

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Навчально-науковий інститут навігації

Кафедра _____ ТУС _____

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРАНТА

Спеціальність 271 Річковий та морський транспорт
Спеціалізація 271.01 Навігація і управління морськими суднами

Білобров Олексій Вячеславович

(прізвище, ім'я по-батькові)

Тема роботи: Комплексне опрацювання та дослідження етапів переходу судна «Neptune Ithaki» за маршрутом Нагоя – Сан Франциско

Підпис магістранта _____ Олексій БІЛОБРОВ

Завідуючий кафедрою _____ Андрій ПЕЧЕНЮК

Керівник _____ к.т.н., доц. Оксана МАЗУР

Рецензент _____

Нормоконтроль _____

м. Одеса

2025 рік Магістерська робота містить 126 с., 54 рис., 48 таб., 63 використаних джерел.

Дипломна робота являє собою «Комплексне опрацювання та дослідження етапів переходу судна «Neptune Ithaki» за маршрутом Нагоя-Сан Франциско». Загальна протяжність переходу склала 4761,51 милі.

У дослідницькому розділі розглянуто сучасний стан розвитку та впровадження автономних буксирів, що забезпечують ефективне й безпечне виконання швартових операцій у портах. Проаналізовано міжнародний досвід реалізації проектів з автоматизації буксирування, зокрема систем Svitzer Hermod, IntelliTug, RECOTUG та інших, які демонструють різні рівні автономності та дистанційного керування. Узагальнено основні напрями розвитку технологій, необхідних для створення автономних буксирів: сприйняття навколишнього середовища, прийняття рішень, моделювання багатотільної динаміки та точного керування. Висвітлено застосування алгоритмів штучного інтелекту для оптимізації процесів навігації й контролю, а також значення комунікаційних систем у забезпеченні узгоджених дій між буксирами та суднами. Отримані результати свідчать про високий потенціал впровадження автономних буксирів як складової частини інтелектуальної портової інфраструктури майбутнього. Для цього висунута гіпотеза про можливість забезпечення безаварійного маневрування шляхом підвищення точності планування траєкторії, цілеспрямованості при прийнятті рішення по управлінню і використання алгоритмів операторської діяльності для підвищення швидкодії управління.

The master's thesis contains 126 pages, 54 figures, 48 tables, and 63 sources used.

The thesis is "A comprehensive study and study of the stages of the passage of the vessel "Neptune Ithaki" along the Nagoya-San Francisco route." The total length of the passage was 4761.51 miles.

The chapter examines the current state and development trends of autonomous tugboats designed to enhance the efficiency and safety of mooring operations in ports. It analyzes international projects such as Svitzer Hermod, IntelliTug, and RECOTUG, which represent various levels of automation and remote control. The research identifies four core technological domains essential for autonomous tug operations: perception, decision-making, multi-body modeling, and precise control. Special attention is given to the application of artificial intelligence algorithms and communication systems that ensure coordinated actions between tugs and vessels. The findings highlight the potential of autonomous tugboats as a key component of intelligent port infrastructure, contributing to safer, more efficient, and sustainable maritime operations.

For this purpose, a hypothesis is put forward about the possibility of ensuring accident-free maneuvering by increasing the accuracy of trajectory planning, purposefulness when making control decisions and using algorithms of operator activity to increase the speed of control.

ВСТУП

У даній дипломній роботі описується - Комплексне опрацювання та дослідження етапів переходу судна «Neptune Ithaki» за маршрутом Нагоя-Сан Франциско.

В дипломній роботі розглянуто найбільш важливі теми в повсякденній роботі судноводіїв:

- навігаційна підготовка до переходу;
- складання вантажного плану;
- розрахунки непотоплюваності в суднових умовах;
- аналіз економічної ефективності рейсу;
- питання охорони праці на морському транспорті та цивільної оборони на борту судна.

Неможливо переоцінити значення навігаційної підготовки - найважливішого застави безпечного плавання. Тільки ретельне вивчення майбутнього району плавання, враховуючи всі можливі обставини, дозволить судну безпечно здійснити перехід з порту в порт.

Правильна завантаження судна не менш важлива - від неї безпосередньо залежить остійність судна, його морехідні якості. Тому складений вантажний план повинен відповідати всім вимогам ІМО.

Аналіз, проведений у дослідницькому розділі показав, що багато з них припускали, що буксири є повністю автономними, і не розглядали певні питання, такі як визначення формування для роботи буксирів як кластер під час швартування та розробки алгоритмів, які автоматично призначають і перепризначають завдання, такі як регулювання тяги для кожного буксира. Було також кілька досліджень, які розглядали проблеми зв'язку між судном та кожним буксиром, припускаючи, що вони були стратегічно розташовані досить близько, щоб усунути потребу в передачі інформації. Крім того, більшість досліджень були обмежені моделюванням у таких середовищах, як MATLAB і Pygame, без перевірки в морських умовах реального світу.

Дослідження швартовки з використанням повністю автономного буксира вимагає перевірки різних сценаріїв у середовищі, подібному до реального середовища, і необхідно подолати обмеження сучасного рівня. По-перше, необхідні дослідження для розробки алгоритму, який автоматично призначає та перепризначає завдання групі буксирів для сценаріїв режиму буксирування та швартовки. Кожен окремий буксир має бути перепризначений для виконання певного завдання, отримавши цілі та методи управління відповідно до цілей, необхідних для кожного режиму. По-друге, точне моделювання буксирного каната, окремих буксирів і основного судна має базуватися на динаміці багатьох тіл для режиму буксирування та стоянки. Враховуючи робочий метод, коли буксир штовхає та тягне буксирний трос, моделювання всієї системи, яка включає натяг у буксирному тросі, тертя між буксирними човнами та судном, а також вплив на навколишнє середовище, є необхідним. Нарешті, необхідно мати комунікаційну/мережеву технологію, яка дозволяє кожному буксиру обмінюватися інформацією, а також технологією діагностики несправностей і реагування, яка може негайно виявляти та реагувати на будь-які несправності в компоненти буксира.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА

1.1 Загальні відомості і головні розміри судна

Таблиця 1.1 – Основні відомості про судно

1.	Назва судна	NEPTUNE ITHAKI
2.	Тип судна	Cargo ship
3.	Позивний сигнал судна	9HA2213
4.	IMO	9440083
5.	MMSI	241242000
6.	Рік і місце побудови	2010 by HYUNDAI MIPO DOCKYARD CO. LTD. - ULSAN (KOR)
7.	Клас Регістру	DNV +1A1 Car Carrier .RO/RO, MCDK, EO, TMON
8.	Порт приписки	VALLETTA (MALTA)
9.	Судновласник	NEPTUNE LINES SHIPPING & MANAGING - ATHENS, GREECE
10.	Менеджмент	NEPTUNE LINES SHIPPING & MANAGING - ATHENS, GREECE
11.	Довжина найбільша L (м)	169,55 м
12.	Довжина між перпендикулярами L _{PP}	158,00 м
13.	Ширина найбільша B (м)	28,00 м
14.	Висота борту до верхньої палуби H (м)	30,56 м
15.	Найбільша осідання T (м)	T/S/W 8.898 / 8.717 / 8.536
16.	Осадка T (м) в повному вантажу и порожньому	9.053
17.	Водотоннажність (т) в повному вантажу Δ порожньому Δ_0	T/S/W 23714 / 23037 / 22368 8302

18.	Повна вантажопідйомність Δ_w (т)	T/S/W 12038 / 11361 / 10692
19.	Головний двигун: тип: потужність: частота обертання:	HYUNDAI-MAN B&W 7S50MC-C8, MCR: 11620 kw x 127 RPM
20.	Режим роботи головного двигуна	Full ahead 85.0 Half ahead 70.0 Slow ahead 55.0 Dead slow ahead/ astern 43.0
21.	Швидкість судна	вантажу 19,3 в баласті 20,4
22.	Гребний гвинт: Кількість лопастей: Діаметр та крок гвинта (м) Дискове відношення: Напрямок обертання:	5 4200/3.9316 1,59 праве
23.	Тип руля і площа його пера (м ²)	полубалансирований, підвісний, 27.920.
24.	Тип стернової машини: Підрулюючий пристрій:	електрогідравлічна, 2 x 441 кН.м носові - 2 x 900 kw; кормові – 1 x 700 kw
25.	Суднова радіостанція: Склад суднової радіоапаратури відповідає вимогам району A1, A2, A3, A4 та включає в себе:	УКВ установка JRC JHS-32A ПВ/КВ радіоустановка JSS-800 INMARSAT A JUE-45A INMARSAT C JUE-75A
26.	Валова реєстрова місткість (GRT)	36825
27.	Чиста реєстрова місткість (NRT)	11048
28.	Добова витрата палива: На ходу: важке паливо (HFO) На стоянці: дизельне паливо (DO)	важке паливо (HFO) – 40.5 дизельне паливо (DO) – 3.5 дизельне паливо (DO) – 3.5
29.	Координати центру мас порожнього судна	X = -8.04 Z = 15.76

1.2 Транспортно-експлуатаційні характеристики

Схематичне креслення бічного виду судна з розташуванням приміщень для вантажів і запасів наведено на рис.1.1.

План верхньої палуби наведено на рис 1.2.

Кількість тон вантажу на 1 см осадки в солоній і прісній воді для судна у його вантажу, в баласті і при середній осаді відображені на вантажній шкалі, представленої на рис. 1.3

де: MTC(Moment to change trim one centimeter in metric ton-meter), LCB (longitudinal center of buoyancy from mishap in meter), LCF(longitudinal center of floatation from mishap in meter), KMT(Transverse metacentric height above base line in meter).

1.3 Маневрені характеристики

Якірний пристрій:

Брашпиль електрогідравлічний, швидкість підйому якоря (м/хв), тягове зусилля – 19.5×9 m/min; якоря Холла 3×5175 кг; діаметр ланцюга (мм) – 64, довжина - правий якорь 302.5 м, лівий якорь 302.5 м.

Рульовий пристрій:

Рульова машина електрогідравлічна, крутний момент 441 кНм, привід електричний.

Дані про маневрені характеристики представлені на рис 1.4.

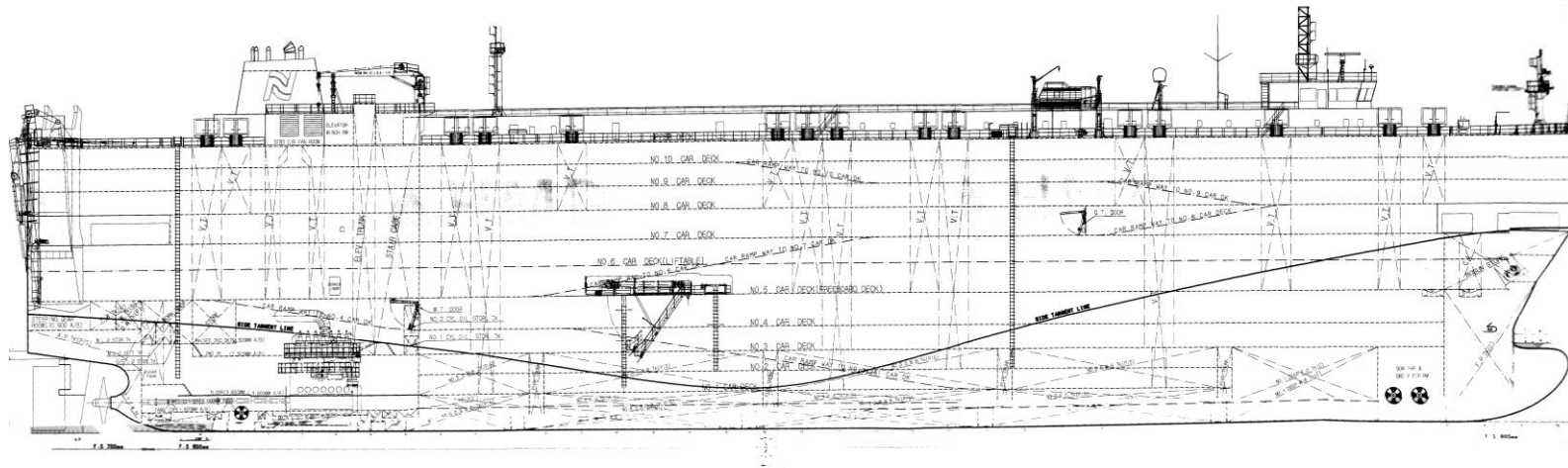


Рисунок 1.1 - Схематичне креслення бічного виду судна

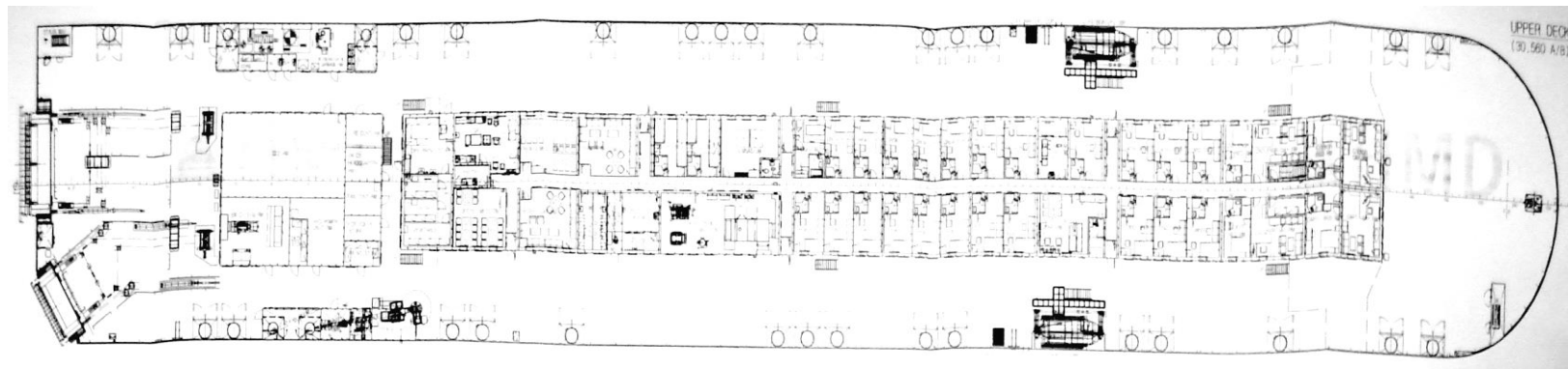


Рисунок 1.2 - План верхньої палуби

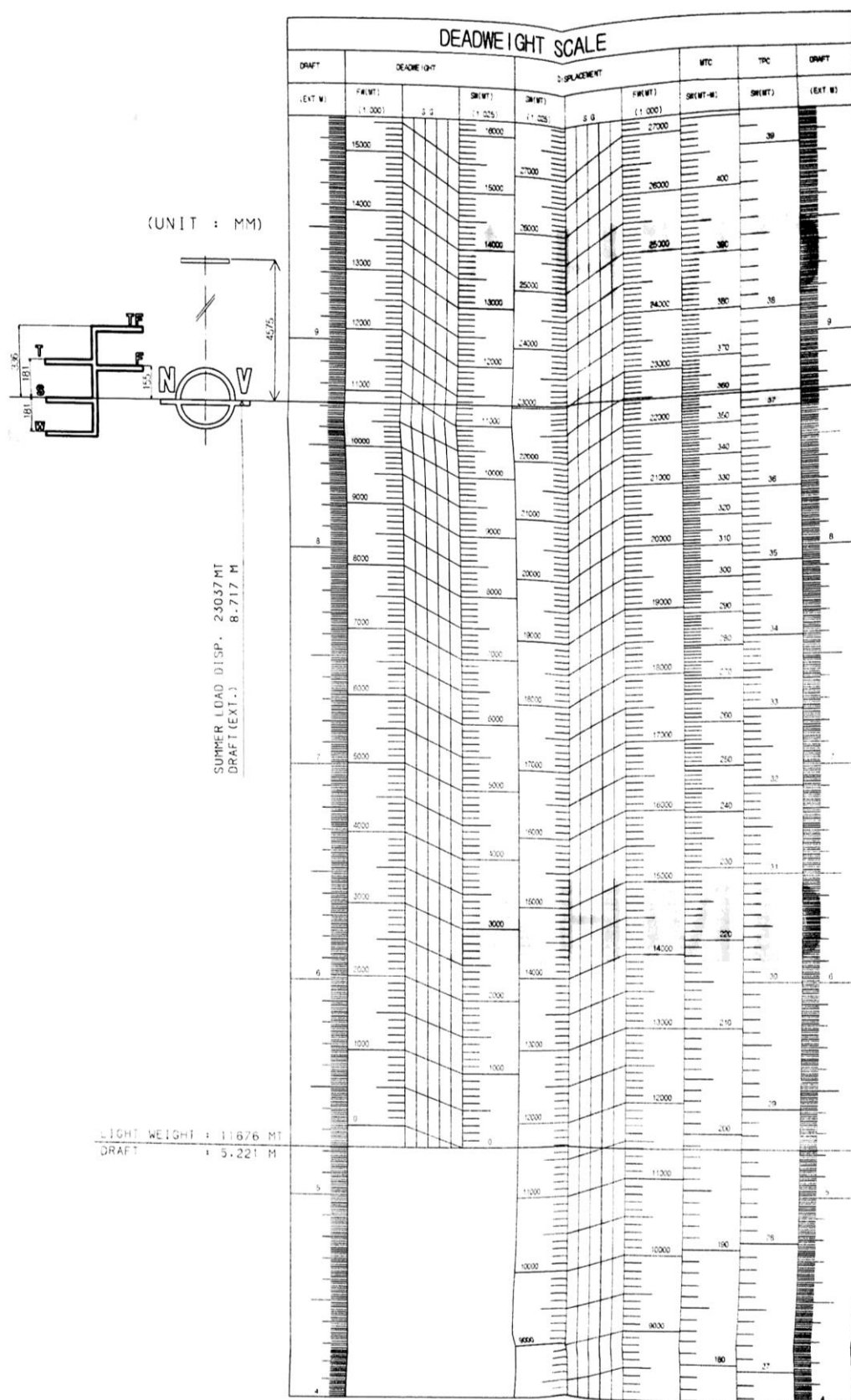


Рисунок 1.3 – Вантажна шкала

1.4 Навігаційне обладнання

Дані про всі технічні засоби навігації (ТЗН) судна (електрорадіонавігаційні прилади та системи) наведені в таблиці 1.2.

Лоцманська картка показана на рис. 1.5.

Виконана в масштабі схема розташування ТЗН і пультів на ходовому містку (вид зверху) представлена на рис 1.6.

- 1) Гірокомпас і Авторульовий
- 2) КОРП
- 3) УКВ станція
- 4) Репітер гірокомпаса
- 5) Управління машиною
- 6) Телеграф
- 7) Управління судновими тифонами
- 8) Управління пожежними насосами
- 9) загально судновий зв'язок
- 10) Кнопки тривоги
- 11) РЛС
- 12) G P S Shipmate
- 13) Курсограф
- 14) Анеометр
- 15) Самописець ехолота
- 16) NAVTEX
- 17) Стійка ГМССБ
- 18) Приймач факсимільних карт погоди
- 19) Комутатор вогнів
- 20) Станція пожежної сигналізації
- 21) Transmitter / Receiver unit NTG-3030
- 22) G P S Furuno
- 23) Барограф

WHEEL HOUSE POSTER

Ship's name : **NEPTUNE ITHAKI**
 Call sign : **9HA2213**
 IMO No. : **9440083**

L.B.P. : 158.00 m
 B.(mld) : 28.00 m
 D.(mld) : 30.56 m
 d.(mld) scantling : 8.70 m

WARNING

The response of the **NEPTUNE ITHAKI** may be different from that shown below if any of the loading conditions, upon which the manoeuvring information is based, are varied :

1. Calm weather-wind 10knots or less calm sea
2. No current
3. Water depth twice the vessel's draft or greater
4. Clean hull
5. Intermediate drafts or unusual trim

Prepared by **Hyundai Mipo Dockyard Co., Ltd.**

Date : **January 21th, 2010**

DRAUGHTS AT WHICH THE MANOEUVRING DATA WERE OBTAINED (mld.)

	Normal Loaded	Ballast
	Estimate	Trial
Forward	7.80 m	6.76 m
Aft	7.80 m	7.40 m

SHIP'S PARTICULARS

Gross tonnage	36825
Net tonnage	11048
Displacement, maximum	23037 MT
Deadweight, maximum	11361 MT
Block coefficient at scantl. draught	0.582

DRAUGHT INCREASE(LOADED)

Estimated squat effect		
Under keel clearance	Ship speed (kts)	Draught increase(m)
1.74 m	2.0	0.014
	6.0	0.125
	10.0	0.348
4.35 m	2.0	0.011
	6.0	0.100
	10.0	0.278

PROPULSION PARTICULARS

Type of engine :		Hyundai-B&W 7S50MC-C8							
		11620 kw (15799 BHP)							
Type of propeller :		CPP							
Engine order		RPM / PITCH (Deg.)		Speed(kts)		Engine order		RPM / PITCH (Deg.)	
				Load Bal.					
Ahead	Max.	127/2.2	21.2	21.8	Aft	Max.	120/-17		
	Nav. Full	83/2.2	14.3	14.4		E.Full	110/-16		
	Full	83/2.1	12.3	12.4		Full	100/-15		
	Half	83/1.2	9.2	9.3		Half	83/-10		
	Slow	83/8.3	6.1	6.1		Slow	83/-8		
Dead slow	83/3.9	3.1	3.1	Dead slow	83/-5				
Critical revolutions					37-48 RPM				
Minimum revolution(Pitch ahead full 27.2°)					30.8 RPM				
Emergency full ahead to stop					301 sec				
Maximum number of consecutive starts					8				

STEERING PARTICULARS

Type of rudder(s)	Semi-balanced spade type
Maximum rudder angle	35 °
Time hard-over to hard-over with one power unit	25 °
Time hard-over to hard-over with two power unit	13 °
Rudder angle for neutral effect	0 ° PORT/STBD

BOW THRUSTER EFFECT

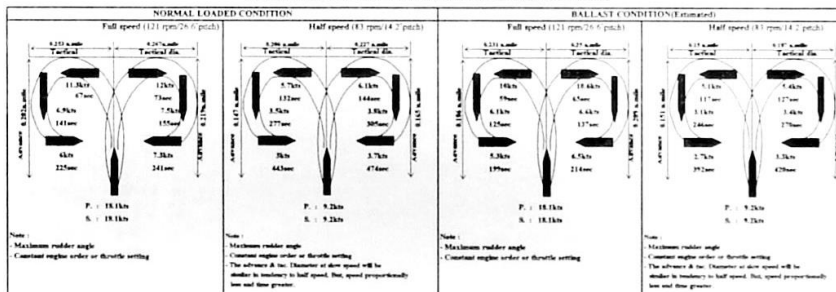
POWER (kw)	Time delay for full thrust (sec.)	Turning rate at zero speed (deg./min)	Time delay to reverse thrust (sec.)	Not effective above speed (kts)
450	10	12	22	4
450	10	12	22	4

ANCHOR CHAIN

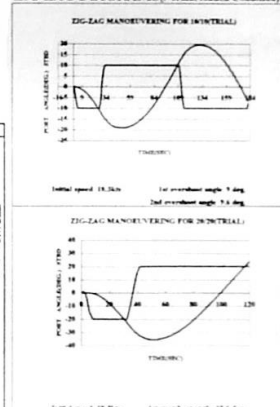
	Number of shots	Max. rate of heaving
PORT	11	2'37"
STARBOARD	12	2'37"

1 shot = 27.5m

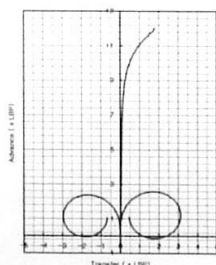
TURNING CIRCLES AT MAXIMUM RUDDER ANGLE



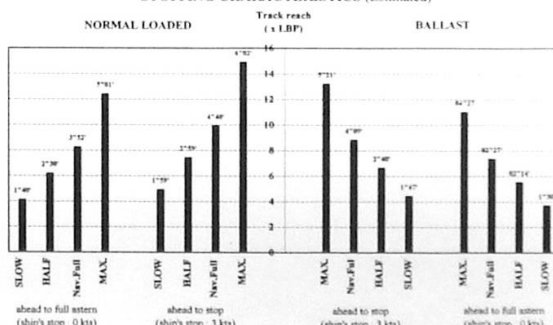
ZIG ZAG DIAGRAMS(Normal loaded Condition)



EMERGENCY MANOEUVERING (Normal Loaded, Trial-1st Ship)



STOPPING CHARACTERISTICS (Estimated)



EMERGENCY MANOEUVERING (Ballast condition, Estimated-1st Ship)

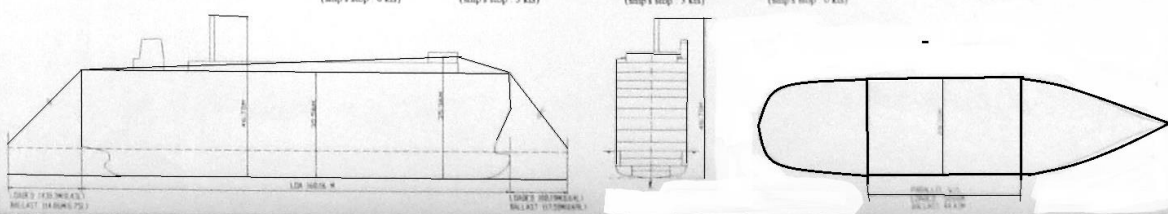
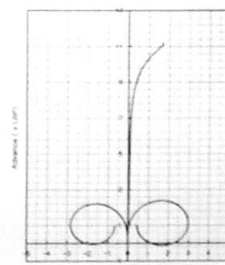


Рисунок 1.4 – Маневрені характеристики

Pilot Card

VESSEL DETAILS:

Ship's Name: NEPTUNE ITHAKI Date: _____
 Call Sign: 9HA2213 Year Built : keel 11/8/2009
 Deadweight: 11361MT Displacement: 23037MT Lightship: 11676 MT Gross : 36825 Net : 11048
 Draft Forward: _____ m/ _____ ft in Draft Aft _____ m/ _____ ft in

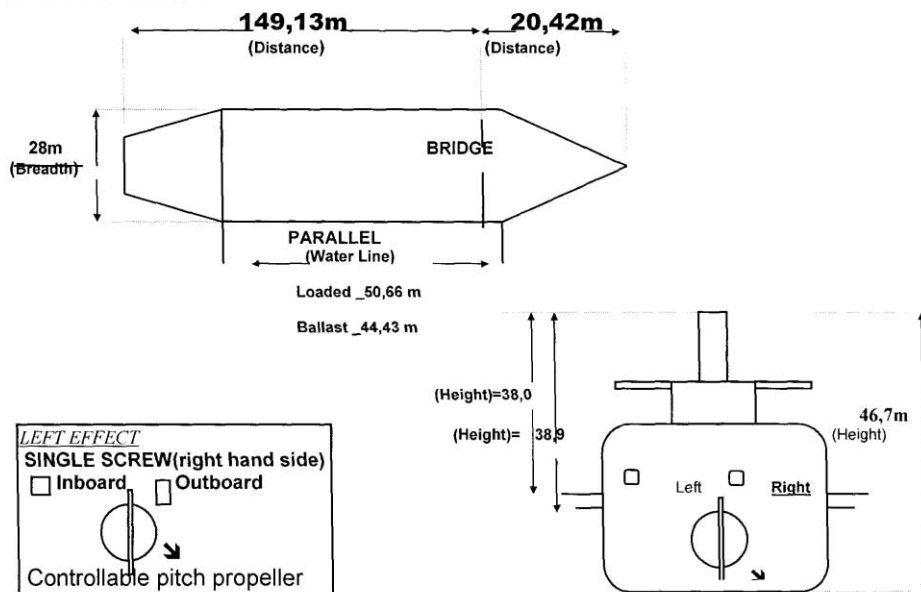
SHIP'S PARTICULARS:

Length Overall: 169,55 m Breadth: 28.0 m
 Anchor Chain : Port: 12 shackles Starboard: 11 shackles
 Stern: NIL shackles (1 shackle = 27.5 m/ _____ fathoms)
 Bulbous Bow ? ☒ Yes ☐ No

STEERING CHARACTERISTICS:

Type of rudder: One Semi-Balanced Spade type Turning Circle:Tactical Diameter:Max=494m
 Maximum Angle: 35 degrees Advance: Stbd 405,459m/Port 373,516 m
 Rudder Angle for neutral effect: 0 degrees Transfer: Stbd 266,162m/Port 265,587 m
 Hard over to hard over: 13(2umps)25(1pump)- seconds Radius: Stbd 211,048m/Port 180,163 m

KEY DISTANCES:



THE MASTER _____ Capt. N.Petridis

PILOT _____

Рисунок 1.5 – Лоцманська картка

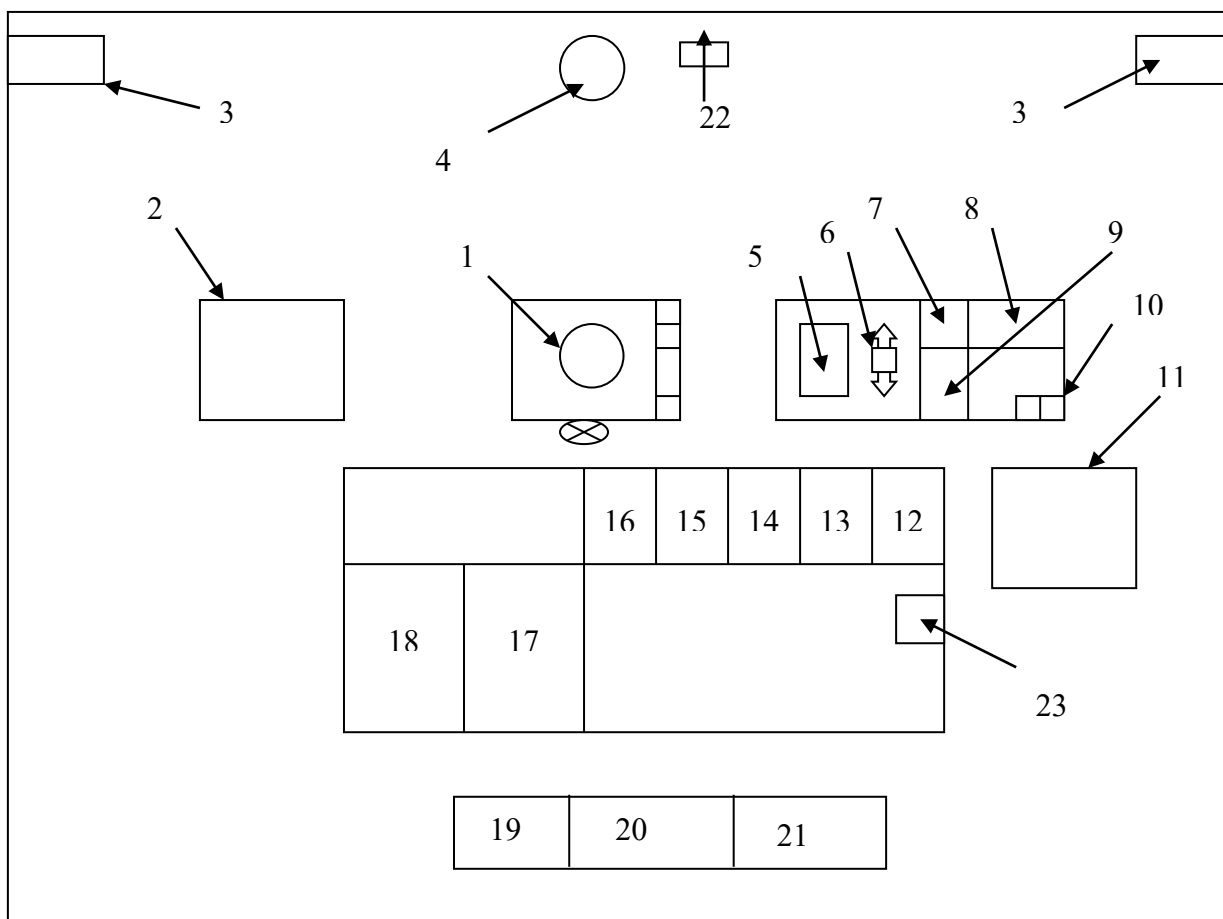


Рисунок 1.6 - Схема розташування ТЗН і пультів на ходовому містку.
Точнісні характеристики наявних на судні ТЗН представлені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Точнісні характеристики технічних засобів навігації

Тип, марка ТЗН	Умови	Вимірювані навігаційні параметри	СКП одного вимірювання	Модуль градієнта параметра
ГКУ	судно, що рухається	курс, пеленг	0,8°	57,3° /D
РЛС	єл. візир	пеленг	1,0°	57,3° /D
	шкала 0,5	відстань	15м	1
	шкала 2,5-5,0	відстань	1,5%	1
Ехолот	шкала 15,0-50,0	відстань	0,6%	1
	глибина 0-20	глибина	0,1м	—
	глибина 20-2000		1-1,5%	

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПЛАНУВАННЯ НАВІГАЦІЙНОГО ПЕРЕХОДУ

2.1 Загальні вимоги до аналізу та плануванню навігаційного переходу

Загальні вимоги та рекомендації щодо планування переходу містяться в таких документах як:

- Міжнародна Конвенція з охорони людського життя на морі 1974 р. (SOLAS-74), Розділ V «Безпека мореплавства»;
- Конвенція та кодекс з підготовки і дипломування моряків та несення вахти (STCW-78 з поправками), Розділ VIII;
- Резолюція ІМО А.893(21) – 1999 р. «Керівництво по плануванню рейсу»;
- Рекомендації по організації штурманської служби на морських судах України – 1998 р.;
- Bridge Procedures Guide, 5th Edition, 2016;
- Bridge Team Management, 2nd Edition, 2004.

