів експлуатації, так і для їх сукупності, призначений для реалізації конкретних практичних цілей, пропонується використовувати при вирішенні конструкторських задач та будівництві або виборі з існуючого набору суден світового флоту, що пропонуються для продажу або фрахту.

Вибір основних розмірів судна базується на моделюванні процесу виконання його основних функціональних операцій у даній зоні експлуатації. Моделювання реалізоване з використанням моделей технічних та мореплавних якостей судна та його моделей функціонування за призначенням. При побудові моделей використовуються сучасні методи гідроаеродинаміки 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 судна визначаються довготривалими розподілами характеристик вітру, хвиль і течій.

Ефективність, надійність та безпека експлуатації розглянутого судна базується на аналізі виконання основних функціональних операцій за складним критерієм типу (4.28).

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 балкера для басейну Чорного та Середземного морів.[6]

4.6. Програмний комплекс для вирішення задачі оптимізації.

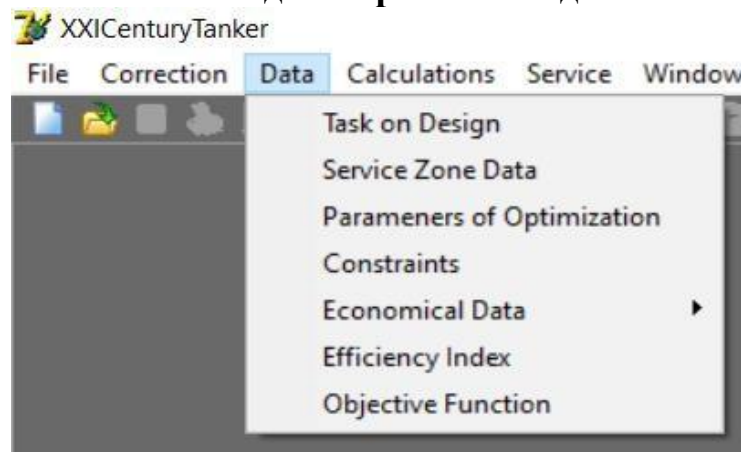


Рис 4.5 - Головне вікно програми



Рис 4.6 - Вікно дизайнерського завдання

Рис 4.7 - Вікно даних зони обслуговування

Рис. 4.8 - Вікно параметрів пошуку рішення

Parameters of solution search ?

The name	Initial
Length L, m - X1	205.560
Breadth B, m - X2	33.503
Draught d, m - X3	12.266
Depth H, m - X4	14.502
Block coefficient Cb - X5	0.828
Full Speed, knots - X6	12.547

< [Progress Bar]

Ok Cancel

Рис.4.9 - Вікно незалежних змінних

CONSTRAINTS (RESTRICTIONS):

Name	Value Constraints	
1 Maximum time of circular trip, hours	470.457	
280.000		
2 Maximum length of constructive waterline, m	208.383	
208.500		
3 Maximum draught of ship, m	12.199	16.500
4 Maximum error of displacement calculation, %	3.218	1.000
5 Maximum full speed, knts	14.998	12.000
6 Maximum breadth of ship, m	32.197	32.200
7 Maximum B/d	2.639	2.640
8 Maximum H/d	1.545	1.545
9 Maximum L/B	6.472	6.500
10 Maximum power of main engine, kW	13351	10000
11 Maximum value of block coefficient	0.830	0.830
12 Maximum value of middle section coefficient	0.979	0.995
13 Maximum value of waterline coefficient	0.823	0.920
14 Maximum roll angle from accumulation of people on ship board, deg.	0.016	10.000
15 Maximum roll under people on board and circulation, deg.	5.271	10.000
16 Minimum time of circular trip, hours	470.457	
260.000		
17 Minimum length of constructive waterline, m	208.383	
208.000		
18 Minimum breadth of ship, m	32.197	32.200
19 Minimum value of initial GM, m	0.206	3.100
20 Minimum draught of ship, m	12.199	12.200
21 Minimum full speed, knts	14.998	15.000
22 Minimum B/d	2.639	2.640

23	Minimum H/d	1.545	1.570
24	Minimum L/B	6.472	6.470
25	Minimum power of main engine, kW	13350	7000.0
26	Minimum value of block coefficient	0.830	0.820
27	Minimum value of maximum GZ, m	1.948	2.500
28	Minimum value of GZ maximum angle, deg.	55.000	30.000

Рис 4.10 - Фрагмент з текстового файлу, у якому наведені обмеження

Рис. 4.11 - Вікно економічних стохастичних даних

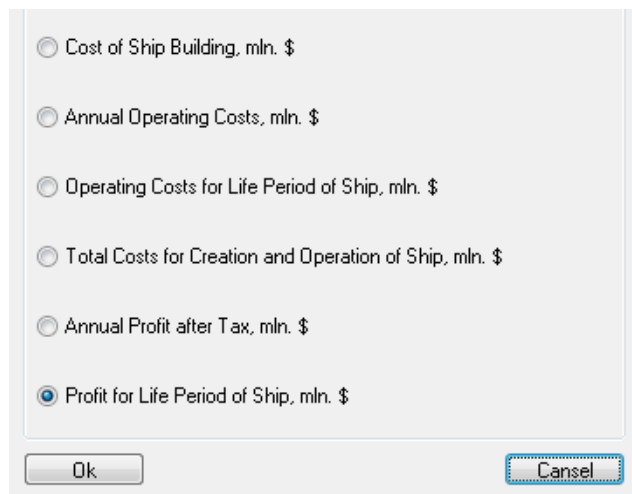


Рис. 4.12 - Вікно показників економічної ефективності

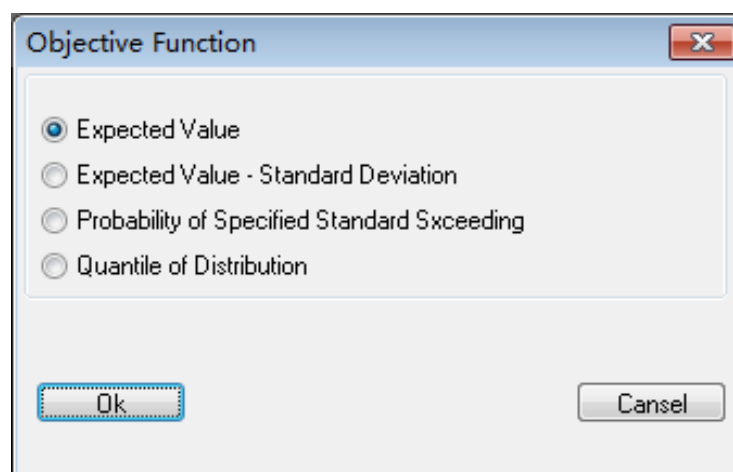


Рис. 4.13 - Вікно цільових функцій

4.7. Концептуальне проєктування балкера.

