

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

Навчально-науковий інститут навігації

Кафедра Управління судном

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРАНТА

Спеціальність 271 Морський та внутрішній водний транспорт
Спеціалізація 271.01 Навігація і управління морськими суднами

Єрмолаєв Антон Максимович

(прізвище, ім'я по-батькові)

Тема роботи *Комплексне опрацювання та дослідження етапів переходу судна*
«Moon Safari» за маршрутом Амстердам – Пунта Кардон

Підпис магістранта Єрмолаєв А.М.

Завідувач кафедри _____

Керівник _____ проф. Ворохобін І. І.

Рецензент _____

Нормоконтроль _____

м. Одеса
2025 рік

Магістерська робота містить 139 с., 17 рис., 54 таб., 54 використаних джерел.

Дипломна робота являє собою «Комплексне опрацювання та дослідження етапів переходу судна «Moon Safari» за маршрутом Амстердам – Пунта Кардон». Загальна протяжність переходу склала 4442,8 милі.

Метою дослідження є аналіз алгоритмів роботи систем автоматизованої радіолокаційної прокладки (САРП/ARPA) з акцентом на математичні моделі супроводу цілей, фільтрацію та злиття даних Radar/AIS. Охарактеризовано нормативно-правові вимоги ІМО/ІЕС, проведено огляд сучасних ARPA-систем провідних виробників. Розглянуто моделі руху Constant Velocity та Constant Acceleration, фільтр Калмана, методи асоціації даних та побудову зон небезпеки відповідно до МППЗС-72. Показано результати імітаційного моделювання, які підтверджують ефективність адаптивних алгоритмів та відповідність вимогам стандартів. Особливу увагу приділено навігаційним можливостям САРП: електронним лініям, радіолокаційному фарватеру та електронним картам.

The master's thesis contains 139 pages, 17 figures, 54 tables, 54 used sources.

The thesis is a "Comprehensive study and study of the stages of the passage of the vessel "Moon Safari" along the route Amsterdam - Punta Cardon". The total length of the crossing was 4,442.8 miles.

The chapter provides a comprehensive analysis of the algorithms used in Automatic Radar Plotting Aids (ARPA) with a focus on target-tracking mathematical models, data filtering, and Radar/AIS sensor fusion. It reviews the relevant IMO/IEC regulatory standards and examines modern ARPA systems produced by leading manufacturers. The study discusses Constant Velocity and Constant Acceleration motion models, Kalman filtering, data-association methods, and the construction of Predicted Areas of Danger in accordance with COLREGs. Simulation results confirm the effectiveness of adaptive filtering techniques and demonstrate compliance with international performance requirements. Additional ARPA navigation functions—electronic lines, radar fairway visualization, and simplified electronic charts—are also described as important elements enhancing navigational safety.

ВСТУП

Безпека мореплавання - це комплексна багатоаспектна проблема, яка вирішується з використанням багатьох різноманітних способів і методів.

Штурман бере інформацію з усіх доступних джерел. Професійний штурман постійно визначає позицію судна, заздалегідь визначає небезпеку, та завжди на крок попереду судна. Штурман має розуміти концепт багатьох навігаційних систем що використовуються на даний час, оцінювати їх точність, та приймати найкращі рішення виходячи з цього.

Розвиток сучасних суднових навігаційних систем спрямований на підвищення безпеки мореплавства в умовах зростаючої інтенсивності руху, складної навігаційної обстановки та зростання вимог міжнародних стандартів. Одним із ключових елементів Інтегрованих навігаційних систем судна є Система автоматизованої радіолокаційної прокладки (САРП, ARPA), яка забезпечує автоматичний супровід цілей, визначення параметрів зближення та попередження про ризики зіткнення.

У цьому розділі виконано комплексний огляд нормативної бази, технічних можливостей та алгоритмічних рішень сучасних ARPA-систем. Детально проаналізовано еволюцію апаратного забезпечення, математичні моделі супроводу цілей, побудову фільтрів для оцінювання стану, методи злиття даних Radar/AIS, алгоритми асоціації вимірювань, а також функції, пов'язані з реалізацією правил МППЗС-72 та візуалізацією зон небезпеки.

Особливу увагу приділено імітаційному моделюванню та перевірці працездатності запропонованих алгоритмів згідно з вимогами стандартів ІМО/ІЕС. Отримані результати демонструють важливість використання адаптивних фільтрів, оптимальних методів асоціації та комплексного сенсорного злиття для досягнення високої точності навігації та мінімізації людського фактору.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА

1.1 Загальні відомості і головні розміри судна

Таблиця 1.1 – Основні відомості про судно

1.	Назва судна	MOON SAFARI
2.	Тип судна	Tanker
3.	Позивний сигнал судна	V7WW5
4.	IMO	9233349
5.	MMSI	370784000
6.	Рік і місце побудови	2000 by NAMURA SHIPBUILDING CO. LTD. - OSAKA, JAPAN
7.	Клас Регістру	NIPPON KAIJI KYOKAI (NKK)
8.	Порт приписки	Маджуро, Маршаллові Острови
9.	Судновласник	PRIME MARINE MANAGEMENT - ATHENS, GREECE
10.	Менеджмент	PRIME MARINE MANAGEMENT - ATHENS, GREECE
11.	Довжина найбільша L (м)	274,19
12.	Довжина між перпендикулярами $L_{\perp\perp}$	264
13.	Ширина найбільша B (м)	50
14.	Висота борту до верхньої палуби H (м)	23,10
15.	Найбільша осідання T (м)	$T_{тр} = 17,528$; $T_{л} = 17,171$; $T_{з} = 16,814$
16.	Осадка T (м) в повному вантажу и порожньому	$T_{max} = 17,528$; $T_{min} = 6,07$
17.	Водотоннажність (т) в повному вантажу Δ порожньому Δ_0	195456 26279,50
18.	Повна вантажопідйомність Δ_w (т)	169175
19.	Головний двигун: тип: потужність: частота обертання:	B & W 6S70MC-C 18660 kW $\times$ 91 min

20.	Режим роботи головного двигуна	повний вперед - 76 об / хв; малий вперед - 47 об / хв; найменший вперед - 30 об / хв; найменший тому - 30 об / хв; малий назад -47 об / хв; повний назад - 68 об / хв;
21.	Швидкість судна	14,2 / 15,3
22.	Гребний гвинт: Кількість лопастей: Діаметр та крок гвинта (м) Дискове відношення: Напрямок обертання:	4 (0.7P) - 8,200 мм × 5,811 0.7087 праве
23.	Тип руля і площа його пера (м ²)	напів-збалансований, S = 65,199
24.	Тип стернової машини: Підрулюючий пристрій:	аксіально-поршневий насос +1200 RPM 90 kW
25.	Суднова радіостанція: Склад суднової радіоапаратури відповідає вимогам району A1, A2, A3, A4 та включає в себе:	Furuno FM-8800S VHF GMDSS DSC
26.	Валова реєстрова місткість (GRT)	84735
27.	Чиста реєстрова місткість (NRT)	54305
28.	Добова витрата палива: На ходу: важке паливо (HFO) На стоянці: дизельне паливо (DO)	60 (в вантажу), 45 (в баласті) 12
29.	Координати центру мас порожнього судна	Z = 12,31 X = - 9,28 м

1.2 Транспортно-експлуатаційні характеристики

Схематичне креслення бічного виду судна наведено на рис. 1.1;

План верхньої палуби із зазначенням розміщення вантажних стріл і кранів, їх вантажопідйомності в робочій зоні, включаючи винесення за борт, наведено на рис. 1.2;

Вантажна шкала представлена на рис.1 3;

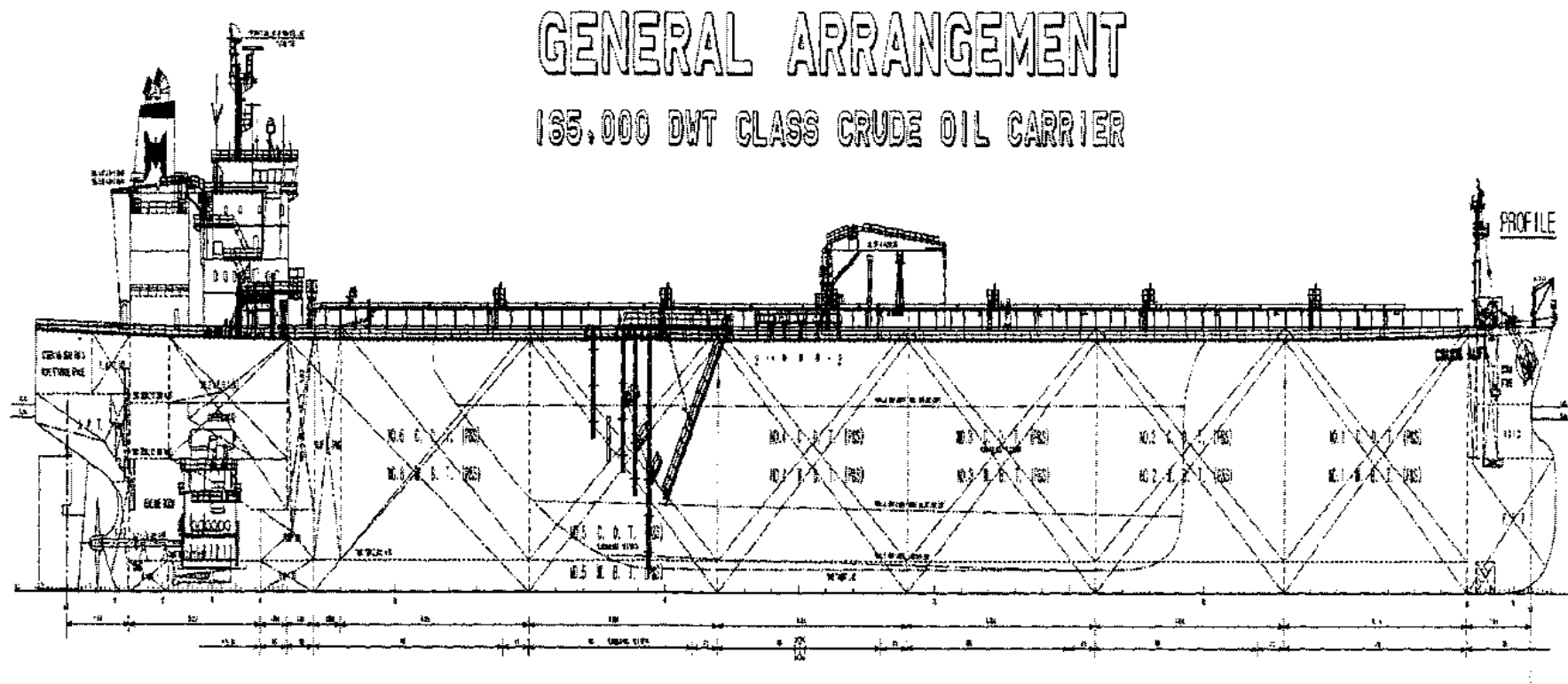


Рисунок 1.1 - Схематичне креслення бічного виду судна

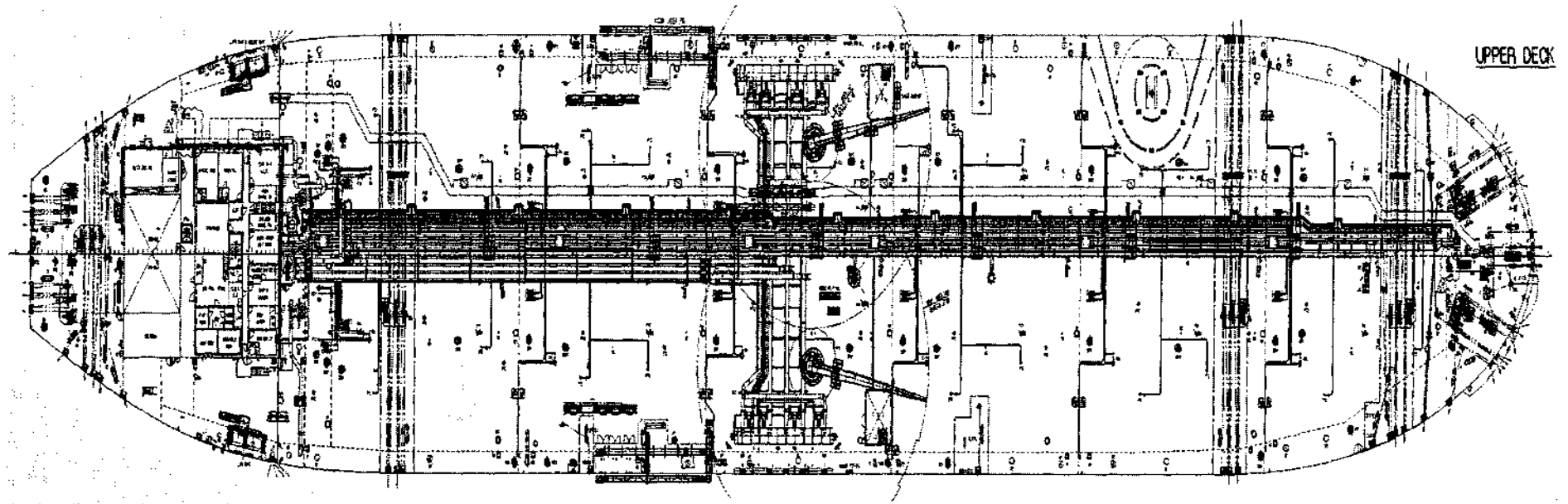


Рисунок 1.2 - План верхньої палуби судна

Рисунок 1.3 - Вантажна шкала

PILOT CARD

SHIP'S PARTICULARS:				PORT: Covenas in/out	
Name: MOON SAFARI		Flag: Marshall Islands		Call sign: V7WW5	
Displacement: 176268 tonnes		Deadweight: 149999 tonnes		year built: 2000	
Length OA	274.19 (m)	Breadth	50 (m)	Bulbous bow	yes
Draught fwd	- (m)	Draught aft	- (m)	Draught amidships	- (m)
Port anchor	357.5 (shackles)	Stbd anchor	358 M (shackles); (1 shackles = 27.5m)		

Parallel W/L

loaded - m

Ballast - m

Air Draught 43.86 m

Freeboard: - m

ENGINE:					
Type	DIESEL		Maximum power	18660 kW	- (HP)
	rpm / pitch	loaded speed	ballast speed	Engine critical rpm 36-44	
full ahead	76	12.7 kts	14.2 kts	Max.No of consecutive starts 23	
half ahead	61	10.2 kts	11.4 kts		
slow ahead	47	7.8 kts	8.8 kts		
Dead slow ahead	30	6.2 kts	6.4 kts		
Dead slow astern	30				
slow astern	47				
half astern	61				
full astern	68	81 (% of full ahead power)		Time limit astern	No limits (min)
				Time full ahead to full astern	320 (sec)