Існують чотири стадії планування безпечного переходу:

I. Appraisal (Оцінка).

II. Planning (Планування).

III. Execution (Виконання).

IV. Monitoring (Контроль).

Ці стадії повинні виконуватись одна за одною у порядку, викладеному вище.

2.2 Оцінка запланованого переходу

У цьому параграфі наводимо конкретну інформацію, що стосується опрацювання переходу, що відповідає етапу «Passage plan Appraisal». Для цього проводиться підбір навігаційних карт, посібників і публікацій на заданий перехід

по Каталогю Адміралтейських карт і публікацій (Catalogue of Admiralty Charts and Publications)

Таблиця 2.1 – Перелік карт на перехід

Тип карти	Cell No.	Назва карти	Дата випуску
Генеральні карти	4008	A Planning Chart for The North Pacific Ocean	10. 2014
	4053	North Pacific Ocean Northwestern Part	07. 2020
	4050	North Pacific Ocean Northeastern Part	08. 2020
	4510	Eastern Portion of Japan	07 2020
	4522	Mys Lopatka to the Chinook Trough	11. 2021
	4805	Hawaiian Islands to the Aleutian Trench	09. 2020
	4806	San Francisco and Vancouver Island to Mendocino Fracture Zone	12. 2015
Путьові, приватні карти і плани	JP1055A	Ise Wan, Northern Part of Nagoya Ko Continuation of Nabeta Warf	02.2016
	JP95	Northern Part of Ise Wan	06.2014
	JP1053	Irago Suido and Approaches	07. 2015
	JP1051	Ise Wan	11. 2015
	JP70	Omae Saki to Ise Wan	06 2018
	996	Shiono Misaki to Inubo Saki	05 2017
	229	Point Pinos to Bodega Head	03. 2015
	591	San Francisco Harbour and Approaches	06. 2019
	588	San Francisco Bay Golden Gate to Alameda	06. 2019
Допоміжні карти	D.6083	The World – Load Line Regulations – Zones, Areas and Seasonal Periods	2009
	5006	The World – Time Zone Chart	2021
	5310	The World – General Surface Current Distribution	2013
	5302	World Climatic Chart	2016
	5000	Azimuth Diagram – modified Weir (Lat. 0° to 65°)	2015

Таблиця 2.2 – Перелік публікацій на перехід

NP No	TITLE
1	2
SAILING DIRECTIONS	
42B	Japan Pilot, Vol.3
42A	Japan Pilot, Vol.2
62	Pacific Islands Pilot, Vol.3
8	Pacific coasts of central America and United States Pilot
ADMIRALTY LIST OF LIGHTS AND FOG SIGNALS	

Продовження табл. 2.2

1	2
85	Western Side of North Pacific Ocean, East China and Yellow Seas
80	Western Side of South Atlantic Ocean and Pacific Ocean
ADMIRALTY LIST OF RADIO SIGNALS	
281(2)	Part 2, Maritime Radio Stations: The Americas, Far East and Oceania
282	Volume 2 – Radio Navigational Aids, Electronic Position Fixing Systems and Radio Time Signals
283(2)	Part 2, Maritime Safety Information Services: The Americas, Far East and Oceania
284	Meteorological Observation Stations
285	Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS)
286(5)	Part 5, Pilot Services, Vessel Traffic Services and Port Operations: Americas and Antarctica
286(6)	Part 4, Pilot Services, Vessel Traffic Services and Port Operations: North East Asia
288	Satellite Navigation Systems
ADMIRALTY TIDE TABLES	
204	Pacific Ocean (including Tidal Stream Tables)
ADMIRALTY DISTANCE TABLES	
350(3)	Admiralty Distance Tables, Pacific Ocean
ASTRONOMICAL PUBLICATIONS	
314	The Nautical Almanac
303	Sight Reduction Forms
323	Star Finder and Identifier
MISCELLANEOUS PUBLICATIONS	
100	The Mariners Handbook
136	Ocean Passages for the World
131	Catalogue of Admiralty Charts and Publication
294	How to Correct your charts the Admiralty Way
735	IALA Maritime Buoyage System, Edition 5 1994
5011	Symbols and Abbreviations used on Admiralty Charts, Edition 2 1998
Guide to Port Entry	
Fairplay	

2.2.1 Підготовка для прийому та обміну навігаційною інформацією на переході

Необхідно проаналізувати, описати та систематизувати навігаційну інформацію, що передається за допомогою GMDSS та факсимільних гідрометеорологічних карт.

За допомогою посібника ALRS 283 використовуємо інформацію щодо факсимільних карт погоди та зводимо її до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Радіостанції факсимільних гідрометеорологічних передач

N п/п	Радіо / станція	Позначення і кордони карти	Зміст передачі	Час передачі
1	Tokio (JMH)	38°N 65°E 38°N 145°W 1°S 112°E 1°S 167°E	24 hour Surface Analysis Tropical Cyclone forecast Ocean wave prognosis	1930(12) 0750(06) 1950(18) 1140(00)
2	Camspac, Point Reyes (US)	1. 20°N - 70°N 115°W - 135°E 2. 20°N - 70°N 115°W - 175°W 5. 5°N - 55°N 110°E - 180°W 8. 25°N - 60°N 90°E - 155°W 10. 0°N - 40°N 80°W - 180°W	1. 500hPa Analysis Sea State Analysis 48 hour Surface Prognosis 96 hour Wind/Wave Forecast 2. Surface Analysis 5. Pacific GOES infra- red satellite image 8. Sea State Analysis 24 hour Wind/Wave Forecast 10. Tropical cyclone danger area	0245(00) 1445(12) 0255(00) 1445(12) 0838(00) 2003(12) 2053(12) 0305(00) 0919(06) 0154(00) 1414(12) 0255(00) 1445(12) 0818(00) 1943(12) 0357(03) 1557(15)

За допомогою посібника ALRS 285 вибираємо інформацію про райони NAVAREA і станції NAVTEX за маршрутом переходу. Дані зводимо в таблицю.

Таблиця 2.4 - Райони NAVAREA, станції NAVTEX на переході

№	Ділянка переходу	Район NAVAREA	Станції NAVTEX	Координатор NAVAREA
1	Japan	XI	Moji [H] Naha [G] Yokohama [I] Kushiro [K]	Japan
2	Pacific Ocean	XII	Honolulu (O)	USA
3	United States of America (Pacific Coast)	XII	CAMSPAC, Point Reyes (San Francisco) [C] Long Beach [Q]	USA

За допомогою посібника ALRS 286 визначаємо наявність по маршруту контрольних постів, районів, де здійснюється управління рухом суден постами СУРС (Reporting Areas), вирішуємо питання про зв'язок з контрольними станціями і постами - терміни, форми і способи подачі інформації. З'ясовуємо деталі зв'язку з лоцманськими станціями і операторами терміналів в портах. Отримані відомості зводимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Зв'язок на переході

№	Станція	спосіб зв'язку	Канали, частоти	Примітка
1	Nagoya Pilots & Port	VHF	16; 14; 22	Call sign, name of ship, IMO number, Last/Next Port of Call, Cargo
2	San Francisco Pilots and Port	VHF	6; 16; 18	Reporting Point, Call sign, name of ship, IMO number, Next port of Call, TSS

Таблиця 2.6 – СУРС по маршруту переходу

№	Traffic separation scheme	Station	VHF	Reporting point description
1	Traffic Advisory Service (TAS)	Nagoya TAS	14, 22	Reporting system area, Radar Service Area
2	Vessel Traffic Service	San Francisco VTS	13, 09	Reporting system area

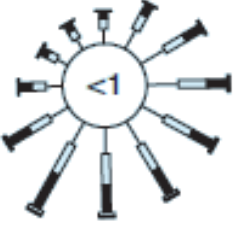
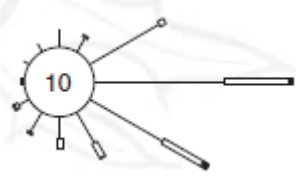
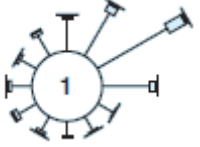
На підставі аналізу підібраних і відкоригованих матеріалів робимо висновок про те, що інформаційного забезпечення для безпечного плавання на переході досить.

2.2.2 Збір та аналіз гідрометеорологічної інформації

Аналіз гідрометеорологічних умов по маршруту плавання виконується за період (місяць) переходу, що проробляється. Для цього використовуються середні багаторічні дані, які наведені в Атласах океанів, кліматологічних,

гідрографічних і океанографічних посібниках, Pilot Chart (Інтернет-сайт www.passageweather.com). Для опису гідрометеорологічних умов необхідно перехід розбити на ділянки (три і більше) в залежності від відстані між портами. Необхідні данні вносимо в таблиці 2.7, 2.8.

Таблиця 2.7. - Атмосферний тиск і розшифровка «роз вітрів»

Характеристики за ділянками	Японское побережье			Тихий океан			Побережье США		
1	2			3			4		
Атмосферний тиск, гПа	1010			1014			1015		
Вітер									
Направлення вітру	Повторюваність вітру, %			Повторюваність вітру, %			Повторюваність вітру, %		
	Сумарна	11-15 м/с	>16 м/с	Сумарна	11-15 м/с	>16 м/с	Сумарна	11-15 м/с	>16 м/с
N	13	-	-	5	-	-	1	-	-
NE	48	2	1	32	-	-	-	-	-
E	5	-	-	41	3	1	0	-	-
SE	12	1	-	7	-	-	1	-	-
S	11	-	-	4	-	-	4	-	-
SW	6	2	-	7	-	-	10	-	-
W	4	2	-	2	-	-	48	2	-
NW	1	1	-	2	-	-	34	2	-
Результуючий вітер	направлення, у румбах		NE	направлення, у румбах		ENE	направлення, у румбах		NE
	швидкість, м/с		5	швидкість, м/с		4	швидкість, м/с		7
Максимальна швидкість вітру, м/с	спостережена		8	спостережена		6	спостережена		9
	розрахункова		9	розрахункова		9	розрахункова		14
Повторюваність штилів, %	50			60			70		

Таблиця 2.8. - Видимість, водний і тепловий режими атмосфери, гідрологічні характеристики

Характеристики за ділянками		Японское побережье	Тихий океан	Побережье США
1		2	3	4
Температура повітря, °С		22	24	22
Температура води, °С		20	22	20
Відносна вологість, %		70	72	71
Повторюваність туманів, %		5	1	-
Видимість менше 2 міль		1	-	-
Хмарність, бали		5	4	6
Солоність води, ‰		63	57	64
Щільність води, г/см ³ (або кг/м ³)		1.025	1.025	1,025
Постійні течії	назва	Japan	Pacific	California
	термодинамічна характеристика	тепле	тепле	тепле
	направлення	NE	E	SSE
	швидкість, вузл.	1	1	1-2
	стійкість	50-75	50	50
Швидкість припливних течій, вузл.		1	0,5	0,5
Висота хвиль, м	середня	2	3	3
	максимальна	4	4	5
Період хвиль, с		7	9	8

2.2.3 Збір та аналіз навігаційної інформації при прибережному плаванні

Порт Нагоя розташований в центрі острова Хонсю на узбережжі гавані Ісі в 350 кілометрах від Токіо.

Нагоя в своєму розпорядженні найбільшим контейнерним терміналом в Японії. Основні імпортовані вантажі: LNG, сира нафта, руда, паливо, вугільна

продукція; на експорт порт відправляє метал, різні механізми, автомобілі. Щорічно порт обробляє близько 158000000 тон вантажу, включаючи 1927250 ТЕУ контейнерів. Вантажна марка в порту - річна.

Орієнтовний час прибуття в порт повідомляється за добу і за 12 годин до підходу до порту, одночасно при підході, коли починає діяти УКХ зв'язок, також доповідь необхідно робити проходячи острів Kamishima.

Зв'язок з портом підтримується через Інмарсат і по УКХ зв'язку на каналах: 16, 12, 18, 20.

Вільна практика надається судну після надання сертифіката дератизації.

На території порту встановлено 15 буїв, на які можна швартуватися. Порт має у своєму розпорядженні 3 підхідних каналу: Східний, Західний і Північний, глибина яких від 9 до 12,7 метрів.

Лоцманська проводка в порт обов'язкова. Місце посадки лоцмана знаходиться в районі буя №6 (34° 55.7'N 136° 46.2'E). Також лоцманська проводка обов'язкове від місця Irago Suido безпосередньо до порту Нагоя. Координати посадок лоцмана розташовані в координатах:

- 34°30.8'N 137°06.9'E – при підході зі сходу;
- 34° 28.3'N 137° 03.8'E - при підході із заходу або півдня;
- 34° 24.8'N 137° 03.8'E - для LNG танкерів;
- 34° 24.6'N 137° 00.1'E - для великотоннажних суден.

Якірні стоянки порту вказані на картах.

Приливна хвиля становить від 0,2 до 2,6 метрів. Щільність води в порту 1021.

Порт має у своєму розпорядженні найсучасніші вантажно-розвантажувальні обладнання і пересувну техніку. На території є безліч складів і майданчиків для зберігання, як критих, так і відкритих. У порту можна поповнити запаси палива і води, постачання і провізію, усунути будь-які види судових поломок і зробити будь-який ремонт механізмів та корпусу.

Необхідні документи на прихід \ відхід:

General Declaration CF 1301 – 3 шт.

Cargo Declaration CF1302 – 3 шт.

Ships Stores Declaration CF 1303 – 3 шт.

Crews Effects Declaration CF 1304 – 3 шт.

Crew List 1-418 – 3 шт.

Порт Сан-Франциско (San Francisco) розташований біля західного берега затоки Сан-Франциско і є найбільшим портом західного узбережжя США, а також великої військово-морською базою.

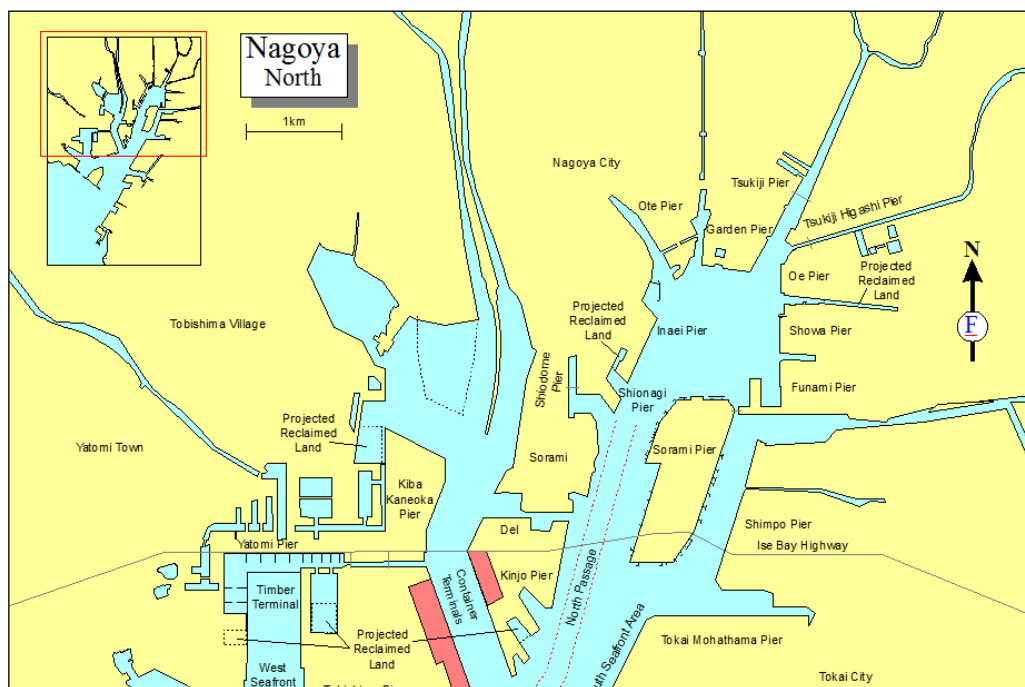


Рисунок 2.1 – План порту Нагоя

Причальні споруди порту Сан-Франциско простяглися майже від мису Форт до півострова Хантерс-Пойнт. Довжина причальної лінії близько 25 км. У північній частині порту знаходяться військово-морська база і рибна гавань. У центральній частині розташовані пірси для торгових суден, а в південній частині - пірси для судів тропічних ліній, склади, а також доки, суднобудівні і ремонтні підприємства.

Порт має у своєму розпорядженні кілька глибоководних басейнів.

Помітні пункти. Серед будівель міста Сан-Франциско найбільш помітні: будівля управління порту з вежею заввишки 73 м, на якій є годинник, і башта Койт-Тауер (Coit tower), що стоїть на пагорбі Телеграф Хілл (Telegraphhill) в 3,4 милі до ESE від мису Форт. Вежа будівлі управління, освітлювана вночі є

найкращим орієнтиром затоки Сан-Франциско. Вежа Койт-Тауер вночі також висвітлюється. Прекрасним орієнтиром при вході в затоку може служити острів Алкатраз. Добре видно мости Сан-Франциско-Окленд і Голден-Гейт-Бридж.

Підводні кабелі. У порту Сан-Франциско прокладено кілька підводних кабелів. Положення їх показано на картах.

Портові засоби та обладнання. Причали порту Сан-Франциско обладнані сучасними вантажно-розвантажувальними пристроями. У порту є багато кранів, в тому числі плавучих, великої вантажопідйомності. Є дуже багато буксирів різної потужності.

Ремонт. У порту Сан-Франциско можна зробити ремонт корпусу і механізмів судів усіх розмірів. Найбільший сухий док порту перебуває у півострова Хантерс-Пойнт.

Постачання. У порту можна придбати рідке паливо і продовольство і прийняти воду. Рідке паливо зазвичай доставляється баржами, вода може бути прийнята біля причалу або доставлена водолієм.

Станції штормових сигналів і спостереження за судами знаходяться на пірсі № 45. Штормові сигнали піднімаються тільки вдень.

Ввезення і вивіз. У порт Сан-Франциско ввозять нафту, лісоматеріали, руду, гуму, каучук, бавовна, шерсть, манільський пенька, копру, цукор-сирець, прянощі, банани, кава, чай, рис, какао-боби. Вивозять з порту нафтопродукти, металовироби, скло, цемент, хімікалії, фарби, фрукти, фруктові консерви, цукор, зерно, борошно, шкіри.

Повідомлення і зв'язок. У порту Сан-Франциско сходиться кілька транстихоокеанських пароплавних ліній і значне число морських каботажних і річкових пароплавних ліній. Порт і місто обслуговуються чотирма трансконтинентальними і декількома місцевими залізницями.

Острів Алкатраз (Alcatraz) (37°50' N, 122°25' W) висотою 45 м є одним з основних орієнтирів при вході в затоку Сан-Франциско. На цьому острові розташовано багато будівель. Біля нього спостерігаються сильні сулої.

Попередження. До берегів острова Алкатраз забороняється підходити на відстань менше 25 м. Маяк Алкатраз (Alcatraz) встановлено в південно-східній частині острова Алкатраз.

Пірс. У центральній частині порту Сан-Франциско між причалом Фішерманс-Уорф і басейном Чайна споруджено понад 40 пірсів. До багатьох з них можуть швартуватися великі судна. Нумерація пірсів ведеться від будівлі управління порту (колишнього поромного вокзалу).

Лоцманська проводка обов'язкова для всіх іноземних суден в бухті Сан-Франциско. Місце прийому (здачі) лоцмана відбувається при вході в бухту сан-Франциско. Зв'язок з лоцманами по УКВ Ch 16, 10, 13 і 18.

У затоці Сан-Франциско знаходиться 10 якірних місць в межах центральної області затоки і ще 16 в верхньому гирлі річкової системи.

Вітри змінної сили будь-якого напрямку дмуть в район Сан - Франциско. Переважний вітер NW летом. В літній період туман змушує сповільнювати рух суден через Золоті Ворота

Вже при підході до гавані порту до прийому лоцмана в гавань Сан - Франциско необхідно зв'язуватися з VTS на 12 каналі і слідувати строго вказівки координаційного центру з системи поділу руху. План порту рис.2.2.

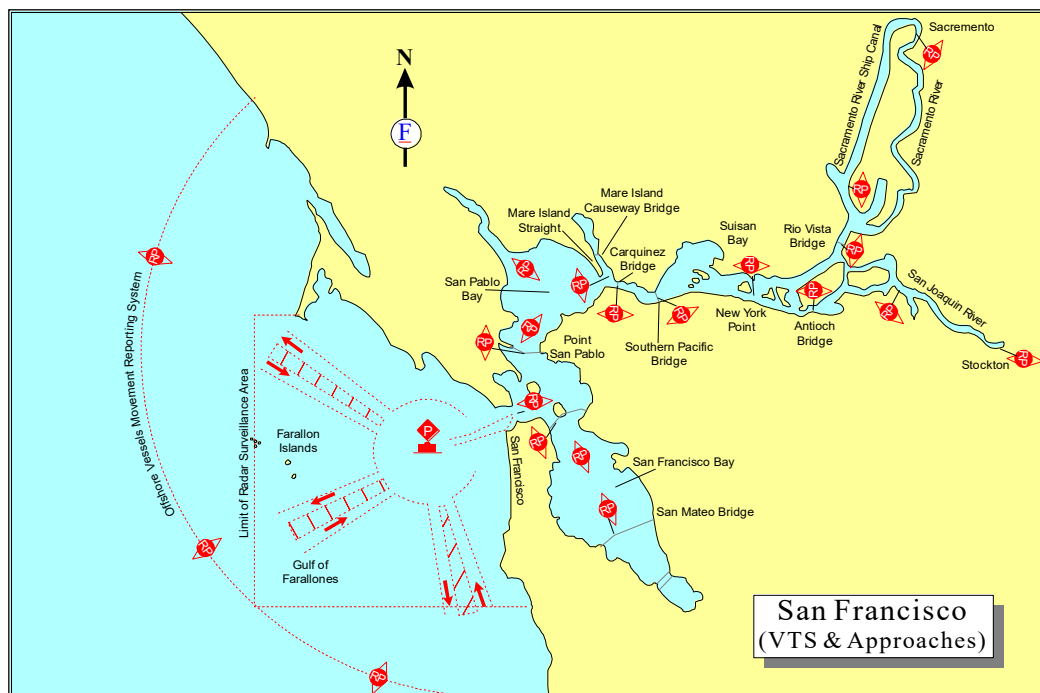


Рисунок 2.2 – План порту Сан Франциско

Необхідні документи на прихід:

General Declaration CF 1301 – 3 шт.

Cargo Declaration CF1302 – 3 шт.

Ships Stores Declaration CF 1303 – 3 шт.

Crews Effects Declaration CF 1304 – 3 шт.

Crew List 1-418 – 3 шт.

Clearance from last port

Таблиця 2.9 – Засоби навігаційного обладнання

№	Name	Position φ λ	Range	Characteristics
1	Ise Wan	34°56,3'N 136°47,6'E	25	Fl 10s
2	Noma Saki	34°45,4'N 136°50,6'E	15	Iso.6s
3	Asahi Sho	34°34,7'N 137°00,9'E	15	FL 5s
4	Lime Pt	37°49,5'N 122°28,7'W	23	Fl(3)20s
5	Alkatraz	37°49,6'N 122°25,3'W	21	Fl(4)10s
6	Marine Terminal “E”	37°48,4'N 122°24,0'W	3	Iso.2.0s

2.3 Навігаційні розрахунки для забезпечення безпеки плавання

2.3.1 Розрахунок ортодромії

Коли шлях майбутнього плавання включає в себе океанський перехід, вплив погоди і стан моря набувають особливо важливе і нерідко основне значення при виборі найвигіднішого шляху судна.

Основними критеріями при виборі оптимального шляху будемо вважати безпеку плавання і мінімум часу переходу, що є основою ефективної роботи морського транспорту.

Критерії вибору шляху нерозривно пов'язані з конкретними умовами майбутнього переходу - вітром і хвилюванням, опадами і видимістю, течіями і льодами і т. п., Кожне з яких має більший або менший вплив на оптимальність того чи іншого маршруту.

При виборі трансокеанського шляху необхідно використовувати рекомендації викладені в посібниках «Океанські шляхи світу», The Mariners Handbook, Ocean Passages of the World.

Однак незалежно від того який шлях буде обґрунтовано обраний необхідно виконати розрахунки плавання по ортодромії.

Провівши розрахунок ортодромії, робиться висновок про доцільність плавання по ортодромії

Даний рейс містить трансокеанський перехід через Північну частину Тихого океану. Виконаємо розрахунок локсодромії і ортодромії і різниці між ними. Задаємося відповідними координатами:

$$\varphi_H = 33^{\circ}44,0'N;$$

$$\varphi_K = 37^{\circ}56,0'$$

$$\lambda_H = 141^{\circ}06,0'E;$$

$$\lambda_K = 123^{\circ}11,0'W$$

Розраховую локсодромічний курс:

$$tgk_{\lambda} = \frac{PД}{PMЧ}$$

Обчислюють довжину локсодромії:

$$S_{\lambda} = PШ \times \sec k_{\lambda} .$$

Таблиця 2.10 - Розрахунок локсодромії

φ_K	$37^{\circ}56,0'N$	λ_K	$123^{\circ}11,0'W$	PMЧ	311
φ_H	$33^{\circ}44,0'N$	λ_H	$141^{\circ}06,0'E$	K	87°
PШ	252	PД	5743	S	4661

Визначити довжину ортодромії:

$$\cos D = \sin \varphi_1 \times \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \times \cos \varphi_2 \times \cos PД$$

$$D = 4439 \text{ мили}$$

Доцільність плавання по ортодромії дорівнює:

$$\Delta S = S_d - D = 4661 - 4439 = 222 \text{ милі чи при } V_c = 19 \text{ узл} \Rightarrow \Delta t = 11.7 \text{ годин.}$$

Плавання по ортодромії вигідно, чому також сприяють супутні поверхневі течії вод Тихого океану.

Виконаємо розрахунок плавання по ортодромії:

Знаходимо λ_0 :

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\lambda_n - \lambda_k}{2} - \lambda_0\right) = \operatorname{tg} \frac{PD}{2} \times \sin 2\varphi \times \cos ecPШ$$

$$\text{обчислюємо } k_0 \Rightarrow \operatorname{tg} k_0 = \frac{\sin(\lambda_n - \lambda_0)}{\operatorname{tg} \varphi_n}$$

Таблиця 2.11 - Курси і відстані при плаванні по ортодромії

N	Широта	Довгота	Курс	Відстань
1	38° 21. 0N	150° 00.0 E	57	513
2	42° 13.0 N	160° 00.0 E	63	513
3	44° 52.0 N	170° 00.0 E	70	463
4	47° 12.0 N	170° 00.0 W	81	845
5	45° 57.0 N	150° 00.0 W	95	828
6	37° 56.0 N	123° 11.0 W	112	1287

2.3.2 Складання маршрутних листів

Відповідно до рекомендацій ІМО, при плануванні рейсу необхідно скласти маршрутні листи, які повинні лежати на штурманському столі. Безумовно, протягом рейсу в маршрутні листи вносяться необхідні зміни. Маршрутний лист приведено на рис. 2.3.

Route: <Нагоя - Сан Франциско>

WP	Lat	Lon	Distance	Course	Total Distance	Time Zone	ETA	ETD	TTG	Total Time	Speed	Bearing	Dist	Mark
0	35° 03.457' N	136° 52.930' E	XXXX	XXXX	XXXX	09:00 E	XXXX	04.06.2025 09:00	XXXX	XXXX	XXXX	299	0,1	Pier
1	35° 02.756' N	136° 52.352' E	0,85 nm	214,1 °	0,85 nm	09:00 E	04.06.2025 09:08	04.06.2025 09:08	00d 00h 08m	00d 00h 08m	6,0 kt	280	0,4	Area 13
2	35° 02.443' N	136° 51.461' E	0,80 nm	246,9 °	1,64 nm	09:00 E	04.06.2025 09:16	04.06.2025 09:16	00d 00h 07m	00d 00h 16m	6,0 kt	270	1,2	Ise Wan
3	34° 56.794' N	136° 46.931' E	6,76 nm	213,4 °	8,40 nm	09:00 E	04.06.2025 09:56	04.06.2025 09:56	00d 00h 40m	00d 00h 56m	10,0 kt	75	4	Noma Saki
4	34° 47.897' N	136° 44.797' E	9,05 nm	191,2 °	17,45 nm	09:00 E	04.06.2025 10:33	04.06.2025 10:33	00d 00h 36m	00d 01h 33m	15,0 kt	336	3,3	Asahi Sho
5	34° 39.620' N	136° 50.081' E	9,34 nm	152,2 °	26,79 nm	09:00 E	04.06.2025 11:02	04.06.2025 11:02	00d 00h 29m	00d 02h 02m	19,0 kt	-	-	GPS
6	34° 31.032' N	137° 04.377' E	14,59 nm	126,0 °	41,38 nm	09:00 E	04.06.2025 11:48	04.06.2025 11:48	00d 00h 46m	00d 02h 48m	19,0 kt	-	-	GPS
7	33° 44.103' N	139° 37.908' E	135,79 nm	110,2 °	177,17 nm	09:00 E	04.06.2025 18:57	04.06.2025 18:57	00d 07h 08m	00d 09h 57m	19,0 kt	-	-	GPS
8	33° 43.884' N	141° 05.587' E	73,12 nm	090,2 °	250,30 nm	09:00 E	04.06.2025 22:48	04.06.2025 22:48	00d 03h 50m	00d 13h 48m	19,0 kt	-	-	GPS
9	38° 21.000' N	150° 00.000' E	514,01 nm	057,4 °	764,30 nm	10:00 E	06.06.2025 02:51	06.06.2025 02:51	01d 03h 03m	01d 16h 51m	19,0 kt	-	-	GPS
10	42° 13.000' N	160° 00.000' E	514,19 nm	063,2 °	1278,50 nm	11:00 E	07.06.2025 06:55	07.06.2025 06:55	01d 03h 03m	02d 19h 55m	19,0 kt	-	-	GPS
11	44° 52.000' N	170° 00.000' E	464,35 nm	070,0 °	1742,85 nm	11:00 E	08.06.2025 07:21	08.06.2025 07:21	01d 00h 26m	03d 20h 21m	19,0 kt	-	-	GPS
12	47° 12.000' N	170° 00.000' W	847,50 nm	080,5 °	2590,35 nm	11:00 W	09.06.2025 05:58	09.06.2025 05:58	01d 20h 36m	05d 16h 58m	19,0 kt	-	-	GPS
13	45° 57.000' N	150° 00.000' W	831,17 nm	095,2 °	3421,52 nm	10:00 W	11.06.2025 02:42	11.06.2025 02:42	01d 19h 44m	07d 12h 42m	19,0 kt	-	-	GPS
14	37° 55.911' N	123° 11.254' W	1290,92 nm	111,9 °	4712,44 nm	08:00 W	14.06.2025 00:39	14.06.2025 00:39	02d 19h 56m	10d 08h 39m	19,0 kt	-	-	GPS
15	37° 44.205' N	122° 41.083' W	26,61 nm	116,1 °	4739,04 nm	08:00 W	14.06.2025 02:03	14.06.2025 02:03	00d 01h 24m	10d 10h 03m	19,0 kt	-	-	GPS
16	37° 45.915' N	122° 38.055' W	2,95 nm	054,6 °	4741,99 nm	08:00 W	14.06.2025 02:15	14.06.2025 02:15	00d 00h 11m	10d 10h 15m	15,0 kt	-	-	GPS
17	37° 47.420' N	122° 32.582' W	4,59 nm	070,9 °	4746,58 nm	08:00 W	14.06.2025 02:42	14.06.2025 02:42	00d 00h 27m	10d 10h 42m	10,0 kt	-	-	GPS
18	37° 49.085' N	122° 28.464' W	3,66 nm	063,0 °	4750,25 nm	08:00 W	14.06.2025 03:04	14.06.2025 03:04	00d 00h 21m	10d 11h 04m	10,0 kt	-	-	GPS
19	37° 49.235' N	122° 24.118' W	3,45 nm	087,5 °	4753,69 nm	08:00 W	14.06.2025 03:25	14.06.2025 03:25	00d 00h 20m	10d 11h 25m	10,0 kt	337	0,9	Alcatraz
20	37° 47.914' N	122° 22.159' W	2,04 nm	130,4 °	4755,73 nm	08:00 W	14.06.2025 03:45	14.06.2025 03:45	00d 00h 20m	10d 11h 45m	6,0 kt	-	-	GPS
21	37° 48.195' N	122° 21.121' W	0,87 nm	071,2 °	4756,60 nm	08:00 W	14.06.2025 03:54	14.06.2025 03:54	00d 00h 08m	10d 11h 54m	6,0 kt	-	-	GPS
22	37° 47.552' N	122° 18.325' W	2,31 nm	106,2 °	4758,91 nm	08:00 W	14.06.2025 04:17	14.06.2025 04:17	00d 00h 23m	10d 12h 17m	6,0 kt	-	-	GPS
23	37° 47.600' N	122° 16.776' W	1,23 nm	087,8 °	4760,14 nm	08:00 W	14.06.2025 04:29	14.06.2025 04:29	00d 00h 12m	10d 12h 29m	6,0 kt	43	1,3	Marine Terminal
24	37° 46.998' N	122° 15.382' W	1,26 nm	118,6 °	4761,39 nm	08:00 W	14.06.2025 04:42	14.06.2025 04:42	00d 00h 12m	10d 12h 42m	6,0 kt	28	1,3	Marine Terminal
25	37° 47.094' N	122° 15.296' W	0,12 nm	035,4 °	4761,51 nm	08:00 W	14.06.2025 04:43	XXXX	00d 00h 01m	10d 12h 43m	6,0 kt	354	0,2	Marine Terminal

Sea passage Nagoya PILOT to San Francisco PILOT : DISTANCE =
Pilotage

4743,0
18

TIME FOR SEA PASSAGE = 249 hrs

During pilotage a position on the chart every 6 min and before course alteration.
All depths less than 8 m are highlighted
Reporting Points and Notes are marked on the charts.