Calculation Date: 24.11.2025 Calculation Time: 18:26:10

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 Fuction (1: minimum, -1: maximum)..... -1

Endurance, days..... 12

Crew, men..... 18

Seakeeping, states..... 8

Type of main engine Average-speed

Engine number 1

CALCULATION RESULTS:

Main Dimensions:

Length, m.....	208.4
Breadth, m.....	32.2
Draught, m.....	12.2
Depth, m	18.8
Block coefficient Cb.....	0.830
Middle section coefficient Cm.....	0.979
Waterline area coefficient Cw	0.823
Volume Displacement V, м ³	67937.2
Model of Main Engine	
Power of Main Engine Ne, kW	13351.0
Speed Vs, knots.....	15.0
Mass of constructions, t.....	15278.1
Mass of propulsion plant, t	2221.4
Mass of electrical plant, t.....	543.2
Mass of control system, t.....	41.8
Mass of auxilary system, t	981.9
Mass of equipment and furniture, t.....	1887.1
Mass of ballast, t.....	0.00
Light displacement, t.....	20953.4
Mass of crew and provisions, t.....	2.9
Mass of freshwater marine, t.....	43.2
Mass of ship fuel and oil, t	952.3
Mass of Load 1 in HalfTrip 1, t	49999.6
Mass of Load 2 in HalfTrip 2, t	50000.7
Deadweight, t.....	50998.0
Displacement full, t.....	71951.3
Vertical ship gravity center, m	11.4
Vertical ship buoyancy center, m.....	6.1
Transversal metacentric radius, m.....	5.6
Initial metacentric height, m.....	0.2
Maximum righting lever arm, m.....	1.9
Angle of maximum lever arm, deg.	55.0
Angle of vanishing stability, deg.....	88.3
Criteria of stability	45.9
Angle of heel from people accumulation on side of ship, deg.....	0.0
Heeling angle from people accumulation during circulation, deg.	5.3
Period of free rolling, sec.	62.420

Рис. 4.14 - Оптимальні основні розміри та масове навантаження судна

INDEXES OF SHIP EFFICIENCY AND RELIABILITY:

(Corresponding to the Type of Objective Function)

					24. MP. 135. 6112-м. 02. ПЗ. 04	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

Time of Circular Trip, hours.....	470
Freight rate of Load 1 in HalfTrip 1, \$/t.....	36.75
Value of Load 1 in HalfTrip 1, t.....	50000
Freight rate of Load 2 in HalfTrip 2, \$/t.....	38.02
Value of Load 2 in HalfTrip 2, t.....	50001
Time of HalfTrip 2, hours.....	235
Number of Circular Trip per year	19
Probability of Transport Operations Fulfillment...	1.000
Daily cost of the ship, \$/day	8264.83
Minimum Time-Charter, \$/day	85633.34
Minimum Freighter daily expenses, \$/day	115638.12
Minimum needed Freight rate, \$/t	22.67
Reduced Costs, \$/t per year	22.71
Income from Trip, mln.\$	3.738622
Income from HalfTrip 2, mln.\$	1.869311
Income per year, mln.\$	70.542074
Expenses per operation year, mln.\$	38.168030
Annual Profit (after taxes), mln.\$	19.776687
Cost of Ship Design and Building, mln.\$.....	69.414373
Total Costs for Creation and Operation of Ship, mln. \$....	69.700177
Profit of Ship Life Period (24 years), mln.\$	444.975457

Рис 4.15 - Характеристики остійності та показники ефективності та надійності

Results of optimization:

Number of calculations of the Objective function N= 152

Value of the Objective function 0.00229

Values of Independent variables :

X[1]= 208.383	X[2]= 32.197	X[3]= 12.199
X[4]= 18.849	X[5]= 0.830	X[6]= 14.998

Values of Constraints (Restrictions) :

Or.1. =	-0.40448	Or.2. =	0.00049	Or.3. =	0.35254
Or.4. =	-0.68998	Or.5. =	-0.19994	Or.6. =	0.00015
Or.7. =	0.00034	Or.8. =	-0.00004	Or.9. =	0.00418
Or.10. =	-0.25098	Or.11. =	0.00717	Or.12. =	0.01634
Or.13. =	0.11824	Or.14. =	620.93772	Or.15. =	0.89491
Or.16. =	0.80839	Or.17. =	0.00192	Or.18. =	-0.00015
Or.19. =	-0.93364	Or.20. =	-0.00006	Or.21. =	-0.00007
Or.22. =	-0.00034	Or.23. =	-0.01589	Or.24. =	0.00046
Or.25. =	0.90725	Or.26. =	0.01212	Or.27. =	-0.22106

Or.28. = 0.83334 Or.29. = 0.26160 Or.30. = 44.97533
 Or.31. = 4.67879 Or.32. = -0.96330

MAIN DIMENTIONS:

Length, m..... = 208.38
 Breadth, m..... = 32.20
 Draught, m = 12.20
 Depth, m..... = 18.85
 Block coefficient Cb = 0.830
 Middle section coefficient Cm = 0.979
 Waterline area coefficient Cw = 0.823
 Mass of constructions, t = 15278.05

 Mass of propulsive plant, t..... = 2221.38
 Mass of electrical plant, t..... = 543.16
 Mass of control and navigation, t ... = 41.78
 Mass of auxiliary system, t = 981.86
 Mass of outfit and furniture, t..... = 1887.13
 Mass of balast, t = 0.00
 Light displacement, t..... = 20953.355
 Mass of crew, provisions, t..... = 2.90
 Mass of fresh water stores, t = 43.20
 Mass of fuel, oil stores, t..... = 790.41
 Mass of usefull weight, t..... = 37.64
 Displacement full, t..... = 71948.405
 Mass of constructions, t = 15278.05
 Mass of propulsive plant, t..... = 2221.38
 Mass of electrical plant, t..... = 543.16
 Mass of control and navigation, t ... = 41.78
 Mass of auxiliary system, t = 981.86
 Mass of outfit and furniture, t..... = 1887.13
 Mass of balast, t = 0.00
 Light displacement, t..... = 20953.355
 Mass of crew, provisions, t..... = 2.90
 Mass of fresh water stores, t = 43.20
 Mass of fuel, oil stores, t..... = 790.41
 Mass of usefull weight, t..... = 37.64
 Displacement full, t..... = 71951.332
 Z-coordinate of ship buoyancy center, m = 6.073
 Transversal metacentric radius, m..... = 5.550
 Initial metacentric height, m..... = 0.206
 Period of a rolling, s..... = 62.420
 Price of Ships, mln.\$ = 69.41

Таблиця 4.1– Дані по концептуальному проєкту судна

					24. МР. 135. 6112-м. 02. ПЗ. 04	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 05			
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата				
Студент	Браніште Р.П				Дослідження морехідних якостей балкера	Лит.	Лист	Листів
Консульт.	Пашенко Ю.М.						58	
Керівник	Пашенко Ю.М.					НУК ім. адм. Макарова		
Зав.каф.	Некрасов В.О.							