STEERING:					
Rudders:	1 (number)	SEMI-BAL (type)	35 maximum angle		
Time hard-over to hard-over	25 sec	Rudder angle for neutral effect	0 °		
Propellers	1 (number)	Direction of turn	RIGHT	Controllable pitch	NO
Thrusters	NIL (number)	Bow power	- (kW/HP)	Stern power	-
Steering peculiarities: -					

EQUIPMENT CHECKED & READY FOR USE:					
Anchors	☐	Cleared away	☐	VHF	☐
X-Band radar	☐	ARPA	☐	Flags	☐
S-Band radar	☐	ARPA	☐	Whistle	☐
Speed log	☐	Water/G round	☐	Engine telegraphs	☐
Echo sounder	☐	single axis / dual axis			
Electronic position - fixing	☐	Type	GPS		
Compass system	☐	Gyro compass error	0 °		
Steering gear	☐	Number of power units in use	-		
Rudder/RPM/ROT indicators	☐	Mooring winches and lines	-		

EQUIPMENT DEFECTS RELEVANT TO SAFE NAVIGATION & OTHER IMPORTANT DETAILS:

Рисунок 1.4 - Лоцманська картка

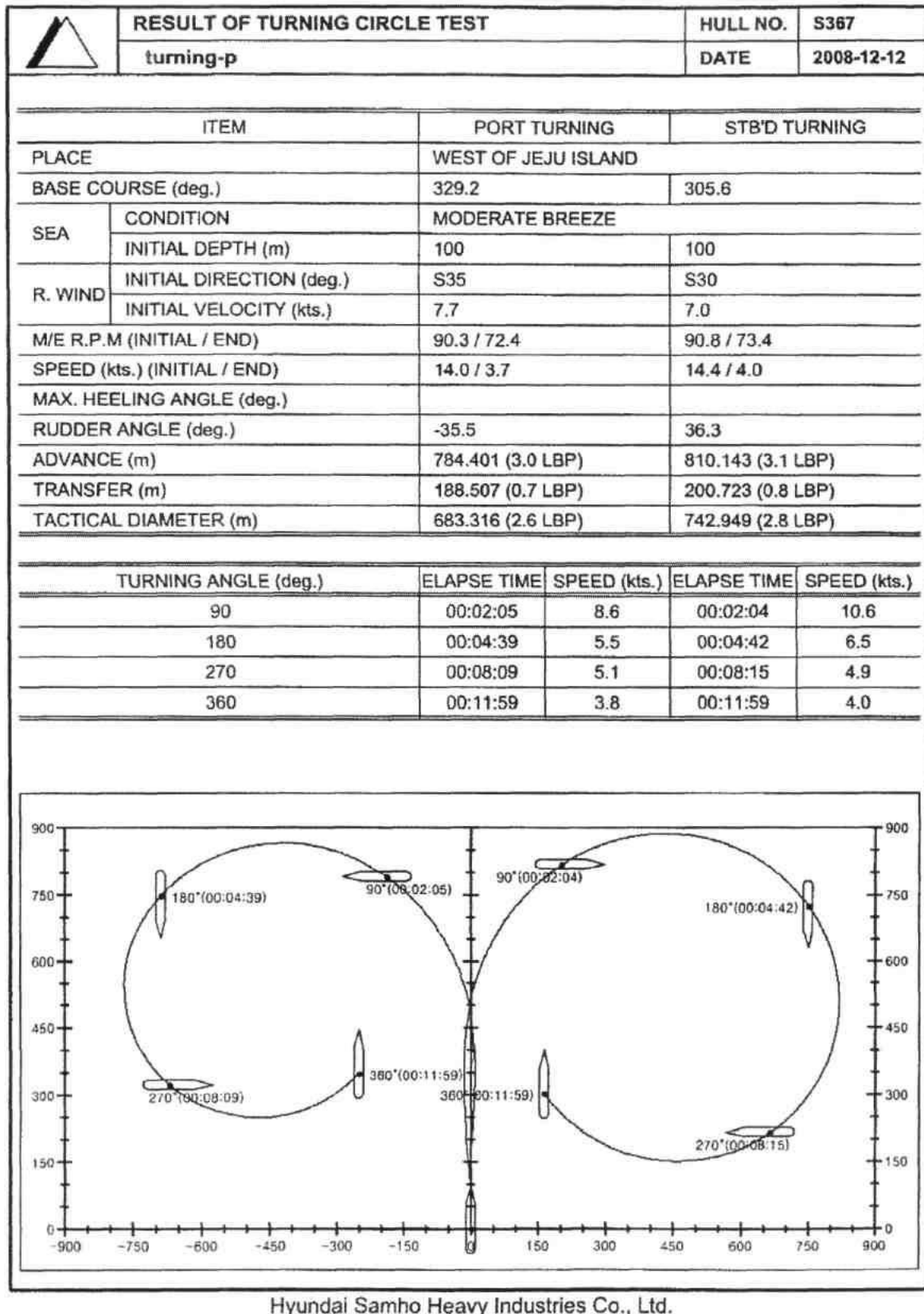


Рисунок 1.5 – Криві циркуляції

1.4 Навігаційне обладнання

Таблиця 1.3 - Склад навігаційного обладнання на містку

No	Прилад	Тип, марка	Виробник	Кіл-сть	Стан
1	RADAR No1	RL150X-Band	FURUNO		V.GOOD
2	RADAR No2	RL150S-Band	FURUNO		V.GOOD
3	ECDIS	FMD-3200	FURUNO	2	V.GOOD
4	NAVIGATION	NDC-1092	KONGSBERG		V.GOOD
6	GPS No1	GP-32	FURUNO		V.GOOD
7	GPS No2	GP-32	FURUNO		V.GOOD
8	CONNING DISPLAY	NWU-198	FURUNO		V.GOOD
9	ECHO SOUNDER	FE-800	FURUNO		V.GOOD
10	SPEED LOG	LOGDS-80	FURUNO		V.GOOD
11	GYRO COMPASS	GY-700	FURUNO	2	V.GOOD
12	AUTOPILOT	PT500A-H-T2	KONGSBERG		V.GOOD
13	MAGNETIC COMPASS	NAVIPOLIV	Riken-Keiki		V.GOOD
14	WIND INDICATOR	WI-6206	FURUNO		VGOOD
15	UPS	ESCORT-1000	FURUNO		V.GOOD
16	CONSOLE	7EZNB0003	KONGSBERG		V.GOOD
17	FACSIMILE RECEIVER	FAX-410	FURUNO		V.GOOD
18	MASTER CLOCK	SSC-MQ1	FURUNO		V.GOOD
19	GMDSS VHF	FM-4721	FURUNO	3	VGOOD
20	NAVTEX RECEIVER	NX-700B	FURUNO		V.GOOD
21	GMDSS SATCOM C	JUE-75C	FURUNO		V.GOOD
22	MF/HF RADIO EQUIPMENT	FS-1575	FURUNO		V.GOOD
23	406MHZ SATELLITE EPIRB	JQE-3A	FURUNO		V.GOOD
24	SART	JQX-30A	FURUNO	2	V.GOOD
25	GMDSS PORTABLE W/T	JHS-7	FURUNO	3	V.GOOD
26	AIS	FA-150	FURUNO		V.GOOD
27	INM-B FAX	OKIFAX-460	FURUNO		V.GOOD
28	INM-B TELEFAX	PCU9000	FURUNO		V.GOOD
29	INM-B TELEPHONE	FELCOM-19	FURUNO		VGOOD
30	INTERSHIP WALKIE TALKIES	HX290	MOTOROLA, VERTEX	4	V.GOOD
31	PUBLIC ADRESS SYSTEM	MPA-3000	MPC		VGOOD
32	FIRE CONTROL PANEL	SG-6800	FURUNO		V.GOOD
33	DAYLIGHT SIGNAL LAMP	DDS-84A	FURUNO		V.GOOD
34	COURSE RECORDER	KR100A	FURUNO		V.GOOD

На плані навігаційної палуби (рис. 1.6) наведено перелік навігаційного обладнання, пронумерованого відповідно до табл. 1.3.

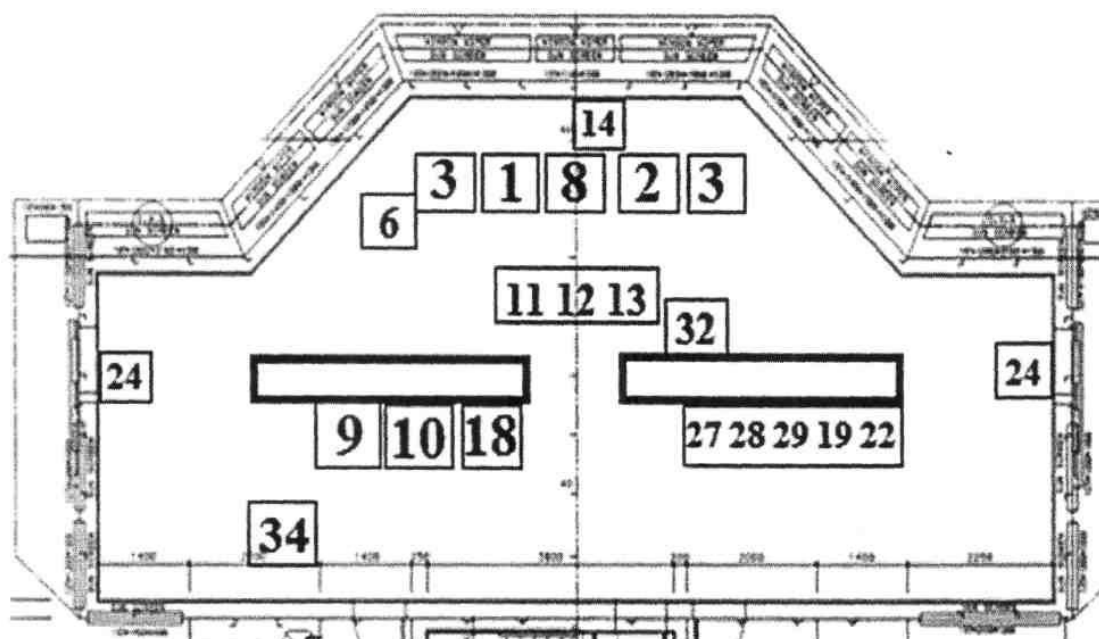


Рисунок 1.6 - План навігаційної палуби

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПЛАНУВАННЯ НАВІГАЦІЙНОГО ПЕРЕХОДУ

2.1 Загальні вимоги до аналізу та плануванню навігаційного переходу

Усяке плавання судна містить у собі елементи ризику, де під ризиком розуміють ймовірність несприятливого результату запланованої дії. До початку кожного рейсу капітан і його помічник повинні чітко уявляти, наскільки ризиковано передбачуване плавання. Тільки ретельне планування може дозволити заздалегідь передбачити і допомогти уникнути небажаних подій. Якщо можливі альтернативи, то ці ризики оцінюють при плануванні і знаходять компромісне рішення, так як рівень ризику часто протистоїть комерційної доцільності.

Збір інформації й оцінка на її основі майбутнього плавання є найбільш важливою частиною планування переходу, так як на цьому етапі повинна бути вивчена вся відносна до рейсу інформація і покладена надійна основа для планування. Квапливість у прагненні почати планування рейсу якнайшвидше, без достатньої на те інформації, не повинна заохочуватися. Час, витрачений на збір інформації та оцінку майбутнього плавання, пізніше окупиться сторицею.

Рішення капітана для забезпечення безпечного плавання будуть ґрунтуватися на оцінці доступної інформації, яка може бути зібрана з наступних джерел, частина цієї інформації і посилення щодо її застосування вказані в таблицях пояснювальної записки:

- Каталог карт і книг (catalogue of admiralty charts and publications) NP 131;
- Навігаційних карт (charts);
- «Океанських шляхів світу» (ocean passage for the world);
- Маршрутних або лоцманських карт (routeing charts, pilot charts);
- Лоцсї (pilot books, sailing directions);
- Таблиця припливів (tide tables);
- Довідник по маяках (admiralty list of lights and fog signals);
- Атласов приливних течій (tidal stream atlases);
- Повідомлень мореплавцям (notices to mariners);
- Інформації про встановлені шляхах (ship's routeing);
- Інформації про радіосигналах (radio signal information);
- Інформації про кліматичні умови (climatic information);
- Карт-схем обмежень по вантажну марку (load-line charts);
- Таблиць відстаней (distance tables);
- Електронних систем навігаційної інформації (electronic navigation systems handbooks);
- Радіонавігаційних попереджень та місцевих повідомлень (radio and local warnings);
- З джерел судновласників та іншої неопублікованої інформації (owner's

and other information);

- Осадка і остійність судна (draught and stability of ship);
- Особистого досвіду (personal experience);
- «Керівництва для моряків» (The Mariner's Handbook - NP 100) та інших посібників.

Планування переходу складається з двох етапів: Трансокеанські перехід і відкриті води;

Прибережні води, вузькості, входи в гирлі річок, підходи до портів і портові води. Капітан визначає стратегію вибору шляху і доручає одному зі своїх помічників (зазвичай друге, навігаційного помічникові капітана), виконати графічний план переходу і скласти його опис в табличній формі. Іноді таку роботу виконує штурманський помічник капітана (навігатор), якщо він є в штатному складі екіпажу. Або капітан, на свій розсуд, може доручити навігаційну підготовку до майбутнього рейсу декільком поміщикам.

Резолюція Міжнародної морської організації (ІМО А.285 (8), Додаток А (5) і Міжнародна Конвенція з підготовки, дипломування моряків та несення вахти (ПДНВ-78/95) підтверджують, що незважаючи на борг і обов'язок лоцмана виконувати безпечну проводку судна на складних в навігаційному відношенні ділянках плавання, капітани і його помічники зобов'язані забезпечити безпечне плавання судна на всьому протязі переходу, незалежно від перебування лоцмана на борту.

Навігаційні карти підбирають на весь перехід і складають по порядку відповідно до послідовності користування ними. Генеральні карти, довідкові та допоміжні складають окремо.

Всі карти і гідрографічні видання коректують аж до останнього Повідомлення мореплавцям, який отримано на судно. Враховують і використовують для коректури всі навігаційні попередження, отримані з будь-яких джерел. На переході продовжують коректуру карт по навігаційних попереджень, одержуваним по радіо.