1. ALRS - NP 281(2), 283(2), 285, 286(5,6)
 2. NP 204, 350(3) - Tidal Tables,
 3. NP 85, 80 - Light List
 4. NP 42A, 42B, 62, 8 - Sailing Directions
- 4008-4053-4050-4510-4522-4805-4806-JP1055A-JP95-JP1053-JP1051-JP70-996-229-591-588-

Рисунок 2.3 – Маршрутный лист

2.3.3 Графічний план переходу

Результати навігаційного планування переходу оформляють у вигляді графічного плану переходу (рис.2.4). На графічному плані наноситься наступна інформація: курс судна (ортодромія чи локсодромія), назви портів відходу/заходу, основні течії, рози вітрів.

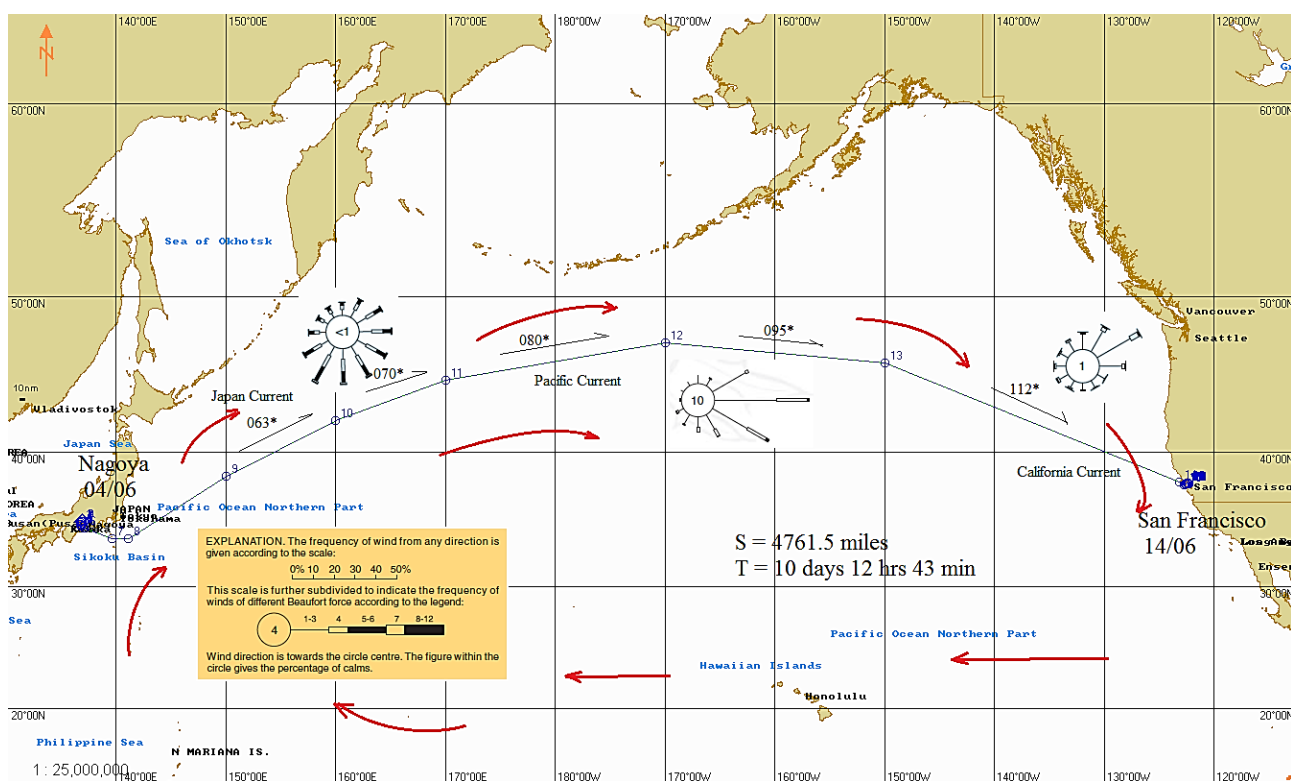


Рисунок 2.4 – Графічний план переходу

2.3.4 Розрахунок природної освітленості

Розрахунки освітленості виконують двома послідовними наближеннями:

– за широтою φ і датою запланованого плавання виберемо з Nautical Almanac без інтерполяції моменти місцевого середнього часу (LMT) сходу і заходу Сонця і Місяця.

– по довготі λ передбачуваного місця на полудень кожної доби переводять моменти в судновий час (ZT) та на кожний такий момент знаходять прокладенням наперед координати φ і λ місця судна.

Далі розраховуються по Nautical Almanac моменти (ZT) явищ, характеризуючих освітленість (користуючись для інтерполяції таблицями: "Conversion of ARC to Time" і "Tables for Interpolating Sunrise, Moonrise, etc"). Результати вносять в таблицю.

По широті місця судна φ і схиленню Сонця δ на моменти його сходу і заходу по формулі $\tan A$ розрахуємо азимути Сонця (Z) при сході і заході, які також внесемо до таблиці 2.12.

Для отримання місцевого часу явища (Correct LMT) треба у табличний час ввести дві поправки: $\text{Correct LMT} = \text{LMT for Lat} + \text{Lat correction} + \text{Long correction}$.

Місцевий час явища переводять у Грінвічний:

$$\text{GMT} = \text{Correct LMT} \pm \text{Longitude}.$$

Грінвічний час явища переводять в судновий:

$$\text{ZT} = \text{GMT} \pm \text{ZD}.$$

У таблиці 2.12 приведено елементи освітленості на початок, середину та кінець рейсу.

Таблиця 2.12 – Елементи освітленості

Date	Twilight	SUN				Twilight	MOON		
		Sunrise ZT	Z	Sunset ZT	Z		Moonrise ZT	Age	Moonset ZT
04.06	03.34	04.39	62	18.54	298	19.59	01.02	23	12.34
08.06	02.49	04.09	56	19.24	303	20.49	02.35	26	16.22
11.06	02.39	04.07	55	19.16	305	20.37	04.39	0	20.25
14/06	03.39	04.49	60	19.32	300	20.43	08.19	4	23.08

2.3.5 Розрахунок висот приливів та побудова графіків приливів

Таблиці припливів містять відомості про час настання і висотах повних і малих вод. Таким чином вибираємо з таблиць припливів для порту Нагоя і Сан Франциско часи настання і висоти вод. Для складання таблиці використовувалася програма TideCalc. Ці дані представлені в таблиці 2.13. А також представлені графіки припливів на рисунку 2.5-2.6.

Таблиця 2.13 - Припливи в портах Нагоя и Сан Франциска

Порт Нагоя	04/06/25		04/06/25		Порт Сан Франциско	14/06/25		14/06/25	
	HW		LW			HW		LW	
	T	h	T	h		T	h	T	H
	14:17	1,8	06:40	1,0		10:59	1,3	04:15	-0,1
	-	-	20:10	1,5		22:17	2,0	15:44	0,6

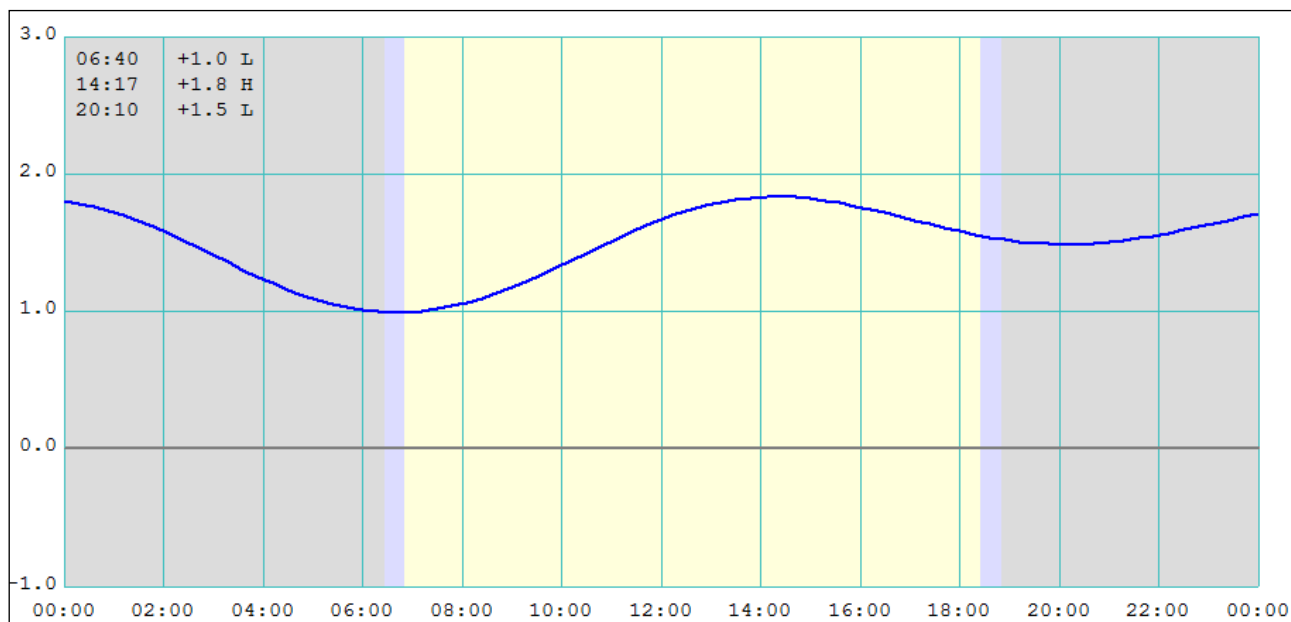


Рисунок 2.5 – Графік припливів у порту Нагоя

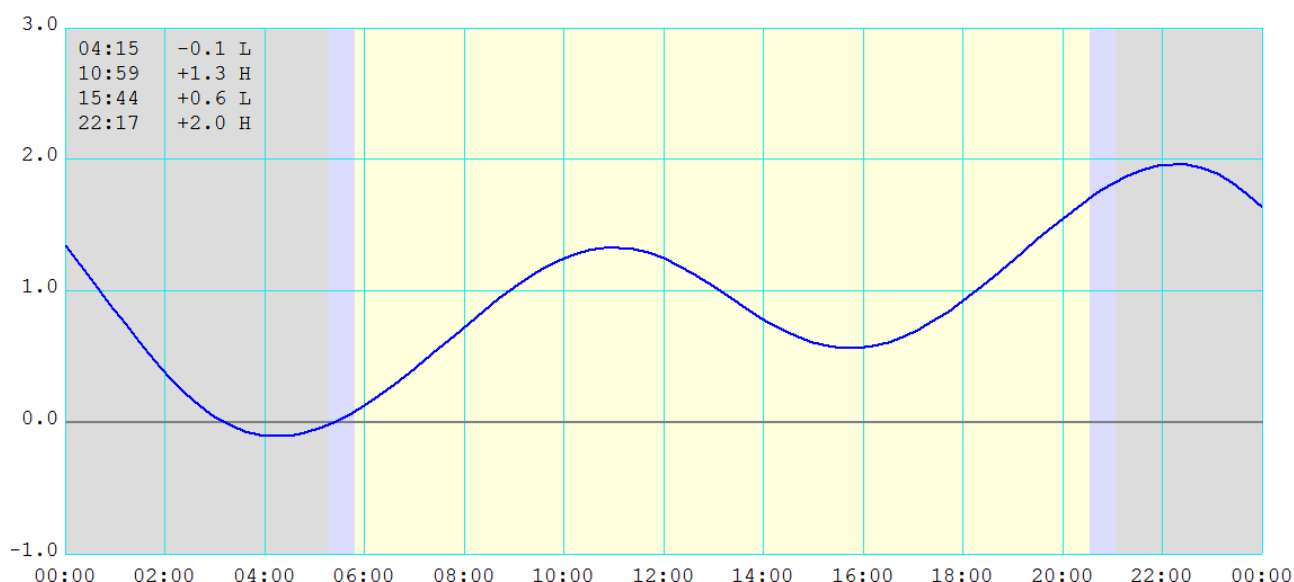


Рисунок 2.6 - Графік повної і малої води для порту Сан - Франциска

2.3.6 Контроль запасу води під кілем та вибір безпечної швидкості на мілководді

Плавання на мілководді є одним з найбільш складних умов, в яких виявляється судно в процесі експлуатації.

Складність ситуації полягає не тільки в тому, що малий запас води під кілем в даних умовах являє собою реальну навігаційну небезпеку, але і в тому, що поведінка судна на мілководді істотно відрізняється від поведінки на глибокій воді.

Мінімальна глибина, необхідна для безпечного плавання судна в метрах, розраховується за формулою

$$H_{\min} = d_k + UKC + \Delta d_b + Z ,$$

де d_k – осадка судна з урахуванням диференту на корму, вимірюється в метрах та визначається за формулою

$$d_k = d + \Delta d_k ,$$

UKC – запас води під кілем у залежності від водотоннажність, розмірів судна, швидкості його руху, розраховується за формулою

$$UKC = \frac{2V^2Cb}{100}.$$

$$UKC = 1 \text{ метр}$$

Збільшення осадки від хвилювання

$$\Delta d_b = 0.6h_b = 0,6 \text{ м.}$$

Збільшення диференту на корму на мілководді

$$\Delta d_k = \alpha_T k_L \theta_\psi V^2 = 0,3 \text{ метра}$$

$$H_{\min} = 0,3 + 1 + 0,6 + 1 = 2,9 \text{ метра}$$

Після розрахунків робимо висновки що для безпечного проходу малих глибин, ми повинні мати запас 2,9 метра.

2.4 Висновки

Перехід з порту Нагоя в порт Сан Франциска проходить уздовж східного узбережжя Японії далі по ДБК через північну частину Тихого океану потім уздовж західного узбережжя США.

У процесі опрацювання навігаційного переходу були обрані безпечні курси плавання відповідно до пори року. Загальна протяжність переходу склала 4761,51 милі; час виходу з порту Нагоя 04/06/25 о 09:00 за місцевим часом; час приходу в порт Сан Франциска 14/06/25 в 4:43. Тривалість переходу 10 днів 12 годин 43 хвилин.

При плаванні поблизу берегів найбільш точними способами визначення місця судна є визначення за допомогою РЛС, візуально, а так само комбінованим способом. Резервний спосіб обсервації - GPS і астрономічний.

Запропонований шлях судна є економічним і безпечним з точки зору навігації маршрутом для даного переходу.

РОЗДІЛ 3

ОБРОБКА І РОЗМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ

3.1 Транспортні характеристики вантажів

До перевезення приймаються легкові автомобілі.

Автомобілі - генеральний вантаж, перевозитися в самохідному стані або на спеціальних платформах. На спеціальних суднах (автовозах, поромах) при горизонтальному способі навантаження - перевозяться в самохідному стані, при вертикальному способі навантаження на інших суднах (перевезення на кришках трюмів) - перевозяться на спеціальних платформах, або без них, але вантажаться і розвантажуються краном. Оскільки в баках автомобілів знаходиться паливо, то після навантаження виконується відключення акумуляторної батареї автомобілів від їхньої бортової мережі. До перевезення допускаються тільки стандартні автомобілі (заводські моделі). З метою запобігання появи подряпин на лакофарбовому покритті, капот, багажник і дах автомобілів покривають захисною плівкою. Інформацію про кожен автомобіль (VIN-номер і т.д.) розміщають на наклейках на стеклі автомобіля. Як правило автоскладальні заводи виконують 99% зборку автомобілів, інші компоненти знаходяться усередині автомобіля вигляді частин (дзеркала, ковпаки, антени і т.д.).

Основні транспортні характеристики вантажів представимо в табличній формі.

При навантаженні виконувалися умови згідно Cargo Securing Manual по максимальних навантаженнях на палуби, рампи навантаження на кріпильний матеріал.

Підготовку судна до навантаження виконує палубна команда, що у процесі підготовки повинна встановити, відповідно до суднового керівництва по кріпленню, перевірити надійність люкових закриттів, працездатність систем

вентиляції й освітлення, позначити місця, які повинні мати вільний прохід для забезпечення доступу до пожежних постів і люків. Перевіряється також і справність засобів огороження рамп, трапів.

Вантаж на судні повинен бути розміщений виходячи з наступних умов: забезпечення необхідної остійності протягом усього рейсу; розподіл маси вантажу повинен задовольняти вимогам інформації про остійність, а також загальної й місцевої міцності судна, незміщуваності вантажу під впливом хитамиці й вібрації.

Враховувати сумісність вантажу немає необхідності.

Таблиця 3.1 – Транспортні характеристики вантажів

№ п/п	Найменування вантажу	Кількість, шт	Маса 1 місця вантажу, т	IMDG Code					Норми вантажних робіт, шт/годину	
				Номер ООН	Клас	Знак маркування	Категорія розміщення і обробки	Аварійні дії (АВК)	Вантаження	Вивантаження
1	Toyota ACA 38L–ANMXK	1355	1536	1203	3		Category E	F-E, S-E	60	60
2	Mitsubishi Outlander	885	1626							
3	GM GSUL	126	1740							

3.2 Підготовка вантажних приміщень до прийому вантажів та документальне оформлення морського перевезення

Всі вантажні пристрої судна повинні бути повністю підготовлені до приймання вантажу, обумовленого в договорі морського перевезення.

До заходу судна в порт навантаження, всі вантажні палуби повинні бути перевірені на наявність сторонніх предметів, які будуть заважати в ході

навантажувальних робіт. Всі кріпильні ремені, повинні бути не ушкодженими, вирівняними й бути розвішеними уздовж перегородок на відповідних місцях. Всі додаткові пристосування, такі як, гальмові колодки, дорожні конуси й знаки напрямку руху й зупинки, повинні бути на своїх місцях. Після проведення збирально-очисних робіт, варто зібрати всю воду з палуби, для проведення безпечного навантаження. Так як це судно є чистим автомобілевозом, то варто приділяти особливу увагу протипожежній системі, включаючи систему CO₂. Щомісяця всі вогнегасники, гідранти, шланги, що знаходяться на вантажних палубах, повинні ретельним образом перевірятися. Електромеханіком перевіряються димові й теплові сенсори системи пожежогасіння, так само він перевіряє все палубне освітлення. Перед заходом судна в порт навантаження, вантажні палуби повинні бути провентильовані, для запобігання появи конденсату на вантажних палубах.

До початку вантажних операцій факт готовності вантажних приміщень оформляють актом.

Перевізник відповідає за повну схоронність вантажу з моменту його прийому до перевезення й до видачі вантажоодержувачеві. Забезпечення правильної організації прийому-здачі вантажу і його схоронності в процесі морського перевезення є однією з найважливіших задач капітана, його помічників і всього екіпажу судна.

Особливо ретельно слід приймати вантажі на судно. При цьому суднова адміністрація має право вимагати від відправника вантажу й стивідора порту суворого виконання загальних і спеціальних правил і інструкцій, контролювати кількість і стан вантажу, організацію й технологію вантажних операцій.

Вантажі, яким потрібне упакування для запобігання від псування й ушкодження повинні пред'являтися відправником у міцній, стандартній і справній тарі, що забезпечує їх схоронність в умовах морського перевезення. Всі тарні вантажі повинні мати повне і ясне стандартне маркування із вказівкою в необхідних випадках місць застропки й попереджувальних знаків. У всіх

випадках, коли тара не відповідає наведеним вище вимогам, суднова адміністрація має право відбракувати відповідні вантажні місця, вимагати їх заміни або усунення відзначених недоліків.

Прийом і перевезення вантажів судном оформляється документами, які виконують певні функції протягом усього транспортного процесу або на окремих його етапах. Дані у вантажних документах необхідні для правильного складання каргоплану, своєчасної й схоронної доставки вантажів по призначенню. Крім того вони фіксують кількість і стан вантажів, прийнятих перевізником на свою відповідальність, а дати підписання цих документів визначають момент прийняття вантажів на борт судна й момент видачі вантажу одержувачеві.

Ордер на вантаж (shipping order) є найважливішим внутрішньотранспортним документом під час перевезення вантажів морем. Номер ордера на вантаж є чисельником знака транспортної марки (у знаменнику проставляється кількість місць у даній партії).

Ордер на вантаж складається портом у декількох екземплярах (для портів відправлення, одержання й судна).

Після того, як помічник капітана розписується на екземплярі ордера, що залишається в порту навантаження, підтверджуючи, що вантаж прийнятий на судно, цей екземпляр ордера на вантаж називається штурманською розпискою (mates receipt).

Коносамент є одним з найбільш важливих документів і є доказом прийняття перевізником позначеного в ньому вантажу. Він може замінити договір перевезення і є товаророзпорядчим документом.

Товаророзпорядча функція коносамента виражається в тім, що під час знаходження вантажу в процесі транспортування він у руках його власника як би персоніфікує собою вантаж. Власник коносамента є юридичним власником вантажу, що надає право його власникові робити з вантажем різні угоди.

Коносаменти бувають чистими, тобто без яких-небудь застережень, що ганьблять вантаж, про недоліки його зовнішнього вигляду й стану й дефектні, тобто які мають застереження.

Варто досить обережно підходити до рішення про видачу чистого коносамента замість дефектного під гарантійний лист, тому що важко передбачати ускладнення, які можуть виникнути в порту призначення при здачі дефектного вантажу. Якщо фрахтувальники протестують проти дефектного коносамента, капітан може відгородити себе, зробивши застереження: "signed under protest". Іноді доцільно вручити фрахтувальникові офіційний протест.

Коносамент виписується на кожну окрему партію вантажу, прийнятого на судно по одному дорученню.

Коносаменти представляються на підпис капітанові фрахтувальником. Необхідно простежити, щоб не було протиріч між чартером і коносаментом.

Фрахтувальники не вправі затримати подання коносаментів на підпис капітанові щоб уникнути простою судна.

Крім тієї або іншої кількості екземплярів оригіналу коносамента, у практиці виникає необхідність у виготовленні певного числа копій коносамента, призначених для комерційних служб, агентів у портах відправлення й приходу, митниці й т.д. На копіях коносамента обов'язково ставиться штамп: "Копія" (Copy) або "Не має торговельного значення" (Not negotiable).

Разом з вантажем ідуть товарні документи: сертифікати, якісні посвідчення, сортові свідоцтва, аналізи й т.д.

Приймально-здавальна відомість (маніфест) являє собою опис коносаментів або накладних.

Маніфест необхідний митниці для огляду вантажів. Він також служить документом, по якому в порту призначення вантажні документи передаються агентові або порту. У деяких випадках у маніфесті розписуються про прийом вантажів.

Маніфест складається із чотирьох розділів, розташованих з ліва на право в наступній послідовності.

- I. Загальні дані: номери коносаментів, номери ордерів на вантаж, найменування вантажу.
- II. Значиться по документах: кількість місць і вага.
- III. Виявилось при навантаженні: кількість місць і вага.
- IV. У дійсності виявилася: кількість місць і вага.

Маніфест складається в чотирьох екземплярах, які підписуються двічі: у порту відправлення по розділу III представником порту відправлення й вантажним помічником капітана судна; у порту призначення по розділу IV тими ж посадовими особами.

Маніфест у порту відправлення складається окремо на кожний порт призначення, для якого призначена хоча б одна партія вантажу.

Люкові записки складаються роздільно по кожному трюму й містять перелік всіх коносаментних партій, розташовуваних у даному відсіку в порядку черговості їхнього вивантаження.

3.3 Розрахунок чистої вантажопідйомності судна

Повна розрахункова водотоннажність судна Δ_p , що служить вихідною величиною при визначенні його чистої вантажопідйомності Δ_q на рейс, залежить від вантажних марок у портах навантаження і вивантаження і вантажних марок і обмежень осадки на трасі переходу.

Для визначення Δ_p необхідно по карті зон і сезонних районів визначити діючі вантажні марки відповідно до часу року.

Перехід Нагоя – Сан Франциско починається в зоні дії літньої вантажної марки і закінчується в зоні дії тропічної вантажної марки без обмежень по

осадці. За розрахункову водотоннажність приймаємо, встановлену для зони дії літньої вантажної марки.

Повна водотоннажність для літньої вантажної марки (з ТЕХ судна):

$$\Delta_p = 23037 \text{ т.}$$

Після знаходження розрахункової водотоннажності судна визначають повну вантажопідйомність (дедвейт) судна:

$$\Delta_w = \Delta_p - \Delta_0,$$

де Δ_0 - водотоннажність судна порожнього, т.

$$\Delta_w = 23037 - 11676 = 11361 \text{ т}$$

Ходовий час визначається за формулою:

$$t_p = S / (V_s \cdot 24) + t_{зп},$$

де V_s - швидкість судна;

S - довжина траси переходу, милі;

$t_{зп}$ - час затримок судна в дорозі, діб.

$$t_x = 4743 / (19,0 \cdot 24) + 0,2 = 10,6 \text{ діб.}$$

Нормативна тривалість стояночного часу розраховується за формулою:

$$t_{ст} = \frac{\sum Q_i}{M} + t_{доп},$$

де Q_i - маса вантажу одного найменування (кількість автомобілів), шт;

M - валова норма вантажних робіт, шт/год;

$t_{доп}$ - час на допоміжні операції в порту.

Норма вантажно-розвантажувальних робіт складає - 60 автомобілів на годину.

Час стоянки розраховується за формулою:

$$t_{ст} = \frac{Q_i}{24M}$$

$$t_{ст} = 2366 / (24 \cdot 60) + 0,15 = 1,8 \text{ доби}$$

Кількість вантажу, що може прийняти судно, залежить від величини запасів. Звичайно немає необхідності враховувати стояночні запаси, що витрачаються в порту навантаження, тому що до моменту закінчення навантаження стояночні запаси, передбачені на час навантаження будуть витрачені. Тому загальна кількість рейсових запасів $P_{\text{зап}}$ розраховується як сума ходових запасів $P_{\text{зап}}^x$ і необхідних для порту вивантаження стояночних запасів $P_{\text{зап}}^{\text{ст}}$:

$$P_{\text{зап}} = P_{\text{зап}}^x + P_{\text{зап}}^{\text{ст}};$$

Кількість ходових запасів складає суму:

$$P_{\text{зап}}^x = P_{\text{т}}^x + P_{\text{в}}^x + P_{\text{см}}^x;$$

де $P_{\text{т}}^x$, $P_{\text{в}}^x$, $P_{\text{см}}^x$ - відповідно кількість палива, води і мастила необхідна на перехід від порту навантаження до порту вивантаження з урахуванням коефіцієнта штурмового запасу $k_{\text{шт}}$ (за даними судновласника 10%).

$$P_{\text{т}}^x = q_{\text{т}}^x \cdot t_{\text{х}} \cdot k_{\text{шт}};$$

$$P_{\text{в}}^x = q_{\text{в}}^x \cdot t_{\text{х}} \cdot k_{\text{шт}};$$

$$P_{\text{см}}^x = q_{\text{м}}^x \cdot t_{\text{х}} \cdot k_{\text{шт}};$$

де $q_{\text{т}}^x$, $q_{\text{в}}^x$, $q_{\text{см}}^x$ - добова норма витрати палива, води і мастила на ходу судна відповідно, т/добу.

$$P_{\text{т}}^x = (40,5 + 3,5) \cdot 10,6 \cdot 1,1 = 513,0 \text{ т}$$

$$P_{\text{в}}^x = 5 \cdot 10,6 \cdot 1,1 = 58,3 \text{ т}$$

$$P_{\text{см}}^x = 0,3 \cdot 10,6 \cdot 1,1 = 3,5 \text{ т}$$

$$P_{\text{зап}}^x = 513,0 + 58,3 + 3,5 = 574,8 \text{ т}$$

Аналогічно знаходять кількість стояночних запасів:

$$P_{\text{зап}}^{\text{ст}} = P_{\text{т}}^{\text{ст}} + P_{\text{в}}^{\text{ст}} + P_{\text{см}}^{\text{ст}};$$

$$P_{\text{т}}^{\text{ст}} = q_{\text{т}}^{\text{ст}} \cdot t_{\text{ст}};$$

$$P_{\text{в}}^{\text{ст}} = q_{\text{в}}^{\text{ст}} \cdot t_{\text{ст}};$$

$$P_{\text{см}}^{\text{ст}} = q_{\text{м}}^{\text{ст}} \cdot t_{\text{ст}};$$

де $q_{\text{т}}^{\text{ст}}$, $q_{\text{в}}^{\text{ст}}$, $q_{\text{см}}^{\text{ст}}$ - добова норма витрати палива, води і мастила на стоянці судна відповідно, т/добу.

$$P_{\text{ст}_T}^{\text{ст}} = 3,5 \cdot 1,8 = 6,3 \text{ т}$$

$$P_{\text{ст}_B}^{\text{ст}} = 5 \cdot 1,8 = 9,0 \text{ т}$$

$$P_{\text{ст}_{\text{см}}}^{\text{ст}} = 0,05 \cdot 1,8 = 0,1 \text{ т}$$

$$P_{\text{зап}}^{\text{ст}} = 6,3 + 9,0 + 0,1 = 15,4 \text{ т}$$

$$P_{\text{зап}} = 331,1 + 15,4 = 346,5 \text{ т}$$

Оскільки рейс фактичний, то кількість запасів прийнятих на судно відрізняється від розрахованого.

Запаси палива, мастила і води прийняті трохи більше чим необхідно на рейс.

На відхід на судні було: важкого палива 809,8 т; дизельного палива 93,1 т; води 160 т; мастила 39,1 т; інших запасів 32,7 т.

Усього $P_{\text{зап}} = 1134,7 \text{ т}$

Із загальної дистанції шляху 230 миль судно знаходиться у зоні дії SECA, отже, головний двигун буде працювати на легкому палеві $230/(19 \cdot 24) = 0,5$ доби. Тоді за рейс буде витрачено моторного палива 409,0 т, дизельного палива 57,4 т, мастила 3,2 т, води 53 т.

Розрахувавши загальну кількість рейсових запасів, приступають до визначення чистої вантажопідйомності судна (Δ_q) на рейс:

$$\Delta_q = \Delta_W - (P_{\text{зап}} + \text{const});$$

де const – екіпаж, постачання та ін.

$$\Delta_q = 11361 - (1134,7 + 181) = 10045,3 \text{ т}$$

Значення чистої вантажопідйомності судна визначає максимальну кількість вантажу, що судно може прийняти до перевезення на даний рейс.

Оскільки для перевезення вантажу сепарація не потрібні, то розрахунок маси сепарації не виконується.

Для обов'язкових вантажів підраховується сумарна маса. Одержані дані для порту вантаження представляються в табличній формі (табл. 3.2).

Таблиця 3.2-Відомості про маси завантажених партій вантажу

Найменування вантажу	Кількість, шт	Маса вантажу Q_i , т
----------------------	---------------	------------------------

Toyota ACA 38L–ANMXK	1355	2081,28
Mitsubishi Outlander	885	1439,01
GM GSUL	126	219,24
Всього	2366	3739,53

3.4 Складання вантажного плану

Перевізник несе відповідальність за неправильне розміщення, кріплення і сепарацію вантажів на судні. Невірне або невдале розміщення вантажів, перевантаження окремих відсіків неминуче приводять до перенапружень корпусу, а в окремих випадках до пошкоджень і навіть аварії судна. Тому судно повинне бути завантажено так, щоб не з'явилося крену, були належний диферент і достатня остійність, не були порушені умови місцевої і загальної (подовжньої) міцності. Це досягається відповідним розподілом вагового навантаження по вантажних приміщеннях судна.

При перевезенні різнорідних вантажів в практиці використовується принцип розподілу вагового навантаження по довжині судна пропорційна кубатурі вантажних приміщень (для суден ро-ро площі палуб або довжині проїздів) за допомогою коефіцієнта порівняння вантажомісткості кожного вантажного приміщення

Комплектація вантажів по суднових приміщеннях супроводжується багатоваріантністю рішень і враховує всі фактори раціонального завантаження, збереження вантажу, безпеки судна з урахуванням виконання різних факторів.

Розміщення вантажу представлено в табл.3.3.

Таблиця 3.3- Розміщення вантажів на судні

Найменування вантажних палуб	Вантаж	Кількість	Маса, т
1	GM GSUL	126	219,24
2	Mitsubishi Outlander	138	224,388
3	Mitsubishi Outlander	217	352,842
4	Mitsubishi Outlander	228	370,728
5	Mitsubishi Outlander	302	491,052

6	Toyota ACA 38L– ANMXK	280	430,08
7	Toyota ACA 38L– ANMXK	264	405,504
8	Toyota ACA 38L– ANMXK	364	559,104
9	Toyota ACA 38L– ANMXK	290	445,44
10	Toyota ACA 38L– ANMXK	157	241,152
ВСЬОГО		2366	3739,53

3.5 Характеристика експлуатаційних умов рейсу

При складанні вантажного плану необхідно в комплексі враховувати характеристики судна, вантажів, траси і портів заходу.

Гідрометеорологічні умови плавання і характеристика портів заходу в частині яка відноситься до вантажних операцій представлені в главі 2.

Порт відходу: Нагоя (Японія). Густина води $\rho = 1,021 \text{ т/м}^3$.

В порту Нагоя діє літня вантажна марка.

Нагоя знаходиться в центрі Хонсю на північній береговій лінії затоки Ісе, приблизно в 350 км WSW від Токіо.

Різноманітні верфі та майстерні доступні для інженерних робіт та всіх видів ремонту. В порту є док довжиною 810 м.

Прісну воду можна отримати на багатьох причалах (за винятком причалів № 72-75) та також рейді.

Бункеровка: Усі типи бункерів можуть поставлятися за допомогою барж.

Державні свята: 1 січня, другий понеділок січня, 11 лютого, 21 березня, 29 квітня, 3-5 травня, 20 липня, 15 вересня та 23 вересня, 2 понеділок жовтня, 3 та 23 листопада, 23 грудня. Порт відкритий протягом 24 годин 364 дні.