5. ДОСЛІДЖЕННЯ МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ БАЛКЕРА

5.1. Формування теоретичної поверхні балкера.

Для формування поверхні корпусу балкера використовується програмний продукт Bentley Engineering, за допомогою якого результати, представлені на рис. 5.1.

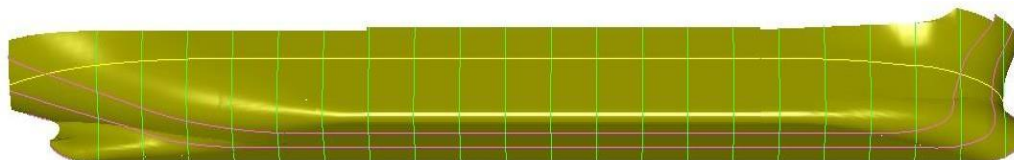


Рис5.1 – Створення поверхні балкера в MaxSurf

Таблиця 5.1.1 – Основні параметри створення корпусу балкера

Назва комірки	Пояснення	Значення
LengthOverall, Loa	Довжина судна	208,4
BeamOverall, Boa	Ширина по ватерлінії	32,2
DeckHeight, Hd	Висота борта	18,85

5.2. Розрахунки елементів теоретичного креслення.

Для обчислення статички судна використовується програмне забезпечення MaxSurfStability. Розрахунок проводиться поетапно (див. Рис. 5.2 та 5.3).

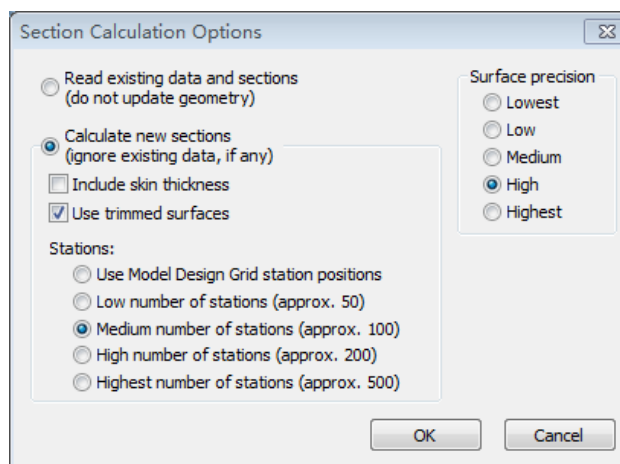


Рис 5.2. Відкриваємо msd-файл балкера, що проєктується

Проводимо розрахунок елементів теоретичного креслення,

[illegible]

Рис. 5.3 – Результати розрахунку гідростатики.

Потім, переходимо до вкладки графіки, там можна побачити гідростатичні криві, коефіцієнти повноти, які можна експортувати в формат dwg. Для цього необхідно перейти до вкладки «File» - «Export» - «DXFandIGES», дати назву файлу та зберегти. Потім за допомогою програми AutoCad можна імпортувати ці криві. Для цього необхідно відкрити програму AutoCad у вкладці «File» обрати файл на комп'ютері та обрати у форматах «dxf» та обрати збережений раніше файл.

Обираємо розрахунок Large Angle Stability. У меню «Analysis» потрібно вказати диферент, якщо потрібно, та границі початку та кінця діаграм. У меню «Analysis»→«Criteria» треба обрати потрібні критерії остійності.