Прибережне плавання і плавання в обмежених водах вимагає значно

більшої уваги, Шлях вибирають осторонь від небезпек з урахуванням систем розподілу руху. Беруть до уваги національні вимоги та обмеження при проходженні територіальних вод. Вибирають, яким з проходів йти, якщо є така можливість, наприклад, при проходженні архіпелагу з декількома проходами. Вирішують, чи потрібно брати лоцмана, якщо є така альтернатива. Враховують час проходу найскладніших ділянок, освітленість на цей час, дії приливних течій і т.п.

Виконання рейсу. Перевіряють, щоб всі карти були відкориговані.

Вивчають поточні навігаційні попередження, що прогнози погоди (Weather Routing Reports) і необхідні публікації (лоції, місцеві керівництва по здійсненню переходу і т.п.). Роблять помітки, або вносять виправлення на карти.

Зв'язуються з лоцманської станцією в порту призначення, щоб врахувати деталі лоцманської проводки в портових водах. Просять повідомити План лоцманської проводки (Pilot's plan). Позначають на картах основні суднові параметри і дані по рейсу (наприклад, осадку, мінімальний UKC тощо), використовуючи палетку з трафаретами (template).

Відзначають мінімально необхідну глибину (Minimum Depth Required), щоб забезпечити необхідний ікс. Мінімальна глибина повинна відповідати політиці забезпечення безпеки плавання і місцевих рекомендацій, зазначених в Керівництві з планування переходу в даному районі і т.п. Виділяють і заштриховують небезпечні для плавання райони (No-go areas).

Прокладають лінії шляху (Tracks) з урахуванням необхідної мінімальної глибини. Наносять шляхові точки і нумерують їх послідовно, починаючи від відхідний. У водах лоцманської проводки узгодять їх з Планом лоцманської проводки (Pilot's Passage Plan).

Обчислюють ЕТА для кожної Путьової точки.

Визначають критичну мінімальну глибину на кожній ділянці переходу.

Обчислюють ЕТА для кожної точки критичної мінімальної глибини (CMD) і позначають висоту припливу на цей час.

Розраховують і позначають «приливні вікна» в точках критичної глибини. Наносять на карти межу безпечного плавання (Safe Navigation Limits) у відповідності з політикою безпечного плавання.

Існують чотири стадії планування безпечного переходу:

- I. Appraisal (Оцінка).
- II. Planning (Планування).
- III. Execution (Виконання).
- IV. Monitoring (Контроль).

2.2 Оцінка запланованого переходу

Приведемо конкретну інформацію, що відноситься до переходу, що відповідає етапу "Passage Plan Appraisal". Для цього проведемо підбір навігаційних і допоміжних карт, посібників і публікацій на заданий перехід по Каталогі Адміралтейських карт і публікацій (Catalogue of Admiralty Charts and Publications) щорічно видаваних Гідрографією Великобританії.

Відомості про підібраних картах і книгах зведені в таблиці 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 – Перелік карт на перехід

Тип карти	Cell No.	Назва карти	Дата випуску
Генеральні, путьові, частні карти та плани	124	Part A Noordzeekanaal including Ijmuiden, Zaandam and Amsterdam	11.2020
	125	Approaches to Scheveningen and Ijmuiden	12.2021
	122	Approaches to Hugli River	11.2019
	1630	West Hinder & Outer Gabbard to Vlissingen & Scheveningen	10.2021
	323	Dover Strait, Eastern Part	03.2022
	1892	Dover Strait, Western Part	03.2022

	2451	Newhaven to Dover and Cap D'Antifer to Cap Gris-Nez	04.2021
	2450	Anvil Point to Beachy Head	04.2021
	2454	Start Point to The Needles including Off Casquets TSS	04.2021
	2615	Bill of Portland to The Needles	03.2020
	2610	Bill of Portland to Anvil Point	03.2020
	2255	Approaches to Portland and Weymouth	03.2020
	442	Lizard Point to Berry Head	04.2021
	2655	English Channel Western Entrance	03.2020
	2649	Western Approaches to the English Channel	02.2020
	4103	English Channel to the Strait of Gibraltar and the Arquipelago dos Acores	06.2021
	1950	Arquip, lago dos Azores	04.2020
	4115	Arquip, lago dos A+ores to the Arquip, lago de Cabo Verde	06.2020
	4407	Trinidad to the Mid-Atlantic Ridge	11.2021

Продовження табл. 2.1

Генеральні, путьові, часні карти та плани	4402	Caribbean Sea	09.2020
	472	Mona Passage	07.2017
	1966	Tortuga to Cabo La Vela	02.2011
	2194	Punta Macolla to Punta Gallinas including Golfo De Venezuela	08. 2011
	2190	Punta Salinas to Punta Cardon	06.2014
Допоміжні карти	5006	The World Time Zone Chart	2021
	5308	The World Sailing Ship Routes	2011
	5309	World General Surface Current Distribution	2016
	5375	Magnetic variation. 2015 and Annual rates of Change - North Atlantic Ocean and Mediterranean Sea	2020
	D6083	The World Load Line Regulations	2018

	5124(9)	North Atlantic Ocean Routeing chart September	2021
--	---------	--	------

Таблиця 2.2 – Перелік публікацій на перехід

NP No	TITLE
SAILING DIRECTIONS	
28	Admiralty Sailing Directions. Dover Strait Pilot
27	Admiralty Sailing Directions. Channel Pilot
22	Admiralty Sailing Directions. Bay of Biscay Pilot
67	Admiralty Sailing Directions. West Coasts of Spain and Portugal Pilot
71	Admiralty Sailing Directions. West Indies Pilot VoL 2
7A	Admiralty Sailing Directions. South America Pilot Vol. 4

Продовження таблиці 2.2

ADMIRALTY LIST OF LIGHTS AND FOG SIGNALS	
77	Eastern Atlantic Ocean, Western Indian Ocean and Arabian Sea
82	Western Side of The North Atlantic Ocean from Maine to Cabo Orange
ADMIRALTY LIST OF RADIO SIGNALS	
281(1)	Part 1, Maritime Radio Stations: Europe, Africa and Asia
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(1)	Part 1, Maritime Safety Information Services: Europe, Africa and Asia
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(2)	Part 2, Pilot Services, Vessel Traffic Services and Port Operations: Europe
286(5)	Part 5, Pilot Services, Vessel Traffic Services and Port Operations: Americas and Antarctica
288	Satellite Navigation Systems
ADMIRALTY TIDE TABLES	
202	Volume 2 – Atlantic and Indian Ocean
ADMIRALTY DISTANCE TABLES	
350	Part 1 – Atlantic Ocean, NW Europe, Mediterranean Sea, Caribbean Sea and Gulf of Mexico
ASTRONOMICAL PUBLICATIONS	
314-00	Nautical Almanac
303 (4)	Sight Reduction Forms (H.494)
323	Star Finder and Identifier
401 (2)	Sight Reduction Tables for Marine Navigator – Vol. II Lat 30° - 45°
MISCELLANEOUS PUBLICATIONS	
100	The Mariners Handbook
136	Ocean Passages for the World (4 th Edition, 1987)
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 2020	
Fairplay	

2.2.1 Підготовка для прийому та обміну навігаційною інформацією на переході

В даний час всі завдання отримання, передачі інформації на судах вирішуються штурманським складом в процедурах і з використанням апаратних засобів GMDSS. Однією з функцій GMDSS є передача на судна в морі ІНФОРМАЦІЇ З БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА (ІБМ). Збором, координацією і передачею ІБМ займається міжнародна служба безпеки SAFETYNET, що є складовою частиною GMDSS. Структура SafetyNET і завдання, які вирішуються службою, викладені в керівництві IMO Intemotional SafetyNET Manual.

Служба SafetyNET передає на судна навігаційні і метеорологічні попередження, метеопрогнози, повідомлення про лихо, дані по коректурі карт і іншу термінову інформацію.

Інформація з безпеки мореплавання надходить у SafetyNET від безлічі офіційних постачальників інформації, зареєстрованих ІМО, основним з яких є Всесвітня служба навігаційних попереджень (ВЗНП), статус і завдання якої визначені прийнятою ІМО Резолюцією Асамблеї А.419 (XI).

Передачі ІБМ здійснюються англійською мовою. Повідомлення SafetyNET від офіційних постачальників інформації приймаються і обробляються на береговій станції автоматично. Найбільш важливі повідомлення повторюються через 6 хв після першої передачі.

Мікропроцесор приймача забороняє повторний друк повністю правильно прийнятих повідомлень.

Для отримання ІБМ в приймач повинен бути введений номер НАВАРЕА (при бажанні можна організувати прийом повідомлень і для сусіднього району; для цього достатньо ввести через кому два номери районів НАВАРЕА, інформацію по яких необхідно приймати).

Приймач не може перебувати в стані, коли немає ніякого номера району НАВАРЕА. Якщо номер не введений вручну, він буде проставлений автоматично за координатами судна. Якщо координати судна не оновитися на

протязі 24 годин, то автоматично введений номер НАВАРЕА буде анульовано і приймач почне здійснювати прийом інформації мережі SafetyNET по всьому океанському району, який обслуговується даними супутником.

Крім повідомлень НАВАРЕА на переході організовується прийом ІБМ по мережі NAVTEX. NAVTEX (навігаційний телекс) це міжнародна автоматизована система передачі навігаційних і метеорологічних попереджень і термінової інформації, що відноситься до вод в відстані до 400 миль від берега. Прийом здійснюється автоматично за допомогою окремого, жорстко налаштованого середньохвильового приймача з приставкою для букво печатання. Для прийому інформації мережі NAVTEX в приймач повинні бути внесені умовні позначення необхідних станцій, умовні позначення обраних судноводієм видів навігаційної інформації.

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 станції	Позначення кордону карти	Зміст передачі	Час передачі
1	Halifax	D: 60°N 68°W; 60°N 33°W 43°N 68°W; 43°N 33°W I: 54°N 100°W; 58°N 22°W 28°N 78°W; 30°N 39°W	D: Newfoundland ocean feature analysis I: 24/36 hour significant wave prognosis	1001(18) 2201(24) 0801(00/12) 2001(12/00)
2	New Orleans	0° - 31°N 35°W - 100°W	24 hour wind forecast 24 hour surface forecast	0035(00) 1235(12) 0705(00) 1905(12)

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

N п/п	Ділянка переходу	Район NAVAREA	Станції NAVTEX	Координатор NAVAREA
1	East Atlantic and North Sea	I	Oostende [T] Corsen [A]	UK
2	West Indies	IV	Bermuda [B] Miami [A]	USA
3	Carrebian Sea	IV	Curacao [H] San Huan [R]	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

N п/п	Станція	Спосіб зв'язку	Канали, частоти	Примітка
1	Amsterdam Pilots and Port	VHF	18; 74; 62 63	Approach, berthing, unberthing. VTS Cargo Operations
2	Dover Strait Dover Coastguard	VHF	11	Dover strait Reporting system area
3	Punta Cardon MARINA CARDON	VHF	12, 16	Vessels should send ETA 72 h in advance. Vessels should maintain a listening watch on VHF CH 12.

Таблиця 2.6 – СУРС по маршруту переходу

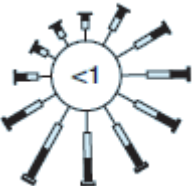
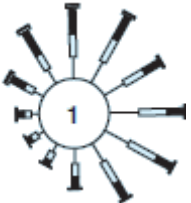
№	Traffic separation scheme	Station	VHF	Reporting point description
1	Amsterdam	Amsterdam VTS	74	Reporting system area
2	Dover Strait	Dover Strait VTS	79	Reporting system area

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	Amsterdam			Atlantic Ocean			Caribbean Sea		
Атмосферний тиск, гПа	1022			1020			1018		
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	3	-	-	13	-	-	20	7	2
NE	1	-	-	48	2	1	14	-	-
E	20	1	-	5	-	-	16	1	-
SE	12	-	-	12	1	-	19	-	-
S	9	-	-	11	-	-	15	-	-
SW	10	-	-	6	2	-	4	-	-

W	27	5	2	4	2	-	3	1	1
NW	14	1	-	1	1	-	9	1	-
Результуючий вітер	направлення, у румбах	WNW	направлення, у румбах	ENE	направлення, у румбах	WNW			
	швидкість, м/с	10	швидкість, м/с	8	швидкість, м/с	7			
Максимальна швидкість вітру, м/с	спостережена	12	спостережена	12	спостережена	8			
	розрахункова	14	розрахункова	14	розрахункова	9			
Повторюваність штилів, %	20		25		40				

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

Характеристики за ділянками		Amsterdam	Atlantic Ocean	Caribbean Sea
Температура повітря, °C		20	20	34
Температура води, °C		14	17	22
Відносна вологість, %		76	75	70
Повторюваність туманів, %		20	30	20
Видимість менше 2 міль		2	3	2
Хмарність, бали		5	6	5
Солоність води, ‰		36	37	35
Щільність води, г/см ³ (або кг/м ³)		1,025	1.025	1,025
Постійні течії	назва	Гольфстрім	Гольфстрім	Карибське
	термодинамічна характеристика	тепле	тепле	тепле
	направлення	WSW	W	NE
	швидкість, вузл.	1-2	1-2	1-2
	стійкість	50-75	50-75	50-75
Швидкість припливних течій, вузл.		1	0,5	1
Висота хвиль, м	середня	5	5	4
	максимальна	8	8	6
Період хвиль, с		9	9	7

2.2.3 Збір та аналіз навігаційної інформації при прибережному плаванні

Порт Амстердам (Amsterdam) розташований в місці злиття річки з каналом Нордау-канал, що з'єднує порт з Північним морем, північно-східній частині порту знаходиться шлюз Ораньє-Слєйеен, що відокремлює річку Ей від гавані Схеллімгвауде; це дозволяє підтримувати постійний рівень води в порту Амстердам. По річці Гей в межах порту проритий канал, який є продовженням каналу Норде-канал на схід.

Гавані і басейни порту Амстердам, доступні для морських суден, розташовані в основному в районі міста Амстердам біля південного берега річки Ей, Найбільш важливими з них, вважаючи із заходу на схід, є; Західна гавань, гавань Яї-ван-Рібекхавен, Нафтова гавань, гавані Кунхавен, Меркуріусхавеї, Стара лісова гавань, гавані Ейосавен, Ертсхавен, Залізничного порома, Складська та ін. Крім гаваней, є окремі добре обладнані набережні. Для стоянки малих суден внутрішнього плавання використовується густа мережа каналів, що прорізають місто Амстердам.

На сонорному березі річки Ей в районі порту Амстердам розташовані суднобудівні і судноремонтні заводи та інші великі підприємства, а також нафтосклади.

Лоцманська проводка в порт Амстердам обов'язкова. Лоцмана проводять судна на всьому протязі каналу Нордзе-канал, по бічних відгалужується каналах і в усі гавані порту Амстердам. Спеціальних портових лоцманів немає. Лоцманська контора знаходиться на березі Внутрішньої гавані (52°23' N, 1°54'E) порту Амстердам.