Час роботи: як правило, денна зміна 08.30-16.30 годин, нічна зміна 16.30-21.30 годин. Залежно від обставин можлива робота після 21.30 годин.

Порт приходу: Сан- Франциска (США) Густина води $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$.

В порту Сан- Франциска діє тропічна вантажна марка.

Ремонт: Доступний.

Прісна вода: Є в наявності.

Бункеровка: Усі сорти паливно-мастильних матеріалів доступні у багатьох нафтових компаній.

Державні свята: 1 січня, День інавгурації 20 січня, День Мартіна Лютера Кінга-молодшого 3 пн в січні, День президентів / Вашингтон День народження 3 пн в лютому, день пам'яті Останній пн у травні, День прапора 14 червня, День Незалежності 4 липня, День праці 1-й понеділок вересня, День Колумба 2 пн в жовтні, День Ветеранів 11 листопада, День подяки Четвертий четвер в листопаді. Різдво 25 грудня.

Робочий час: Протягом 24 годин у 3 зміни.

Відстань між портами: $S = 4743,0$ милі

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ СУДНА

4.1 Розрахунок водотоннажності й координат центра ваги судна

Абсциси відраховуються від мідель-шпангоуту і мають знак в кормовій частині “–”, а в носовій частині “+”. Диферент на корму має знак “–”, а на ніс “+”.

Розподіл запасів на судні на відхід і прихід представлений в табл.4.1 і табл.4.2

Таблиця 4.1- Розподіл запасів на відхід

Найменування цистерн	Місткі-	Маса	Плечі, м	Моменти, тм
----------------------	---------	------	----------	-------------

	сть, т	т	х	z	M _x	M _z
1	2	3	4	5	6	7
Моторне паливо (0,990 т/м ³)						
NO.1 DEEP F.O.TK.(C)	372,8	80,0	53,316	4,950	4265	396
NO.2 F.O.TK.(P)	177,3	120,0	34,154	2,748	4098	330
NO.2 F.O.TK.(S)	177,3	120,0	34,154	2,748	4098	330
NO.4 F.O.TK.(P)	273,6	200,0	-15,390	2,750	-3078	550
NO.4 F.O.TK.(S)	273,6	200,0	-15,390	2,750	-3078	550
NO.1 H. F.O. SETT. TK.(P)	23,9	23,5	-42,600	10,450	-1001	246
NO.2 H. F.O. SETT. TK.(P)	23,9	23,5	-42,600	10,450	-1001	246
NO.1 H. F.O. SERV. TK.(P)	21,9	21,4	-42,667	10,643	-913	228
NO.2 H. F.O. SERV. TK.(P)	21,9	21,4	-42,667	10,643	-913	228
Всього моторного палива		809,8			2477	3104
Дизельне паливо (0,900 т/м ³)						
M.D.O. TK.(P)	32,2	30	-46,311	1,110	-1389	33
M.D.O. TK.(S)	48,6	45,0	-46,021	1,123	-2071	51
M.D.O. SERV. TK.(P)	18,3	18,1	-42,598	10,468	-771	189
Всього дизельного палива		93,1			-4231	273
Масило (0,900 т/м ³)						
MAIN L.O.SUMP. TK.	15,0	6,5	-52,229	0,999	-339	6

Продовження табл.4.1

1	2	3	4	5	6	7
G.E. L.O. SETT. TK.(S)	3,9	1,7	-67,000	11,15	-114	19
G.E. L.O. STOR. TK.(S)	3,9	1,8	-67,000	11,15	-121	20
M.L.O. SETT.TK.(S)	15,4	7,2	-68,200	11,15	-491	80
M.L.O. STOR.TK.(S)	15,4	5,4	-69,800	11,15	-377	60
S/T L.O. SUMP. TK.	1,3	0,6	-62,577	1,431	-38	1
NO.1 CYL.O.STOR. TK.(S)	10,4	6,8	-41,000	8,900	-279	61
NO.2 CYL.O.STOR. TK.(S)	16,6	9,1	-41,000	10,55	-373	96
Всього мастила		39,1			-2132	343
Прісна вода (1,000 т/м ³)						
F.W.TK.(P)	104,2	70,0	-73,828	12,456	-5168	872
F.W.TK.(S)	68,2	60,0	-72,000	12,453	-4320	747
DRINK.W.TK. (P)	32,1	30,0	-72,000	12,450	-2160	374
Всього води		160,0			-11648	1993
Інші танки						
F.O.JVER.TK.(P)	16,4	7,9	-41,345	1,112	-327	9
B.H.TK.	33,1	17,8	-64,671	0,972	-1151	17
OILY BILGE TK.	6,5	3,1	-54,553	1,223	-169	4
SLUDGE TK.(P)	8,3	3,9	-48,600	7,500	-190	29
Всього		32,7			-1837	59
ВСЬОГО ЗАПАСІВ:		1134,7	-15,31	5,09	-17371	5772

Таблиця 4.2.- Розподіл запасів на прихід

Найменування цистерн	Місткість, т	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
			x	z	M _x	M _z
1	2	3	4	5	6	7
Моторне паливо (0,990 т/м ³)						
NO.2 F.O.TK.(P)	177,3	70,0	34,154	2,748	2391	192
NO.2 F.O.TK.(S)	177,3	70,0	34,154	2,748	2391	192
NO.4 F.O.TK.(P)	273,6	85,5	-15,390	2,750	-1316	235
NO.4 F.O.TK.(S)	273,6	85,5	-15,390	2,750	-1316	235
NO.1 H. F.O. SETT. TK.(P)	23,9	23,5	-42,600	10,450	-1001	246
NO.2 H. F.O. SETT. TK.(P)	23,9	23,5	-42,600	10,450	-1001	246

NO.1 H. F.O. SERV. TK.(P)	21,9	21,4	-42,667	10,643	-913	228
---------------------------	------	------	---------	--------	------	-----

Продовження табл.4.2

1	2	3	4	5	6	7
NO.2 H. F.O. SERV. TK.(P)	21,9	21,4	-42,667	10,643	-913	228
Всього моторного палива		400,8			-1678	1802
Дизельне паливо (0,900 т/м ³)						
M.D.O. TK.(P)	32,2	10	-46,311	1,110	-463	11
M.D.O. TK.(S)	48,6	7,6	-46,021	1,123	-350	9
M.D.O. SERV. TK.(P)	18,3	18,1	-42,598	10,468	-771	189
Всього дизельного палива		35,7			-1584	209
Мастило (0,900 т/м ³)						
MAIN L.O.SUMP. TK.	15,0	6,3	-52,229	0,999	-329	6
G.E. L.O. SETT. TK.(S)	3,9	1,7	-67,000	11,15	-114	19
G.E. L.O. STOR. TK.(S)	3,9	1,8	-67,000	11,15	-121	20
M.L.O. SETT.TK.(S)	15,4	6,5	-68,200	11,15	-443	72
M.L.O. STOR.TK.(S)	15,4	5,4	-69,800	11,15	-377	60
S/T L.O. SUMP. TK.	1,3	0,6	-62,577	1,431	-38	1
NO.1 CYL.O.STOR. TK.(S)	10,4	5,5	-41,000	8,900	-226	49
NO.2 CYL.O.STOR. TK.(S)	16,6	8,1	-41,000	10,55	-332	85
Всього мастила		35,9			-2069	329
Прісна вода (1,000 т/м ³)						
F.W.TK.(P)	104,2	45,0	-73,828	12,456	-3322	561
F.W.TK.(S)	68,2	42,0	-72,000	12,453	-3024	523
DRINK.W.TK. (P)	32,1	20,0	-72,000	12,450	-1440	249
Всього води		107,0			-7786	1333
Інші танки						
F.O.JVER.TK.(P)	16,4	7,9	-41,345	1,112	-327	9
B.H.TK.	33,1	17,8	-64,671	0,972	-1151	17
OILY BILGE TK.	6,5	3,1	-54,553	1,223	-169	4
SLUDGE TK.(P)	8,3	3,9	-48,600	7,500	-190	29
Всього		32,7			-1837	59
ВСЬОГО ЗАПАСІВ:		612,1	-24,29	6,07	-14865	3715

Для забезпечення остійності, необхідно прийняти баласт, приведемо таблицю його розміщення.

Таблиця 4.3.– Розподіл баласту

Найменування цистерн	Місткість, т	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
			x	z	M _x	M _z
NO.2 D.B.W.B. TK.(P)	356,3	356,3	34,305	1,613	12223	575
NO.2 D.B.W.B. TK.(S)	356,3	356,3	34,305	1,613	12223	575
NO.2 S.W.B. TK.(P)	321,8	321,8	35,606	6,013	11458	1935
NO.2 S.W.B. TK.(S)	311,1	311,1	35,434	5,992	11024	1864
NO.3 INN.D.B.W.B. TK.(P)	341,9	341,9	10,026	1,095	3428	374
NO.3 INN.D.B.W.B. TK.(S)	341,9	341,9	10,026	1,095	3428	374
NO.3 S.W.B. TK.(P)	241,7	241,7	11,543	5,819	2790	1406
NO.3 S.W.B. TK.(S)	243,3	241,3	11,978	5,83	2890	1407
NO.3 OUT.D.B.W.B. TK.(P)	294,6	294,6	9,533	2,265	2808	667
NO.3 OUT.D.B.W.B. TK.(S)	303,9	303,9	9,533	2,265	2897	688
NO.4 INN.D.B.W.B. TK.(P)	347,2	347,2	-15,387	1,097	-5342	381
NO.4 INN.D.B.W.B. TK.(S)	347,2	347,2	-15,387	1,097	-5342	381
NO.4 S.W.B. TK.(P)	222,0	222,0	-14,942	5,718	-3317	1269
NO.4 S.W.B. TK.(S)	229,7	229,7	-15,118	5,737	-3473	1318
NO.4 OUT.D.B.W.B. TK.(P)	350,5	350,5	-13,771	2,219	-4827	778
NO.4 OUT.D.B.W.B. TK.(S)	350,5	350,5	-13,771	2,219	-4827	778
NO.5 D.B.W.B. TK.(P)	248,3	248,3	-33,943	1,736	-8428	431
NO.5 D.B.W.B. TK.(S)	248,3	248,3	-33,943	1,736	-8428	431
NO.5 S.W.B. TK.(P)	204,7	84	-34,734	5,971	-2918	502
ВСЬОГО БАЛЛАСТА:		5540,5	3,30	2,91	18291	16145

Розподіл вантажів представлений у табл.4.4.

Таблиця 4.4 – Розподіл вантажів

Найменування приміщення	Площа прим.,м ²	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
			x	z	M _x	M _z
1	2	3	4	5	6	7
Палуба 1	1715	219,24	-7,66	4,10	-1679	899
Палуба 2	1661	224,388	-4,52	6,30	-1014	1414
Палуба 3	2258	352,842	9,65	8,50	3405	2999

Палуба 4	2490	370,728	15,85	11,10	5876	4115
Палуба 5	3564	491,052	-2,70	14,60	-1326	7169

Продовження табл.4.4

1	2	3	4	5	6	7
Палуба 6	3710	430,08	-1,85	17,65	-796	7591
Палуба 7	3659	405,504	2,75	20,66	1115	8378
Палуба 8	4199	559,104	3,40	23,86	1901	13340
Палуба 9	4196	445,44	2,56	26,47	1140	11791
Палуба 10	4208	241,152	2,40	28,87	579	6962
ВСЬОГО ВАНТАЖУ:		3739,53	2,46	17,29	9201	64658

На основі виконаних розподілів вантажу, баласту і запасів складемо таблицю зведених даних і розрахунку водотоннажності з указівкою координат центру ваги судна.

Таблиця 4.5 – Зведені дані і розрахунок водотоннажності на відхід

Найменування статей навантаження	На відхід				
	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
		х	z	М _х	М _z
Судно порожнє	11676	-8,04	15,76	-93875	184014
Константа	181	-26,15	10,50	-4733	1901
Суднові запаси	1134,7	-15,31	5,09	-17371	5772
Вантаж	3739,53	2,46	17,29	9201	64658
Баласт	5540,5	3,30	2,91	18291	16145
ВСЬОГО ВОДОТОННАЖНІСТЬ:	22271,7	-3,97	12,23	-88487	272490

Таблиця 4.6 – Зведені дані і розрахунок водотоннажності на прихід

Найменування статей навантаження	На прихід				
	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
		х	z	М _х	М _z
Судно порожнє	11676	-8,04	15,76	-93875	184014
Константа	181	-26,15	10,50	-4733	1901
Суднові запаси	612,1	-24,29	6,07	-14865	3715
Вантаж	3739,53	2,46	17,29	9201	64658
Баласт	5540,5	3,30	2,91	18291	16145

ВСЬОГО ВОДОТОННАЖНІСТЬ:	22126,8	-4,05	12,28	-89699	271687
-------------------------	---------	-------	-------	--------	--------

Схематично вантажний план представлений на рис.4.1.

4.2 Розрахунки посадки і початкової остійності

Розрахунок посадки судна на відхід на прихід виконується з використанням вантажної шкали і гідростатичних кривих.

Таблиця 4.7 – Розрахунки посадки судна на відхід і на прихід

Найменування величин	Позначення і формули	Значення величин	
		відхід	прихід
Водотоннажність масова, т	D	22271,7	21749,1
Абсциса центра ваги судна, м	x_g	-3,97	-3,95
Водотоннажність об'ємна, м ³	$V = D / \rho$	21814	21219
Густина забортної води, т/м ³	ρ	1,021	1,025
Осадка судна, м	T	8,53	8,37
Момент диферентуючий на 1 см, тм/см	M_{cm}	347,3	335,6
Абсциса центра величини судна, м	x_c	-3,45	-3,24
Абсциса Ц.В. площі ватерлінії, м	x_f	-11,74	-11,25
Апліката поперечного метацентра, м	z_m	14,00	14,00
Коефіцієнт загальної повноти	δ	0,577	0,573
Диферент судна, м	$d = D(x_g - x_c) / (100M_{cm})$	-0,33	-0,46
Осадка судна носом, м	$T_H = T + (L/2 - x_f) d / L$	8,34	8,11
Осадка судна кормою, м	$T_K = T_H - d$	8,67	8,57

Для виконання розрахунків та контролю остійності судна необхідно визначити поправки на вплив вільної поверхні рідких вантажів (запасів і баласту) до метацентричної висоти і плечам статичної остійності. При визначенні виправлення на вільні поверхні в розрахунок приймаються цистерни запасів з найбільшим виправленням Δm_h незалежно від ступеня їхнього заповнення.

Поправочні моменти Δm_h вибираються з таблиці даних по суднових цистернах, що приводиться в Інформації.

STOWAGE PLAN

DEPARTURE

POL:

POD:

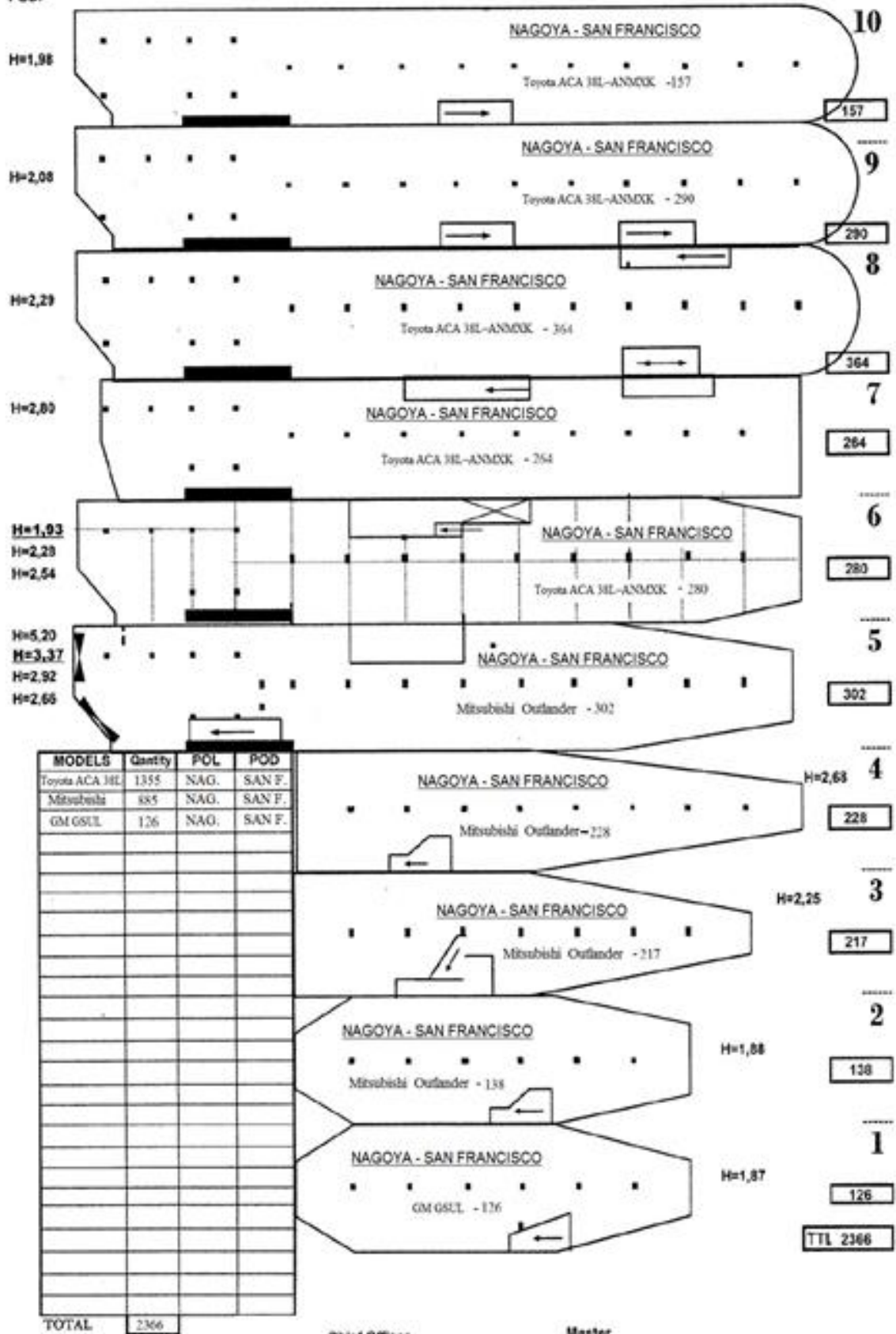


Рисунок. 4.1 – Вантажний план судна

Таблиця 4.8 – Виправлення на вплив вільної поверхні рідких вантажів

Найменування цистерн	Δm_h , тм
NO.1 DEEP F.O.TK.(C)	109
NO.2 F.O.TK.(P)	292
NO.2 F.O.TK.(S)	292
NO.4 F.O.TK.(P)	853
NO.4 F.O.TK.(S)	853
M.D.O. TK.(P)	40
M.D.O. TK.(S)	75
F.W.TK.(P)	165
F.W.TK.(S)	119
NO.5 S.W.B. TK.(P)	139
Сума: $\Sigma \Delta m_h$	2937

Розрахунок параметрів початкової остійності виконаний у табл.4.9.

Таблиця 4.8 – Розрахунок параметрів початкової остійності

Найменування величин	Позначення і формули	Значення величин	
		відхід	прихід
Водотоннажність масова, т	D	22271,7	21749,1
Невиправлена апліката центра ваги судна, м	z_{g0}	12,23	12,43
Апліката поперечного метацентра, м	z_m	14,00	14,00
Невиправлена метацентрична висота, м	$h_0 = z_m - z_{g0}$	1,77	1,57
Виправлення на вільні поверхні, м	$\Delta h = \Sigma \Delta m_h / D$	0,13	0,14
Виправлена апліката центра ваги судна, м	$z_g = z_{g0} + \Delta h$	12,36	12,57
Виправлена метацентрична висота, м	$h = h_0 - \Delta h$	1,64	1,43

4.3 Контроль остійності за матеріалами Інформації

Перевірку остійності за матеріалами Інформації виконаємо по критичній аплікаті центра ваги судна

Таблиця 4.10 – Перевірка остійності по критичній аплікаті центра ваги судна

Найменування величин	Позначення і формули	Значення величин	
		відхід	прихід
Водотоннажність масова, т	D	22271,7	21749,1
Виправлена апліката Ц.В. судна, м	z_g	12,36	12,57
Максимальна гранична апліката Ц.В., м	$z_g^{\max}$	13,48	13,49

Так як $Z_g < Z_g^{\max}$, то остійність задовольняє всім вимогам.

4.4. Розрахунок і побудова діаграм остійності

Плечі статичної остійності розраховані з використанням таблиці плечей остійності форми (Cross-Curves of Stability).

Плечі остійності форми l_ϕ вибираються по осадці для тих кутів крену, які приведені в таблиці. Ці плечі відлічуються від точки К, що відповідає кільовій лінії, то плечі остійності ваги необхідно розраховувати по формулі:

$$l_g = z_g \sin \theta,$$

а виправлені на вплив вільних поверхонь плечі статичної остійності будуть рівні:

$$l = l_\phi - l_g.$$

Розрахунок плечей діаграми статичної остійності виконується в табличній формі. У таблиці також представлений розрахунок площ під діаграмою статичної остійності до 30° , до 40° і від 30° до 40° з використанням коефіцієнтів Сімпсона.

Таблиця 4.11 – Розрахунок плечей статичної остійності на відхід

Водотоннажність D, т							22271,73	
Апліката центра ваги судна z_{g0} , м							12,23	
Апліката умовного центра мас z_m , м (полюс – точка «O»)							0,00	
Виправлена апліката центра ваги судна, $z_g = z_{g0} + \Delta h$, м							12,36	
$\Delta\theta = 0,1745 \approx 10^\circ/57,3$								
Кут крену θ°	Плече форми, l_ϕ , м	$\sin \theta^\circ$	$z_g \cdot \sin \theta^\circ$	Плече статичної остійності $l = l_\phi - z_g \cdot \sin \theta^\circ$, м	Множник	Добуток	Множник	Добуток
0	0,00	0,000	0,000	0,000	1	0,000	1	0,000
10	2,419	0,174	2,151	0,268	4	1,072	3	0,804
20	4,758	0,342	4,227	0,531	2	1,062	3	1,593
30	7,029	0,500	6,180	0,849	4	3,396	1	0,849
40	9,143	0,643	7,947	1,196	1	1,196	$\sum_{30}$	3,246
50	11,158	0,766	9,468	1,690	$\sum_{40}$	6,726	$a_{0-30} = 3 \times 0,1745 \times 3,246/8 = 0,212$	
60	13,302	0,866	10,704	2,598	$a_{0-40} = 0,1745 \times 6,726/3 = 0,391$			
70	15,845	0,940	11,618	4,227	$a_{30-40} = 0,391 - 0,212 = 0,179$			

Таблиця 4.12 – Розрахунок плечей статичної остійності на прихід

Водотоннажність D, т							21749,13	
Апліката центра ваги судна z_{g0} , м							12,43	
Апліката умовного центра мас z_m , м (полюс – точка «O»)							0,00	
Виправлена апліката центра ваги судна, $z_g = z_{g0} + \Delta h$, м							12,57	
$\Delta\theta = 0,1745 \approx 10^\circ/57,3$								
Кут крену θ°	Плече форми, l_ϕ , м	$\sin \theta^\circ$	$z_g \cdot \sin \theta^\circ$	Плече статичної остійності $l = l_\phi - z_g \cdot \sin \theta^\circ$, м	Множник	Добуток	Множник	Добуток
0	0,00	0,000	0,000	0,000	1	0,000	1	0,000
10	2,419	0,174	2,187	0,232	4	0,928	3	0,696
20	4,761	0,342	4,299	0,462	2	0,924	3	1,386
30	7,028	0,500	6,285	0,743	4	2,972	1	0,743
40	9,123	0,643	8,083	1,040	1	1,040	$\sum_{30}$	2,825
50	11,127	0,766	9,629	1,498	$\sum_{40}$	5,864	$a_{0-30} = 3 \times 0,1745 \times 2,825/8 = 0,185$	
60	13,256	0,866	10,886	2,370	$a_{0-40} = 0,1745 \times 5,864/3 = 0,341$			
70	15,780	0,940	11,816	3,964				

					$a_{30-40} = 0,341 - 0,185 = 0,156$
--	--	--	--	--	-------------------------------------

За результатами розрахунків будуюмо діаграми остійності на відхід (рис.4.2) і на прихід (рис.4.3).

4.5 Розрахунки нормованих параметрів остійності

Рекомендовані критерії остійності неушкоджених суден Міжнародною Морською Організацією (IMO) містяться в Adoption of the International Code on Intact Stability, 2008 (2008 IS Code), Resolution MSC.267(85).

Розрахунок нормованих параметрів остійності виконаний у табл. 4.13.

Таблиця 4.13 - Розрахунок нормованих параметрів остійності

Найменування величин	Позначення і формули	Значення величин	
		відхід	прихід
1	2	3	4
Водотоннажність масова, т	D	22271,7	21749,1
Осадка судна, м	T	8,53	8,37
Виправлена метацентрична висота, м	h	1,64	1,43
Площа парусності, м ²	A _v	3876	3902
Апліката центра парусності (ЦП), м	z	11,80	11,88
Плече парусності при постійному вітрі, м	$z_v = z + T/2$	16,07	16,07
Плече кренувального моменту від тиску вітру, м	$l_{w1} = 0,504 A_v z_v / (g D)$	0,144	0,148
Кренувальне плече від пориву вітру, м	$l_{w2} = 1,5 l_{w1}$	0,216	0,222
Відносна площа скулових кілей, %	$100 A_k / (L B)$	0,625	
Коефіцієнт	k	0,988	
Відносна ширина	B/T	3,28	3,35
Безрозмірний множник	X ₁	0,844	0,830
Коефіцієнт загальної повноти	δ	0,577	0,573
Безрозмірний множник	X ₂	0,922	0,918
Інерційний коефіцієнт	$c = 0,373 + 0,023B/T - 0,043L/100$	0,381	0,382
Період хитавиці, с	$T_0 = 2 c B / \sqrt{h}$	16,7	17,9

Коефіцієнт	S	0,0419	0,0383
Коефіцієнт	$r = 0,73 + 0,6 (z_g - T) / T$	0,996	1,031

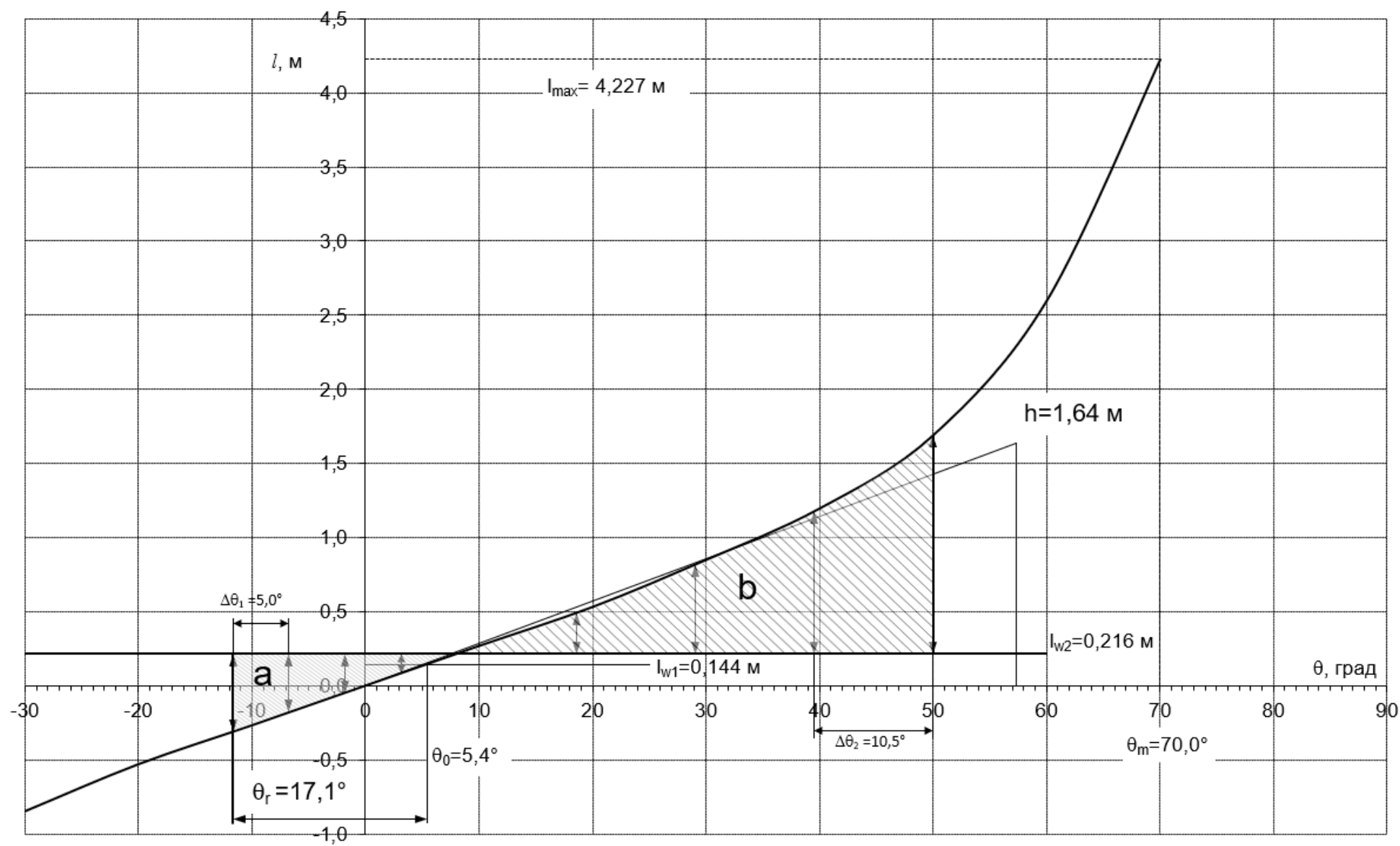


Рисунок 4.3 - Діаграма статичної остійності на відхід і визначення критерію погоди

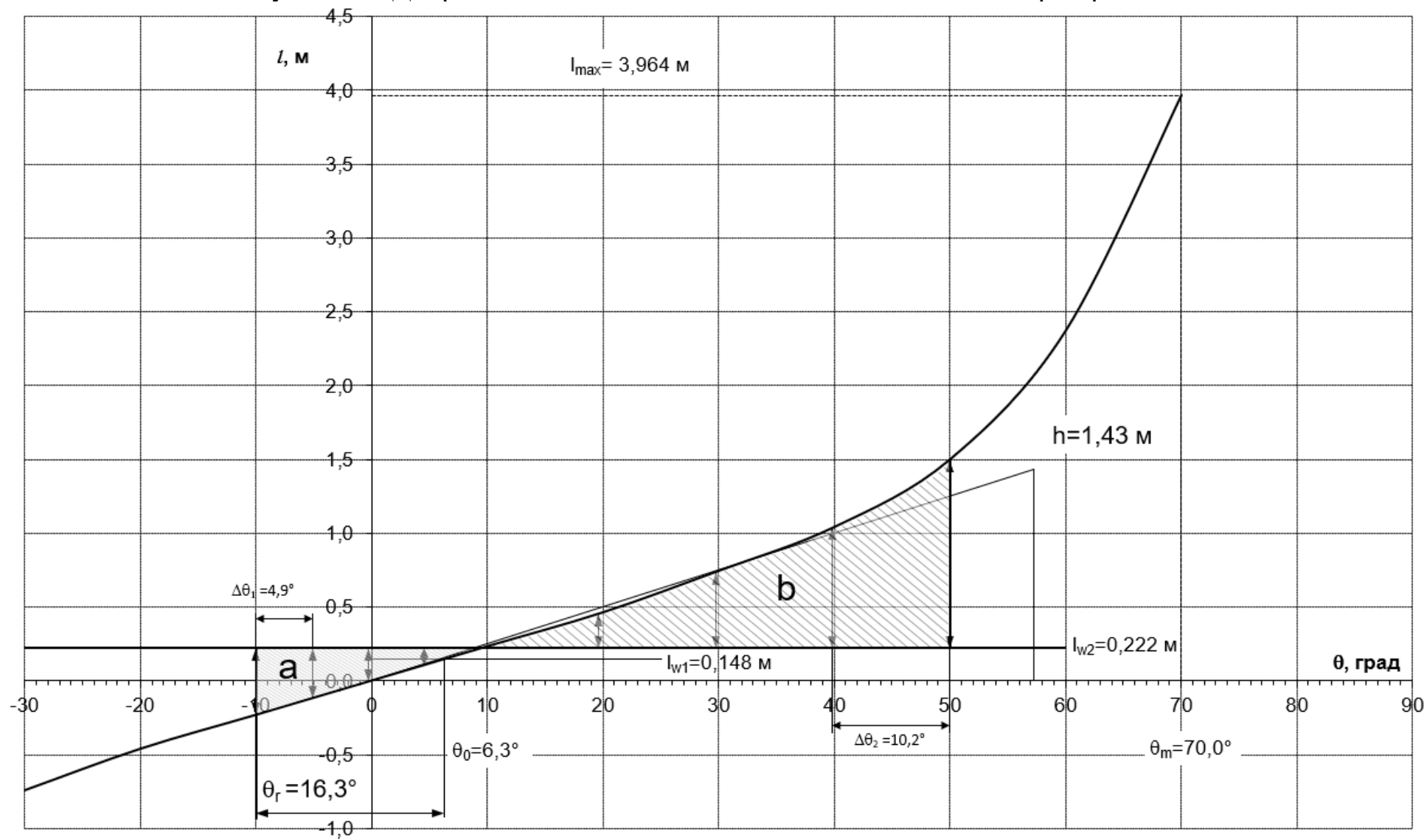


Рисунок 4.4 - Діаграма статичної остійності на прихід і визначення критерію погоди

Продовження табл.4.13

1	2	3	4
Амплітуда хитавиці, °	$\theta_r = 109 \text{ k } X_1 X_2 \sqrt{rS}$	17,1	16,3
Кут заливання, °	θ_f	>60	>60
Кут входу палуби у воду, °	$\theta_d = \arctg(2(H - T) / B)$	57,6	57,8
Кут крену від постійного вітру, °	θ_0	5,4	6,3
Кут крену при хитавиці назустріч вітру, °	$\theta_1 = \theta_r - \theta_0$	11,7	10,0
Границя площ.“b” діаграми праворуч, °	θ_b	50	50
Площа “a” діаграми, м-рад	a	0,091	0,078
Площа “b” діаграми, м-рад	b	0,464	0,382
Критерій погоди	$K = b / a$	0,091	0,078

Для визначення критерію погоди на діаграмах статичної остійності необхідно побудувати площі “a” і “b”.