Після розрахунку отримуємо ДСО (діаграму статичної остійності),

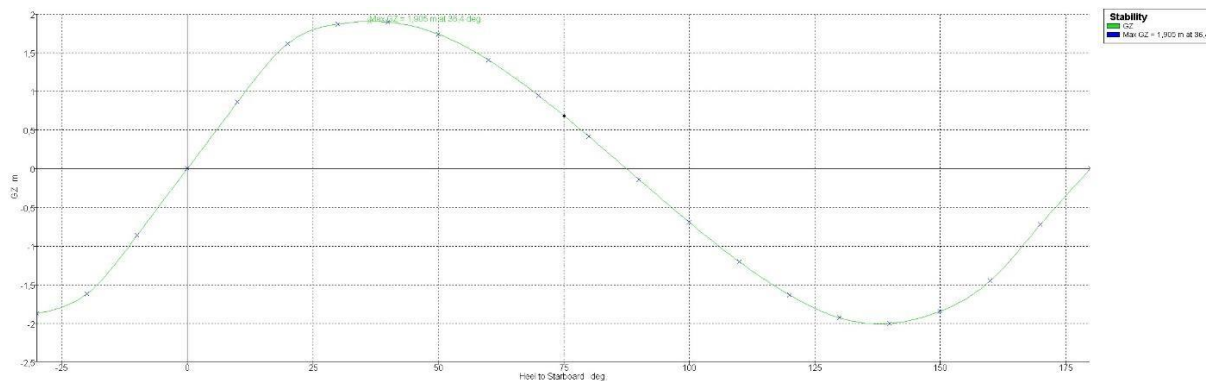


Рисунок 5.6. – Діаграма статичної остійності

	Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0
1	GZ m	-1,87	-1,61	-0,86	0,00	0,86	1,61	1,87	1,89	1,74	1,40	0,94	0,41	-0,13	-0,69	-1,20	-1,63	-1,92	-2,00	-1,84	-1,45	-0,72	0,00
2	Area under GZ	34,7	16,9	4,29	0,00	4,29	16,9	34,7	53,7	72,0	87,9	99,7	106,	108,	103,	94,4	80,1	62,1	42,3	22,9	6,20	-4,80	-8,37
3	Displacement t	7273	7274	7274	7274	7274	7273	7274	7273	7274	7268	7271	7272	7273	7273	7273	7274	7274	7272	7274	7274	7274	7274
4	Draft at FP m	12,9	12,2	12,1	12,2	12,1	12,2	12,9	14,3	16,5	19,9	26,4	45,4	n/a	28,1	9,27	2,74	-0,67	-2,86	-4,26	-4,92	-5,07	-5,09
5	Draft at AP m	12,9	12,2	12,1	12,2	12,1	12,2	12,9	14,3	16,5	19,9	26,4	45,4	n/a	28,1	9,27	2,74	-0,67	-2,86	-4,26	-4,92	-5,07	-5,09
6	WL Length m	216,	216,	216,	216,	216,	216,	216,	216,	218,	219,	219,	218,	217,	215,	213,	215,	216,	213,	210,	209,	209,	209,
7	Beam max exte	26,0	30,0	32,6	32,1	32,6	30,0	26,0	24,1	21,8	19,6	19,1	19,1	19,5	20,2	21,5	23,4	23,0	25,3	27,0	31,4	32,6	32,1
8	Max sect. area	385,	388,	389,	390,	389,	388,	385,	382,	378,	375,	374,	373,	372,	371,	371,	371,	375,	374,	374,	372,	370,	369,
9	Wetted Area m²	1229	1160	1070	1069	1070	1160	1229	1272	1299	1309	1320	1328	1320	1342	1347	1350	1352	1363	1356	1316	1306	1285
10	Waterpl. Area m²	4961	5742	6557	6450	6557	5742	4961	4563	4090	3673	3409	3263	3228	3286	3461	3778	4266	4941	5154	5709	5853	5783
11	Prismatic coeff.	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,88	0,88	0,89	0,88	0,87	0,88	0,90	0,90	0,91	0,91
12	Block coeff. (Cb)	0,68	0,66	0,69	0,83	0,69	0,66	0,68	0,66	0,67	0,70	0,71	0,72	0,73	0,67	0,62	0,55	0,57	0,56	0,57	0,54	0,56	0,62
13	LCB from zero p	5,88	5,67	5,76	5,88	5,76	5,67	5,88	6,06	6,14	6,19	6,21	6,20	6,17	6,11	6,04	5,97	5,83	5,58	5,11	4,55	4,07	3,90
14	VCB m	7,10	6,79	6,49	6,38	6,49	6,79	7,10	7,42	7,73	7,99	8,21	8,40	8,57	8,75	8,95	9,17	9,44	9,78	10,1	10,5	10,8	10,9
15	LCF from zero p	4,66	2,04	-1,49	-1,74	-1,49	2,04	4,66	6,45	6,97	7,14	7,13	6,99	6,95	6,47	5,54	4,67	3,41	2,67	5,25	7,68	8,31	8,38
16	KB m	7,10	6,79	6,49	6,38	6,49	6,79	7,10	7,42	7,73	7,99	8,21	8,40	8,57	8,75	8,95	9,17	9,44	9,78	10,1	10,5	10,8	10,9
17	KG fluid m	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71
18	BMt m	3,59	5,21	7,55	7,17	7,55	5,22	3,59	2,95	2,14	1,53	1,21	1,06	1,01	1,06	1,24	1,58	2,24	3,51	4,10	5,92	6,51	6,27
19	GMt corrected	0,65	2,58	5,14	4,83	5,14	2,58	0,65	-0,32	-1,45	-2,34	-2,86	-3,14	-3,20	-3,08	-2,74	-2,14	-1,17	0,43	1,36	3,47	4,25	4,08
20	Max deck inclin	30,0	20,0	10,0	0,00	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,	110,	120,	130,	140,	150,	160,	170,	180,
21	Trim angle (+ve)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Рис. 5.7 – Результати розрахунку статичної остійності для повного навантаження

Остійність суден необмеженого та обмежених районів плавання I і II вважається за критерієм погоди K достатньою, якщо при найгіршому щодо остійності варіанті навантаження динамічно прикладений кренувальний момент від тиску вітру M_v дорівнює або менший, ніж перекидальний момент M_c , тобто якщо дотримані умови $M_v \leq M_c$ або

$$K = \frac{M_c}{M_v} \geq 1,0$$

Обчислюються і порівнюються площі a та b . Площа b обмежена кривою $l(\theta)$ відновлювальних плечей, горизонтальною прямою, що відповідає кренувальному плечу l_{w2} , і кутом крену $\theta_2=50^\circ$. Площа a обмежена кривою

відновлювальних плечей прямою l_{w2} і кутом крену, який дорівнює $\theta_0 - \theta_1$;
Остійність судна за критерієм погоди $K = a / b$ вважається додатною, якщо площа b дорівнює або більша площі a , тобто $K \geq 1$.

Перевірка остійності робиться для 1-го варіанту навантаження проекту,
(100% вантажу та 100% запасів)

Амплітуда хитавиці судна з круглою вилицею обчислюється за формулою:

$$\theta_1 = 109 \cdot K \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S}$$

K – коефіцієнт, що враховує вплив скулових і/або брускового кілів і визначається у відповідності до Правил Регістру; $k = 1$;

X_1 – безрозмірний множник, який визначається в залежності від відношення ширини до осадки B / d :

$$\frac{B}{d} = \frac{32,1}{12,2} = 2,63$$

$$K = 1 \quad X_1 = 0,966$$

X_2 – безрозмірний множник, який визначається в залежності від коефіцієнта загальної повноти судна C_b : $X_2 = 1$

$$r = 0,73 + 0,6(z_g - d)/d = 0,876. \quad C = 0,343$$

$$C = 0,373 + 0,023 \frac{B}{d} - 0,043 \frac{L}{100} = 0,373 + 0,023 \frac{32,1}{12,1} - 0,043 \frac{216}{100} = 0,343$$

S – безрозмірний множник, що визначається в залежності від району плавання судна і періоду хитавиці T , що розраховується за формулою:

$$T = \frac{2cB}{\sqrt{h}}$$

$$h - \text{метацентрична висота} = 3,55 \text{ м}$$

$$\tau = 2 \cdot C \cdot B / h^{1/2} = 2 \cdot 0,343 \cdot 32,1 / 3,55^{1/2} = 12,9 \text{ с}$$

$$S = 0,0713$$

$$\theta_1 = 109 \cdot 1 \cdot 0,966 \cdot (0,876 \cdot 0,073)^{1/2} = 19,7^\circ$$

Розрахунок кренувального моменту від тиску вітру та перекидального моменту:

$$A_v = \sum S_i = 1578,1 \text{ м}^2$$

$$Z_B = \frac{\sum S_i z_i}{\sum S_i} = \frac{7656,11}{1578,1} = 4,85 \text{ м}$$

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 05	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

$$Z_v = Z_B + T/2 = 4,85 + 12,2/2 = 10,85 \text{ м}$$

Тиск повітря $P_v = 504 \text{ Па}$

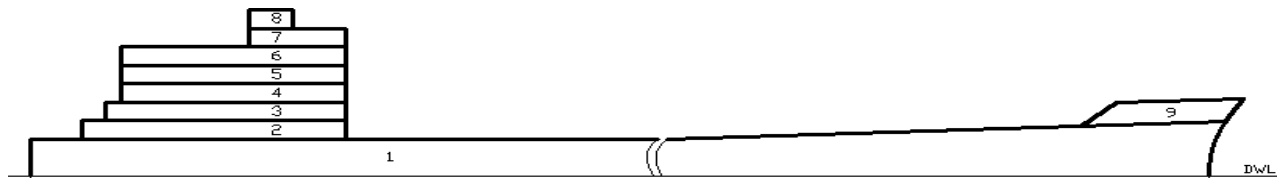


Рис. 5.8 – Площа вітрильності

Таблиця 5.3.1.