Портові засоби та обладнання Порт Амстердам добре обладнаний і високо механізований. Причальна лінія порту становить близько 15 км. Майже до всіх причалів підведені залізничні колії. У порту є 15 портальних кранів вантажопідйомністю 6-16 т, близько 30 плавучих кранів вантажопідйомністю 10-150 т і близько 300 берегових кранів вантажопідйомністю від 2,5 до 10 т з

виносом стріли на відстань до 34,5 м. Для буксирування судів по каналах і їх перестановки в порту є велика кількість буксирів.

Ремонт. У порту Амстердам знаходяться великі суднобудівні заводи, що виробляють будівництво, ремонт і модернізацію суден і суднових механізмів; є невеликі верфі для будівництва та ремонту малих суден. Є також чотири сухих і шість плавучих доків, докладні дані про яких наведені в довідковому відділі цій лоції. Ремонт і перевірку хронометрів і інших штурманських приладів можна зробити в нідерландському метеорологічному інституті.

Постачання. У порту Амстердам можна отримати в будь-якій кількості різні види палива.

Карантинна станція знаходиться в східній частині порту Амстердам на набережній південно-східного боку каналу Лозінгс-канал (Loozings kanaal). Дератизація проводиться в порту Амстердам. Тут же видається свідоцтво про звільнення від дератизації.

Визначення девіації. У порту Амстердам знищення і визначення девіації компасів виробляють представники Нідерландського метеорологічного інституту. Девіаційна роботи виконуються в східному районі якірної стоянки, розташованому на північ від набережної Сурінамі-Каде, де виставлені девіаційний буй для великих суден і девіаційний упав для малих суден.

Навігаційні повідомлення. Повідомлення мореплавцям більшості країн світу можна отримати для перегляду в нідерландському метеорологічному інституті. Тут же можна отримати для порівняння відкориговані екземпляри карт і посібників для плавання, а також необхідні консультації з питань навігації і гідрографії.

Ввезення і вивіз. У порт Амстердам завозять різні вантажі з більшості портів світу; вивозять з порту машини, мануфактуру, вироби зі скла та фаянсу, суперфосфат, лляної макуха, торф, фарби, лаки.

Повідомлення і зв'язок. Порт Амстердам пов'язаний морськими шляхами майже з усіма країнами світу. Внутрішні канали з'єднують порт з містами Нідерландів і з внутрішніми водними шляхами сусідніх країн.

Документи для оформлення в порту Амстердам:

Документ

1. Список екіпажу
2. Список пасажирів, як що пасажирів на борту
3. Список особистих речей екіпажу
4. Записка рейсу (список портів заходу)

Потрібно для перевірки: Реєстрові документи судна, Міжнародне обмірні свідоцтва, Документи всіх офіцерів і паспорта екіпажу.

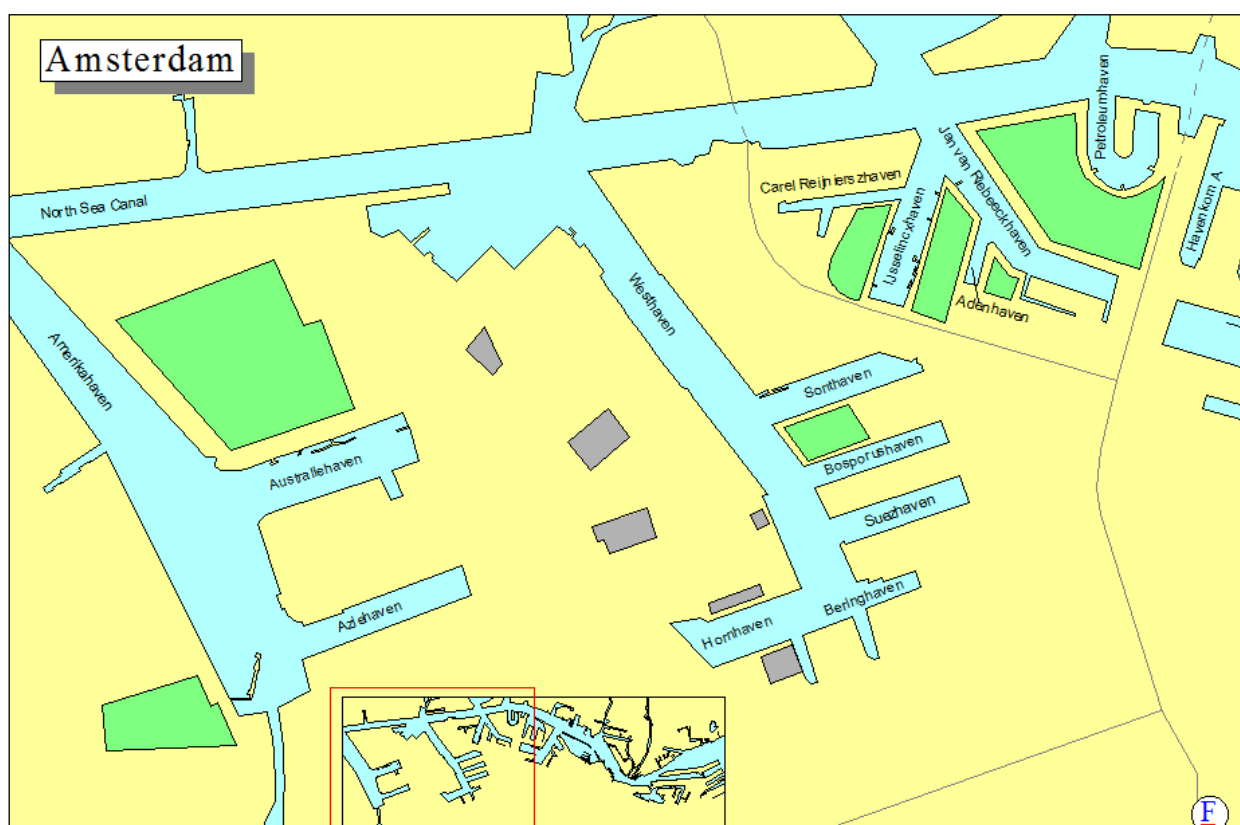


Рисунок 2.1 – План порту Амстердам

Порт Пунта Кардон у Венесуелі досить маленький і не дуже відомий, проте є вимоги і для нього. Лоцманська проводка обов'язкова для всіх типів суден за рахунок безлічі буїв і платформ, а також рибальських човнів і мереж. При підході до лоцманської станції, слід подати нотіс за 72 години до прибуття судна на каналі 12 УКХ, використовуючи позивний "Marina Cardon". Якщо користуватися якірної стоянкою, то це буде стоянка в 2-ух милях від причалів, з глибиною від 25-50 метрів.

Перед приходом в порт необхідні наступні документи:

- Crew Effects Declarations;
- 6 Crew Lists;
- 2 Cargo Manifests (discharge and transit);
- 6 Passenger (Nil) Lists;
- 2 Passenger Effects Declarations;
- 3 Provision Lists.
-

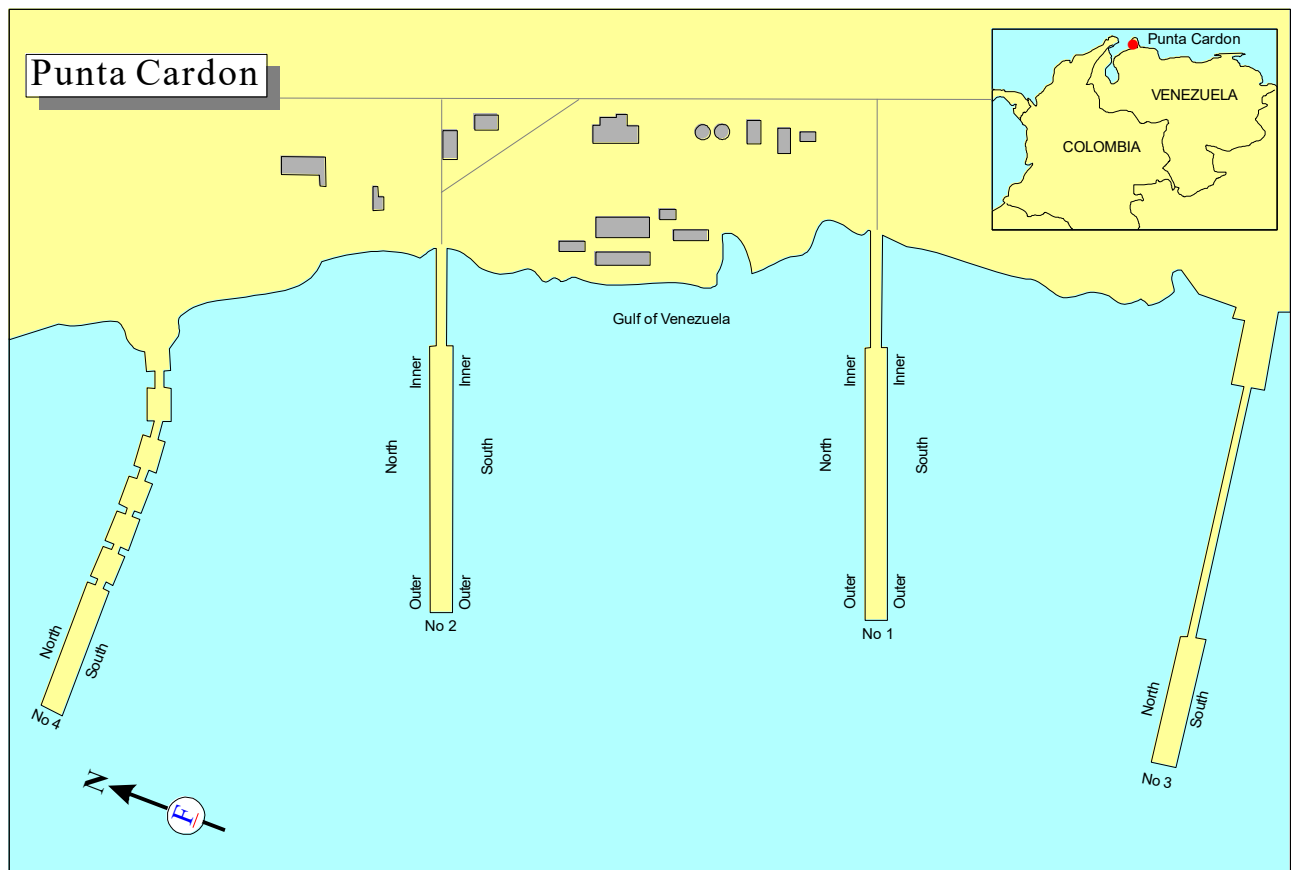


Рисунок 2.2.- План порту Пунта - Кардон

Таблиця 2.9 – Засоби навігаційного обладнання

Назва	Координати	Дальність видимості,	Характеристики
1	2	3	4
N Pier	52°28,0`N 4°33,2`E	3	F1 2s
Noord Hider (Racon)	52°00,0`N 2°52,0`E	13	F1(4) 30s

Продовження табл. 2.9

1	2	3	4
F3 (Racon)	51°23,9'N 2°00,4'E	22	Fl(3) 5s
Sandettie	51°09,1'N 1°47,1'E	24	Fl 5s
Beachy Head	50°43,9'N 0°14,3'E	26	Fl(2) 15s
Punta Castillo Grande	10°23.5N 075°32.7W	17	EIW 15s, fl 1,0
Puerto Manaiire	11°47.1N 072°26.6W	15	FLW 12s, fl 1,0
Chichibacou	12°16.7N 071°13.5W	17	FIW 10s. fl 0,5
Punta Espada	12°04.7N 071°07.8W	18	FIW20s. fl 1.6
Monjes del Sur	12°21.4N 070°54.2W	25	FIW 10s. fl 0,6
E Point entrance	18°24.8N 068°57.1W	15	FIW 6s. fl 1.0
Cabo Rojo	17°56.0N 067°11.5W	20	FIW 20s, fl 1.0

2.3 Навігаційні розрахунки для забезпечення безпеки плавання

2.3.1 Розрахунок ортодромії

Коли траса майбутнього плавання включає океанський перехід, вплив погоди і стан моря набувають особливо важливого і нерідко основного значення при виборі найвигіднішого шляху судна. При здійсненні такого вибору виникає потреба задовольнити найрізноманітніші запити : перехід має бути для судна безпечним, економічним, протікати у бажані терміни і за найбільш сприятливих зовнішніх умов, сприяючих підлягаючому зберіганню перевезенню вантажів, комфорту пасажирів і екіпажу, мінімальній витраті палива і мастильних матеріалів і т. д. Усі подібні умови перерахувати нелегко, але навіть якщо обмежуватися приведеними вище і вважати їх рівнозначними,

то за певних умов погоди і стану моря взагалі неможливо буде знайти той шлях, наслідуючи які судно буде в змозі виконати поставлені завдання. Тому при виборі найвигіднішого шляху обмежуються завданням якого-небудь одного або декількох найбільш важливих для цього рейсу умов. Маршрут, що якнайкраще задовольняє таким умовам, називають оптимальним шляхом морського судна.

Керівництво «Океанські шляхи світу», Керівництво призначене для полегшення рішення задачі по виборі шляху морського судна між найбільш важливими пунктами Світового океану з урахуванням сезонних змін гідрометеорологічних умов плавання і експлуатаційних якостей судна. На переході генеральну карту укладають в окремий ящик. Суднові номери картам не привласнюють.

При виборі трансокеанського переходу необхідно розрахувати плавання по ортодромії. Існує декілька способів такого розрахунку, перший з них аналітичний.

Для того, щоб нанести ортодромію на Меркаторську проекцію, необхідно знати параметри ортодромії, а по них розрахувати координати проміжних точок. Параметрами ортодромії є: λ_0 - довгота точки перетину з екватором, k_0 - курс в цій точці.

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\lambda_n - \lambda_k}{2} - \lambda_0\right) = \operatorname{tg}\frac{\lambda_n - \lambda_k}{2} \times \sin(\varphi_n + \varphi_k) \times \operatorname{cosec}(\varphi_n - \varphi_k)$$

де: $(\lambda_n - \lambda_k)$ и $(\varphi_n + \varphi_k)$ - координати точок приходу і відходу.