Для розрахунку величини площ “a” і “b” використаємо правило Сімпсона. Для цього площі “a” і “b” діляться на чотири ділянки однакової довжини по куту крену. Розрахунок площ виконується в табличній формі аналогічно розрахунку площі a_{0-40} . При цьому, замість множника 0,1745, приймаємо довжини ділянок $\Delta\theta_1$ і $\Delta\theta_2$ у радіанах.

Таблиця 4.14 – Визначення площ “a” і “b” на відхід за правилом Сімпсона

$\Delta\theta_1 = (\theta_1 + 1,5\theta_0)/4 = (11,7 + 1,5 \cdot 5,4)/4 = 4,95^\circ$			$\Delta\theta_1^{\text{рад}} = 4,95^\circ/57,3 = 0,0864 \text{ рад}$		
$\Delta\theta_2 = (\theta_b - 1,5\theta_0)/4 = (50 - 1,5 \cdot 5,4)/4 = 10,48^\circ$			$\Delta\theta_2^{\text{рад}} = 10,48^\circ/57,3 = 0,1828 \text{ рад}$		
a_i	k_i	$a_i \cdot k_i$	b_i	k_i	$b_i \cdot k_i$
$a_1 = 0,528$	1	0,528	$b_1 = 0$	1	0
$a_2 = 0,396$	4	1,584	$b_2 = 0,276$	4	1,104
$a_3 = 0,264$	2	0,528	$b_3 = 0,600$	2	1,200
$a_4 = 0,130$	4	0,520	$b_4 = 0,960$	4	3,840
$a_5 = 0$	1	0	$b_5 = 1,474$	1	1,474
		$\Sigma a = 3,160$			$\Sigma b = 7,618$
$a = \frac{1}{3} \Sigma a \cdot \Delta\theta_1^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 3,160 \times 0,0864 = 0,091$			$b = \frac{1}{3} \Sigma b \cdot \Delta\theta_2^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 7,618 \times 0,1828 = 0,464$		

Таблиця 4.15 – Визначення площ “a” і “b” на прихід за правилом Сімпсона

$\Delta\theta_1 = (\theta_1 + 1,5\theta_0)/4 = (10,0 + 1,5 \cdot 6,3)/4 = 4,88^\circ$			$\Delta\theta_1^{\text{рад}} = 4,88^\circ/57,3 = 0,0851 \text{ рад}$		
$\Delta\theta_2 = (\theta_b - 1,5\theta_0)/4 = (50 - 1,5 \cdot 6,3)/4 = 10,15^\circ$			$\Delta\theta_2^{\text{рад}} = 10,15^\circ/57,3 = 0,1771 \text{ рад}$		
a_i	k_i	$a_i \cdot k_i$	b_i	k_i	$b_i \cdot k_i$
$a_1 = 0,454$	1	0,454	$b_1 = 0$	1	0
$a_2 = 0,342$	4	1,368	$b_2 = 0,228$	4	0,912
$a_3 = 0,227$	2	0,454	$b_3 = 0,513$	2	1,026
$a_4 = 0,116$	4	0,464	$b_4 = 0,813$	4	3,252
$a_5 = 0$	1	0	$b_5 = 1,276$	1	1,276
		$\Sigma_a = 2,740$			$\Sigma_b = 6,466$
$a = \frac{1}{3} \Sigma_a \cdot \Delta\theta_1^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 2,740 \times 0,0851 = 0,078$			$b = \frac{1}{3} \Sigma_b \cdot \Delta\theta_2^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 6,466 \times 0,1771 = 0,382$		

4.6 Перевірка виконання рекомендованих ІМО критеріїв остійності

Виконаємо перевірку остійності за вимогами ІМО порівнюючи розраховані значення с нормативними.

Таблиця 4.16 – Перевірка виконання рекомендацій ІМО

Найменування величин	Позна-чення	Значення величин			Викон. (YES/ NO)
		норма-тивні	відхід	прихід	
Загальні критерії:					
Площа під ДСО до кута крену 30 ⁰ , м·рад	A ₃₀	≥ 0,055	0,212	0,185	YES
Площа під ДСО до кута крену 40 ⁰ , м·рад	A ₄₀	≥ 0,09	0,391	0,341	YES
Площа під ДСО між 30 ° і 40 °, м рад	A ₃₀₋₄₀	≥ 0,03	0,179	0,156	YES
Плече ДСО при куті крену 30° або більше, м	l ₃₀	≥ 0,20	0,849	0,743	YES
Кут крену, що відповідає максимуму ДСО, °	θ _m	≥ 25	70,0	70,0	YES
Виправлена метацентрична висота, м	h	> 0,15	1,64	1,43	YES
Критерій погоди	K	≥ 1	5,10	4,90	YES
Кут крену від постійного вітру, °	θ ₀	≤ 16,0	5,4	6,3	YES

На відхід і на прихід остійність судна задовольняє усім вимогам ІМО.

4.7 Перевірка загальної подовжньої міцності корпусу

Загальна міцність контролюється по силах, що перерізають, і згинальним моментам у декількох поперечних перерізах по довжині корпусу.

Для кожного з обраних перерізів необхідно по прийнятому вантажному плану розрахувати силу, що перерізує, і згинальний момент і порівняти їх із припустимими значеннями.

Розрахунок міцності виконаємо використовуючи схвалену класифікаційним товариством програму «Autload 6.0».

Результати розрахунку по судновій програмі перерізуючої сили, SF і згинального моменту BM на відхід судна представлені в табл.4.17.

Таблиця 4.17 – Перевірка подовжньої міцності на відхід

Переріз	X, м	SF, т	SFsea, %	Доп.SF, т	BM, тм	BMsea,%	Доп.BM,тм
1	2	3	4	5	6	7	8
12	-70,60	1184	42,27	2800	7488	42,79	17500
31	-55,40	1816	64,85	2800	31992	63,98	50000
50	-40,20	1634	56,36	2900	59452	69,94	85000
53	-37,80	1525	56,47	2700	63248	68,01	93000
65	-28,20	1085	40,18	2700	75871	68,97	110000
84	-13,00	304	11,24	2700	86316	68,50	126000
97	-2,60	-229	13,47	-1700	86757	67,78	128000
102	1,40	-493	18,27	-2700	85231	67,11	127000
120	15,80	-1100	40,75	-2700	73560	63,97	115000
129	23,00	-1348	49,94	-2700	64739	58,85	110000
138	30,20	-1532	56,76	-2700	54273	54,27	100000
156	44,60	-1596	59,09	-2700	31316	44,74	70000
161	48,60	-1551	57,46	-2700	25035	41,73	60000
173	58,20	-1069	39,59	-2700	12409	35,45	35000
190	71,80	-482	17,87	-2700	2366	23,66	10000

Максимальна перерізувача сила 1816 т на 31 шпангоуті.

Максимальний згинальний момент 86757 тм на 97 шпангоуті.

На рис.4.4. представлена епюра міцності на відхід.

За результатами розрахунків, які приведені, у таблицях і на графіку можна зробити висновок, що протягом усього рейсу загальна поздовжня міцність забезпечена.

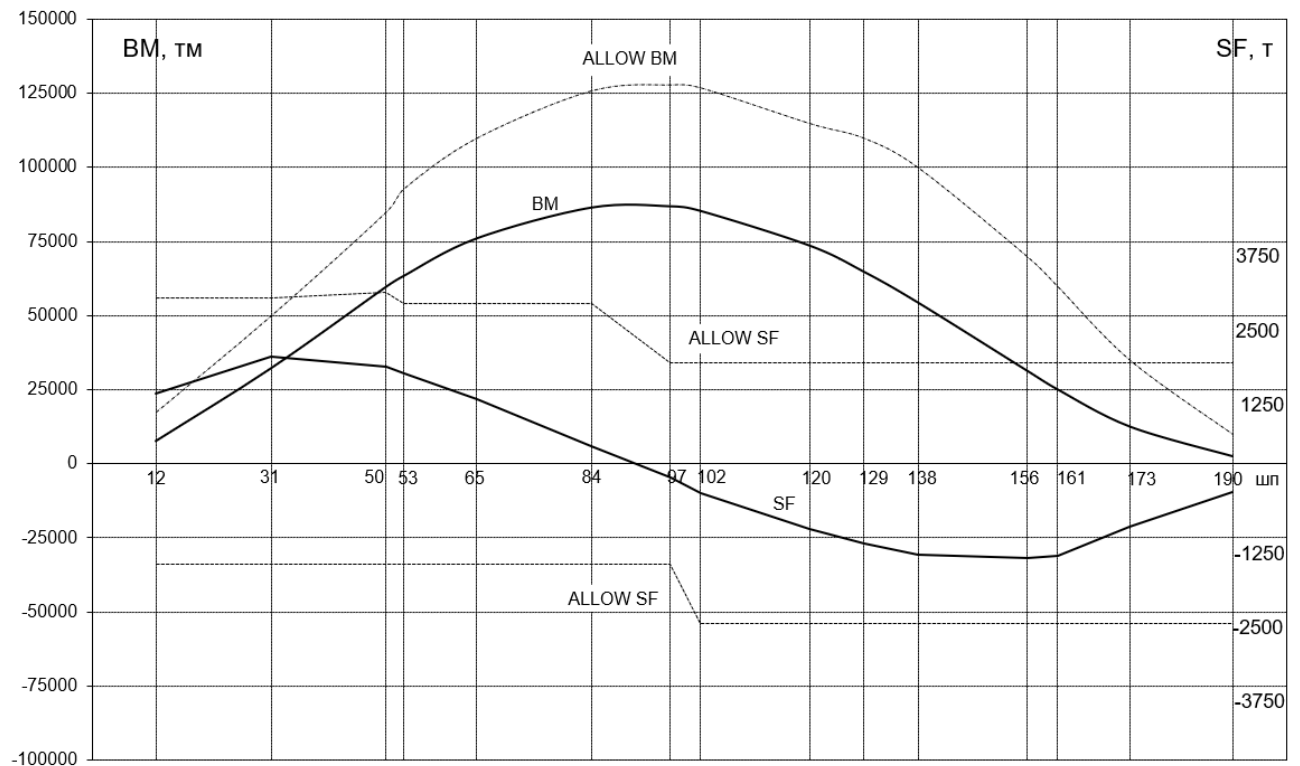


Рисунок 4.4 - Епюра перерізувачих сил і згинальних моментів на відхід

РОЗДІЛ 5

ВПРОВАДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОНОМНИХ БУКСИРІВ В ПОТАХ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОЇ ТА БЕЗПЕЧНОЇ ШВАРТОВКИ СУДЕН

Вступ

З розвитком таких технологій, як моніторинг у реальному часі, супутниковий зв'язок і автоматична навігація, автоматизація роботи суден стає все більш поширеною в усьому світі. Численні країни інвестують у дослідження та розробки для розвитку технології автономної навігації [25]. Незважаючи на цей прогрес, не вистачає комплексних досліджень і розробок у сфері швартування кількох безпілотних суден, що створює ряд проблем, включаючи зіткнення з портовими спорудами та іншими кораблями, посадку на рифи та непередбачуваний вплив раптових екологічних збурень. Крім того, більшим торговим суднам не вистачає керованості в ситуаціях причалу на низькій швидкості, що ускладнює причалювання [26]. Швартування суден – це складне завдання, яке включає різні складнощі, такі як зміни динамічних характеристик під час входу у вузькі канали чи жваві порти. Через характеристики приводу великим торговельним підприємствам часто не вистачає необхідної керованості для переміщення у вузьких просторах. Як наслідок, для контролю положення цих суден часто використовують буксири, а також ґрунтові платформи та баржі. Перевага буксирів полягає в тому, що вони можуть легко штовхати та тягнути великі судна на воді. Вони можуть ефективно маневрувати у вузьких просторах, що робить їх безцінним активом для швартових операцій [27]. Згідно з нещодавнім дослідженням, ринок буксирів різко зріс через кілька факторів, таких як збільшення морської торгівлі та розміру флоту, будівництво та розширення портів, і очікується, що він зросте на 14,28% CAGR з 2022 по 2027 рік (рис. 5.1). Крім того, розмір ринку очікується на рівні 2 720 779 млн дол. США [28]. Використання буксирів для швартовки суден стало стандартною практикою. Однак поточний метод швартовки за допомогою буксира вимагає

відповідальності від лоцмана, який сідає на борт судна та вказує курс і швидкість судна з урахуванням погоди, припливу та рифів, таким чином керуючи буксиром. Це ручне керування буксирами потребує великих людських витрат і часу.

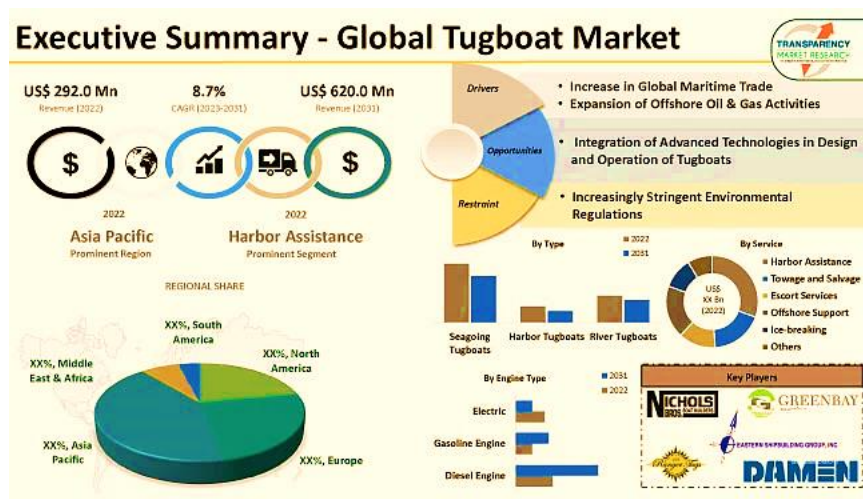


Рисунок 5.1 – Прогнозування зростання ринку буксирів на 2027 рік

Крім того, проблеми зв'язку між буксирами повинні бути пов'язані з судновою технологією, експлуатаційні витрати та людські помилки зменшуються, а зв'язок з іншими суднами можна полегшити за допомогою різних бездротових технологій, таких як супутники, мобільні мережі та спеціальні вузькосмугові системи. Це може компенсувати економічні проблеми, проблеми безпеки та комунікації [39–31]. Крім того, на відміну від існуючих кораблів, автономні буксири можуть підвищити ефективність шляхом мінімізації потужності та збільшення маневреності шляхом застосування вдосконалених алгоритмів розподілу тяги, таких як RPI (перерозподілений псевдоінверсний) алгоритм [26]. Тому існує потреба в автоматизованій системі для причалу суден, яка могла б зменшити участь людини та підвищити ефективність, одночасно вирішуючи проблеми зв'язку та контролю під час швартовки [27].

Потреба в автономних буксирних технологіях для причалу суден стає все більш важливою через різноманітні проблеми, пов'язані з процесом. Щоб втілити цю технологію, кілька можливостей, таких як когнітивна технологія для

розпізнавання та інтеграції навколишньої ситуації, розподіл завдань у групі, підтримка формування, технологія прийняття рішень для планування маршрутів, технологія моделювання для врахування динаміки багатьох тіл судна та точне керування техніка для групи буксирів для причалу, мають важливе значення (рис. 5.2). Впровадження цих технологій в автономні буксири зменшить людські витрати та час, а також підвищить безпеку, ефективність і точність стоянки суден.



Рисунок 5.2 – Система моніторингу сучасних суден

У цій дипломній роботі розглядаються тенденції досліджень у розпізнаванні, судженні, моделюванні та технологіях контролю для швартовки суден з використанням автономної буксири з початку 2010-х до останніх років.

5.1 Поточні розробки технології безпілотного/автономного буксирування

Зараз у різних країнах реалізуються численні проекти, спрямовані на створення автономної швартовки суден за допомогою буксирів. Ці проекти

вивчають різні сценарії експлуатації, враховуючи технологію, задіяну в розпізнаванні, судженні, моделюванні та контролі автономних буксирів. Крім того, дослідницькі зусилля зосереджені на розробці технологій конкретних елементів, які забезпечать безпечну та ефективну посадку судна навіть за відсутності людини-оператора на буксирі. Таким чином, сфера автономної стоянки суден швидко розвивається, і очікується, що подальший прогрес у розвитку цих технологій матиме значні наслідки для морської галузі в найближчі роки.

Рис. 5.3 ілюструє глобальні зусилля, які докладаються для автоматизації процесу швартування за допомогою автономних/дистанційних буксирів. Багато країн представили концептуальні моделі автономних буксирів і досягли повного дистанційного керування та інтелектуальних буксирів. Автоматизацію буксирів можна класифікувати на кілька рівнів залежно від ступеня їхньої автономності. Ці рівні забезпечують стандартизовану основу для розробки та оцінки автономних буксирів. Перший рівень включає автоматизований процес і підтримку прийняття рішень, другий і третій рівні дозволяють дистанційне керування з або без члена екіпажу на борту, а четвертий рівень представляє повністю автономні буксири, здатні приймати рішення та вживати дій самостійно. Нині в різних країнах ведуться науково-дослідні та дослідно-конструкторські проекти, спрямовані на досягнення різного рівня автоматизації у сфері буксирних операцій [8].

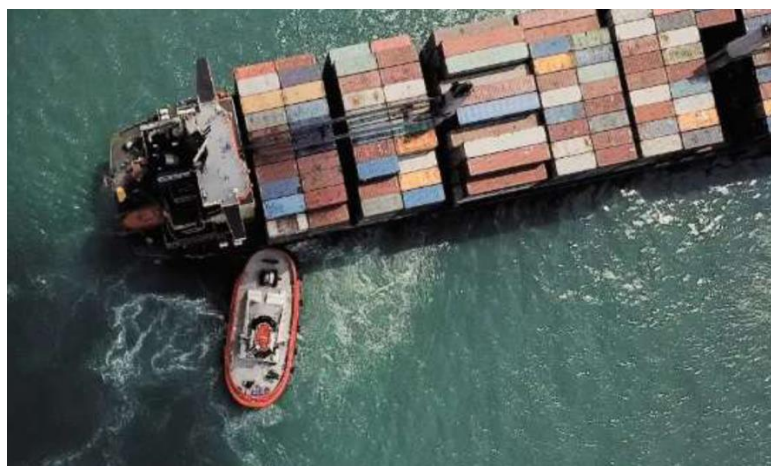


Рисунок 5.3 – Процес причалювання корабля за допомогою Intellitug, розробленого Wartsil

У листопаді 2017 року датська судноплавна компанія Maersk Line співпрацювала з Rolls-Royce, щоб досягти важливої віхи в морській галузі. Перший у світі дистанційний буксир під назвою «Svitzer Hermod» був дистанційно керований у гавані Копенгагена [33]. Під час навігаційних випробувань судно дистанційно керувалося Центром дистанційного керування (ROC), розташованим на причалі. Корабель успішно пройшов уздовж пірсу, став на якор у цільовій точці та повернувся на 360 градусів, перш ніж безпечно повернутися до пірсу та причалити, як показано на рис. 5.4.

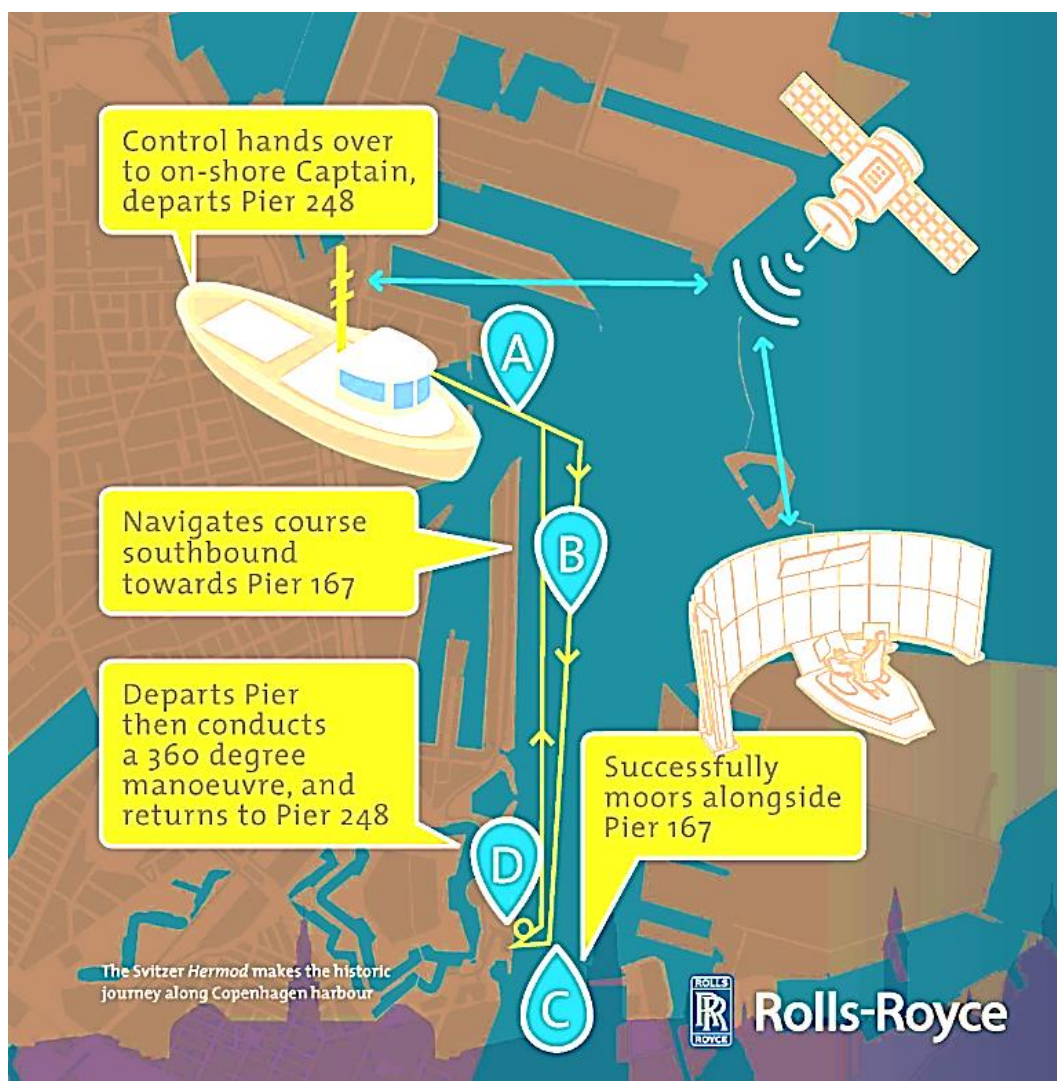


Рисунок 5.4 – Опис сценарію пілотних випробувань буксира «Svitzer Hermod»

Система дистанційного керування стала можливою завдяки системі динамічного позиціонування (DPS), яка є ядра системи та ROC, як показано на рис. 5.4 та рис. 5.5. Варто зазначити, що хоча операція була успішною, завдяки наявності екіпажу на борту, це не була повністю безпілотна операція [34].



Рисунок 5.5 – Буксир «Svitzer Hermod» (ліворуч) і дистанційний центр управління (ROC) (праворуч), що використовуються в проєкті

Maersk Line та її дочірня компанія Svitzer у співпраці з Kongsberg та Американським бюро судноплавства (ABS) спільно розробили RECOTUG, який є першим у світі повністю дистанційним буксиром. Цей прорив призвів до значного збільшення досліджень у цій галузі [35, 36]. Дистанційно керуючи буксиром, можна значно знизити ризики для життя людей, пов'язані з буксируванням, а також підвищити ефективність і надійність роботи буксира. Проєкт ABB/KEPPEL є ще одним прикладом успішного дистанційного пілотного проєкту. Сінгапурська компанія KeppelO&M (Keppel Offshore & Marine) і ABB (Asea Brown Boveri) спільно вперше в Південній Азії дистанційно керували буксиром за допомогою джойстика, що було здійснено в Сінгапурі. Цифрове рішення ABB Ability™ Marine Pilot Vision, показане на рис. 5.6, було використано для забезпечення об'єднання датчиків у бортовій системі, що покращило цифрову обізнаність про ситуацію.



Рисунок 5.6 – Цифрові рішення ABB Ability™ Marine Pilot Vision

Крім того, система ABB Ability™ Marine Pilot Control, показана на рис. 5.7, була використана для досягнення дистанційного керування шляхом виконання інтелектуальних команд запуску та керування. Оскільки щорічно через порт Сінгапуру проходить понад 130 000 суден, він є одним із найбільших, де складні автономні операційні середовища портів у всьому світі. Як наслідок, цей тест є значним кроком до демонстрації безпеки та ефективності використання цифрових рішень, які вже доступні для буксирування суден [37].



Рисунок 5.7 - Система ABB Ability™ Marine Pilot Control

У 2015 році Роберт Аллан зі Сполучених Штатів представив концептуальну модель автономного буксира, яка передбачає встановлення буксирного тросу між базовим кораблем і буксиром, як показано на рис. 5.8. Згодом у співпраці з Управлінням порту Абу-Дабі (ADP) Об'єднаних Арабських Еміратів (ОАЕ) тривають зусилля щодо розробки першого в світі безпілотного

комерційного буксира з дистанційним керуванням, який може працювати в широкому діапазоні. Очікується, що розробка такого автономного буксира забезпечить значні переваги, такі як підвищення безпеки, ефективності та економічності буксирних операцій у регіоні.



Рисунок 5.8 – Автономний буксир, розроблений Робертом Алланом

Проект IntelliTug — це масштабна співпраця між PSA (Адміністрація порту Сінгапуру) Marine, Wartsila, Lloyd's Register і TCOMS (Технологічний центр морського та морського Сінгапуру), спрямована на розробку автономної навігаційної системи для буксирів. У проекті використовується буксир PSA Polaris, оснащений низкою датчиків, включаючи радар ближнього радіусу дії з високою роздільною здатністю та систему динамічного позиціонування (DP), як показано на рис. 5.9. Комбінація цих датчиків дозволяє побудувати інтелектуальну навігаційну систему, яка може визначати оптимальний маршрут руху буксира й уникати різноманітних перешкод, у тому числі й рухомих суден [33]. Це дає можливість побудувати оптимальний маршрут, уникаючи різноманітних перешкод, у тому числі й від рухомих суден.



Рисунок 5.9 – Набір сенсорів проєкту IntelliTug

Крім того, функція Virtual Anchoring, показана на рис 5.10, є інноваційною функцією, яка має на меті забезпечити автономне виконання щоденних завдань розумним буксиром. Ця технологія може звільнити капітана від тягаря виконання маневрів у режимі очікування вручну, тим самим дозволяючи їм та екіпажу зосередитися на інших критичних завданнях. Використання таких інтелектуальних систем може значно підвищити експлуатаційну ефективність та безпеку, одночасно зменшуючи робоче навантаження та втому екіпажу [33].

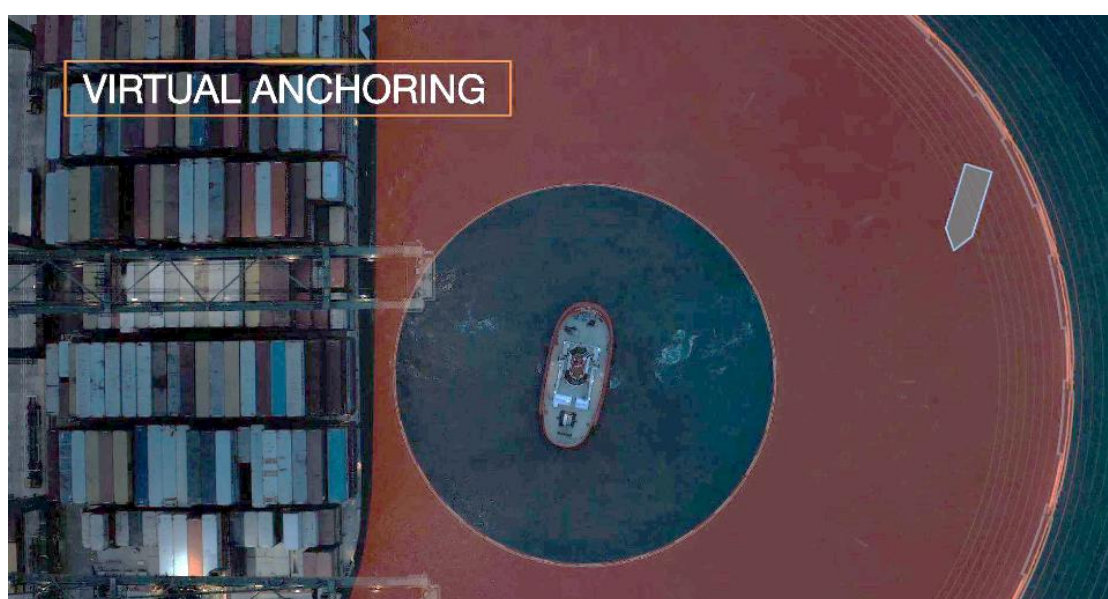


Рисунок 5.10 – Функція Virtual Anchoring проєкту IntelliTug

У таблиці 5.1 наведено порівняння передових проектів буксирів, згаданих вище. Як правило, ці проекти зосереджені на розробці систем дистанційного керування та інтелектуальних буксирів із цільовим рівнем автоматизації приблизно від 2 до 3. На сьогоднішній день не було проектів, які намагалися пришвартувати судно з використанням повністю автономних або дистанційно керованих буксирів. Досягнення повністю автономної стадії буксира вимагає розробки технологій, які можуть впоратися зі складними ситуаціями, такими як розподіл сил управління та компенсація за порушення навколишнього середовища та ефекти взаємодії між буксирами [32]. Крім того, дуже важливо розробити технології, які можуть керувати групою буксирів і керувати ними, так званий ройовий контроль.

Таблиця 5.1 - Проект розвитку технології автономного/віддаленого буксира

Проект	Зміст	Компанія-учасник	Автономний рівень
Svitzer Hermod (2017)	перша в світі успішна дистанційна експлуатація буксира «Svitzer Hermod» у Копенгагені	Maersk Line, RollsRoyce	Level 2
RECOTUG (2021)	оголошено про спільну розробку RECOTUG, буксира, розробленого на основі проекту та здатного повністю дистанційно керувати	Maersk Line, Svitzer,Kongsberg, ABS:American Bureau of Shipping	Aim for Level 3

Продовження табл. 5.1

ABB/KEPPEL (2021)	перше успішне дистанційне керування буксиром у Південній Азії в порту Сінгапуру	Keppel Marine, ABB	Level 2
InteliTug (2019)	у порту Сінгапуру тривають випробування, спрямовані на реалізацію автономних інтелектуальних буксирів, що виконують різноманітні рутинні завдання	PSA Marine, Wartsila,Lloyd's Register,TCOMS (TechnologyCenter for Offshore &Marine Singapore)	-
Robert Allan (2015)	представлення концептуальної моделі автономного буксира з урахуванням буксирного канату між судном і буксиром	Robert Allan	-
Robert Allan/ADP(2020)	мета розробки першого в світі безпілотного комерційного буксира з дистанційним керуванням, здатного працювати в широкому діапазоні	Robert Allan, AbuDhabi Port Authority(ADP)	Aim for Level 3

5.2 Технології автономного буксира

Щоб досягти автономної швартовки за допомогою буксирів, необхідний ряд технологій, включаючи технологію сприйняття, яка дозволяє кожному буксиру розпізнавати та розуміти навколишню ситуацію, розподіл різних завдань у групі, підтримку формування, технологію прийняття рішень для планування шляху, технологія моделювання, що враховує динаміку багатьох тіл, як-от судна та буксири, і технологія точного керування групами буксирів під час швартовки. У цьому розділі розглядаються поточні тенденції розвитку та необхідність кожної технології, розділяючись на технології розпізнавання, сприйняття, прийняття рішень, моделювання та керування для причалу суден, які використовують автономні буксири.