№ елементів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Сума
Площа S_i , м^2	1142,4	82,1	74,97	70,29	70,29	70,29	30,47	13,89	23,40	1578,1
Z_i	2,75	4,125	6,845	9,625	12,375	15,125	17,875	20,625	9,49	
Момент $S_i Z_i$, м^3	3141,6	338,66	513,16	676,54	869,83	1063,1	544,65	286,48	222,09	7656,11

$$Z_p = 7656,11/1578,1 = 4,85 \text{ м}$$

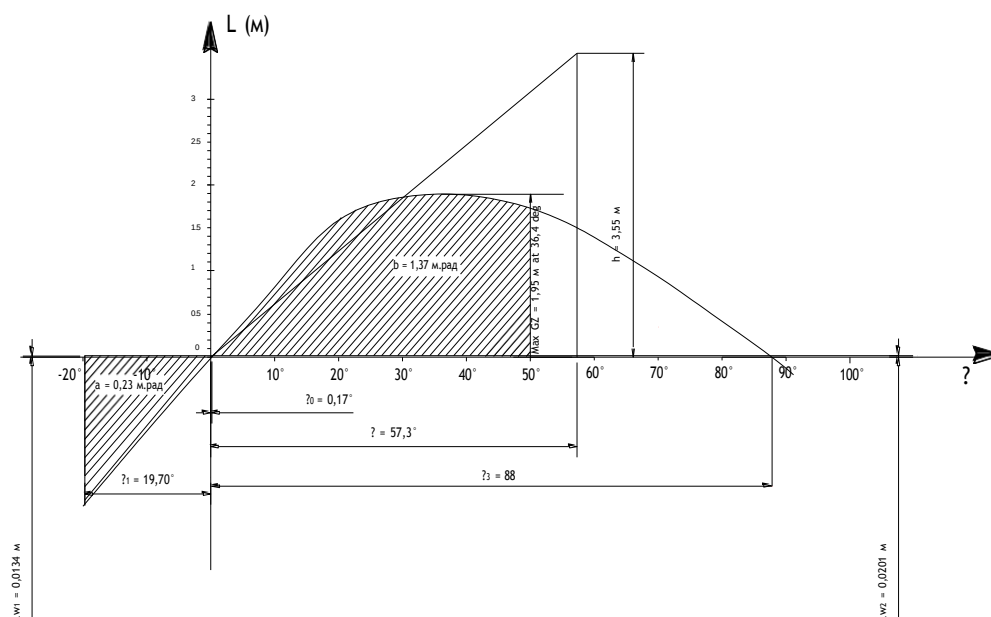


Рис.5.9 – Діаграма остійності

S_n – площа парусності;

z -відстань від центра парусності від половини осадки катера;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

D –водотоннажність

Плече

$$l_{w1} = \frac{P_v \cdot A \cdot Z_v}{1000 \cdot g \cdot D} = 0,0134 \text{ м}$$

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Розрахунок плеча кренуючого моменту l_{w2} при дії шквального вітру, виконаний за формулою [7]

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1} = 0,0201 \text{ м}$$

Відкладаємо значення l_{w1} та l_{w2} на діаграмі статичної остійності.

Площі a та b розраховуються графічно.

Критерій погоди $K = \frac{b}{a} = \frac{1,3747}{0,2349} = 5,87 \geq 1$

Таблиця 5.2

Величина	Проект	Регістр
K	5,87	$K \geq 1$
$l_{\max}, \text{м}$	1,88	$l_{\max} \geq 0,2$
$\theta_{\max}$	36,4	$\theta_{\max} \leq 30_0$
$\theta_{\text{зак}}$	88	$\theta_{\text{зак}} \leq 60_0$
h	3,55 м	0,15 м
S_{30}	0,55 м. рад	0,055 м. рад
S_{40}	0,95 м. рад	0,090 м. рад
$S_{40} - S_{30}$	0,4 м. рад	0,03 м. рад

Висновок

Судно відповідає усім вимогам Регістру судноплавства України за остійністю [7].

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) Ch3	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	94.0	deg			
7		shall not be less than ($\geq$)	0.0550	m.rad	0.3002	Pass	+445.84
8							
9	A.749(18) Ch3	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	94.0	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	0.0900	m.rad	0.4730	Pass	+425.56
17							
18	A.749(18) Ch3	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	94.0	deg			
25		shall not be less than ($\geq$)	0.0300	m.rad	0.1728	Pass	+475.96
26							
27	A.749(18) Ch3	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	41.8	deg	41.8		
33		shall not be less than ($\geq$)	0.200	m	1.014	Pass	+407.00
34		intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	41.8		
36							
37	A.749(18) Ch3	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than ($\geq$)	25.0	deg	41.8	Pass	+67.28
39							
40	A.749(18) Ch3	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
41		spec. heel angle	0.0	deg			
42		shall not be less than ($\geq$)	0.150	m	2.956	Pass	+1870.67
43							

Рис 5.10 - Перевірка вимог остійності за вимогами ІМО.

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

5.4. Розрахунок ходовості балкера.

Ходовість – це здатність судна рухатися сзаданою швидкістю при певній потужності головних двигунів і відповідному русії.

Сила опору води складається з опору тертя, опору форми, хвильового опору і опору частин, що виступають.

Внаслідок в'язкості води між корпусом судна і найближчими до корпусу шарами води виникають сили тертя, на подолання яких витрачається частина потужності головного двигуна. Рівнодіюча цих сил називається опором тертя R_T . Опір тертя залежить також від швидкості, від змоченої поверхні корпусу судна і від ступеня шорсткості. На величину шорсткості впливає якість пофарбування, а також обростання підводної частини корпусу морськими організмами. Щоб опір тертя з цієї причини не збільшувався, судно піддають періодичному докуванню.. Опір тертя визначають розрахунковим шляхом.

При обтіканні корпусу судна в'язкою рідиною відбувається перерозподіл гідродинамічних тисків по його довжині. Рівнодіюча цих тисків, спрямована проти руху судна, називається опором форми R_F . Опір форми залежить від швидкості судна і від його форми. При погано обтічній формі в кормовій частині судна утворюються вихори, що призводить до зниження тиску в цьому районі і до збільшення опору форми судна. Хвильовий опір R_X виникає через утворення хвиль в зонах підвищеного та зниженого тиску при русі судна. Хвильовий опір залежить від швидкості судна, форми його корпусу, а також від глибини і ширини фарватеру. Опір виступаючих частин $R_{Вч}$ залежить від опору тертя і від форми виступаючих частин (корм, кілів, кронштейнів гребних валів та ін.). Опір форми і хвильове об'єднуються в залишковий опір, який можна розрахувати тільки наближено. Для точного визначення величини залишкового опору проводять випробування моделей суден в дослідному басейні.