Курс обчислюється за формулою:

$$\operatorname{ctg} k_0 = \operatorname{tg} \varphi_n \times \operatorname{cosec}(\lambda_n - \lambda_0)$$

Знаючи параметри, розрахунок проміжних точок ортодромії можна виконати таким чином: оскільки в нашому випадку ортодромія близька у напрямку до паралелі, то доцільно задавати довготи проміжних точок через 10° і розраховувати їх широти по формулі:

$$\operatorname{tg}_i = \sin(\lambda_i - \lambda_0) \times \operatorname{ctg} k_0$$

Другий спосіб розрахунку плавання по ортодромії полягає в наступному: використовуються карти гномонічної проекції(штурманський спосіб). Вони дозволяють прокласти курс між початковою і кінцевою точками шляху, а також визначити початкові курси для плавання через інтервали відповідні різниці довгот 5 і 20°.

У третьому випадку, використовуючи ортодромічну поправку, плавання по ортодромії замінити плаванням по хордах завдовжки 200-300 миль, а координати точок повороту розрахувати по формулах письмового числення.

Скористуємося другим способом гномонічної проекції.

Наш перехід починається після виходу з порту Амстердам, в місці, де зійшов лоцман після проходження фарватеру. Шлях прямування судна лежить через протоку Дувра, виходить у Північне море, а далі йде прямим курсом через Атлантичний океан в Карибське море, слідуючи на лоцманську станцію в Пунта- Кардон. Даний перехід існував в реальному рейсі і був затверджений капітаном судна.

Осадка судна повністю дозволяє пройти через небезпечні зони протоки і в наслідку, перейти через океан, а також прийти в місце прийняття на борт лоцмана у Венесуелі.

Плавання відбувається через Атлантичний океан. Зазвичай перетин океанів виконується по ортодромії. У ході підготовки переходу було вироблено порівняння відстані шляху по локсодромії і ортодромії між колійними точками 5 і 10. Океанський перехід по ортодромії виходить в 3 150 миль, у той час як по локсодромії виходить 3300 миль. Звідси випливає, що ми економимо 13 годин ходу, якщо ми будемо йти зі швидкістю 11,5 вузлів.

Загальна тривалість плавання становить 4442,8 миль; перехід займає 16,1 доби.

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.

2.3.3 Графічний план переходу

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

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.

PASSAGE PLAN						ROUTE 01		
VOYAGE No. 1				DATE : 02.09.2025				
From the port : Amsterdam				To the port : Punta Cordon				
No	WP	Latitude	Longitude	Course	WP Distance	MTGO	PA 88 Distance	NAV AID S
08:40 Pilot boards the ship. Check all systems. Unmooring from the pier and proceed to the Dover Strait. BACH# 124, 125, 122								
0	1	52°26.25'N	004°42.46'E	312	0,2	4442,8	0,0	Rotterdam Pilot
1	2	52°27.58'N	004°40.00'E	300	0,2	4442,6	0,2	New Waierbreakcr
2	3	52°27.68'N	004°39.71'E	296	0,7	4442,4	0,4	GPS
3	4	52°27.77'N	004°39.40'E	279	1,5	4441,7	1,1	GPS
4	5	52°27.84'N	004°38.66'E	270	1,9	4440,2	2,6	GPS
5	6	52°27.84'N	004°38.06'E	289	1,4	4438,3	4,5	GPS
6	7	52°28.00'N	004°37.29'E	276	1,6	4436,9	5,9	GPS
7	8	52°28.13'N	004°35.22'E	257	2,2	4435,3	7,5	GPS
8	9	52°27.85'N	004°33.21'E	280	1,4	4433,1	9,7	GPS
9	10	52°28.90'N	004°23.60'E	297	2,5	4431,7	11,1	GPS
After pilot disembarkation Main Engine changed status from Man. to FSA and proceed to Dover Strait. Proceeding through the channel system. Keep sharp look out. VTS VHF CH: 11; 79 BACH# 323, 1630, 2451, 2450, 2454								
10	11	52°08.80'N	003°45.81'E	292	11,3	4429,2	13,6	GPS
11	12	52°02.18'N	002°50.60'E	267	33,5	4417,9	24,9	GPS
12	13	51°55.50'N	002°36.20'E	233	11,1	4384,4	58,4	GPS
13	14	51°26.80'N	001°54.50'E	222	38,6	4373,3	69,5	GPS
14	15	51°13.40'N	001°45.00'E	204	14,7	4334,7	108,1	GPS
15	16	50°50.40'N	001°02.60'E	229	35,2	4320,0	122,8	GPS
16	17	50°27.20'N	000°32.00'E	236	23,4	4284,8	158,0	GPS
17	18	50°13.60'N	001°40.00'W	254	87,3	4261,4	181,4	GPS
18	19	50°32.40'N	002°20.00'W	306	31,7	4174,1	268,7	GPS
Dover strait passed, changing RPMs of ME. Atlantic ocean passage for 12 days. Astronomical position observations as alternative ship position fixing. BACH# 4103, 4115, 4407, 4402, 472, 1966								
19	20	50°35.2'N	002°22.30'W	331	3	4142,4	300,4	GPS
20	21	48°51.00'N	006°35.00'W	238	193,7	4139,4	303,4	GPS
21	22	19°13.00'N	066°57.00'W	239	3432,7	3945,7	497,1	GPS
22	23	18°00.00'N	068°20.00'W	227	107,3	513,0	3929,8	GPS
23	24	12°30.00'N	070°25.00'W	200	351,3	405,7	4037,1	GPS
24	25	11°54.50'N	070°25.00'W	180	35,5	54,4	4388,4	GPS
18/09 11:00 End of the Ocean Passage. Pilot boarding & proceeding to the port. Pilotage. BACH# 2194, 2190								
25	26	11°38.32'N	070°15.08'W	149	18,9	18,9	4423,9	GPS
26	27	11°38.10'N	070°15.00'W	160	0	0,0	4442,8	GPS
Distance Berth to Berth :						4442,8		
Pilot Distance Departure :						13,6		
Pilot Distance Arrival :						5,0		
Distance Pilot to Pilot :						4424,3		
GMT 0 hrs				Destination port LT :		GMT -5 hrs		
All charts and publications corrected up to No.								
PUBLICATIONS : NP 281(1,2), 282, 283(1,2), 286(1,2,3), 22, 27, 28, 67, 71, 201, 202, 77, 74								
Guide to Port Entry .								
Weather and navigation warning : 1) INMAKSAI-C; 2) NAV IEX								
MASTER:								
Navigating Officers :								

Рисунок 2.3 – Маршрутный лист

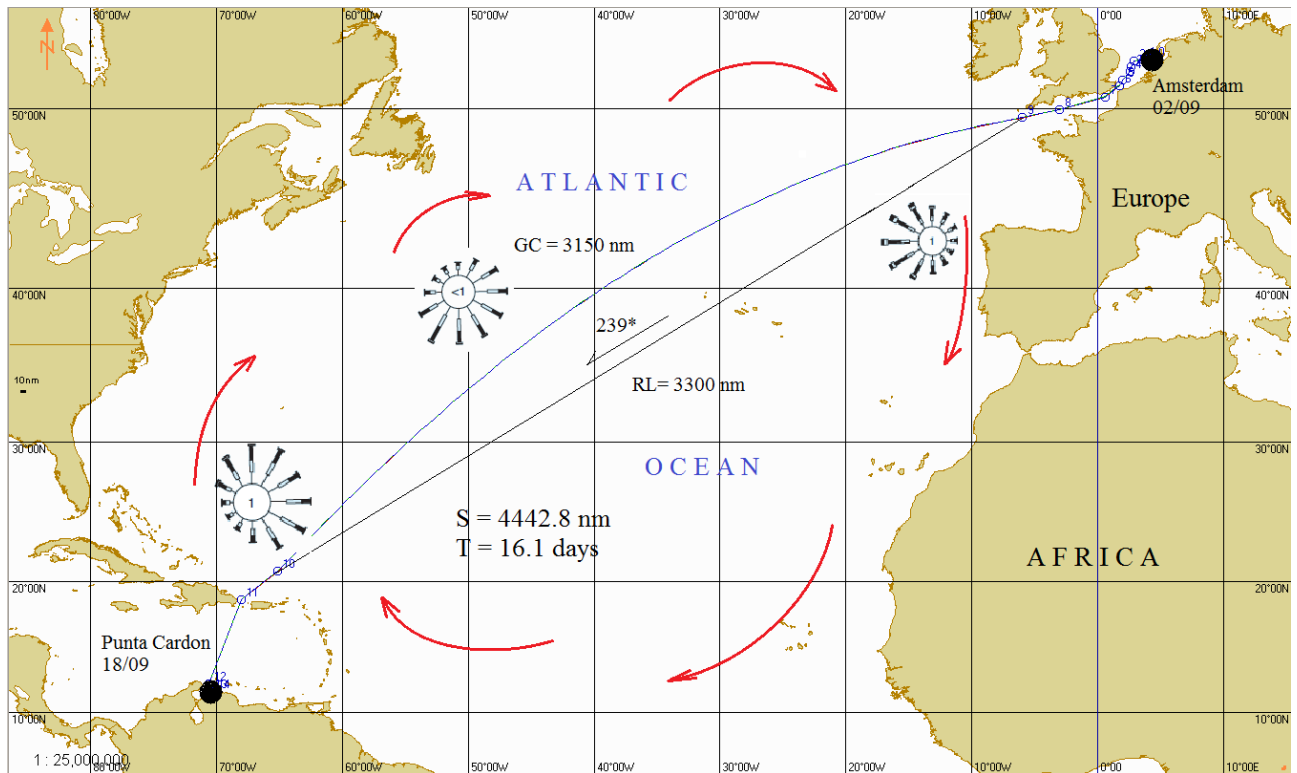


Рисунок 2.4 – Графічний план переходу

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 2.10.

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:

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

Таблиця 2.10 – Елементи освітленості

Дата	Початок навіг сумерек	Солнце				Кінець навіг. сумерек	Луна			
		Схід		Захід			Схід Тв	Вік, дні	Фаза, %	Захід ТС
		Тс	А	Тс	А					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
02.09.23	4:02	5:17	255°04'	18:42	090°07'	19:56	2:09	27	9	16:55
03.09.23	4:02	5:17	255°09'	18:42	090°12'	19:57	3:12	28	4	17:22
09.09.23	4:40	5:36	255°40'	18:18	090°45'	19:15	9:40	4	17	20:24
10.09.23	4:44	5:40	255°45'	18:15	090°48'	19:08	10:35	5	26	21:18
17.09.23	5:01	5:49	256°22'	18:02	091°25'	18:49	16:30	12	95	3:39
18.09.23	5:04	5:50	256°28'	17:59	091°30'	18:45	17:13	13	99	4:42

2.3.5 Розрахунок висот приливів та побудова графіків приливів

У будь-якому пункті Землі рівень моря постійно змінюється. Регулярні коливання рівня викликаються: приливообразуючими силами Місяця і Сонця (приливні коливання); періодично змінюються вітрами; річним ходом опадів; випаровуванням; стоком континентальних вод (сезонні коливання) і ін. Випадкові коливання рівня відбуваються під впливом неперіодично мінливого

вітру, від різкої зміни атмосферного тиску. Таблиці припливів містять відомості про час настання і висотах повних і малих вод. Таким чином вибираємо з таблиць припливів для порту Роттердам часи настання і висоти вод, для порту Пунта Кардон припливи розраховувати не будемо, так як коливання води в порту незначні. Для складання таблиці використовувалася програма TideCalc. Ці дані представлені в таблиці 2.11. А також представлені графіки припливів на рисунку 2.5.

Таблиця 2.14 - Приливи в порту Амстердам

Амстердам			
02/09		02/09	
Тп	hп	Тп	hп
05:56	1.7	18.10	1.7
Тм	hм	Тм	hм
01:00	0.1	13.25	0.2

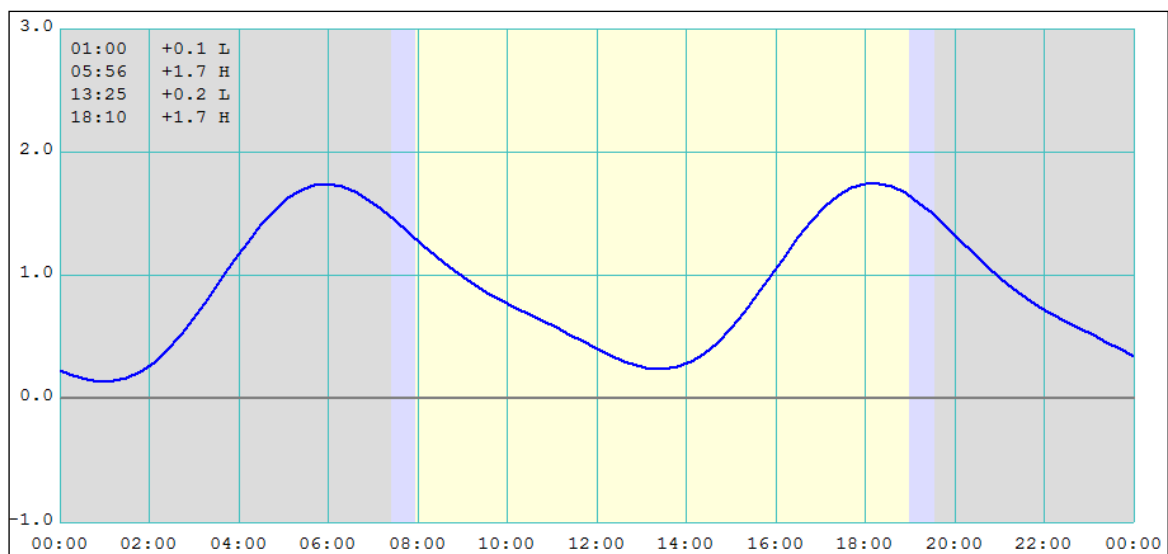


Рисунок 2.4 - Графік повної і малої води для порту Амстердам

2.4 Висновки

Наш перехід починається після виходу з порту Амстердам, в місці, де зійшов лоцман після проходження фарватеру. Шлях прямування судна лежить через Дуврську протоку, виходить у Північне море, а далі йде прямим курсом

через Атлантичний океан в Карибське море, слідуючи на лоцманську станцію в Пунта Кардон. У процесі опрацювання навігаційного переходу були обрані безпечні курси плавання відповідно до пори року. Загальна протяжність переходу склала 4442,8 милі; час виходу з порту Амстердам 02.09.25 о 09:00 за місцевим часом; час приходу в порт Пунта Кардон 18.09.25 о 11:41. Тривалість переходу 16,1 днів. При плаванні поблизу берегів найбільш точними способами визначення місця судна є визначення за допомогою РЛС, візуально, а так само комбінованим способом. Резервний спосіб обсервації - 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 навантаження приймається бензол (benzene).

Загальні відомості про вантаж.