5.2.1. Технологія сприйняття

Під час швартовки великого судна з використанням кількох буксирів можуть виникнути обмеження видимості та зв'язку. Наприклад, коли буксир знаходиться поблизу великого судна, він може заважати огляду для екіпажу, а якщо буксир знаходиться в сліпій зоні через зону тіні, створювану великим судном, може бути важко побачити потенційні небезпеки або перешкоди. Крім того, такі фактори, як фоновий шум і збій обладнання, можуть обмежувати зв'язок, ускладнюючи передачу важливої інформації, такої як зміна швидкості чи напрямку. Ці проблеми видимості та комунікації підкреслюють потребу в автономних буксирах, обладнаних когнітивними технологіями. По-перше, можна отримати точну інформацію про місцезнаходження між причалом, судном і кожним буксиром завдяки сенсорній інформації, такій як камера, LiDAR і радар, а також розвитку складної навігаційної технології. Крім того, у міру розвитку технології злиття датчиків і технології штучного інтелекту, навіть якщо один із датчиків виходить з ладу або виникає тінь, точну інформацію можна розпізнати шляхом інтеграції та конвергенції інформації з інформацією датчика, що залишилася. У роботі [38] був запропонований алгоритм, який поєднує

інформацію GPS і інформацію про вимірювану відстань між вузлами для визначення відносного розташування. Так само використовували INS (Інерціальну навігаційну систему), GPS (Глобальну систему позиціонування) і NHC (Неголономне обмеження) для отримання точної інформації про місцезнаходження [39]. Хоча ці дослідження не були спеціально розроблені для морської області, їхній підхід можна застосувати до середовища причалу, щоб визначати точне положення за допомогою відносної та абсолютної інформації про положення шляхом розробки складної навігаційної системи. У роботі [40] відстань між судном і пірсом була точно розрахована за допомогою вимірної різниці фаз низькочастотного сигналу та попередньо визначеної відстані між зчитувачем і транспондером кожної антени. У статті [41], коли судно причалило, стан руху самого судна було оцінено на основі 3D LiDAR, а потім оцінено швидкість і положення судна. Крім того, GPS-координати берегової лінії порту були перетворені в базову систему координат судна для розрахунку відстані між судном і цільовим причалом, поперечної швидкості, поздовжньої швидкості та швидкості повороту [42]; щоб вирішити проблему оцінки положення в режимі реального часу під час швартування судна, процес руху судна відстежувався в режимі реального часу відповідно до SLAM (Simulation Localization and Mapping) монокулярної камери. Обидва ці дослідження пропонують метод розпізнавання, заснований на алгоритмі виділення ознак і відповідності на основі алгоритму SLAM.

Крім того, з точки зору технології сприйняття останнім часом активно проводяться дослідження з використанням технології ШІ. Застосовуючи технологію штучного інтелекту, вона може мати переваги в ціні та продуктивності порівняно з існуючими датчиками, а також має перевагу в подальшому покращенні ситуаційної обізнаності з точки зору об'єднання датчиків. У наведеній нижче інформації представлено технології сприйняття, які застосовувалися за допомогою штучного інтелекту в дослідженнях протягом останніх трьох років. Автор у статті [43] запропонував нову систему моніторингу

на основі штучного інтелекту для стоянки суден (AVMS), як показано на рис. 5.11. Точна оцінка відносної відстані між причальною стіною та судном необхідна для кріплення судна, але широко використовувана система допомоги при стоянці (BAS) є дорогим і має обмеження залежно від розміру судна. Сенсорний модуль AVMS складається з недорогої камери, приймача DGPS (системи диференційного глобального позиціонування) та інерціального вимірювального блоку (IMU), і його продуктивність порівнювали з існуючим BAS. AVMS показав високу ефективність у поганих погодних умовах порівняно з існуючим BAS на основі лазерного датчика відстані, і його можна застосовувати безпосередньо в порту, надаючи інформацію про зображення суден, що наближаються до причальної стінки, в реальному часі.

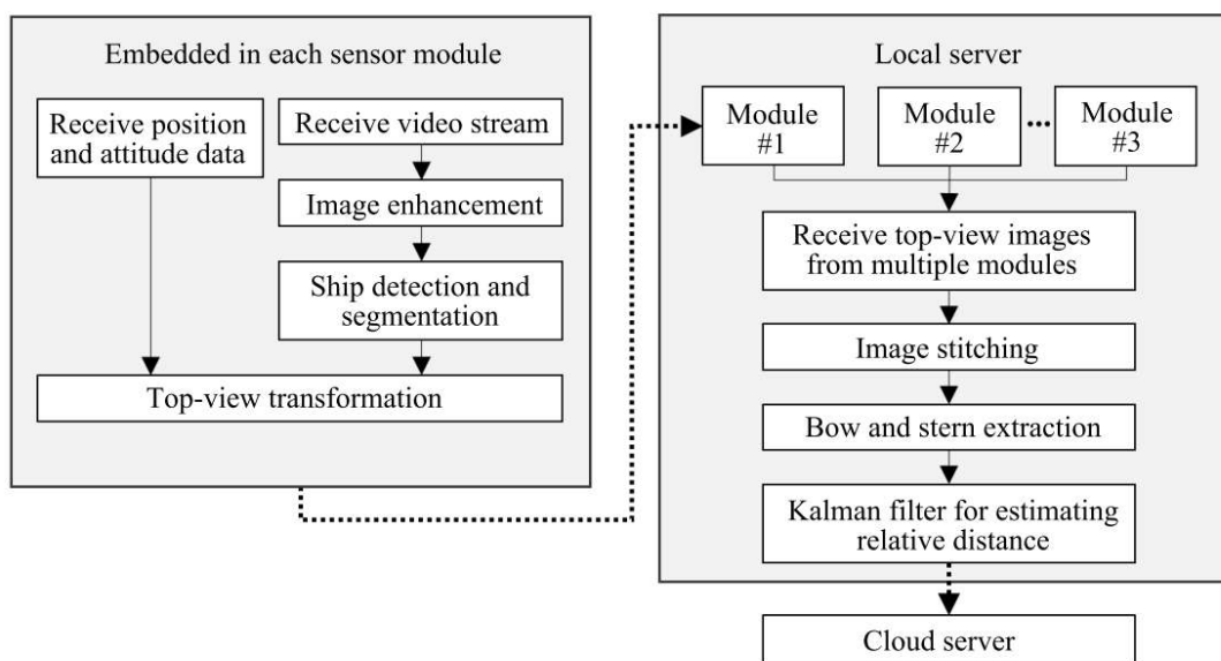


Рисунок 5.11 – Огляд системного дизайну AVMS, запропонованого Кімом

У статті [44] була введена нова концепція під назвою ISAS (Intelligent Situational Awareness System) для виявлення морських об'єктів шляхом об'єднання інформації від кількох датчиків і відстеження руху об'єктів. Алгоритм глибокого навчання використовувався для виявлення об'єктів, тоді як PDA ((асоціація імовірнісних даних) і JPDA (об'єднана асоціація ймовірнісних

даних) використовувалися для асоціації даних у процесі відстеження. Датчик екологічної обізнаності ISAS складається з камери, LiDAR і радара. Алгоритм, метод сегментації екземплярів, був застосований для виявлення об'єктів, що перекриваються на морі, під час використання об'єктів на основі камери. Крім того, була розроблена та навчена легка модульна модель зменшення шуму зображення, отримана в океанському середовищі, для усунення шуму під час роботи радара. Виявлення об'єктів на основі 5.12 ілюструє результат зменшення шуму для радіолокаційного зображення та радіолокаційні дані.

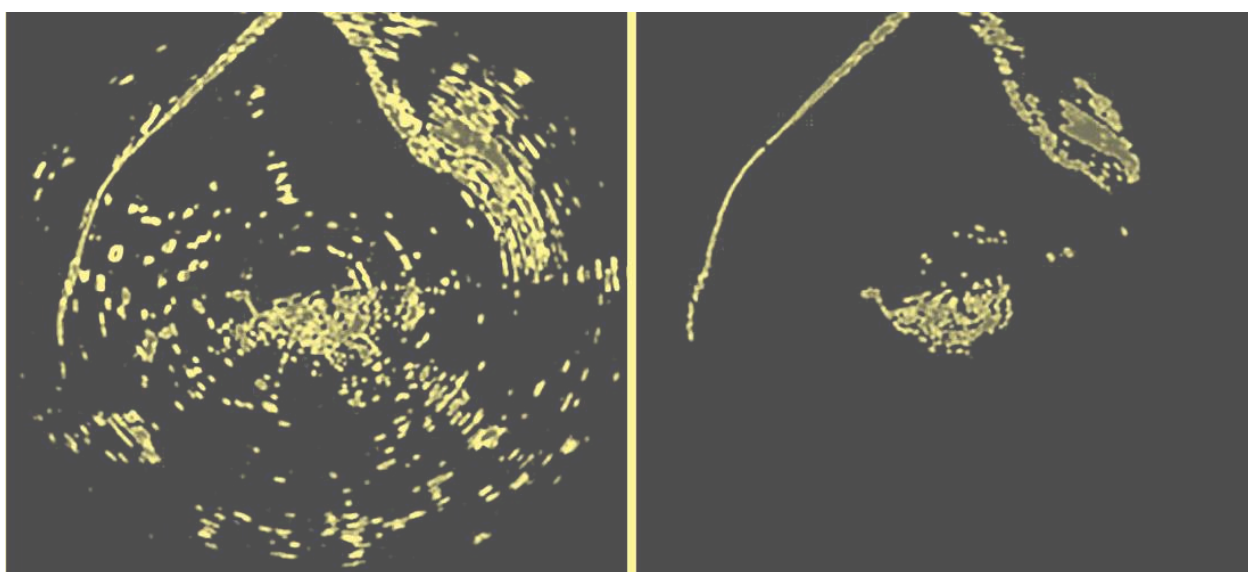


Рисунок 5.12 – Результати зменшення шуму для радіолокаційного зображення:
зліва до скорочення; справа після скорочення

5.2.2. Технологія прийняття рішень

Кожен буксир виконує окрему місію, і коли він прибуває поблизу порту, він потребує процесу планування місії, наприклад, коригування тяги кожного буксира та вибору формування, що відповідає умовам процесу причалювання основного корабля. Наприклад, якщо судну потрібно змінити кут курсу або швидкість, серія завдань місії повинна бути належним чином спланована. Наприклад, деякі з буксирів повинні регулювати напрямок курсу основного судна, а інші буксири повинні створювати поздовжню силу, прикладаючи тягу

до судна. Таким чином, існує потреба в технології, здатній автоматично розподіляти ці завдання для кожного буксира під час експлуатації групи повністю автономних буксирів. Призначення завдань здійснюється з урахуванням характеристик самої платформи, а перепризначення здійснюється відповідно до умов середовища та статусу місії. В даний час угорський алгоритм широко використовується для розподілу завдань між кількома безпілотними кораблями. Його обчислювальна складність велика, і обсяг обчислень збільшується, коли розмір рою збільшується. Тому необхідна розробка алгоритму, який може ефективно обчислювати та справлятися з невизначеністю. Крім того, буксири та судна повинні сформувати єдине ціле, щоб створити оптимальний маршрут, уникаючи статичних і динамічних перешкод, і серед них не повинно бути зіткнень. У роботі [45] була запропонована техніка швидкого маршу для групової навігації кількох безпілотних наземних транспортних засобів, як показано на рис. 5.13, і було проведено моделювання, під час якого swarmUSV рухалися до та від системи до цільової точки без будь-яких зіткнень. У цьому дослідженні була створена карта сітки на основі оточуючого середовища згрупованих суден для техніки швидкого маршу (FM). Потенційні значення карти сітки були визначені з використанням такої інформації, як швидкість і положення кожного судна. Коли була ідентифікована інформація про перешкоди для згрупованих суден, було виконано уникнення зіткнення шляхом створення маршруту уникнення за допомогою техніки FM і крейсерського руху [45]. У цьому дослідженні довільний шлях проходив з використанням шести USV, але цю технологію можна застосувати до сценарію, коли група безпілотних дослідницьких суден рухається до порту в режимі буксирування.

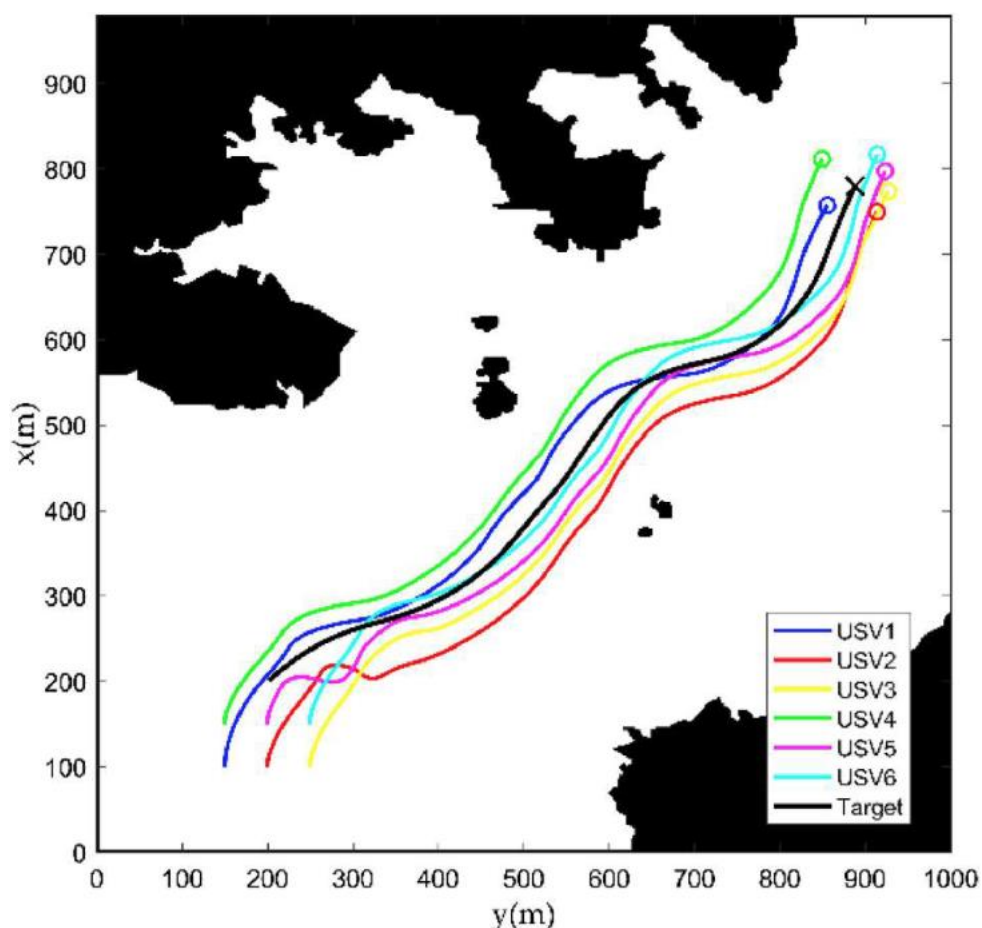


Рисунок 5.13 - Траєкторії управління як єдиним цілим USV

У дослідженнях, пов'язаних із причалуванням кораблів за допомогою автономних буксирних човнів, проблеми керування вирішувалися шляхом керування групою буксирів, щоб слідувати бажаній (еталонній) траєкторії базового судна. Однак у складних сценаріях швартування необхідно вирішити проблеми планування шляху, беручи до уваги просторові обмеження системи щодо форми порту. Алгоритм пошуку зірок, який є загальноприйнятим методом, є алгоритмом генерації оптимального шляху, який використовує дорожню карту, звану «графіком видимості», для створення оптимального шляху навіть у складному середовищі. При застосуванні до ряду буксирів він знаходить оптимальний маршрут, але маршрут не є плавним, що спричиняє раптові рухи буксирів, що може ускладнити керування ними [46]. Рис. 5.14 ілюструє концепцію графіка видимості. У дослідженні [47] було перевірено автономне теплове керування безпілотними кораблями шляхом розробки та вивчення

алгоритмів планування шляху. Алгоритм пошуку зірок A був налаштований для безпілотних суден, а також був розроблений аналоговий алгоритм для дослідження шляху безпілотних суден, використовуючи інформацію про їхні розміри, положення та напрямки. Крім того, найкоротший шлях з усіх точок був розрахований в автономному режимі, покращивши швидкість алгоритму пошуку зірки A в 12,3 рази. У цьому дослідженні систему планування шляху було перевірено за допомогою інфраструктури операційної системи робота.

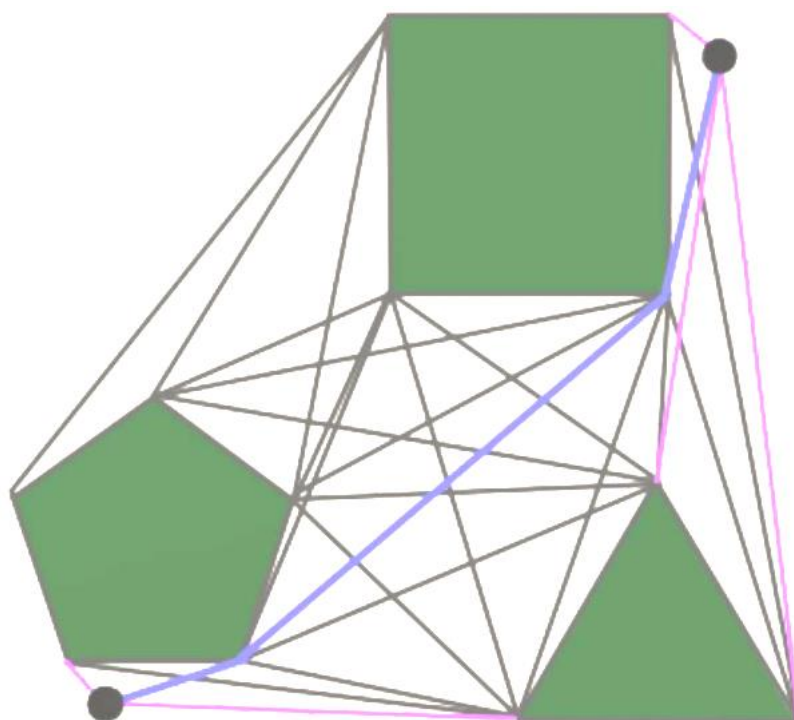


Рисунок 5.14 – Огляд концепції графа видимості в задачі планування шляху

У роботі [48] представлена задача планування шляху, яка розглядає перешкоди в двох фактичних середовищах гавані (рис. 5.15), на відміну від попередніх досліджень, які виконували контроль за маршрутом судна відповідно до запланованого шляху після встановлення відправлення та пункту призначення. Щоб оптимізувати планування шляху в фактичних портах, такі перешкоди, як причали, хвилерізи та буї, представлені як полігональні перешкоди, а алгоритм уникнення зіткнень застосовано на основі області судна, яка змінюється залежно від швидкості судна, щоб підтримувати достатню

відстань від перешкод. У той же час, представлено метод оптимізації для планування шляху, включаючи вплив вітрових збурень і шляхових точок. Стаття стосувалася проблеми оптимізації планування маршруту, яка враховує складне фактичне портове середовище перешкод, зовнішніх завад та інших факторів у ситуації стоянки одного судна. Крім того, якщо застосувати техніку відстеження та контролю шляху суден за допомогою кількох буксирів, можна вирішити задачу оптимізації планування шляху кластеру судна.



Рисунок 5.15 - Стимуляційне середовище планування шляху

5.3 Технологія моделювання в роботі автономних буксирів

Технологія моделювання є фундаментальним аспектом, який відіграє вирішальну роль в успішній роботі автономних буксирів, оскільки технологія керування безпосередньо застосовується на основі форми моделювання. Буксири

та судна розглядаються як єдиний домен, і їхня багатотільна динаміка повинна бути змодельована шляхом руху корпусу, з'єднань сил і контактних елементів. Щоб досягти точного моделювання динаміки багатьох тіл, необхідно враховувати такі фактори, як натяг буксирного троса, характеристики буксира, такі як довжина та вага, потужність тяги та сила тертя між буксиром і судном під час швартовки судна. Це комплексне моделювання динаміки буксира дозволяє краще розуміти та контролювати систему під час роботи.

На ранній стадії кожен буксир моделювався як азимутальний гвинт із трьома ступенями свободи для імітації повністю автономного буксира (рис. 5.16). На рис. 5.16 f_i є односпрямованим керуванням сила буксира, (x_i, y_i) - положення в точці контакту, α_i - за годинниковою стрілкою Напрямок осі X буксира на основі фіксованої на тілі координати, а θ представляє кут осі X за годинниковою стрілкою на основі фіксованої на тілі системи координат. Передбачається, що буксири стратегічно розташовані досить близько. Іншими словами, буксири моделювали як двигуни, прикріплені до судна. Отже, матриця геометричної конфігурації для розподілу тяги буксира безперервно розраховується. Згодом були розроблені методи моделювання, які включають екологічні порушення [49], які відрізнялися від попередніх досліджень.

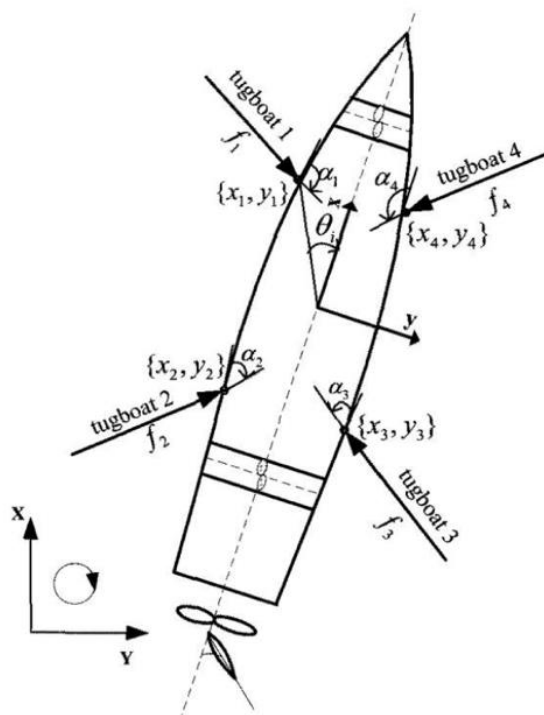


Рисунок 5.16 – Схематичний опис системи, що складається з буксирів і судна

У 2019 році було проведено дослідження [50], яке керувало судном за допомогою буксирного троса між буксиром і судном, яке буксирується, як показано на рис. 5.17. Коли буксир буксирує судно за допомогою буксирного троса, на систему впливають такі фактори навколишнього середовища, як хвилі та течії. Щоб вирішити цю проблему, системою керували за допомогою трьох активних килей, прикріплених до корпусу та буксирного троса. На рис. 5.17 (x_0, y_0) і (x, y) представляють точку з'єднання в точці буксирування та центрі буксируваного судна відповідно. ψ і ψ_T – буксирувані судна, відповідно, курсовий кут і відносний курсовий кут буксируваного судна відносно каната, що представляє центральну лінію. Крім того, γ вказує на відносний кут між позицією цілі та позицією керування, а σ ($=1, 2, 3$) вказує на кут повороту кожного керма. Нарешті, l_r , l_T , l_b , l_s , l_{ss} означають довжину, показану на рис. 5.17.

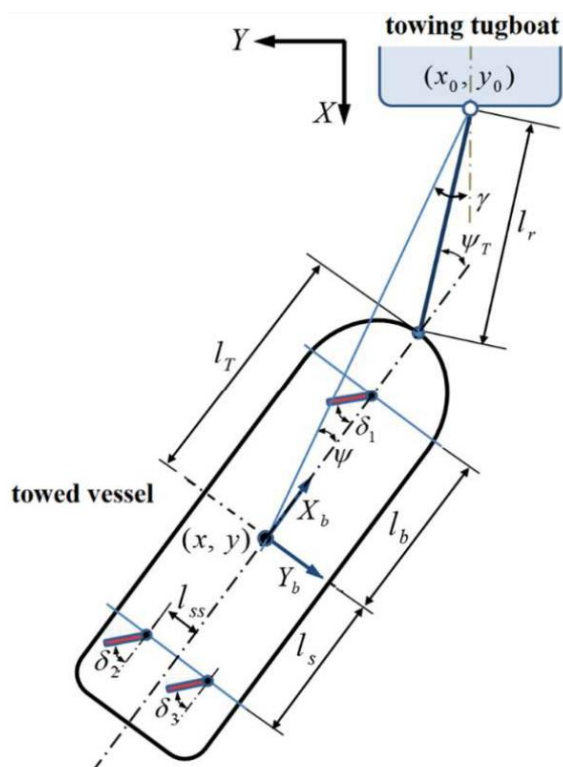


Рисунок 5.17 - Схематичний опис системи

Містер Чой у своїй роботі [51] запропонував алгоритм в 2020 році, який використовує спрощене динамічне рівняння для моделювання системи, припускаючи точковий контакт між судном і кожним буксиром, з незалежними змінними, що виражають обмеження швидкості в точці контакту. Це був перший раз, коли розглядалася динаміка багатьох тіл, яка охоплювала динаміку як судна, так і буксира. Спільна робота та керування декількома буксирами були продемонстровані шляхом моделювання корабля-основи та кількох буксирів як однієї системи та керування незалежними змінними за допомогою спрощеного динамічного рівняння, за винятком члена контактної сили. У 2021 році Хонг запропонував концепцію гібридної системи, як показано на рис. 5.18, де безперервні та неперервні динамічні моделі взаємодіють у комбінації динамічної моделі з дискретним часом, яка враховує рух позиції буксира, та динамічної моделі з безперервним часом, яка представляє управління буксиром. На рис. 5.18 режим буксира перемикається на величину q , а q_1 і q_2 означають режим буксирування та режим стоянки відповідно. Коли режим перемикається, положення буксира змінюється, а керуючий вхід τ встановлюється на 0 протягом

часу зміни T . Крім того, $x(t)$ і $u(t)$ означають змінну стану та керуючу вхідну змінну відповідно. Крім того, при моделюванні порушень навколишнього середовища в статті домінував вплив вітру поблизу порту. Було застосовано методику контролю з використанням РРО (проксимальної оптимізації політики), алгоритму, заснованого на навчанні з підкріпленням.

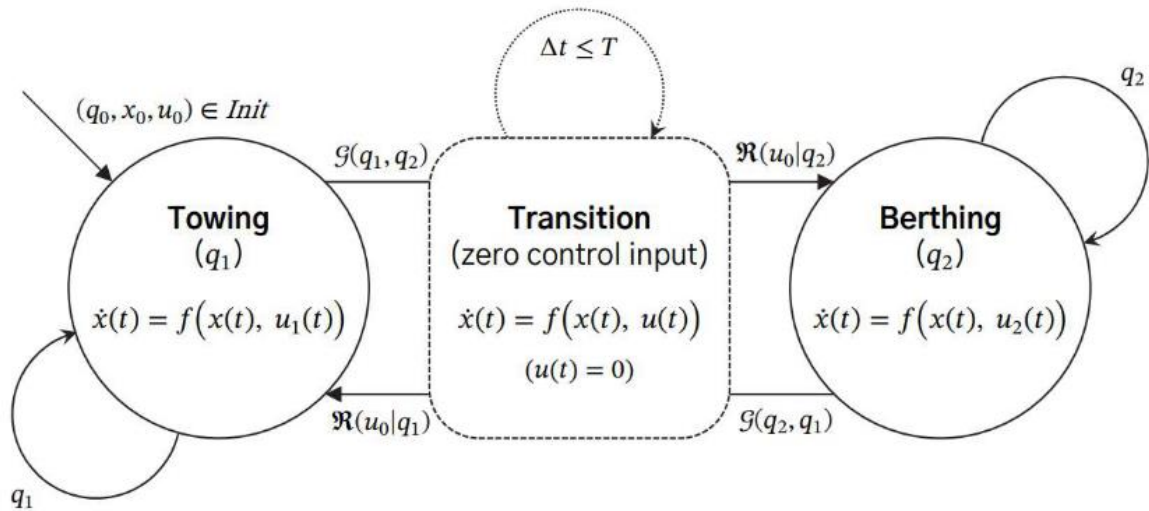


Рисунок 5.18 – Буксирна перехідна гібридна система

Містер Сано провів дослідження [52], зосереджене на математичному моделюванні динаміки буксира. Дослідження було спрямоване на розробку математичних моделей для опису спільних маневрів між судном та буксиром під час штовхання та буксирування. Рівняння руху основного судна та буксира були розділені на три сценарії: 1) базове судно, який буксирується буксиром; 2) незалежний рух буксира та судна; 3) буксир штовхає судно. Для кожної ситуації був прийнятий модульний підхід для побудови відповідних моделей шляхом перестановки векторів коефіцієнтів і компонентів у блочні матриці. Зокрема, у контексті ситуації штовхання була сформульована математична модель для представлення динаміки багатьох тіл буксира та материнського судна (рис. 5.19; формули 5.1 – 5.8).

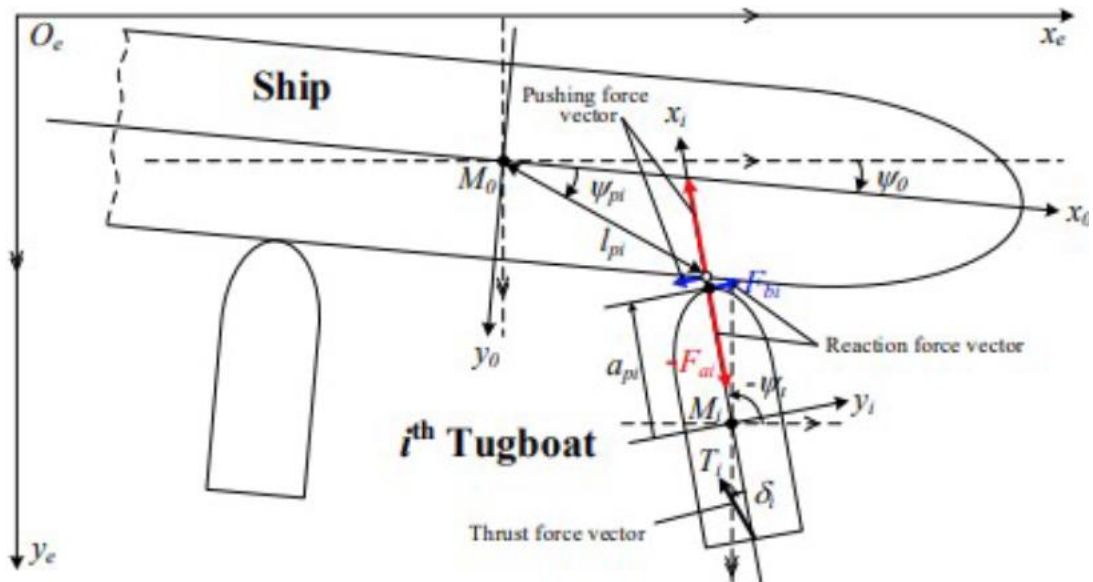


Рисунок 5.19 – Системи координат у випадку допомоги штовхання

$$\begin{bmatrix} A_0 & \cdots & A_{p0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{pn0} & \cdots & A_{pn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_0 \\ \vdots \\ B_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_0 \\ \vdots \\ C_{pn} \end{bmatrix}. \quad (5.1)$$

Рівняння (5.1) — це рівняння, організоване як матричне рівняння шляхом розгляду рівняння для судна та геометричної позиційної залежності для n буксирів як лінійної системи рівнянь.

$$\begin{aligned} B_0 &= [\dot{u}_0 \quad \dot{v}_0 \quad \dot{r}_0 \quad \dot{u}_{e0} \quad \dot{v}_{e0}]^T, \\ B_{pi} &= [\dot{u}_i \quad \dot{v}_i \quad \dot{r}_i \quad \dot{u}_{ei} \quad \dot{v}_{ei} \quad F_{ai} \quad F_{bi}]^T, \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$C_0 = \begin{bmatrix} (m_0 + m_{y0})v_0r_0 + m_0x_{G0}r_0 + X_{H0} \\ -(m_0 + m_{x0})u_0r_0 + Y_{H0} \\ -m_0x_Gu_0r_0 + N_{H0} \\ u_0r_0 \sin(\psi_0) + v_0r_0 \cos(\psi_0) \\ -u_0r_0 \cos(\psi_0) + v_0r_0 \sin(\psi_0) \end{bmatrix}, \quad (5.3)$$

$$C_{pi} = \begin{bmatrix} (m_i + m_{yi})v_i r_i + m_i x_{Gi} r_i^2 + X_{Hi} + (1 - t_i)T_i \cos(\delta_i) \\ -(m_i + m_{xi})u_i r_i + Y_{Hi} - T_i \sin(\delta_i) \\ -m_i x_{Gi} u_i r_i + N_{Hi} - x_{Ti} T_i \sin(\delta_i) \\ u_i r_i \sin(\psi_1) + v_i r_i \cos(\psi_i) \\ -u_i r_i \cos(\psi_i) + v_i r_i \sin(\psi_1) \\ r_0^2 l_{pi} \cos(\psi_0 + \psi_{pi}) - r_i^2 a_{pi} \cos(\psi_i) \\ r_0^2 l_{pi} \sin(\psi_0 + \psi_{pi}) - r_i^2 a_{pi} \sin(\psi_i) \end{bmatrix}, \quad (5.4)$$

Рівняння (5.2)–(5.4) складається з компонентного вектора B_0 судна, кожен з яких містить п'ять змінних, пов'язаних з рухом судна, і компонентного вектора B_{pi} кожного буксира, кожен з яких містить сім змінних, пов'язаних із рухом і штовхальною силою судна. буксир; коли n буксирів штовхають судно, розв'язується матричне рівняння розміром $5 + 7n$. Постійний вектор складається з компонентного вектора C_0 судна та компонентного вектора C_{pi} кожного буксира. Крім того, X_H , Y_H і N_H всередині матриці виражаються як гідродинамічна викидна сила, сила коливання та момент повороту внаслідок рухів маневрування відповідно; m_0 — маса, а m_{x0} і m_{y0} — додані маси при хвилі та коливанні судна відповідно. I_{zG_0} — момент інерції, а I_{zG_0} — доданий момент інерції. Термін $x_{Ti} T_i \sin(\delta_i)$ дає азимутальний двигун, розташований у $(x_{Ti}, 0)$ мі — x_i y_i z_i , що представляє припущену тягу. I , нарешті, $\dot{u}$, $\dot{v}$ і $\dot{r}$ — це сплеск, прискорення коливання та кутове прискорення в напрямку повороту, відповідно, а F_{ai} , F_{bi} означає силу в точці контакту.

$$A_0 = \begin{bmatrix} m_0 + m_{x0} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_0 + m_{y0} & m_0 x_{G0} & 0 & 0 \\ 0 & m_0 x_{G0} & I_{zG0} + J_{zG0} + m_0 x_{G0}^2 & 0 & 0 \\ \cos(\psi_0) & -\sin(\psi_0) & 0 & -1 & 0 \\ \sin(\psi_0) & \cos(\psi_0) & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad (5.5)$$

$$A_{pi} = \begin{bmatrix} m_0 + m_{xi} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_0 + m_{yi} & m_i x_{Gi} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_i x_{Gi} & I_{zGi} + J_{zGi} + m_i x_{Gi}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cos(\psi_i) & -\sin(\psi_i) & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ \sin(\psi_i) & \cos(\psi_i) & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{pi} \sin(\psi_i) & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -a_{pi} \cos(\psi_i) & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (5.6)$$

$$A_{pvi} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos(\psi_i - \psi_0) & -\sin(\psi_i - \psi_0) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin(\psi_i - \psi_0) & \cos(\psi_i - \psi_0) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_{pi} \sin(\psi_i - \psi_0 - \psi_{pi}) & l_{pi} \cos(\psi_i - \psi_0 - \psi_{pi}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (5.7)$$

$$A_{pvi} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -l_{pi} \sin(\psi_0 + \psi_{pi}) & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & l_{pi} \cos(\psi_0 + \psi_{pi}) & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (5.8)$$

Рівняння (5.5)–(5.8) представляють матрицю 5×5 A_0 , що складається зі змінних судна, матрицю 7×7 A_{pi} , що складається зі змінних i -го буксира, і геометричну залежність між судном та i -м буксиром, що означає A_{p0i} (5×7) і A_{pi0} (7×5) стовпців. Матриці A_0 , A_{pi} та A_{p0i} , A_{pi0} розташовані по діагоналі відповідно. Потім припускається, що між буксирами немає залежності, і матриця A_{pij} , що представляє пряме втручання від j -го буксира до i -го буксира, встановлюється на нульову матрицю.