Повітряний опір $R_{ПОВ}$ руху судна можна знайти шляхом продувки надводної частини моделі в аеродинамічній трубці.

Таким чином, повний опір руху судна визначається як сума складових

$$R = R_F + R_T + R_X + R_{Вч} + R_{ПОВ}.$$

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 05	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

Цей опір називають буксирувальним, так як він дорівнює зусиллю в тросі, що виникає при буксируванні судна. Потужність, яка необхідна для буксирування судна зі швидкістю v , називається буксирувальною потужністю

$$EPS = \frac{Rv}{102}, \text{ для розрахунку у кВт,}$$

де R – це повний опір, кН; v – це швидкість судна, м/с.

Потужність на фланці головного двигуна більше буксирувальної, так як при її визначенні необхідно враховувати пропульсивний коефіцієнт η ($\eta = \eta_p \eta_k$, де η_p – це коефіцієнт корисної дії рушія, а η_k – це коефіцієнт впливу корпусу), ККД редуктору- $\eta_{ред}$, ККД валопроводу- η_v (опорних та упорних підшипників) або інших спеціальних передач: $N_e = \frac{EPS}{\eta \eta_{ред} \eta_v}$.

5.4.1. Розрахунок ходовості балкера у модулі Maxsurf Resistance.

Для уточнення характеристик ходовості судна використовуємо програмне середовище (MaxsurfResistance). Завантажуємо 3D-модель судна концептуального проекту. Далі у меню «Analysis» потрібно обрати пункт «Methods», де можна обрати метод розрахунку (рисунок 5.11). Обираємо метод Холтропа.

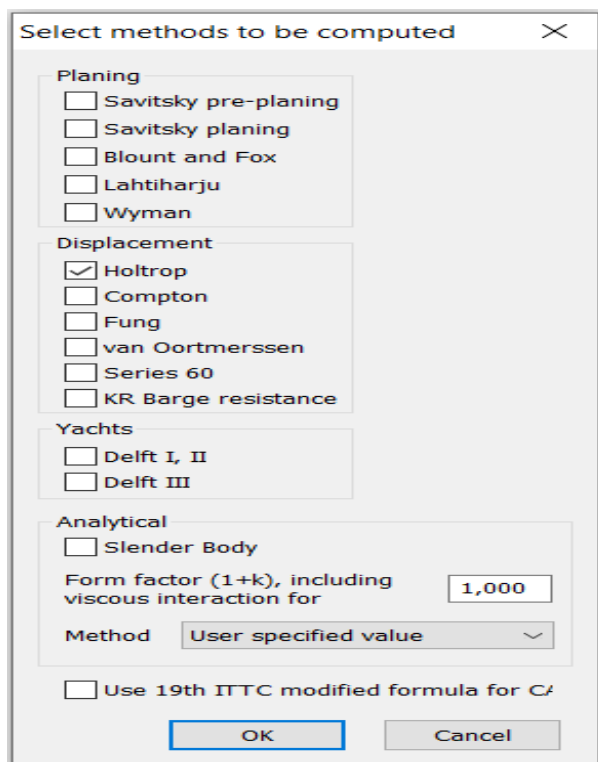


Рис. 5.11. Вибір методу розрахунку.

Maxsurf Resistance 64-bit - [Results]

File Edit View Analysis Display Data Window Help

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
10	3,375	0,038	0,087	53,9	156,07
11	3,750	0,043	0,097	67,1	215,58
12	4,125	0,047	0,106	81,7	288,87
13	4,500	0,051	0,116	97,8	377,37
14	4,875	0,055	0,125	115,4	482,49
15	5,250	0,060	0,135	134,5	605,56
16	5,625	0,064	0,145	155,1	747,88
17	6,000	0,068	0,154	177,0	910,67
18	6,375	0,073	0,164	200,3	1095,0
19	6,750	0,077	0,174	225,0	1302,2
20	7,125	0,081	0,183	251,0	1533,1
21	7,500	0,085	0,193	278,2	1788,7
22	7,875	0,090	0,203	306,6	2070,0
23	8,250	0,094	0,212	336,2	2377,8
24	8,625	0,098	0,222	366,9	2713,0
25	9,000	0,102	0,232	398,7	3076,6
26	9,375	0,107	0,241	431,6	3469,2
27	9,750	0,111	0,251	465,6	3892,0
28	10,125	0,115	0,261	500,6	4345,7
29	10,500	0,119	0,270	536,7	4831,5
30	10,875	0,124	0,280	573,8	5350,6
31	11,250	0,128	0,290	612,1	5904,1
32	11,625	0,132	0,299	651,5	6493,7
33	12,000	0,137	0,309	692,1	7121,0
34	12,375	0,141	0,319	734,0	7787,9
35	12,750	0,145	0,328	777,2	8496,5
36	13,125	0,149	0,338	821,9	9249,4
37	13,500	0,154	0,347	868,2	10049,
38	13,875	0,158	0,357	916,2	10899,
39	14,250	0,162	0,367	966,0	11802,
40	14,625	0,166	0,376	1017,9	12763,
41	15,000	0,171	0,386	1071,9	13786,

Рис 5.12–Опір та буксирувальна потужність

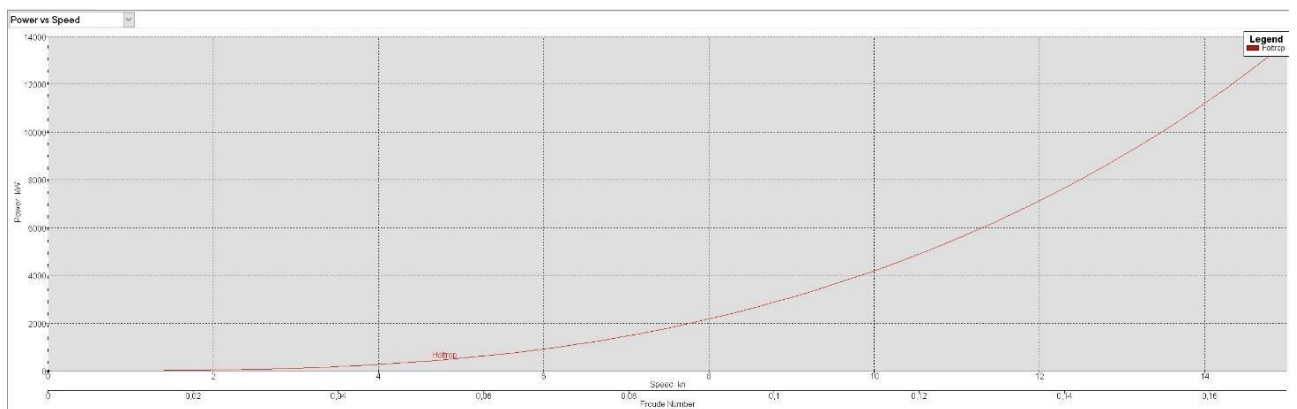


Рис 5.13 –Буксирувальна потужність балкера при різних швидкостях

Визначення буксирувальної потужності балкера при швидкості 15 вузлів та загального пропульсивного коефіцієнту, що дорівнює 0.60, показує, що необхідна потужність головного двигуна балкера дорівнює 13786 кВт.