Бензол (C_6H_6 , PhH) — **органічна**, безбарвна рідина з приємним солодкуватим запахом. **Ароматичний вуглеводень**. Бензол входить до складу бензину, широко застосовується в **промисловості**, являється вихідною сировиною для виробництва **ліків**, різних **пластмас**, синтетичної резини, барвників. Хоча бензол входить до складу сирої нафти, в промислових масштабах він синтезується з інших її компонентів. **Токсичний, канцероген**.

Бензол відноситься до числа токсичних продуктів 2-го класу небезпеки.

Пари бензолу при високих концентраціях діють наркотично, шкідливо впливають на нервову систему, надають дратівну дію на шкіру й слизові оболонки очей.

Гранично припустима концентрація парів бензолу в повітрі робочої зони становить 15/5 мг/м³ (максимальна/середньозмінна).

Бензол у повітрі робочої зони визначають методом газової хроматографії.

Бензол відноситься до числа пожежевибухонебезпечних продуктів:

температура спалаху бензолу в закритому тиглі мінус 12 °С;

температура самозапалювання 562 °С;

концентраційні межі запалювання парів у суміші з повітрям (по об'єму);

нижній - 1,4 %, верхній - 7,1 %;

температурні межі запалювання: нижній - мінус 14 °С, верхній - плюс 13 °С.

Бензол володіє резорбтивною дією, проникає в організм через неушкоджену шкіру. Алергенними й кумулятивними властивостями не володіє.

При виробництві бензолу і його транспортуванні необхідно застосовувати герметичні апарати, устаткування й транспортні засоби.

Приміщення, у яких виконують роботи з бензолом, повинні бути забезпечені приточно-витяжною вентиляцією, а обладнання - місцевими відсосами.

У приміщеннях, де зберігається або використовується бензол, забороняється застосування відкритого вогню, а також використання інструментів, що дають при ударі іскру.

Електроустаткування й штучне освітлення повинні бути виконані у вибухобезпечному виконанні.

Засоби захисту органів дихання фільтруючий протигаз із коробкою марки А або БКФ. При концентраціях бензолу більше 0,5 % (по об'єму) і кисню менше 18 % (по об'єму) застосовують шлангові ізолюючі протигази типу ПШ-1 або ПШ-2.

Для захисту шкіри застосовують гумові рукавички, захисні мазі, пасти й креми.

При зливноналивних операціях необхідно строго дотримуватися правил захисту від статичної електрики.

Для гасіння бензолу необхідно застосовувати інертний газ, хімічну й повітряно-механічну піну.

Для гасіння невеликих вогнищ загоряння застосовують ручні пінні або вуглекислотні вогнегасники.

Розлитий продукт необхідно засипати піском, потім зібрати в герметичну тару й віднести в спеціально відведене місце для подальшого знищення у встановленому порядку.

При великих розливах бензол змивають водою в дренажну ємність або хімічний стік.

Норма вантажних операцій (рейт) на даному танкері становить 17000 кубічних метрів на годину при навантаженні, і 12000 кубічних метрів при вивантаженні за рахунок роботи трьох вантажних насосів по 4000 кубічних метрів на годину. Потужність насоса, що зачищає, становить 300 кубометрів на годину.

На підставі наведеної інформації з вантажу представимо в таблиці 3.1 його транспортні характеристики.

Основним документом, що регламентує перевезення небезпечних вантажів морем являється IMDG CODE (International Maritime Dangerous Goods Code), оскільки цей Кодекс входить як доповнення до Конвенції SOLAS 1974, Глави VII, частина А.

Допоміжні документи:

Перевірочний лист з безпеки (документ, відомий як Material Safety Data Sheet (MSDS));

Міжнародне керівництво з безпеки для нафтових танкерів і терміналів (ISSGOT).

Таблиця 3.1 - Транспортні характеристики

Найменування вантажу	Вид тари	Паспортна густина вантажу $\rho^{15/4}$	Валові норми вантаж. робіт, $\text{м}^3/\text{год}$	
			Навантаження	Вивантаження

Бензол	налив	0,884	17000	12000
--------	-------	-------	-------	-------

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

Підготовка до навантаження проводиться в наступній послідовності:

Відправник вантажу до початку навантаження представляє капітану Декларацію (інформацію) про вантаж, у якій вказуються дані про вантаж: найменування вантажу і його

фізико-хімічні властивості, види небезпеки, вимоги до чистоти танків і технологічний режим перевезення. На підставі Декларації виконується додаткове зачищення танків, а в нашому випадку ще й необхідність інертизації.

Мийка танків (зачищення) виконується, керуючись посібником з підготовки вантажних танків до прийому нафтопродуктів (Tank Cleaning Guide) і вимогами Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення моря із суден 1973 р. і Протоколу 1978 р. (MARPOL 73/78).

Основний принцип вимог до якості відмитої поверхні вантажних танків полягає в тому, під який вантаж готуються вантажні танки, і які три останніх вантажі раніше перевозилися танкером. У нашому випадку, три останніх вантажі були світлі нафтопродукти (1. Gasoline, 2. Gasoline, 3. Benzene). У зв'язку із цим вимоги до чистоти танків для приймання вантажу, у даній вантажній комбінації, не високі.

У кожному разі при мийці танків виконуються наступні роботи:

- 1) мийка вантажного трубопроводу;
- 2) мийка танків мийними машинкам (у нашому випадку допускається холодною водою);
- 3) вентиляція танків.

Перед постановкою танкера під навантаження необхідно обпресувати вантажну й зачисну магістралі заборотною водою на робочий тиск, попередньо прокачавши їх цією водою.

Варто перевірити час відкриття й закриття дистанційно керованих клінкетів вантажних систем (про що складають спеціальний акт). Крім того, перевіряють щільність закриття клінкетів у насосному відділенні й кінгстонів.

Необхідно перевірити справність шлангуєчих пристроїв, шлангів, вантажного крана, призначеного для підтримки шлангів. Крім того, оглядають маркування шлангів і при необхідності відновлюють його. Обов'язково проводять гідравлічне випробування шлангів (передбачене інструкцією); про факт проведення випробувань, часу й пробному тиску роблять запис у машинному журналі.

Перед навантаженням перевіряють засоби контролю, сигналізації (про заповнення танків на 95, і 98%). Крім того, перевіряють справність пристрою, що відтинає, для зупинки перекачування вантажу (яке повинне бути пов'язане з подібним пристроєм, що відтинає, на вантажній базі), а також засобів освітлення палуби в районі маніфолдів.

Також необхідно переконатися в надійності заповнення вантажних танків інертним газом.

Особливо ретельно вантажний помічник повинен перевірити закриття клінкетів зачисної системи (оскільки іноді вахтові матроси забувають їх закривати). Перевіряють також систему аварійної зупинки вантажних насосів.

Старший помічник капітана повинен перевірити готовність протипожежних засобів.

Особливу увагу необхідно приділити перевірці закриття всіх шпігатів на вантажній палубі (через які в море може потрапити нафтопродукт), глушіння невикористовуваних при вантажних операціях патрубків вантажного й зачисного палубних трубопроводів. Варто перевірити установку піддонів під фланці прийомного трубопроводу. Підготувати газовідвідну систему до вантажних операцій.

При виконанні всіх цих (і інших) операцій відповідальні особи судна заповнюють спеціальну «Декларацію про готовність судна до вантажних операцій».

Підготовлені танки пред'являються представникові відправника вантажу для огляду й придатності до прийому даного вантажу. Складається Акт про придатність танків до навантаження. У випадку відмови відправника вантажу від огляду танків, запрошується компетентний незалежний сюрвейєр, що своїм рапортом підтверджує придатність танків для прийому даного вантажу.

Перевезення вантажів морським транспортом здійснюється на основі договору морського перевезення, що має наступні основні форми: чартер, коносамент, букінг-нот, берс-нот і фіксчур-нот.

Договором морського перевезення вантажів у трамповому судноплавстві є чартер (charter party), у лінійному - коносамент (Bill of Lading).

Договір морського перевезення вантажу повинен укладатися в письмовій формі.

Наявність і зміст договору морського перевезення можуть підтверджуватися чартером, коносаментом або іншими письмовими доказами.

Коносамент – один з головних інструментів в операціях, зв'язаних з використанням морських суден.

В іноземному праві вказується, що для видачі коносамента потрібно, насамперед, фактичне вручення вантажу перевізникові, передача йому фізичного володіння вантажем і контроль над ним.

Видача коносамента допускається тільки після приймання вантажу до перевезення. Він видається один раз для перевезення даної партії вантажу.

Штурманська розписка є посвідченням судновласника в прийнятті товару до перевезення. Випишує цей документ помічник капітана в підтвердження одержання конкретної партії на борт судна.

Чартерний (фрахтовий) коносамент - документ, у який інкорпорується шляхом посилання окремі з умов чартер-партії для того, щоб вони могли мати ефект для вантажоодержувача або індосата коносамента. Але коносамент,

виданий по чартеру, що не містить у собі умови чартеру за договором з одержувачем вантажу або індосатом, не є фрахтовим коносаментом.

Делівері-ордер (частковий коносамент)- товаророзпорядчий документ, який видається перевізником або вантажоодержувачем з підтвердженням капітаном судна.

Таймшит - документ - відомість урахування стояночного часу судна (сталійного часу), передбаченого чартером на проведення вантажних операцій. Він складається в кожному порту навантаження і вивантаження судна, підписується капітаном і представником фрахтувальника.

Морська накладна (лінійна накладна, океанська накладна) - документ, що підтверджує наявність договору перевезення вантажу морським шляхом і прийняття або навантаження вантажу перевізником і по якому перевізник зобов'язується доставити вантаж вантажоодержувачеві, зазначеному в документі.

Комерційний акт - документ, складений перевізником, або його представником, що засвідчує факт нестачі, псування або ушкодження вантажу при його видачі одержувачеві в пункті призначення. Він фіксує розмір, характер і причини несхоронності вантажу і є підставою для покладання за неї матеріальної відповідальності на перевізника.

Маніфест – список вантажів, прийнятих на судно, що складають роздільно для кожного порту призначення на основі зведень, зазначених у коносаменті. Він оформляється для митниці.

Виконавчий вантажний план складається за результатами навантаження судна і містить загальний розподіл вантажу по вантажних приміщеннях і на верхній палубі.

При здачі вантажів доводиться зіштовхуватися з різноманітними порядками й умовами, що визначаються як національним законодавством у різних країнах, так і місцевими правилами і звичаями, що діють в окремих портах.

При будь-якому діючому в даному порту порядку прийому вантажів, що доставляються судном, капітан повинний заручитися тим або іншим документом, що підтверджує доставку вантажу.

3.3 Розрахунок чистої вантажопідйомності судна

Повна розрахункова водотоннажність судна Δ_p , що служить вихідною величиною при визначенні його чистої вантажопідйомності Δ_c 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 Амстердам – Пунта Кардон починається в зоні дії літньої вантажної марки і закінчується в зоні дії тропічної вантажної марки без обмеження по осадці. За розрахункову водотоннажність приймаємо, водотоннажність для літньої вантажної марки.

Водотоннажність для літньої вантажної марки (з ТЕХ судна):

$$\Delta_p = 190456 \text{ т.}$$

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

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

де Δ_0 - водотоннажність судна порожнього, т.

$$\Delta_w = 190456 - 26279,5 = 164176,5 \text{ т}$$

Ходовий час визначається по формулі:

$$t_p = S/(V_s \cdot 24) + t_{зп},$$

де V_s - швидкість судна;

S - довжина траси переходу, милі;

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

$$t_x = 4442,8/(11,5 \cdot 24) + 0,2 = 16,3 \text{ діб.}$$

Нормативна тривалість стояночного часу розраховується по формулі:

$$t_{\text{ст}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{M},$$

де Q_i - маса вантажу одного найменування, т;

n - кількість найменувань вантажу (обов'язкових і факультативних);

M - валова норма вантажних робіт, т/добу.

$$t_{\text{ст}} = 152811 / (12000 \cdot 24 \cdot 0,884) = 0,6 \text{ доби}$$

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 штормового запасу $k_{\text{шт}}$ (прийmemo 10%).

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

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

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

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.

$$P_{\text{т}}^x = (60+2,5) \cdot 16,3 \cdot 1,1 = 1120,6 \text{ т}$$

$$P_{\text{в}}^x = 5 \cdot 16,3 \cdot 1,1 = 89,7 \text{ т}$$

$$P_{\text{см}}^x = 0,3 \cdot 16,3 \cdot 1,1 = 5,4 \text{ т}$$

$$P_{\text{зап}}^x = 1120,6 + 89,7 + 5,4 = 1215,7 \text{ т}$$

Аналогічно знаходять кількість стояночних запасів:

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

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

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

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

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.

$$P_{\text{т}}^{\text{ст}} = 12,0 \cdot 0,6 = 7,2 \text{ т}$$

$$P_{\text{в}}^{\text{ст}} = 5 \cdot 0,6 = 3,0 \text{ т}$$

$$P_{\text{см}}^{\text{ст}} = 0,08 \cdot 0,6 = 0,05 \text{ т}$$

$$P_{\text{зап}}^{\text{ст}} = 7,2 + 3,0 + 0,05 = 10,25 \text{ т}$$

$$P_{\text{зап}} = 1215,7 + 10,25 = 1226 \text{ т}$$

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 2050,2 т; дизельного палива 185,0 т; води 370 т; мастила 114,9 т.

$$\text{Усього } P_{\text{зап}} = 2720,1 \text{ т}$$

Розрахувавши загальну кількість рейсових запасів, приступають до визначення чистої вантажопідйомності судна ($\Delta_{\text{ч}}$) на рейс:

$$\Delta_{\text{ч}} = \Delta_{\text{W}} - (P_{\text{зап}} + P_{\text{эк}});$$

де $P_{\text{эк}}$ – екіпаж, постачання та ін.

$$\Delta_{\text{ч}} = 164176,5 - (2720,1 + 189,8) = 161266,6 \text{ т}$$

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

Кількість вантажу в кожному танку визначається з урахуванням його розширення від підвищення температури повітря. У зв'язку із цим у таблиці 3.2 представлені передбачувані значення температури повітря й води на всій ділянці переходу.

Таблиця 3.2 - Параметри температури в рейсі

Пункти рейсу	Температура повітря $t_{\text{в}}$, °C	Температура морської води $t_{\text{мв}}$, °C
Порт навантаження Амстердам	15,6	14
Пунта Кардон	28,9	27

Аналізуючи наведені значення температур, робимо висновок, що існує можливість значної зміни температури вантажу від 14 до 29 °C.

Паспортна густина вантажу – $\rho^{15/4}=0,884$; виправлення густини при розширенні вантажу на 1 °C становить – $\lambda= 0,000660$; температура вантажу при вивантаженні – $t_{\text{max}}= 29^{\circ}\text{C}$; передбачувана мінімальна температура вантажу в рейсі – $t_{\text{min}}= 14^{\circ}\text{C}$.