5.3.1 Технологія контролю

Технологію керування можна назвати основною технологією, оскільки технологія керування найчастіше згадується в дослідженнях щодо швартовки суден. Оскільки буксири та великі судна виконують спільну роботу на відносно

близьких відстанях, необхідне точне положення та ефективність контролю положення.

У дослідженні [53] розглядалося маневрування цільовим судном за допомогою автономного надводного судна з системою надмірного приводу, оснащеної шістьма гвинтами. Дослідження розробило контролер стеження, використовуючи техніку адаптивного керування, щоб відповідати бажаній траєкторії. Цей контролер відстеження може бути застосований до сценарію, в якому рухом судна керують за допомогою автономного буксира (рис. 5.20). На рис. 5.20 генерується відстежувана бажана траєкторія (p_d), яка відображає конфігурацію та обмеження приводу, невизначеності моделі та структуру контролера та генерує бажані сили та моменти (τ_{net}) через контролер стеження. Задано τ_{net} , ми отримуємо команди для окремих виконавчих механізмів τ_1, τ_2 тощо, а також положення та кут повороту баржі в інерціальній системі (p), швидкість баржі в системі корпусу (v), курс (ψ), і p -р корабля.

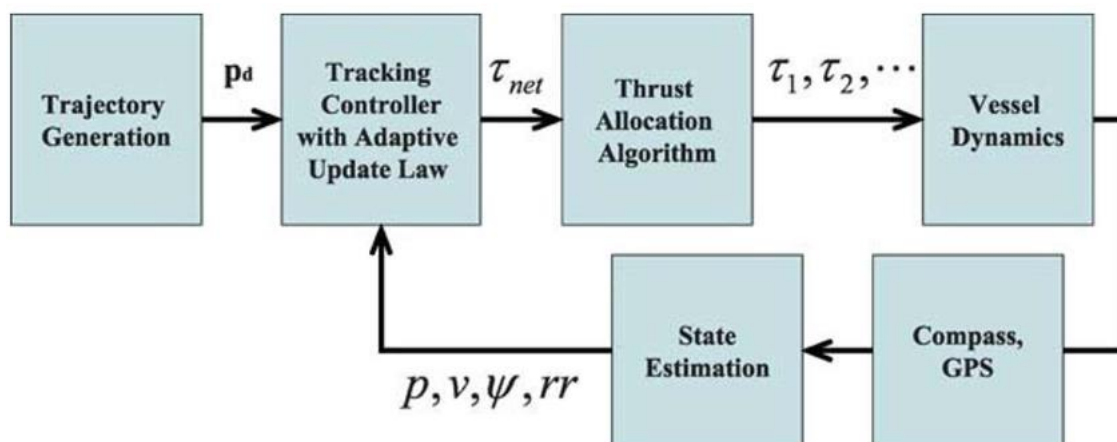


Рисунок 5.20 – Структура відстеження траєкторії

У роботі [54] судна та кожен буксир розглядалися як одна система, а незалежні змінні контролювалися з урахуванням динаміки багатьох тіл. Запропоновано метод управління позою, заснований на спрощеній динаміці, що виключає терм контактної сили. На рис. 5.21 показано результат моделювання, який було продемонстровано за допомогою техніки контролю відстеження, якою

можна маніпулювати, щоб відслідковувати прямий шлях, зберігаючи при цьому бажаний кут курсу.

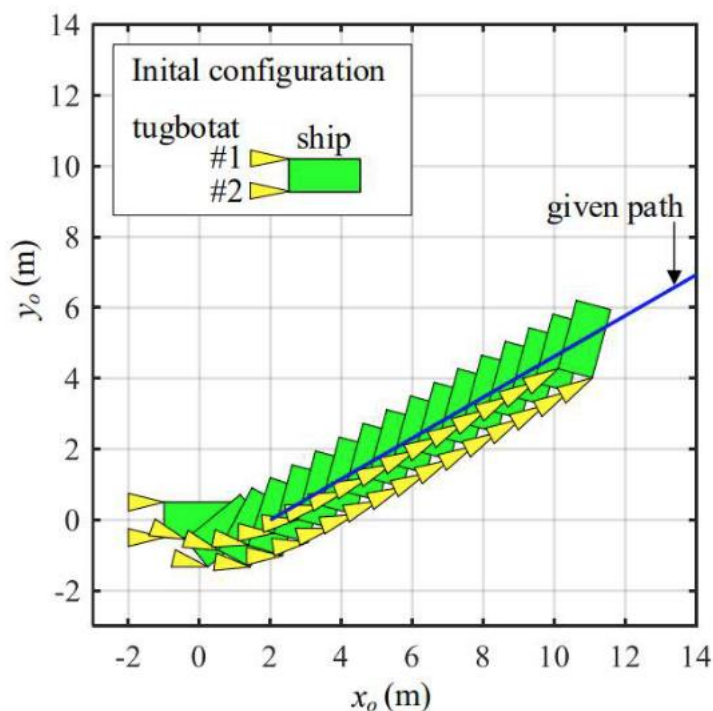


Рисунок 5.21 – Відстеження заданого шляху за допомогою двох буксирів із збереженням кута між буксиром і судном

Дослідження в роботі [55] пропонує гібридну концепцію керування, яка поєднує динамічну модель у дискретному часі, що враховує рух позиції буксира, та динамічну модель безперервного часу, що представляє керування буксиром. Представлено підхід до керування з використанням алгоритму проксимальної оптимізації політики (PPO) на основі градієнта політики, який підходить для просторів безперервної дії та показав високу продуктивність у навчанні з підкріпленням. Алгоритм PPO — це техніка штучного інтелекту, яка використовується для визначення оптимальної дії в поточному стані. У дослідженні в [55] розраховується похибка між поточним станом і станом цільового корабля, а значення компенсації отримано для мінімізації похибки та максимізації результату. На рис. 5.22 вихідне значення мережі складається з п'яти значень ($4 f_1$, $4 f_2$, $4 \alpha_1$, $4 \alpha_2$, k), які вибирають величину зміни сили кожного

буксира, величину зміни в напрямку сила та режим буксира. Серед них значення k було дискретизовано на два безперервних значення дії від -1 до 1 , щоб представити дискретизовану зміну режиму в буксирі. Якщо від -1 до 0 , q_1 (режим буксирування), а якщо від 0 до 1 , q_2 (режим причалу) використовувалися для вибору режиму буксира. Вхідні дані мережі: x , y , ψ , u , v і r , що представляють стан судна та e_d , e_ψ , e_v (помилка відстані, похибка курсу та похибка швидкості), а вихідне значення попереднього кроку було встановлено як вхідне значення мережі на поточному кроці.

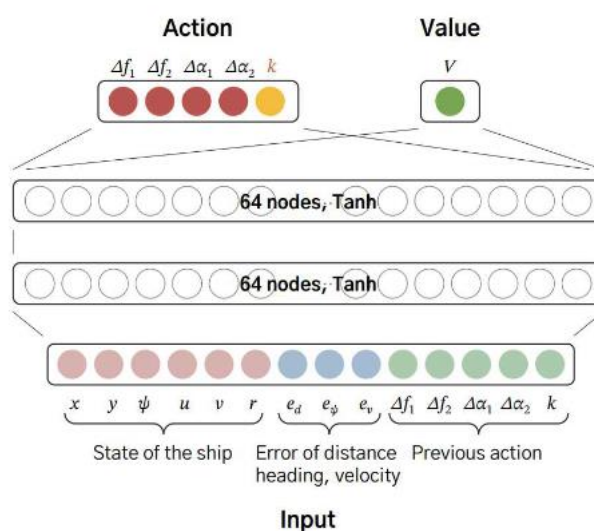


Рисунок 5.22 – Мережа політики та конфігурація мережі значень для підкріпленого контролера на основі навчання

5.3.2. Інфраструктура та експлуатація

Індустрія судноплавства стикається з багатьма взаємопов'язаними проблемами та можливостями, оскільки її роль у глобальній торговій системі стає дедалі важливішою за останні кілька десятиліть. З одного боку, співпраця між портовими терміналами та судноплавними лініями може зменшити витрати та досягти стійких ланцюгів поставок, а з іншого боку, оптимізація операцій і часу рейсу може зменшити споживання бункерів і знизити витрати на паливо та викиди в повітря. Таким чином, зростає потреба в оптимізації можливостей консолідації та екологічних проблем, пов'язаних з контейнерними

перевезеннями. Операції контейнерних портів можна класифікувати на дві категорії: наземні та морські. Як показано на рис. 5.23, для контейнеровозів потрібна допомога буксирів. Однак наявність буксирів і здатність кожного буксира обслуговувати судно обмежена. Тому, щоб буксири могли ефективно обслуговувати великі судна, їх необхідно ефективно використовувати.

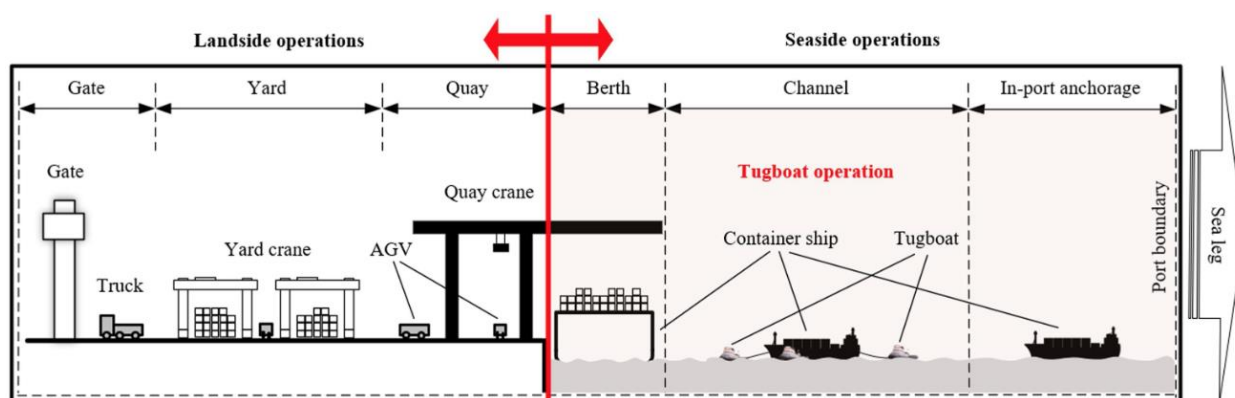


Рисунок 5.23 – Приморські та наземні операції в контейнерних портах

Метод змішаного цілочисельного лінійного програмування (MILP) розроблено для вирішення проблеми планування буксира шляхом розгляду реальних проблем, таких як обмеження балансу потоку буксира, обмеження часу прибуття судна, обмеження часу вітрила, обмеження часу прибуття буксира, обмеження часу початку обслуговування та судна – обмеження сумісності буксира та застосовується до проблеми планування буксира (Tug-SP), щоб продемонструвати ефективну продуктивність планування [56]. На рис. 5.24 показана більш практична стратегія планування буксира, враховуючи стратегію проактивного планування, яка враховує очікувану мінливість і невизначеність під час виконання графіка роботи буксира, і стратегію реактивного планування, яка належним чином коригує початковий графік, щоб мати справу з несподіваними сценаріями з мінімальними витратами на відновлення [57].

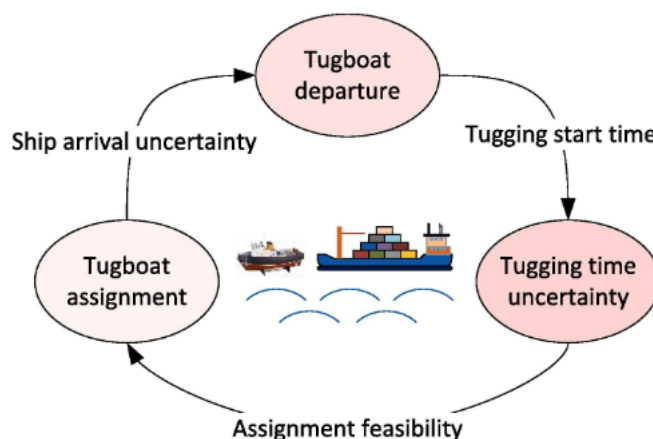


Рисунок 5.24 – Буксирні процеси з часовою невизначеністю

Швартовка є однією з найнебезпечніших операцій на судах і в портах. Наразі, як показано на рис. 5.25, існують різноманітні інновації в швартовних системах, таких як автоматичні вакуумні швартовні системи, магнітні швартовні системи та системи допомоги при причалі. У роботі [58] порівнюється експлуатаційна надійність, експлуатаційні витрати, витрати на технічне обслуговування, вплив на навколишнє середовище, простоту використання та системні обмеження автоматичних систем швартування на основі вібрації, магнітних систем швартування та звичайних систем швартування з використанням канатів і брашпильов.

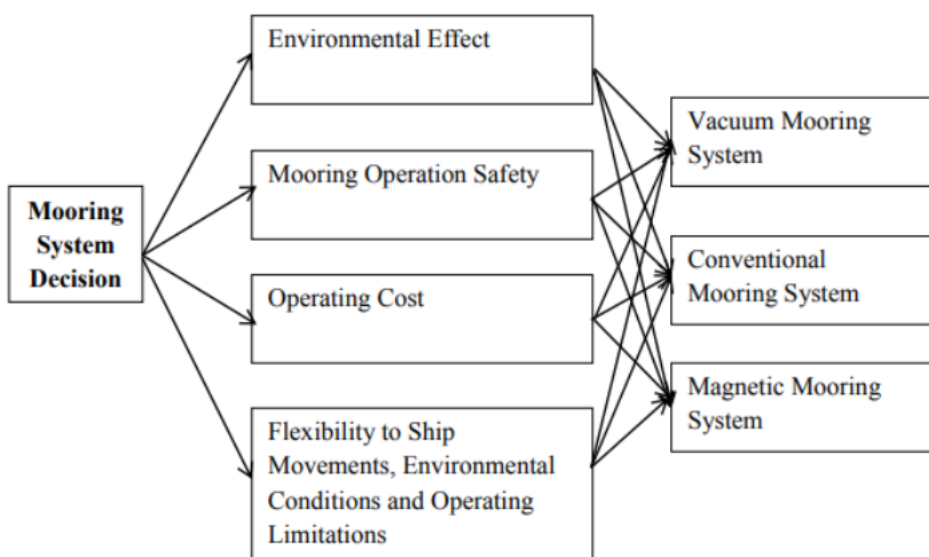


Рисунок 5.25 – Ієрархічна структура рішення системи швартування

Як показують ці дослідження, для буксирів враховується багато факторів, зокрема розклад руху, безпека та екологічність. Якщо автономні буксири враховують ці фактори, вони будуть економічними, ефективними та надійними та відіграватимуть важливу роль у логістиці та міжнародній торгівлі. Вони також допоможуть судноплавній галузі бути стабільною та розвиватися в майбутньому.

Висновки

У даній дипломній роботі проаналізували попередні дослідження відповідних тем, щоб надати інженерні знання та ідеї, пов'язані з автономними буксирами. Спочатку пояснили фактичні проекти, які здійснюються для автономної роботи буксирів, а потім провели аналіз різних необхідних технологій елементів для побудови автономних буксирів. Для суден, які використовують автономні буксири, необхідні чотири типи технологій: сприйняття, прийняття рішень, моделювання, і техніка управління. Описали необхідність і докладні тенденції досліджень для кожної технології. Попередні дослідження для кожної технології елемента вказали на тенденції досліджень з початку 2010-х років до теперішнього часу.

Аналіз попередніх досліджень показав, що багато з них припускали, що буксири є повністю автономними, і не розглядали певні питання, такі як визначення формування для роботи буксирів як кластер під час швартування та розробки алгоритмів, які автоматично призначають і перепризначають завдання, такі як регулювання тяги для кожного буксира. Було також кілька досліджень, які розглядали проблеми зв'язку між судном та кожним буксиром, припускаючи, що вони були стратегічно розташовані досить близько, щоб усунути потребу в передачі інформації. Крім того, більшість досліджень були обмежені моделюванням у таких середовищах, як MATLAB і Pygame, без перевірки в морських умовах реального світу.

Дослідження швартовки з використанням повністю автономного буксира вимагає перевірки різних сценаріїв у середовищі, подібному до реального

середовища, і необхідно подолати обмеження сучасного рівня. По-перше, необхідні дослідження для розробки алгоритму, який автоматично призначає та перепризначає завдання групі буксирів для сценаріїв режиму буксирування та швартовки. Кожен окремий буксир має бути перепризначений для виконання певного завдання, отримавши цілі та методи управління відповідно до цілей, необхідних для кожного режиму. По-друге, точне моделювання буксирного каната, окремих буксирів і основного судна має базуватися на динаміці багатьох тіл для режиму буксирування та стоянки. Враховуючи робочий метод, коли буксир штовхає та тягне буксирний трос, моделювання всієї системи, яка включає натяг у буксирному тросі, тертя між буксирними човнами та судном, а також вплив на навколишнє середовище, є необхідним. Нарешті, необхідно мати комунікаційну/мережеву технологію, яка дозволяє кожному буксиру обмінюватися інформацією, а також технологією діагностики несправностей і реагування, яка може негайно виявляти та реагувати на будь-які несправності в компоненти буксира.

Попередні дослідження досягли прогресу в методах керування та моделювання, а також у різних інших технологічних елементах; однак, щоб досягти автономної стоянки суден із використанням автономних безпілотних буксирів, необхідні дослідження не лише окремих безпілотних буксирів, але й технологій, необхідних для керування ними груповим способом. Якщо автономні надводні транспортні засоби успішно використовуються в операціях швартовки суден, значні технологічні хвильові ефекти можуть зменшити витрати на персонал і заощадити час.

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СУДНА В РЕЙС

6.1 Розрахунок кількісних та якісних показників роботи судна в рейсі

Розрахунок виконаний на підставі завдання і даних, отриманих у попередніх розділах цієї дипломної роботи, взятих із суднової документації при роботі на переддипломної практиці, з довідкових матеріалів кафедри М і ЕМТ НУ«ОМА», прейскурантів, тарифів та ін. Вихідні дані рейсу т/х «NEPTUNE ІТНАКІ» з порту Нагоя (Японія) в порт Сан Франциско (США) зведені в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 - Початкові дані для розрахунку рейсу

№ п/п	Найменування показників	Умовні позначення	Одиниця вимірювання	Значення
1	2	3	4	5
1	Дедвейт т/х «NEPTUNE ІТНАКІ»	D_w	Тон	11361
2	Запаси на початок рейсу	G_p	тон	1315,7
3	Відстань між портами	L	милі	4743
4	Кількість вантажу: автомобілі	$\Sigma Q_{шт}$	шт	2366
5	Фрахтова ставка за 1 шт вантажу	f	\$/шт	420
6	Норми навантаження вантажу	$M_{ван}$	шт/ год.	60
7	Норми вивантаження вантажу	$M_{вив}$	шт/ год.	60
8	Експлуатаційна швидкість	v	екс. вузли	19,0
9	Швидкість в каналах, вузостях	v	кан. вуз.	12
10	Добова витрата палива на ходу: важке легке	q^g_x	тон/доб	40,5 3,5

	Добова витрата палива на стоянці: легке	$q_{ст}$	тон/доб	3,5
--	--	----------	---------	-----

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5
11	Ціна 1 тони палива: важке	$Ц_{в}$	\$/т	550
	легке	$Ц_{л}$	\$/т	700
12	Балансова вартість судна	$C_{бал}$	\$	3408300
13	Річна норма амортизації	Ha	%	10
14	Позаексплуатаційний час	$T_{зе}$	діб.	15
15	Чисельність екіпажу	$Ч_{ек}$	чол.	22
16	Час затримки в дорозі	$t_{зат}$	доб.	0,2
17	Додатковий час в портах стоянки	$t_{доод}$	доб.	0,15
18	Заробітна платня	$R_{зн}$	\$/доб	2300
19	Витрати на технічне постачання	$R_{т.пос}$	\$/доб	170
20	Навігаційні витрати	$R_{нав}$	\$/доб	100
21	Портові збори	$R_{порт}$	\$	22150
22	Агентування суден	$R_{аг}$	\$/доб	100
23	Витрати на страхування судна	$R_{стр}$	\$/доб	120
24	Витрати на ремонт	$C_{рем}$	\$/мр.п.	350000
25	Вартість одного доковання	$C_{док}$	\$	10000

При розрахунку кількісних показників роботи судна в рейсі використовуємо дані рейсового завдання [60, 61].

1. Розраховуємо чисту вантажопідйомність судна:

$$D_q = D_w - G_{зат}, \quad (6.1)$$

$$D_q = 11361 - 1315,7 = 10045,3 \text{ т}$$

2. Розраховуємо експлуатаційний період роботи судна:

$$T_{екс} = T_k - T_{вз}, \quad (6.2)$$

де T_K - календарний період, приймаємо 365 діб;

$$T_{\text{екс}} = 365 - 15 = 350 \text{ діб}$$

3. Розраховуємо час рейсу:

- ходовий час:

$$t_x = \frac{L}{V_{\text{екс}} \times 24} + t_{\text{зад}}, \quad (6.3)$$

$$t_x = 4743 / (19,0 \times 24) + 0,2 = 10,6 \text{ діб}$$

- стоянковий час:

$$t_{cm} = t_{cm}^n + t_{cm}^s = \left(\frac{Q_1}{M_{n1}} \right) + \left(\frac{Q_1}{M_{s1}} \right) + t_{don} \quad (6.4)$$

$$t_{cm} = 2366 / (60 \times 24) + 2366 / (60 \times 24) + 0,15 = 3,4 \text{ діб.}$$

- час рейсу складе:

$$t_p = t_x + t_{cm}, \quad (6.5)$$

$$t_p = 10,6 + 3,4 = 14,0 \text{ діб}$$

4. Розрахуємо провізну спроможність судна:

- зроблено шт-миль за рейс:

$$\Sigma QL = 2366 \times 4743 = 11221938 \text{ шт-миль/рейс}$$

- зроблено тоннаже-миль за рейс:

$$\Sigma D_{\text{ч}} L = 10045,3 \times 4743 = 47644858 \text{ тоннаже-миль/рейс}$$

5. Розраховуємо доходи судна за рейс (\$/рейс):

$$\Sigma F_{\text{рейс}} = \Sigma Qf, \quad (6.6)$$

$$\Sigma F_{\text{рейс}} = 2366 \times 420 = 993720 \text{ \$/рейс}$$

6. Розраховуємо витрати судна за статтями за добу і за рейс:

Постійні експлуатаційні витрати судна за добу розраховуємо за формулою:

$$R_{\text{экс.}} = R_{\text{зн}} + R_{\text{хар}} + R_{\text{рем}} + R_{\text{ам}} + R_{\text{сн}} + R_{\text{т.нос}} + R_{\text{нав}} + R_{\text{норм}}/t_p + R_{\text{аг}} + R_{\text{стр}}, \quad (6.7)$$

- витрати на заробітну плату ($R_{\text{зн}}$) 2300 \$/добу;

- витрати на харчування екіпажу ($R_{\text{хар}}$) розраховуємо за формулою:

$$R_{хар} = \psi_{ек} \cdot n_{хар} \quad (6.8)$$

де $n_{хар}$ – норма харчування на одного члена екіпажу 5 – 15 \$/добу на 1 особу.

$$R_{хар} = 22 \times 12 = 264 \text{ \$/добу};$$

- витрати на ремонт ($R_{рем}$) розраховуємо за формулою:

$$R_{рем}^{доб} = \frac{(n_{док} \times C_{док} + C_{рем}) / t_{мн}}{T_{екс}}, \quad (6.9)$$

де: $n_{док}$ – кількість докувань за міжремонтний період;

$t_{мн}$ – міжремонтний період 5 років.

$$R_{рем} = ((10000 + 350000) / 5) / 350 = 206 \text{ \$/добу}$$

- витрати на амортизацію ($R_{ам}$) розраховуємо за формулою:

$$R_{ам} = \frac{C_{бал} \times H_{ам}}{T_{ек} \times 100}, \quad (6.10)$$

$$R_{ам} = (3408300 \times 0,1) / 350 = 974 \text{ \$/добу};$$

- витрати на загальносуднове постачання ($R_{сн}$) розраховуємо за формулою:

$$R_{сн} = \frac{C_{бал} \times H_{сн}}{T_{ек} \times 100}, \quad (6.11)$$

де $H_{сн}$ - норма постачання;

$$R_{сн} = (3408300 \times 0,02) / 350 = 195 \text{ \$/добу};$$

- витрати на технічне постачання ($R_{т.пос.}$) 170 \$/добу;

- навігаційні витрати, \$/добу ($R_{нав}$) 100 \$/добу;

- портові збори ($R_{порт}$) 22150 \$/рейс;

- витрати з агентування ($R_{аг}$) 100 \$/добу;

- витрати на страхування ($R_{стр}$) 120 \$/добу.

Підставляючи значення в формулу 6.7 розраховуємо постійні експлуатаційні витрати судна за добу:

$$R_{екс} = 2300 + 264 + 206 + 974 + 195 + 170 + 100 + 22150 / 14,0 + \\ + 100 + 120 = 6011 \text{ \$/ добу}$$

7. Розрахуємо непрямі (адміністративно-управлінські)

$$R_{\text{кос.}} = R_{\text{екс}} \cdot k_{\text{ад}}, \quad (6.12)$$

де $k_{\text{ад}}$ - коефіцієнт на адміністративно-управлінський апарат (від суми постійних експлуатаційних витрат судна), приймаємо 2 %.

$$R_{\text{кос.}} = 6011 \times 0,02 = 120 \text{ \$/добу}$$

8. Знаходимо загальні постійні експлуатаційні витрати судна за добу:

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{екс}} + R_{\text{кос}} \quad (6.13)$$

$$R_{\text{заг}} = 6011 + 120 = 6131 \text{ \$/добу}$$

9. Знаходимо загальні постійні експлуатаційні витрати судна за рейс:

$$\Sigma R_{\text{заг.екс}} = R_{\text{заг}} \cdot t_p \quad (6.14)$$

$$\Sigma R_{\text{заг.екс}} = 6131 \times 14,0 = 85834 \text{ \$/рейс}$$

10. Розраховуємо змінні витрати судна за добу і за рейс:

- витрати на паливо і мастильні матеріали на ходу за добу експлуатації:

$$R^m_x = k_{\text{см}} \cdot q_x \cdot \Pi_m \quad (6.15)$$

$$R^n_x = k_{\text{см}} \cdot q_x \cdot \Pi_n \quad (6.16)$$

де $k_{\text{см}}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на мастильні, обтиральні матеріали, в залежності від двигуна = 1,05 - 1,15.

$$R^m_x = 1,1 \times 40,5 \times 550 = 24503 \text{ \$/ добу}$$

$$R^n_x = 1,1 \times 3,5 \times 700 = 2695 \text{ \$/ добу}$$

- витрати на паливо і мастильні матеріали на стоянці за добу експлуатації:

$$R^m_{\text{см}} = k_{\text{см}} \cdot q_{\text{см}} \cdot \Pi_n \quad (6.17)$$

$$R^m_{\text{см}} = 1,1 \times 3,5 \times 700 = 2695 \text{ \$/ добу}$$

- витрати на паливо і мастильні матеріали витрати за рейс:

$$\Sigma R_{\text{неп}} = (R^m_x \cdot t_x) + (R^m_{\text{см}} \cdot t_{\text{см}}) \quad (6.18)$$

$$\Sigma R_{nep} = (24503 + 2695) \times 10,6 + 2695 \times 3,4 = 297462 \text{ \$/рейс}$$

11. Знаходимо загальні витрати судна за рейс:

$$\Sigma R_{рейс} = \Sigma R_{заг.екс} + \Sigma R_{зм} \quad (6.19)$$

$$\Sigma R_{рейс} = 85834 + 297462 = 383296 \text{ \$/рейс}$$

12. Знаходимо прибуток судна за рейс:

$$\Sigma \Pi_{рейс} = \Sigma F_{рейс} - \Sigma R_{рейс}. \quad (6.20)$$

$$\Sigma \Pi_{рейс} = 993720 - 383296 = 610424 \text{ \$/рейс}$$

Прибуток судна т/х «NEPTUNE ITNAKI» з порту Нагоя (Японія) в порт Сан Франциско (США) з вантажем автомобілі за рейс склав 610424 \$/рейс.

Якісні показники роботи судна в рейсі розраховуємо за методикою [61]:

1. Коефіцієнт використання календарного періоду:

$$K_e = \frac{T_{екс}}{T_{\kappa}}, \quad (6.21)$$

$$K_e = 350 / 3120 = 0,959$$

2. Середньодобова експлуатаційна швидкість:

$$V_{cp.} = \frac{L}{t_x}, \quad (6.22)$$

$$V_{cp} = 4743 / 10,6 = 447$$

3. Коефіцієнт ходового часу:

$$\varepsilon_x = \frac{t_x}{t_p}; \quad (6.23)$$

$$\varepsilon_x = 10,6 / 14,0 = 0,757$$

4. Продуктивність однієї тони вантажопідйомності судна в добу експлуатації:

$$\mu_6 = \alpha_3 \cdot V_{cp.} \cdot \varepsilon_x, \quad (6.24)$$

$$\mu_6 = 0,986 \times 447 \times 0,757 = 333,64$$

5. Валова прибутковість одних судно-днів:

$$\mu = \Sigma F_{рейс} / t_p, \quad (6.25)$$

$$\mu = 993720 / 14,0 = 70980 \text{ \$/доба}$$

6. Собівартість перевезення однієї тони вантажу в рейсі:

$$S_{um} = \Sigma R_{рейс} / \Sigma Q, \quad (6.26)$$

$$S_{um} = 383296 / 2366 = 162,00 \text{ \$/шт}$$

7. Собівартість 1 тонно-милі в рейсі:

$$S_{um-м} = \Sigma R_{рейс} / \Sigma Ql, \quad (6.27)$$

$$S_{um-м} = 383296 / 11221938 = 0,03415595 \text{ \$/шт-м}$$

8. Собівартість утримання судна в добу експлуатації:

$$S_{с-д} = \Sigma R_{рейс} / t_p \quad (6.28)$$

$$S_{с-д} = 383296 / 14,0 = 27378 \text{ \$/ доба.екс}$$

10. Рівень прибутковості являє відношення доходів до витрат:

$$PF = \Sigma F_{рейс} / \Sigma R_{рейс} \quad (6.29)$$

$$PF = 993720 / 383296 = 2,59$$

При $PF > 1$ рейс прибутковий. Рівень дохідності (target yield) — показник розрахунку ефективності виконаного рейсу заснований на аналізі кількісних та якісних показників роботи судна в рейсі.

6.2 Прогнозування роботи судна, оцінка ефективності рейсу

Якісні показники роботи судна за експлуатаційний період розраховуємо з урахуванням розрахованого експлуатаційного період роботи судна за формулою (6.2) за методикою: [53].