Вибір двигуна: Виконавши аналіз паспортних даних двигунів провідних дизелебудівних фірм, вибираю двигун «MAN B&W» з основними характеристиками:

Марка	Потужність кВт	Частота обертів	Використання палива г/(кВтч)	Довжина мм	Ширина мм	Висота мм	Маса т
7S60MC	14280	105	170	9791	3478	10500	422.0

5.4.2. Проектування гвинта в програмі HydrocompPropCAD.

Габаритні розміри гребного гвинта приймаємо за прототипом.

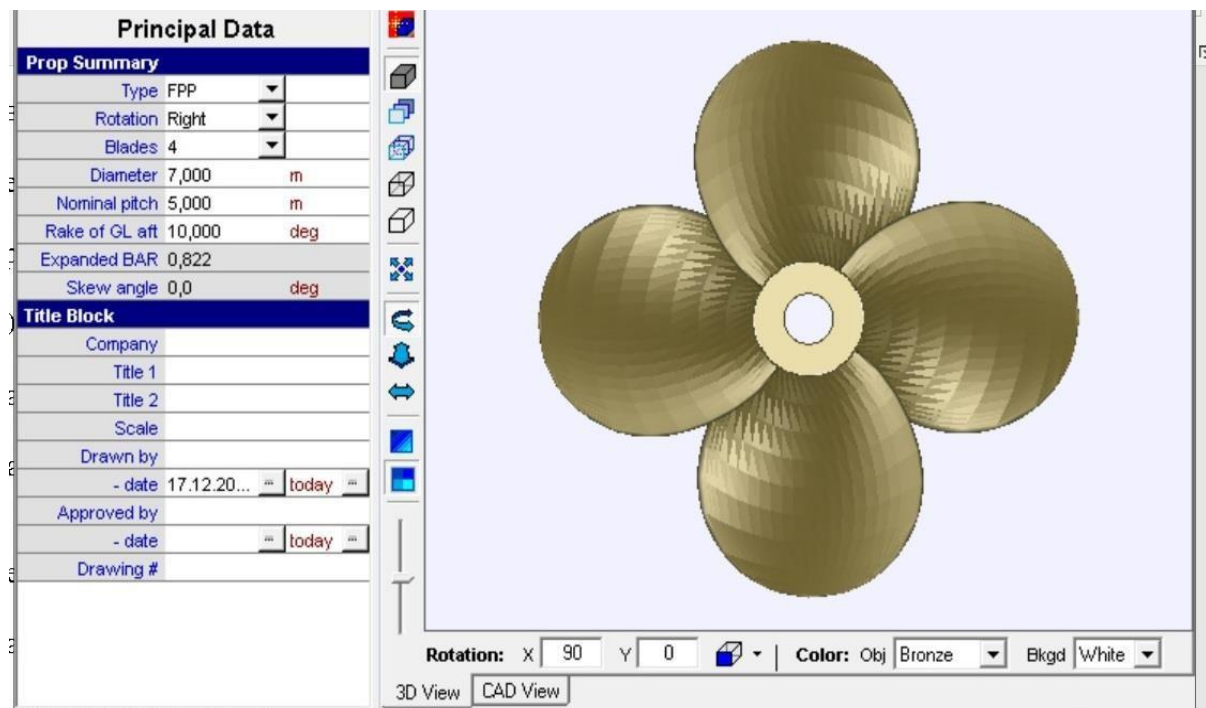


Рис 5.14. Проектування гвинта в HydrocompPropCAD [8].

Principal characteristics

Show	Text	Value	Units	
☒	Propeller type	FPP		
☒	Rotation	Right		
☒	Number of blades	4		
☒	Diameter	7,00000	m	
☒	Pitch (nominal)	5,00000	m	
☒	Expanded area ratio	0,822		
☒	Rake of GL aft	10	Deg	
☒	Skew	0,0	Deg	
☒	Material type	Mn bronze [2]		
☒	Density	8,3	g/cm3	
☒	Design power	0	kW	
☒	Design RPM	0		
☒	Thickness rule	ABS Small		
☒	Required t @ 0,25	0,00000	m	
☒	Weight	40017,7	kg	
☒	Mass moment of inertia	96394,03	kg-m2	
☒	Additional wetted inertia (SW)	44682,74	kg-m2	
☐				

Insert
 Delete
 Copy
 Paste
 OK
 Cancel
 Help

Рис 5.15 –Основні характеристики гвинта

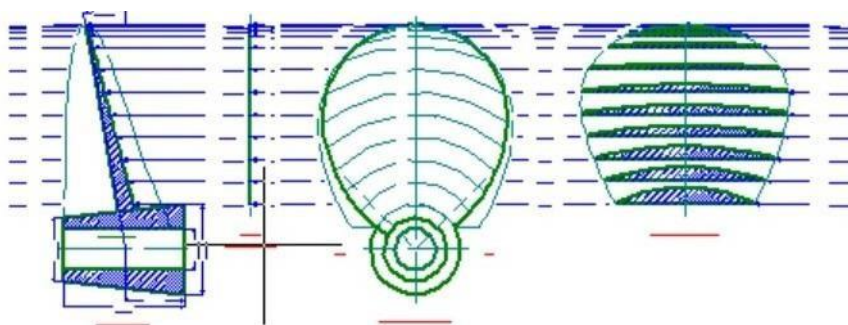


Рис 5.16. Теоретичне креслення гвинта

6. Основні складові аван-проекту балкера.

Результати рішення оптимізаційної задачі вибору основних елементів балкера вантажопід'ємністю 50 тис. тон пшениці для експлуатації на маршруті Південний – Алжир.