Порядок розрахунку ρ_{max} й ρ_{min} :

при $t = 14^{\circ}\text{C}$: $\rho_{\text{max}} = \rho^{15/4} + 0,000660(15^{\circ}-14^{\circ}) = 0,884 + 0,000660(15^{\circ}-14^{\circ}) = 0,885$

при $t = 29^{\circ}\text{C}$: $\rho_{\text{min}} = \rho^{15/4} + 0,000660(15^{\circ}-29^{\circ}) = 0,884 + 0,000660(15^{\circ}-29^{\circ}) = 0,875$

Припустимий об'єм всіх танків (при заповненні на 100%) становить $W_{\text{T}} = 180807 \text{ м}^3$

Відповідно до вимог Міжнародного керівництва з безпеки для нафтових танкерів і терміналів (ISGOTT) судно має право заповнювати вантажні танки тільки на 98 %. Об'єм всіх танків (при заповненні на 98%) становить $W_{\text{T}98\%} = 177190,6 \text{ м}^3$.

Визначимо загальний обсяг вантажу, який має прийняти судно,

$$V_{\text{сп}} = \frac{m}{\rho^{15/4}} = \frac{152811}{0,884} = 172863 \text{ м}^3,$$

де m – маса пред'явленого до перевезення вантажу, т.

Розрахувавши об'єм вантажу, що приймається на судно, визначимо обсяг залишилися пустот в танках.

$$V_{\text{п}} = W_{\text{T}} - V_{\text{сп}} = 180807 - 172863,1 = 7943,9 \text{ м}^3$$

В результаті коливань температури під час рейсу обсяг вантажу в танку змінюється. Щоб уникнути переливу вантажу внаслідок його розширення, дуже важливо правильно визначити граничну порожнечу в танках.

При максимальній температурі ($t_{\max} = 29^{\circ}\text{C}$) обсяг вантажу досягне своєї найбільшої величини

$$V_{\max} = \frac{m}{\rho_{\max}},$$

де m – маса пред'явленого до перевезення вантажу, т.

$$V_{\max} = \frac{152811}{0,875} = 174641,1 \text{ м}^3$$

Обсяг вантажу в танках $V_{\text{грmax}}$ при розширенні не повинен перевищувати обсяг танків. Граничний обсяг вантажу розраховують за формулою

$$V_{\text{грmax}} = W_{\text{т98\%}} \frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}} = 177190,6 \frac{0,885}{0,875} = 179215,6 \text{ м}^3$$

Зменшення об'єму пустот в танках в наслідок розширення вантажу складе

$$\delta V_{\text{п}} = V_{\max} - V_{\text{гр}} = 174641,1 - 172863 = 1778,1 \text{ м}^3$$

Так як виконується умова

$$V_{\text{п}} - \delta V_{\text{п}} \geq 0$$

$$7943,9 - 1778,1 = 6165,8 > 0$$

отже, запас пустот достатній.

Відповідно до рейсового завдання (Voyage Order) судно повинне завантажити 152811 т вантажу.

Таблиця 3.3 - Відомості про маси й об'єми партій вантажу

Найменування вантажу	Маса вантажу, т Q_i	Густина вантажу т/м ³ ,		Об'єм який займає вантаж м ³ , V_i	
		при $t_{\text{гр}} = 15^{\circ}\text{C}$	при $t_{\text{гр}} = 29^{\circ}\text{C}$	при $t_{\text{гр}} = 15^{\circ}\text{C}$	при $t_{\text{гр}} = 29^{\circ}\text{C}$
Бензол	152811	0,884	0,875	172863	174641,1

3.4 Складання вантажного плану

Перевізник відповідає за неправильне розміщення, кріплення й сепарацію вантажів на судні. Невірне або невдале розміщення вантажів, перевантаження окремих відсіків неминуче приводить до неприпустимих напруг на корпус судна, а в окремих випадках до ушкоджень і навіть аварії судна. Тому судно повинне бути завантажене так, щоб не з'явилося крену, були належний диферент і достатня остійність, не були порушені умови місцевої й загальної поздовжньої міцності. Це досягається відповідним розподілом вагового навантаження по вантажних приміщеннях.

Специфіка конструкції танкера така, що остійність судна, як правило, задовільна, навіть не дивлячись на наявність вільних поверхонь рідини. Але навіть під час перевезення однорідного вантажу його розподіл здійснюється відповідно до вимог Інформації капітану про остійність і міцність судна й рекомендаціями заводської інструкції.

Як правило, навантажений танкер не до кінця вибирає свою вантажопідйомність, тому навантаження виконують по даним об'єму рідини й вантажних приміщень. Потім з урахуванням щільності визначають масу завантаженого вантажу й порівнюють її із чистою вантажопідйомністю. Вантажні танки дозволено заповнювати тільки на 98%, 2 відсотки залишається на непередбачене температурне розширення вантажу, для забезпечення безпечного перевезення.

Розрахунок робимо в табличній формі.

Таблиця 3.4 – Розподіл вагового навантаження по вантажних приміщеннях судна

Найменування вантажного приміщення	Густина вантажу	Об'єм танка 100% (м³)	Об'єм танка 98% (м³)	Маса вантажу, (Т)	Об'єм вантажу (м³)
1	2	3	4	5	6
NO.1 С. О. Т. (Р)	0,875	11549,9	11318,9	8800,0	10057,1
NO.1 С. О. Т. (S)	0,875	11549,9	11318,9	8800,0	10057,1
NO.2 С. О. Т. (Р)	0,875	15474,5	15165	13267,5	15162,9

NO.2 C. O. T. (S)	0,875	15474,5	15165	13267,5	15162,9
NO.3 C. O. T. (P)	0,875	15617,6	15305,2	13390,6	15303,5
NO.3 C. O. T. (S)	0,875	15617,6	15305,2	13390,6	15303,5
NO.4 C. O. T. (P)	0,875	15617,6	15305,2	13391,4	15304,5
NO.4 C. O. T. (S)	0,875	15617,6	15305,2	13391,4	15304,5
NO.5 C. O. T. (P)	0,875	15617,6	15305,2	13390,2	15303,1
NO.5 C. O. T. (S)	0,875	15617,6	15305,2	13390,2	15303,1
NO.6 C. O. T. (P)	0,875	14731,0	14436,4	12630,8	14435,2
NO.6 C. O. T. (S)	0,875	14731,0	14436,4	12630,8	14435,2
SLOP T. (P)	0,875	1795,3	1759,4	1535,0	1754,3
SLOP T. (S)	0,875	1795,3	1759,4	1535,0	1754,3
Всього		180807	177190,6	152811,0	174641,2

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.

Відстань між портами: $S = 4442,8$ миль

Порт відходу: Амстердам. Густина води $\rho = 1,025$ т/м³.

У порту Амстердам діє літня вантажна марка.

Порт Амстердам своєму розпорядженні має велику кількість гаваней і причалів, оснащених сучасним обладнанням для виробництва вантажно-розвантажувальних робіт, зберігання і транспортування вантажів. Порт має у своєму розпорядженні розгалужену мережу під'їзних шляхів: залізничних і автомобільних.

Різноманітні верфі та майстерні доступні для інженерних робіт та всіх видів ремонту.

Прісну воду можна отримати на набережній на багатьох причалах та також рейді.

Бункеровка: Усі типи бункерів можуть поставлятися за допомогою барж або екс-берегових установок для танкерів.

Провізія: Доступне постачання через агента або безпосередньо в порту.

Державні свята: День Нового року (1 січня), Пасхальна неділя (6 квітня), Великодній понеділок (7 квітня), День національного визволення (5 травня), День Вознесіння (16 травня), Неділя (26 травня), понеділок (27 травня), Різдво (25 грудня) та день боксу (26 грудня).

Час роботи: Офіційний час роботи: Пн-Пт, 09.00-17.00 год.

Порт приходу: Пунта Кардон. Густина води $\rho=1,025 \text{ т/м}^3$.

У порту Пунта Кардон діє тропічна вантажна марка.

Порт Пунта Кардон розташований у Венесуельській затоці на південно-західному узбережжі півострова Парагвана.

Ремонт: в порту можливий аварійний ремонт не складного характеру на березі, послуги з технічного обслуговування та ремонту радіолокаційної, радіо- та навігаційної техніки.

Прісна вода: Доступна на всіх причалах.

Бункеровка: Усі сорти паливно-мастильних матеріалів, необхідно попередньо повідомити.

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	Місткість, т	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
			x	z	M _x	M _z
1	2	3	4	5	6	7
Моторне паливо $\rho = 0,99 \text{ т/м}^3$						
NO.2 H.F.O.T.(P)	870,4	750	-100,663	18,728	-75497	14046
NO.2 H.F.O.T.(S)	1212,9	940	-99,841	18,319	-93851	17220
H.F.O.SERV.T. (P)	102,2	100,5	-97,645	17,637	-9813	1773
H.F.O. SETT.T. (P)	99,4	87,8	-97,340	17,637	-8546	1549
L.S. H.F.O. SETT.T. (P)	104,9	96,4	-103,620	17,637	-9989	1700
L.S. H.F.O.SERV.T. (P)	78,7	75,5	-100,610	17,637	-7596	1332
Всього моторного палива		2050,2			-205292	37620
Дизельне паливо $\rho = 0,90 \text{ т/м}^3$						
M. D.O.SERV.T (P)	50,0	49,5	-109,210	20,526	-5406	1016
M. D.O.STOR.T (S)	196,3	135,5	-110,832	20,494	-15018	2777
Всього дизельного палива		185,0			-20424	3793
Мастило $\rho = 0,90 \text{ т/м}^3$						
CYL. O. STOR. T. (P)	69,5	41,2	-112,797	20,488	-4647	844
G/E L. O. STOR. T. (P)	3,5	2,3	-116,780	18,613	-269	43
MAIN L.O. SETT. T. (P)	72,1	28,4	-115,570	20,514	-3282	583
MAIN L.O.STOR. T. (P)	38,1	19,6	-115,298	20,708	-2260	406

Продовження табл.4.1

1	2	3	4	5	6	7
MAIN L. O. SUMP. T. (C)	33,1	17,5	-108,233	1,487	-1894	26
TURB. L. O. STOR. T. (P)	3,5	2,6	-116,780	18,613	-304	48
G/E L. O. SETT. T. (P)	5,4	3,3	-116,780	21,805	-385	72
Всього мастила		114,9			-13041	2022
Вода $\rho = 1,00 \text{ т/м}^3$						
D. W. T. (P)	170,4	120,0	-122,494	21,020	-14699	2522
F. W. T.(S)	312,4	250,0	-124,051	21,033	-31013	5258
Всього води		370,0			-45712	7780
ВСЬОГО ЗАПАСІВ:		2720,1	-104,58	18,83	-284469	51215

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 $\rho = 0,99 \text{ т/м}^3$						
NO.2 H.F.O.T.(P)	870,4	300	-100,663	18,728	-30199	5618
NO.2 H.F.O.T.(S)	1212,9	412	-99,841	18,319	-41134	7547
H.F.O.SERV.T. (P)	102,2	100,5	-97,645	17,637	-9813	1773
H.F.O. SETT.T. (P)	99,4	87,8	-97,340	17,637	-8546	1549
L.S. H.F.O. SETT.T. (P)	104,9	96,4	-103,620	17,637	-9989	1700
L.S. H.F.O.SERV.T. (P)	78,7	75,5	-100,610	17,637	-7596	1332
Всього моторного палива		1072,2			-107277	19519
Дизельне паливо $\rho = 0,90 \text{ т/м}^3$						
M. D.O.SERV.T (P)	50,0	49,5	-109,210	20,526	-5406	1016
M. D.O.STOR.T (S)	196,3	94,7	-110,832	20,494	-10496	1941
Всього дизельного палива		144,2			-15902	2957
Мастило $\rho = 0,90 \text{ т/м}^3$						
CYL. O. STOR. T. (P)	69,5	39,2	-112,797	20,488	-4422	803
G/E L. O. STOR. T. (P)	3,5	2,3	-116,780	18,613	-269	43
MAIN L.O. SETT. T. (P)	72,1	26,4	-115,570	20,514	-3051	542
MAIN L.O.STOR. T. (P)	38,1	18,7	-115,298	20,708	-2156	387
MAIN L. O. SUMP. T. (C)	33,1	17,5	-108,233	1,487	-1894	26

TURB. L. O. STOR. T. (P)	3,5	2,6	-116,780	18,613	-304	48
--------------------------	-----	-----	----------	--------	------	----

Продовження табл.4.2

1	2	3	4	5	6	7
G/E L. O. SETT. T. (P)	5,4	3,3	-116,780	21,805	-385	72
Всього мастила		110,0			-12481	1921
Вода $\rho = 1,00 \text{ т/м}^3$						
D. W. T. (P)	170,4	90,0	-122,494	21,020	-11024	1892
F. W. T.(S)	312,4	198,5	-124,051	21,033	-24624	4175
Всього води		288,5			-35648	6067
ВСЬОГО ЗАПАСІВ		1614,9	-106,08	18,86	-171308	30464

Розподіл вантажів представлений у табл.4.3.

Таблица 4.3 – Розподіл вантажів

Найменування приміщень і вантажу	m, т	V, м ³	Плечі, м		Моменти, тм	
			x	z	M _x	M _z
NO.1 C. O. T. (P)	8800,0	10057,1	101,946	12,430	897125	109384
NO.1 C. O. T. (S)	8800,0	10057,1	101,946	12,430	897125	109384
NO.2 C. O. T. (P)	13267,5	15162,9	70,112	13,566	930211	179987
NO.2 C. O. T. (S)	13267,5	15162,9	70,112	13,566	930211	179987
NO.3 C. O. T. (P)	13390,6	15303,5	36,155	13,562	484137	181603
NO.3 C. O. T. (S)	13390,6	15303,5	36,155	13,562	484137	181603
NO.4 C. O. T. (P)	13391,4	15304,5	2,105	13,562	28189	181614
NO.4 C. O. T. (S)	13391,4	15304,5	2,105	13,562	28189	181614
NO.5 C. O. T. (P)	13390,2	15303,1	-31,495	13,562	-421724	181598
NO.5 C. O. T. (S)	13390,2	15303,1	-31,945	13,562	-427750	181598
NO.6 C. O. T. (P)	12630,8	14435,2	-65,469	13,944	-826926	176124
NO.6 C. O. T. (S)	12630,8	14435,2	-65,469	13,944	-826926	176124
SLOP T. (P)	1535,0	1754,3	-85,439	14,817	-131149	22744
SLOP T. (S)	1535,0	1754,3	-85,439	14,817	-131149	22744
ВСЬОГО ВАНТАЖУ:	152811,0	174641,2	12,520	13,520	1913700	2066108

На прихід для забезпечення посадки з диферентом на корму необхідно прийняти баласт.