1. Число рейсів за експлуатаційний період:

$$Ч_p = T_{екс} / t_p \quad (6.30)$$

$$Ч_p = 350 / 14,0 = 25,00$$

2. Обсяг перевезеного вантажу за експлуатаційний період:

$$\Sigma Q_{екс} = \Sigma Q Ч_p \quad (6.31)$$

$$\Sigma Q_{екс} = 2366 \times 25,00 = 59150 \text{ шт / рік}$$

3. Обсяг транспортної роботи за експлуатаційний:

$$\Sigma Ql_{екс} = \Sigma Ql \cdot \mathcal{U}_p \quad (6.32)$$

$$\Sigma Ql_{екс} = 11221938 \times 25,00 = 280548450 \text{ шт-миль / рік}$$

4. Дохід за експлуатаційний період:

$$\Sigma F_{екс} = \Sigma F_{рейс} \cdot \mathcal{U}_p \quad (6.33)$$

$$\Sigma F_{екс} = 993720 \times 25,00 = 24843000 \text{ \$ / рік}$$

5. Загальні витрати судна за експлуатаційний період:

$$\Sigma R_{екс} = R_{рейс} \cdot \mathcal{U}_p \quad (6.34)$$

$$\Sigma R_{екс} = 383296 \times 25,00 = 9582400 \text{ \$ / рік}$$

6. Прибуток судна за експлуатаційний період:

$$\Sigma \Pi = \Pi_p \cdot \mathcal{U}_p \quad (6.35)$$

$$\Sigma \Pi = 610424 \times 25,00 = 15260600 \text{ \$ / рік}$$

7. Рівень прибутковості роботи судна за експлуатаційний період:

$$\Sigma PF = \Sigma F_{екс} / \Sigma R_{екс} \quad (6.36)$$

$$PF = 24843000 / 9582400 = 2,59$$

Для оцінка ефективності виконаного рейсу і роботи судна за експлуатаційний період зведем розрахункові дані в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 - Кількісні і якісні показники виконаного рейсу

№ п/п	Найменування показників	Умовні позначення	Одиниця вимірювання	Значення
1	2	3	4	5
1	Валовий дохід	F	\$	993720
2	Затрати загальні	R	\$	383296
3	Прибуток	Π	\$	610424
4	Коефіцієнт ходового часу	ε_x		0,757
5	Середньодобова експлуатаційна швидкість	V_{cp}	милі/доб	447
6	Дохідність судна	μ	\$/ доб	70980

7	Рівень дохідності	PF		2,59
8	Собівартість перевезення 1 шт вантажу	S_{uit}	\$/шт	162,00
9	Собівартість 1 шт-милі	S_{uit-m}	\$/шт-м	0,0341559 5
10	Собівартість утримання судна за добу експлуатації	S_{c-d}	\$/доб.	27378

В результаті проведених розрахунків, наведених у таблиці 6.2. слід зазначити, що виконаний рейс є прибутковим. Рівень прибутковості 2,59, прибуток 610424 \$ за рейс, а за експлуатаційний період прибуток складе 15260600 \$. Судно «NEPTUNE ITHAKI» доцільно використовувати на даній лінії.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОННІ ЗАХОДИ І ЦИВІЛЬНА ОБОРОНА НА СУДНІ

7.1 Прогнозування наслідків надзвичайної ситуації на об'єкті морського транспорту

1. Вихідні дані (сценарій виникнення надзвичайної ситуації на об'єкті морського транспорту).

Судно «MAERSK KOKURA» було атаковане піратським човном в Гвінейській затоці і піддалося обстрілу зі стрілецької зброї і гранатомета. Силами охоронної команди, що знаходиться на судні, піратська атака відбита. При огляді носової частини судна на палубі виявлений розлив зрідженого сірководню з пошкодженого багатoelementного газового контейнера (корпуси). На судні виникла надзвичайна ситуація. Кількість розлитого сірководню, що є сильнодіючою отруйною речовиною (СДОР), 5 т. Характер розливу - «вільно». Метеорологічні умови на момент виникнення надзвичайної ситуації: час 15.00, температура повітря 100, швидкість вітру 6 м / с, вітер зустрічний, суцільна хмарність. Відстань від пошкодженого БЕГК до житлової надбудови судна 250 м. Місцевість відкрита, характер - водна поверхня.

Виконати оперативний прогноз хімічної обстановки на час через 1:00 після аварії. Запропонувати заходи щодо зменшення можливих втрат серед екіпажу судна.

Скласти розклад екіпажу за сигналом «загальносуднову тривога» і команді «Загроза захоплення судна» на переході морем.

2. Оцінка масштабів хімічного зараження території.

Виконання розрахунків ведеться за допомогою формул і таблиць, наведених в Методіці прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій на об'єктах

морського транспорту (Додаток 1 до "Методичним вказівкам щодо виконання розділу« Цивільний захист / оборона »дипломних проектів (робіт)»).

2.1. Визначення ступеня вертикальної стійкості повітря.

За заданим метеорологічним умовам (час доби - день, швидкість вітру 6 м / с, суцільна хмарність) за допомогою таблиці 1 визначаємо: на момент виникнення надзвичай-чайної ситуації ступінь вертикальної стійкості повітря - Ізотермія.

Таблиця 7.1. Визначення ступеня вертикальної стійкості повітря за прогнозом погоди

Швидкість вітру, м/с	Час доби					
	день			ніч		
	Наявність Хмарності					
	Відсутнє	Середня	Суцільна	Відсутнє	Середня	Суцільна
0,5 ≤	Конвекція	конвекція	Ізотермія	изотермія	Інверсія	Ізотермія
0,6-2,0	Конвекція	Конвекція	Ізотермія	Ізотермія	Інверсія	Ізотермія
2,1 – 4,0	Конвекція	Ізотермія	Ізотермія	Ізотермія	Ізотермія	Ізотермія
> 4,0	Ізотермія	Ізотермія	Ізотермія	Ізотермія	Ізотермія	Ізотермія

2.2. Розрахунок еквівалентної кількості СДОР у первинній хмарі.

Кількісні характеристики викиду СДОР для розрахунку масштабів зараження визначаються за його еквівалентними значеннями.

Розрахувати еквівалентну кількість $Q_{\text{с1}}(t)$ сірководню у первинній хмарі:

$$Q_{\text{с1}} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7^1 \cdot Q_0 = 0,27 \cdot 0,036 \cdot 0,23 \cdot 0,9 \cdot 5 = 0,01 \text{ т,}$$

де: $K_1 = 0,27$ – коефіцієнт, що залежить від умов зберігання сірководню (таблиця 2);

$K_3 = 0,036$ – коефіцієнт, що дорівнює відношенню порогової токсодоза хлору до порогової токсодоза сірководню (таблиця 2);

$K_5 = 0,23$ – коефіцієнт, що враховує ступінь вертикальної стійкості повітря для Ізотермії (п. 3.2. Методики прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій на об'єктах морського транспорту);

$K_7^I = 0,9$ – коефіцієнт, що враховує вплив температури повітря на швидкість утворення первинного хмари (таблиця 7.2);

$Q_0 = 5$ – кількість розливу при аварії сірководню, т.

Таблиця 7.2. Характеристики СДОР і значення допоміжних коефіцієнтів

Найменування СДОР	Щільність СДОР, т/ м ³		Температура кипіння, °С	Порогова токсодоза , мг·мин/л	Значення допоміжних коефіцієнтів							
	ізотермічне зберігання				K1	K2	K3	K7 для температури повітря (°C)				
								-40	-20	0	10	20
Сірководень	-	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,042	0,036	<u>0,3</u> 1	<u>0,5</u> 1	<u>0,8</u> 1	<u>0,9</u> 1	<u>1</u> 1

Примітка:

1. У таблиці наведені значення K_7 в чисельнику - K_7^I (для первинної хмари), в знаменнику - K_7^{II} (для вторинної хмари).

2.3. Розрахунок площі розливу, тривалості вражаючої дії і еквівалентної кількості СДОР у вторинній хмарі.

Площа розливу S_p (м²) сірководню дорівнює:

$$S_p = \frac{V_p Q_0 / \rho}{h} = \frac{5 / 0,964}{0,05} = 103,7 \text{ м}^2,$$

де: V_p – обсяг розлитого сірководню, м³;

$\rho = 0,964$ – щільність сірководню, т/м³ (таблиця 2);

$h = 0,05$ – товщина шару сірководню, м.

Тривалість вражаючої дії СДОР визначається часом його випаровування з площі розливу і часом спаду концентрації СДОР до безпечного рівня після відходу хмари зараженого повітря від даної точки.

Розраховуємо тривалість вражаючої дії T (ч) сірководню:

$$T = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7^{\text{II}} K_M} + \frac{1}{v_{\text{II}}} = \frac{0,05 \times 0,964}{0,042 \times 2,67 \times 1 \times 0,2} + \frac{1}{6} = 0,43 + 0,17 = 0,60 \text{ ч.},$$

де: $K_2 = 0,042$ – коефіцієнт, що залежить від фізико-хімічних властивостей сірководню (таблиця 2);

$K_4 = 2,67$ – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру (таблиця 7.3);

$K_7^{\text{II}} = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього повітря на швидкість утворення вторинної хмари (таблиця 7.2);

$K_M = 0,2$ – коефіцієнт, що враховує вплив місцевості на швидкість розповсюдження хмари сірководню (таблиця 7.4);

$v_{\text{II}} = 6$ – швидкість перенесення переднього фронту зараженого повітря, км / год (таблиця 7.5).

Таблиця 7.3. Значення коефіцієнта K_4 залежно від швидкості вітру

Швидкості вітру (u), м/с										
K_4										

Таблиця 7.4. Значення коефіцієнта K_M залежно від впливу характеру місцевості

Рельєф місцевості, вид рослинності і забудови	Вертикальна стійкість повітря		
	Конвекція	Ізотермія	Інверсія
Водна поверхня, відкрита місцевість	1	1	1
Рівнинний, рідкісні дерева	0,5	0,6	0,6
Рівнинний, густий ліс	0,3	0,4	0,4
Горбистий, рідкісні дерева	0,2	0,3	0,4
Горбистий, густий ліс	0,1	0,2	0,3
Передгір'я, рідкісні дерева	0,1	0,2	0,3

Передгір'я, густий ліс	0,1	0,1	0,1
Рідкісні будівлі	0,2	0,3	0,4
Міська (промислова) забудова	0,2	0,2	0,3
територія порту	0,2	0,2	0,3

Таблиця 7.5. Швидкість (км / рік) переносу v_n переднього фронту хмари зараженого повітря залежно від швидкості вітру

Ступінь вертикальної стійкості повітря	Швидкість вітру (u), м/с									
	$1 \leq$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Інверсія	5	10	16	21	-	-	-	-	-	-
Ізотермія	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59
Конвекція	7	14	21	28						

Розрахувати еквівалентну кількість сірководню Q_{s2} (т) у вторинній хмарі:

$$Q_{s2} = \frac{Q_0}{h \times \rho} = \frac{(1-K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7^{II} \cdot 5}{0,07 \cdot 0,05 \times 0,964} = \frac{(1-0,27) \cdot 0,042 \cdot 0,036 \cdot 2,67 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 1}{0,07 \cdot 0,05 \times 0,964} = 0,07 \text{ т,}$$

де: $K_6 = N^{0,8} = 1^{0,8} = 1$ – коефіцієнт, що залежить від часу N , минулого з моменту початку аварії (за умовою завдання $N = 1$ ч);

$K_7^{II} = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього повітря на швидкість утворення вторинної хмари (таблиця 7.2).

2.4. Визначення глибини і площі зони зараження.

Визначення глибини зони зараження первичною (вторинною) хмарию СДОР при аваріях на технологічних ємкостях, сховищах і транспорті ведеться з використанням таблиці 7.6.

Таблиця 7.6. Глибина (км) зони зараження

Швидкість вітру, м/с	Еквівалентна кількість СДОР, т								
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20
1 і менш	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94

4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31

Для $Q_{\Sigma 1} = 0,01$ т і швидкості вітру $u = 6$ м/с визначити глибину зони зараження первинною хмарою сірководню: $\Gamma_1 = 0,15$ км.

Для $Q_{\Sigma 2} = 0,07$ т і швидкості вітру $u = 6$ м/с шляхом інтерполювання визначити глибину зони зараження вторинною хмарою сірководню: $\Gamma_2 = 0,40$ км.

Визначаємо повну глибину зони зараження Γ_{Σ} (км), обумовленої впливом первинної та вторинної хмари сірководню:

$$\Gamma_{\Sigma} = \Gamma' + 0,5 \cdot \Gamma'' = 0,40 + 0,5 \cdot 0,15 = 0,48 \text{ км},$$

де: Γ' - найбільший, Γ'' - найменший з розмірів Γ_1 і Γ_2 .

Визначити гранично можливе значення глибини переносу повітряних мас Γ_{Π} (км):

$$\Gamma_{\Pi} = N \cdot v_{\Pi} = 1 \cdot 6 = 6 \text{ км}.$$

За остаточну розрахункову глибину зони зараження Γ (км) приймаємо менше з двох порівнюваних між собою значень Γ_{Σ} і Γ_{Π} :

$$\Gamma = \min \left\{ \begin{matrix} \Gamma_{\Sigma} \\ \Gamma_{\Pi} \end{matrix} \right\} = 0,48 \text{ км}.$$

Визначаємо площу зони можливого зараження S_B (км²) для первинної і вторинної хмари сірководню:

$$S_B = \pi \cdot \Gamma^2 \cdot \varphi / 360^\circ = 3,14 \cdot 0,48^2 \cdot 45^\circ / 360^\circ = 0,09 \text{ км}^2,$$

де: $\Gamma = 0,48$ – розрахункова глибина зони зараження, км;

$\varphi = 45^\circ$ - кутовий розмір зони зараження, град (таблиця 7.7).

Таблиця 7.7. Кутові розміри зони можливого зараження СДОР залежно від швидкості вітру

Швидкість вітру (u), м/с	$\leq$ 0,5	0 , 6 - 1	1 , 1 - 2	> 2
φ , град	36 0	1 8 0	9 0	4 5

Визначаємо площу зони фактичного зараження $S\phi$ (км²):

$$S\phi = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0,2} = 0,133 \cdot 0,48^2 \cdot 1^{0,2} = 0,03 \text{ км}^2,$$

де: $K_8 = 0,133$ – коефіцієнт, що залежить від ступеня вертикальної стійкості повітря – ізотермії (п. 3.4. Методики прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій на об'єктах морського транспорту).

2.5. Розрахунок глибини розповсюдження хмари СДОР в вражаючих концентраціях при смертельному, важкому, середньому і легкому ураженні. Територія Можливого хімічного зараження є сектор, який має кутовий розмір $\varphi = 45^\circ$ (таблиця 7.7) і радіус, дорівнює значенню розрахункової глибини зони зараження $\Gamma = 0,48$ км. Центр сектора збігається з джерелом зараження - місцем розливу сірководню. Бісектриса сектора збігається з віссю сліду хмари і орієнтована за напрямком вітру.

У районі хімічного зараження виділяють зони смертельної концентрації, важких, середніх і легких поразок.

Розраховуємо глибину зони смертельних поразок Γ_l (км):

$$\Gamma_l = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_{\text{э}}}{D_l} \right)^\Psi = 1,20 \cdot 1,0 \cdot \left(\frac{0,08}{6} \right)^{0,537} = 0,12 \text{ км},$$

де: $\lambda = 1,20$; $\Psi = 0,537$ – коефіцієнти, залежні від швидкості вітру (таблиця 8);

$Q_{\Sigma} = Q_{\Sigma 1} + Q_{\Sigma 2} = 0,01 + 0,07 = 0,08$ – загальне еквівалентну кількість сірководню, що перейшло у первинне і вторинне хмару, т;

$D_l = 6$ – летальна токсодоза для хлору, мг.мин/л.

Розрахувати глибину зони важких уражень $\Gamma_{0,4l}$ (км):

$$\Gamma_{0,4l} = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_{\Sigma}}{D_{0,4l}} \right)^{\psi} = 1,20 \cdot 1,0 \cdot \left(\frac{0,08}{2,4} \right)^{0,537} = 0,19 \text{ км},$$

де: $D_{0,4l} = 0,4 \cdot D_l = 0,4 \cdot 6 = 2,4$ - значення токсодози, відповідне 40% летальної токсодози для хлору, мг.мин/л.

Розраховуємо глибину зони поразок середньої важкості $\Gamma_{0,2l}$ (км):

$$\Gamma_{0,2l} = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_{\Sigma}}{D_{0,2l}} \right)^{\psi} = 1,20 \cdot 1,0 \cdot \left(\frac{0,08}{1,2} \right)^{0,537} = 0,28 \text{ км},$$

де: $D_{0,2l} = 0,2 \cdot D_l = 0,2 \cdot 6 = 1,2$ - значення токсодози, відповідне 20% летальної токсодози для хлору, мг.мин/л.

Глибина зони легких поразок відповідає значенню розрахунковій глибині зони зараження $\Gamma = 0,48$ км.

Таблиця 7.8. Коефіцієнти λ и ψ , залежні від швидкості вітру

Коефіцієнти	Швидкість вітру (u), м/с							
	1 і м е н ш	2	3	4	5	6	7	10
λ	3 , 7 3	2,31	1,80	1,52	1,34	1,20	1,11	0,92
ψ	0 , 6	0,580	0,563	0,551	0,542	0,537	0,531	0,515

	0							
	6							

2.6. Розрахунок часу підходу зараженого повітря до об'єкта.

Час підходу хмари СДОР к заданого об'єкта t (ч) залежить від швидкості перенесення хмари повітряним потоком і визначається за формулою:

$$t = \frac{x}{K_m \cdot v_{\Pi}} = \frac{0,25}{1,0 \cdot 6} = 0,04 \text{ ч,}$$

де: $x = 0,25$ – відстань від джерела зараження до заданого об'єкта, км.

3. Висновки і рекомендовані заходи для зменшення людських втрат.

Проведена оцінка масштабів хімічного зараження території в результаті аварійного руйнування багатоеlementного газового контейнера з сірководнем показала, що заражена хмара підійде до судна через 0,04 години. На підставі виконаних розрахунків можна зробити висновок, що судно знаходиться поза зоною вражаючих концентрацій хмари зараженого повітря.

Для зменшення можливих людських втрат необхідно, обмежити вихід членів екіпажу на палубу судна, контролювати напрям переміщення хмари зараженого повітря і концентрацію сірководню в повітрі.

Враховуючи, що час дії вражаючих концентрацій досить невелика - 0,60 години, слід протягом цього часу забезпечувати підвищену готовність екіпажу до виконання додаткових заходів, пов'язаних із загрозою хімічного зараження.

ВИСНОВОК

Даний дипломний проект виконаний для економічного та безпечного переходу з порту Нагоя до порту Сан Франциско.

За каталогом карток, книг і посібників з маршрутами проведений підбір необхідної літератури.

Планування рейсу проводиться, на основі збору і глибокого аналізу всієї наявної навігаційної інформації про маршрут майбутнього переходу і детальної попереднього його опрацювання. Існують різні фактори, які можуть ускладнювати безпечне плавання всіх суден, а також додаткові фактори, які можуть ускладнювати плавання великотоннажних суден або суден, які перевозять небезпечні вантажі. Ці фактори необхідно враховувати при складанні плану і при подальшому контролі його виконання.

Вироблено розміщення вантажів в трюмах та розрахунок і перевірка статичної остійності за вимогами ІМО.

У дослідницькому розділі узагальнено результати аналізу сучасних тенденцій розвитку технологій автономних буксирів та визначено ключові напрями подальших досліджень у цій сфері. Встановлено, що сучасні науково-дослідні та дослідно-конструкторські проекти здебільшого орієнтовані на створення дистанційно керованих систем із частковим рівнем автономності, тоді як повністю автономні рішення перебувають на етапі теоретичного моделювання та експериментальної перевірки. Визначено чотири основні групи технологій, необхідних для реалізації автономних буксирів: технології сприйняття, прийняття рішень, моделювання багатьох тіл та системи точного керування. Підкреслено доцільність розроблення алгоритмів автоматичного розподілу завдань між буксирами, удосконалення моделей взаємодії суден і буксирів, а також створення надійних комунікаційних і діагностичних систем. Зроблено висновок, що впровадження автономних буксирів сприятиме підвищенню

безпеки морських операцій, зменшенню експлуатаційних витрат та оптимізації портової логістики, що є важливим етапом у розвитку сучасного морського транспорту.

Розраховані кількісні і якісні економічні показники роботи судна в рейсі і виконано їх порівняльний аналіз за рейс і за експлуатаційний період.

Також розглянуто прогнозування наслідків надзвичайної ситуації на об'єкті морського транспорту

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки для виконання магістерської роботи / Укл. І.І. Ворохобін та ін. –Одеса: НУОМА, 2023. – 96 с.
2. Practical navigation [Text]: training. manual / V. G. Aleksishyn, V. T. Dolgochub; Odesa Maritime National Academy. - 4th ed., Ex. and add. - O.: Phoenix, 2011. - 376 p.
3. Eric H. Ash Navigation Techniques and Practice in the Renaissance, Volume 3, (2013) 513 – 519
4. Alan Murray. Astro Navigation From Square One To Ocean Master.- M-Y Books, 2013. - 445 p.
5. D.J. House. Seamanship Techniques. Shipboard and Marine Operations. 5th Editdion. 2018. - 922 p.
6. Забезпечення навігаційної безпеки плавання [Текст]: навчальний посібник / В. Г. Алексішин, Л. А. Козир, С. В. Симоненко; Одеська морська національна академія. - Одеса: Фенікс: 2012. – 518 с.
7. Михальчук В.В. Морехідна астрономія: конспект лекцій. - Одеса: ОНМА, 2003 - 55с.
8. Технічні системи та способи забезпечення безпеки руху суден [Текст]: навч. посібник для студ. вузів / Г. Б. Вільський; Миколаївський політехнічний ін-т. – О.: Фенікс, 2008. – 234 с.
9. Ніколаєва Л. Л. Комерційна експлуатація судна: навч. [для студ. вищ. навч. зав.] / Л. Л. Миколаєва. – Одеса: Фенікс, 2006. – 754 с.
- 10.Савчук В. Д. Технологія перевезення вантажів : підруч. / В. Д. Савчук. – Одеса: ВидавІнформ, 2008. – 335 с.
- 11.Adoption of the International Code on Intact Stability, 2008 (2008 IS Code), Resolution MSC.267(85).

12. Конвенція та кодекс з підготовки, дипломування моряків та несення вахти (ПДМНВ-78/95) – International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978/95 (STCW-78/95)
13. Резолюція ІМО А.893 (21) -1999 «Посібник з планування рейсу».
14. Рекомендації щодо організації штурманської служби на морських судах України (РІШСУ-98).-Одеса: ЮЖНИИМФ, 1998.-111с.
15. Посібник з процедур на містку — Bridge Procedure Guide. - International chamber of shipping. 1998. - 87 р.
16. Правила класифікації та побудови морських суден. В 5-ти т. Том 2. – Київ: Регістр судноплавства України, 2014.
17. J. N. Newman, “The Theory of Ship Motions,” *Advances in Applied Mechanics*, vol. 18, pp. 221-283, 1979.
18. Сізов В.Г. Теорія корабля: Підручник. Видання 4-те, перероблене та доповнене. – Одеса: Фенікс, 2008. – 464 с.
19. Регістр Судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден.: У 5-ти т. Том 2. - Київ: Регістр судноплавства України, 2016.
20. Вагущенко Л.Л., Кошевий А.А. Автоматизовані комплекси судноводіння. Підручник для морських академій. – Видавництво «КВІЦ», Київ, 2000. -292 с.
21. Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments. Resolution A.267(85). -London: International Maritime Organization, 2008. - 109 р
22. Мальцев А.С. Теорія та практика безпечного управління судном під час маневрування. Дис. докт. техн. наук: 05.22.16. Одеса, 2007. 395 с.
23. Мальцев А.С. Маневрування судів під час розбіжності. - Одеса.: Морський тренажерний центр, 2002. стр. 208
24. Яркін П.І. Керування судном Транспорт, 2006. 155с.
25. Jung H. Trend of Autonomous Navigation Technology for Unmanned Ship [Електронний ресурс] / Hoeryong Jung, HyeongJun Chang, Young Eun Song // *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*. – 2019. – Т. 25, № 1. – С.

- 76–87. – Режим доступа: <https://doi.org/10.5302/j.icros.2019.18.0133> (дата звернення: 03.11.2025).
26. A ship berthing system design with four tug boats [Електронний ресурс] / Van Phuoc Bui [та ін.] // *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2011. – Т. 25, № 5. – С. 1257–1264. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s12206-011-0215-4> (дата звернення: 03.11.2025).
27. Bidikli B. Robust dynamic positioning of surface vessels via multiple unidirectional tugboats [Електронний ресурс] / Baris Bidikli, Enver Tatlicioglu, Erkan Zergeroglu // *Ocean Engineering*. – 2016. – Т. 113. – С. 237–245. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.12.057> (дата звернення: 03.11.2025).
28. Tugboats Services Market by Application, Power Rating, and Geography—Forecast and Analysis 2023–2027. 2023. – Режим доступа: <https://www.technavio.com/report/tugboats-services-market-industry-analysis> (дата звернення: 06.11.2025).
29. de Vos J. The Impact of Autonomous Ships on Safety at Sea – A Statistical Analysis [Електронний ресурс] / Jiri de Vos, Robert G. Hekkenberg, Osiris A. Valdez Banda // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2021. – Т. 210. – С. 107558. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107558> (дата звернення: 06.11.2024).
30. An economic analysis of introducing autonomous ships in a short-sea liner shipping network [Електронний ресурс] / Abeera Akbar [та ін.] // *International Transactions in Operational Research*. – 2020. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1111/itor.12788> (дата звернення: 06.11.2025).
31. Höyhtyä M. Integrated Satellite–Terrestrial Connectivity for Autonomous Ships: Survey and Future Research Directions [Електронний ресурс] / Marko Höyhtyä, Jussi Martio // *Remote Sensing*. – 2020. – Т. 12, № 15. – С. 2507. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/rs12152507> (дата звернення: 09.11.2025).

32. Marine-Pilots.com. The Road Towards Autonomous Ship Handling with Tugs-Marine-Pilots.com. 2019. [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <https://www.marine-pilots.com/articles/13470-road-towards-729autonomous-ship-handling-with-tugs> (дата звернения: 09.11.2025).
33. Forming the area of unacceptable values of the parameters of vessels' movement for the vessels' divergence at remote control process [Электронный ресурс] / Igor Burmaka [та ін.] // Acta Innovations. – 2022. – № 44. – С. 5–17. – Режим доступа: <https://doi.org/10.32933/actainnovations.44.1> (дата звернения: 09.11.2025).
34. Royce, R. Rolls-Royce demonstrates world's first remotely operated commercial vessel. Date Access 2017, 23, 2019.
35. Polarization-based target detection approach to enhance small surface object identification ensuring navigation safety [Электронный ресурс] / Maksym Stetsenko [та ін.] // System research and information technologies. – 2024. – № 2. – С. 35–51. – Режим доступа: <https://doi.org/10.20535/srit.2308-8893.2024.2.03> (дата звернения: 12.11.2025).
36. Sikirin, V. & Golodov, M.. (2022). CREATING A DIGITAL MODEL OF THE BOTTOM RELIEF. Shipping & Navigation. 33. 111-121. 10.31653/2306-5761.33.2022.111-121. Режим доступа: https://navjournal-nuoma.learnmarine.com/wp-content/uploads/2023/01/33_2022_V.-Sikirin-M.-Golodov-Creating-a-digital-model-of-the-bottom-relief.pdf. (Дата звернения: 12.11.2025).
37. Golodov, M. & Sikirin, V.. (2023). DETERMINATION AND CONSIDERATION OF SYSTEMATIC ERRORS IN THE MEASUREMENT OF NAVIGATION DEPTHS. Shipping & Navigation. 35. 43-59. 10.31653/2306-5761.35.2023.43-59. Режим доступа: <https://navjournal-nuoma.learnmarine.com/wp-content/uploads/2024/01/35-2023-Golodov-DETERMINATION-AND-CONSIDERATION-OF-SYSTEMATIC-ERRORS-IN-THE-MEASUREMENT-OF-NAVIGATION-DEPTHS.pdf>. (Дата звернения: 12.11.2025).

38. Kim, S.J. Merging Relative and Absolute Coordinates in Sensor Network Localization. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea, 2011.
39. Seong Yun Cho, K.H.S. Design of an Integrated Navigation System for Autonomous Vehicles based on Cubature Kalman Filter. In Proceedings of the KSAE 2022 Annual Autumn Conference and Exhibition, Shinhwaworld Jeju, Jeju Island, 16–19 November 2020; pp. 561–564.
40. Ablyakimov, I.S.; Shirokov, I.B. Operation of local positioning system for automatic ship berthing. In Proceedings of the 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Novi Sad, Serbia, 27 September–2 October 2017; pp. 1–5.
41. Estimation of berthing state of maritime autonomous surface ships based on 3D LiDAR [Электронный ресурс] / Bin Hu [та ін.] // Ocean Engineering. – 2022. – Т. 251. – С. 111131. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111131> (дата звернення: 15.11.2025).
42. Fu, H.; Huang, Y.; Li, W. Ship berthing motion control based on improved Simulation Localization and Mapping algorithm. In Proceedings of the 2021 4th International Symposium on Traffic Transportation and Civil Architecture (ISTTCA), Suzhou, China, 12–14 November 2021; pp. 233–236.
43. Artificial Intelligence Vision-Based Monitoring System for Ship Berthing [Электронный ресурс] / Hanguen Kim [та ін.] // IEEE Access. – 2020. – Т. 8. – С. 227014–227023. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3045487> (дата звернення: 15.11.2025).
44. Design and Preliminary Results of Novel Situational Awareness System for Autonomous Ship based on Artificial Intelligence Techniques [Электронный ресурс] / Hyun-Taek Choi [та ін.] // Journal of Institute of Control, Robotics and Systems. – 2021. – Т. 27, № 8. – С. 556–564. – Режим доступа: <https://doi.org/10.5302/j.icros.2021.21.0063> (дата звернення: 18.11.2025).
45. Kuhn H. W. The Hungarian method for the assignment problem [Электронный ресурс] / H. W. Kuhn // Naval Research Logistics Quarterly. – 1955. – Т. 2, № 1-

2. – С. 83–97. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1002/nav.3800020109> (дата звернення: 18.11.2025).
46. Fast marching square method based intelligent navigation of the unmanned surface vehicle swarm in restricted waters [Електронний ресурс] / Guoge Tan [та ін.] // *Applied Ocean Research*. – 2020. – Т. 95. – С. 102018. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2019.102018> (дата звернення: 21.11.2025).
47. Cox, R.L. Path Planning of Autonomous Swarm Tugboats. Master's Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2017.
48. Optimization on planning of trajectory and control of autonomous berthing and unberthing for the realistic port geometry [Електронний ресурс] / Yoshiaki Miyauchi [та ін.] // *Ocean Engineering*. – 2022. – Т. 245. – С. 110390. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110390> (дата звернення: 21.11.2025).
49. Van Bui P. Development of constrained control allocation for ship berthing by using autonomous tugboats [Електронний ресурс] / Phuoc Van Bui, Young Bok Kim // *International Journal of Control, Automation and Systems*. – 2011. – Т. 9, № 6. – С. 1203–1208. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s12555-011-0622-4> (дата звернення: 24.11.2025).
50. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed [Електронний ресурс] / Igor Burmaka [та ін.] // *Transactions on Maritime Science*. – 2022. – Т. 11, № 1. – С. 7–15. – Режим доступу: <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01> (дата звернення: 24.11.2025).
51. Choi J.-K. Preliminary study on the docking control of a large ship using tugboats [Електронний ресурс] / Jin-Kyu Choi // *Journal of Advanced Marine Engineering and Technology*. – 2020. – Т. 44, № 4. – С. 311–317. – Режим доступу: <https://doi.org/10.5916/jamet.2020.44.4.311> (дата звернення: 25.11.2025).
52. Sano M. Mathematical model and simulation of cooperative manoeuvres among a ship and tugboats [Електронний ресурс] / Masaaki Sano // *Brodogradnja*. – 2023.

- Т. 74, № 2. – С. 127–148. – Режим доступа: <https://doi.org/10.21278/brod74207> (дата звернення: 25.11.2025).
53. Simulation Modeling for Evaluation of Efficiency of Observed Ship Coordinates [Електронний ресурс] / Igor Vorokhobin [та ін.] // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2022. – Т. 16, № 1. – С. 137–141. – Режим доступа: <https://doi.org/10.12716/1001.16.01.15> (дата звернення: 26.11.2025).
54. Vorokhobin I. I. Analysis of possibility of application of orthogonal decomposition of closeness of the mixed laws of distributing of errors by the Ermyt's polynomials [Електронний ресурс] / I. I. Vorokhobin, I. Y. Fusar, B. M. Alekseychuk // Science and Education a New Dimension. – 2018. – Т. VI(18), № 158. – С. 84–88. – Режим доступа: <https://doi.org/10.31174/nt2018-158vi18-22> (дата звернення: 27.11.2025).
55. Hong S. Reinforcement Learning Based Tugboats Control for Autonomous Ship Berthing [Електронний ресурс] / Seungjo Hong, Jinwhan Kim // Journal of the KNST. – 2021. – Т. 4, № 1. – С. 72–77. – Режим доступа: <https://doi.org/10.31818/jknst.2021.03.4.1.72> (дата звернення: 28.11.2025).
56. Tugboat scheduling for container ports [Електронний ресурс] / Xiaoyang Wei [та ін.] // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2020. – Т. 142. – С. 102071. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102071> (дата звернення: 28.11.2025).
57. Satellite Navigation Systems, As The Development Of Digitalization Of The Marine Corridor [Електронний ресурс] / Igor Vorokhobin [та ін.] // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. – 2021. – Т. 21, № 11. – С. 241–247. – Режим доступа: <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2021.21.11.33> (дата звернення: 28.11.2025).
58. Kuzu, A.C.; Arslan, Ö. Analytic comparison of different mooring systems. In Proceedings of the Global Perspectives in MET: Towards Sustainable, Green and Integrated Maritime Transport, Varna, Bulgaria, 3 April 2017; pp. 265–274.

59. <https://unctad.org/en/pages/> - Review of Maritime Transport 2018 (Огляд морського транспорту).
60. Винников В.В. Экономика предприятия морского транспорта (экономика морских перевозок): - 3 изд., перераб. доп. – О.: Феникс, 2011. – 944 с.
61. Дем'янченко А.Г., Сотниченко Л.Л. Вдосконалення організаційно-економічного механізму управління розвитком підприємств морської галузі / кол. монографія за ред. А. Г. Дем'янченко. – Одеса: НУ «ОМА», 2017. – 325 с.
62. Сотниченко Л.Л., Бабаченко М.В. Економіка водного транспорту: методичні вказівки розрахункової роботи. – Одеса: НУ «ОМА», 2017, с. 20.
63. Терновський В. Б. Методичні вказівки щодо виконання розділу дипломної роботи «Охоронні заходи та цивільна оборона на судні» / В. Б. Терновський – Одеса: НУОМА, 2015. – 75 с.