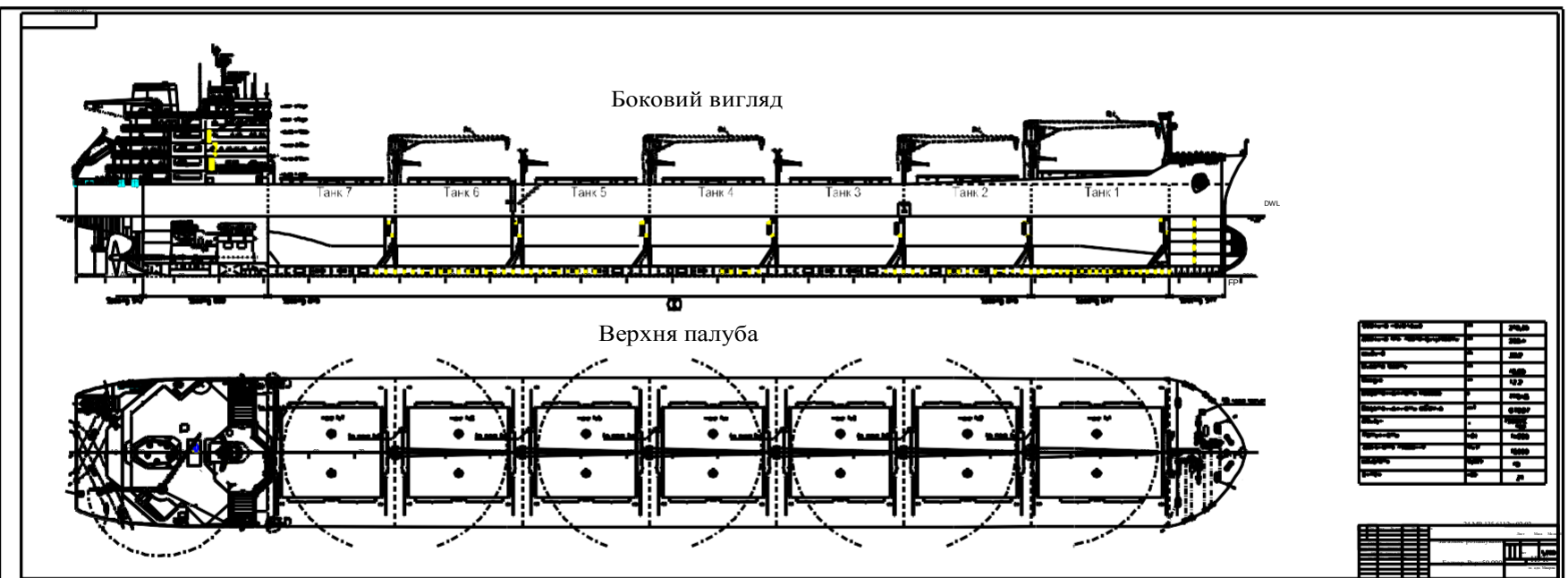
Параметри	Одиниці виміру	Рішення задачі оптимізації при OF1=max
1. Головні розміри та характеристики		
Довжина по ватерлінії	м	208.38
Ширина	м	32,20
Осадка	м	12,2
Висота борту	м	18,85
Коефіцієнт загальної повноти		0,830
Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута		0,979
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії		0,823
Об'ємна водотоннажність	куб.м	67937
Потужність головного двигуна	кВт	14280
Швидкість	вузл	15
Водотоннажність порожнем	т	20953

Дедвейт	т	50870
Водотоннажність повна	т	71948
Маса конструкцій	т	15278.05
Маса пропульсивної установки	т	2221.38
Маса електричної установки	т	543.16
Маса системи управління	т	41.78
Маса допоміжних систем	т	981.86
Маса обладнання та фурнітури	т	1969.83
Маса баласту	т	0
Маса екіпажу і провізії	т	2.90
Маса прісної води	т	43.20
Маса палива та мастила	т	790.41
Апліката центру ваги	м	8,717
Апліката центру плавучості	м	6,1
Поперечний метацентричний радіус	м	7,17
Початкова метацентрична висота	м	3,55
Максимальне плече остійності	м	1,88
Кут максимального плеча остійності	град	39,4
Кут заката діаграми остійності		88
Критерії погоди		5,87
Період бортової хитаючи	с	13,6

2. Показники ефективності та надійності судна

Час кругового рейсу	годин	470
Фрахтова ставка на вантаж 1 у прямому півреїсі	\$/т	36.75
Вага вантажу 1 у прямому півреїсі	т	49999
Фрахтова ставка на вантаж 2 у зворотному півреїсі	\$/т	38.00
Вага вантажу 2 у прямому півреїсі	т	50000
Час півреїсу	Годин	235
Число рейсів за рік		19
Ймовірність виконання транспортних операцій		1
Добовий фрахт	\$/добу	8264.8
Мінімальний Тайм - Чартер	\$/добу	85633
Мінімальні щоденні витрати фрахтівника	\$/добу	115638
Мінімально необхідна фрахтова ставка	\$/т	22.67
Наведені витрати	\$/т на рік	22.71
Дохід від кругового рейсу	млн \$	3.738622
Річний дохід	млн \$	1.869311
Витрати за рік експлуатації	млн \$	70.542
Річний прибуток (після сплати податків)	млн \$	19.77
Витрати на проектування і будівництво судна	млн \$	69.414
Загальна вартість будівництва і експлуатації судна	млн \$	69.7
Прибуток за термін служби судна (24 роки)		444.97

Затягальне розташування



ВИСНОВКИ

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

При розробці проекту було розроблено:

- формування моделей експлуатації балкера та його інженерно-навігаційних властивостей, необхідні для аналізу всього комплексу функціональних операцій цього судна за умов його експлуатації.
- моделювання процесів експлуатації навалочного 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 балкера на основі його поступового "занурення" в робоче середовище з подальшою зупинкою процесу оптимізації при досягненні показників ефективності та надійності максимальних значень цих показників.

Розміри балкера вантажопідйомністю 50000 т були визначені за допомогою скоригованої програми оптимізації кафедри теорії та проектування суден, в якій як критерій оптимізації було обрано максимальний прибуток, і таким чином вирішувалася ефективність вантажних операцій на даній лінії роботи, додатково було отримане задовільнення вимог до експлуатаційної надійності судна.

З цією метою за результатами концептуального проектування було створено 3D-модель корпусу балкера, а також розраховані плавучість, остійність, ходовість судна, гребний гвинт за допомогою програмних продуктів Maxsurf та HydroCompPropCad.

Таким чином, балкер, який експлуатуватиметься на маршруті Південний-Алжир, відповідає проектним завданням.

					24. МР. 135. 6112м. 02. ПЗ. 05	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		75

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[10] HydroComp PropExpert, 2005

[11] HydroComp PropCAD, 2005

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