Таблиця 4.4 – Розподіл баласту

Найменування цистерн	Місткість, т	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
			X	Z	M _x	M _z
NO. 6 W. B. T. (P)	4861,8	700	-66,06	0,611	-46242	428
NO. 6 W. B. T. (S)	4861,8	700	-66,06	0,611	-46242	428
ВСЬОГО БАЛАСТУ:		1400	-66,06	0,611	-92484	856

На основі виконаних розподілів вантажу, запасів і баласту складемо таблицю зведених даних і розрахунку водотоннажності з координатами центра ваги судна на відхід і на прихід.

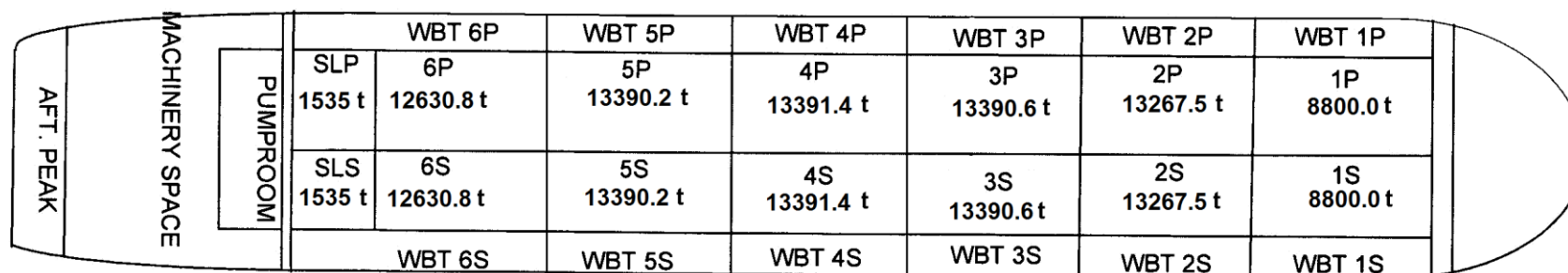
Таблиця 4.5 – Зведені дані і розрахунок водотоннажності на відхід

Найменування статей навантаження	На відхід				
	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
		x	z	M _x	M _z
Судно порожнє	26279,5	-9,28	12,31	-243874	323501
Константа	189,8	-33,20	12,86	-6303	2441
Суднові запаси	2720,1	-104,58	18,83	-284469	51215
Вантаж	152811,0	12,520	13,520	1913700	2066108
ВСЬОГО ВОДОТОННАЖНІСТЬ:	182000,4	7,58	13,42	1379054	2443265

Таблиця 4.6 – Зведені дані і розрахунок водотоннажності на прихід

Найменування статей навантаження	На прихід				
	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
		x	z	M _x	M _z
Судно порожнє	26279,5	-9,28	12,31	-243874	323501
Константа	189,8	-33,20	12,86	-6303	2441
Суднові запаси	1614,9	-106,08	18,86	-171308	30464
Вантаж	152811,0	12,520	13,520	1913700	2066108
Баласт	1400	-66,06	0,611	-92484	856
ВСЬОГО ВОДОТОННАЖНІСТЬ:	182295,2	7,68	13,29	1399731	2423370

Схематично вантажний план представлений на рис.4.1.



The diagram shows a side view of a ship's deck layout. At the bow (left), there is a section labeled 'AFT. PEAK'. Moving right, there is a large area labeled 'MACHINERY SPACE'. To the right of this is a 'PUMPROOM'. The main deck area is divided into seven vertical sections labeled WBT 6P, WBT 5P, WBT 4P, WBT 3P, WBT 2P, and WBT 1P from left to right. Each of these sections is further divided into two horizontal rows: the top row contains 'SLP' and '6P', '5P', '4P', '3P', '2P', and '1P' respectively; the bottom row contains 'SLS' and '6S', '5S', '4S', '3S', '2S', and '1S' respectively. Each of these sub-sections contains a weight value in tonnes (t). At the stern (right), there is a curved section.

WBT 6P		WBT 5P	WBT 4P	WBT 3P	WBT 2P	WBT 1P
SLP 1535 t	6P 12630.8 t	5P 13390.2 t	4P 13391.4 t	3P 13390.6 t	2P 13267.5 t	1P 8800.0 t
SLS 1535 t	6S 12630.8 t	5S 13390.2 t	4S 13391.4 t	3S 13390.6 t	2S 13267.5 t	1S 8800.0 t
WBT 6S		WBT 5S	WBT 4S	WBT 3S	WBT 2S	WBT 1S

 $T_K = 16,53 \text{ м}$
 $T_H = 16,42 \text{ м}$

Рисунок 4.1 – Вантажний план судна

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	182000,4	182295,2
Абсциса центра ваги судна, м	x_g	7,58	7,68
Водотоннажність об'ємна, м ³	$V = D / \rho$	177561	177849
Густина заборотної води, т/м ³	ρ	1,025	1,025
Осадка судна, м	T	16,48	16,51
Момент диферентуючий на 1 см, тм/см	M_{cm}	2297,2	2298,7
Абсциса центра величини судна, м	x_c	7,72	7,7
Абсциса Ц.В. площі ватерлінії, м	x_f	-2,26	2,28
Апліката поперечного метacentра, м	z_m	20,09	20,09
Коефіцієнт загальної повноти	δ	0,820	0,820
Диферент судна, м	$d = D(x_g - x_c) / (100M_{cm})$	-0,11	-0,02
Осадка судна носом, м	$T_H = T + (L/2 - x_f) d / L$	16,42	16,50
Осадка судна кормою, м	$T_K = T_H - d$	16,53	16,52

Для виконання розрахунків та контролю остійності судна необхідно визначити поправки на вплив вільної поверхні рідких вантажів (запасів) до метacentричної 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 судових цистернах, що приводиться в Інформації.

Таблиця 4.8 – Виправлення на вплив вільної поверхні рідких вантажів

Найменування цистерн	Δm_h , тм
NO.2 H.F.O.T.(P)	554
NO.2 H.F.O.T.(S)	678
M. D.O.STOR.T (S)	249
D. W. T. (P)	125
F. W. T.(S)	273
NO.1 C. O. T. (P)	13047
NO.1 C. O. T. (S)	13047
NO.2 C. O. T. (P)	2621
NO.2 C. O. T. (S)	2621
NO.3 C. O. T. (P)	2621
NO.3 C. O. T. (S)	2621
NO.4 C. O. T. (P)	2621
NO.4 C. O. T. (S)	2621
NO.5 C. O. T. (P)	2621
NO.5 C. O. T. (S)	2621
NO.6 C. O. T. (P)	2621
NO.6 C. O. T. (S)	2621
SLOP T. (P)	322
SLOP T. (S)	322
NO. 6 W. B. T. (P)	25610
NO. 6 W. B. T. (S)	25610
Сума: $\Sigma \Delta m_h$	106047

Розрахунок параметрів початкової остійності виконаний в табл.4.9.

Таблиця 4.9 – Розрахунок параметрів початкової остійності

Найменування величин	Позначення і формули	Значення величин	
		відхід	прихід
1	2	3	4
Водотоннажність масова, т	D	182000,4	182295,2
Невиправлена апліката центра ваги судна, м	z_{g0}	13,42	13,29

Апліката поперечного метацентра, м	Z_m	20,09	20,09
------------------------------------	-------	-------	-------

Продовження табл.4.9

1	2	3	4
Невиправлена метацентрична висота, м	$h_0 = z_m - z_{g0}$	6,67	6,80
Виправлення на вільні поверхні, м	$\Delta h = \Sigma \Delta m_h / D$	0,58	0,58
Виправлена апліката центра ваги судна, м	$z_g = z_{g0} + \Delta h$	14,00	13,87
Виправлена метацентрична висота, м	$h = h_0 - \Delta h$	6,09	6,22

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	182000,4	182295,2
Виправлена апліката Ц.В. судна, м	z_g	14,00	13,87
Максимальна гранична апліката Ц.В., м	$z_g^{\max}$	17,63	17,63

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.

Плечі остійності ваги необхідно розраховувати по формулі:

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

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

$$l = l_{\phi} - l_{\epsilon}.$$

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							182000,4	
Апліката центра ваги судна z_{g0} , м							13,42	
Апліката умовного центра мас z_m , м (полюс – точка «O»)							0,00	
Виправлена апліката центра ваги судна, $z_g = z_{g0} + \Delta h$, м							14,00	
$\Delta\theta = 0,1745 \approx 10^\circ/57,3$								
Кут крену θ°	Плеche форми, l_ϕ , м	$\sin \theta^\circ$	$z_g \cdot \sin \theta^\circ$	Плеche статичної остійності $l = l_\phi - z_g \cdot \sin \theta^\circ$, м	Множ-ник	Добу-ток	Множ-ник	Добуток
0	0,00	0,000	0,000	0,000	1	0,000	1	0,000
10	3,510	0,174	2,436	1,074	4	4,296	3	3,222
20	6,948	0,342	4,788	2,160	2	4,320	3	6,480
30	9,573	0,500	7,000	2,573	4	10,292	1	2,573
40	11,539	0,643	9,002	2,537	1	2,537	Σ_{30}	12,275
50	12,805	0,766	10,724	2,081	Σ_{40}	21,445	$a_{0-30} = 3 \times 0,1745 \times 12,275 / 8 = 0,803$	
60	13,442	0,866	12,124	1,318	$a_{0-40} = 0,1745 \times 21,445 / 3 = 1,247$			
70	13,545	0,940	13,160	0,385				
					$a_{30-40} = 1,247 - 0,803 = 0,444$			

Таблиця 4.12 – Розрахунок плечей статичної остійності на прихід

Водотоннажність D, т							182295,2	
Апліката центра ваги судна z_{g0} , м							13,29	
Апліката умовного центра мас z_m , м (полюс – точка «O»)							0,00	
Виправлена апліката центра ваги судна, $z_g = z_{g0} + \Delta h$, м							13,87	
$\Delta\theta = 0,1745 \approx 10^\circ/57,3$								
Кут крену θ°	Плеche форми, l_ϕ , м	$\sin \theta^\circ$	$z_g \cdot \sin \theta^\circ$	Плеche статичної остійності $l = l_\phi - z_g \cdot \sin \theta^\circ$, м	Множ-ник	Добу-ток	Множ-ник	Добуток
0	0,00	0,000	0,000	0,000	1	0,000	1	0,000
10	3,510	0,174	2,413	1,097	4	4,388	3	3,291
20	6,943	0,342	4,744	2,199	2	4,398	3	6,597
30	9,560	0,500	6,935	2,625	4	10,500	1	2,625
40	11,524	0,643	8,918	2,606	1	2,606	Σ_{30}	12,513
50	12,791	0,766	10,624	2,167	Σ_{40}	21,892	$a_{0-30} = 3 \times 0,1745 \times 12,513 / 8 = 0,819$	
60	13,431	0,866	12,011	1,420	$a_{0-40} = 0,1745 \times 21,892 / 3 = 1,273$			
70	13,537	0,940	13,038	0,499				
					$a_{30-40} = 1,273 - 0,819 = 0,454$			

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).

Остійність судна вважається достатньою, якщо задовольняються загальні для всіх суден вимоги до критерія погоди, кута крену від дії постійного вітру й діаграми статичної остійності (ДСО).

Розрахунок нормованих параметрів остійності виконаний у табл. 4.13.

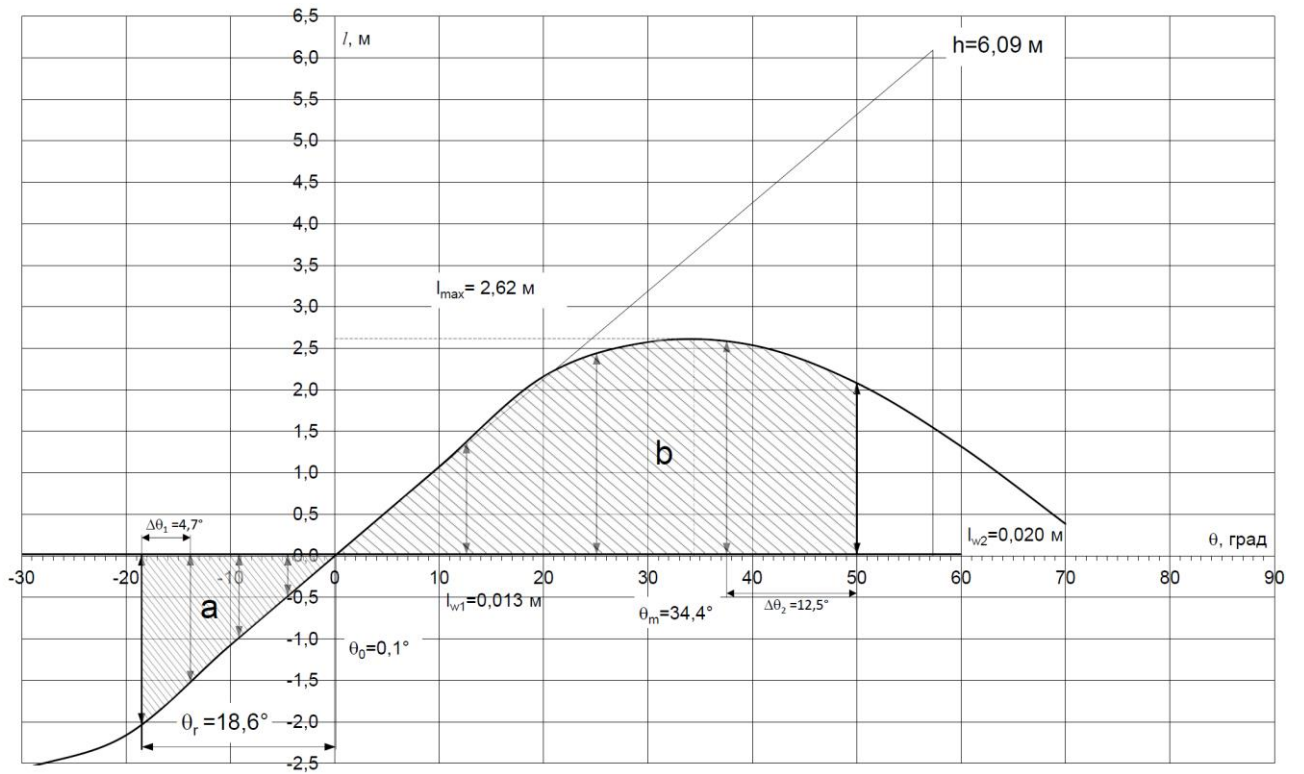


Рисунок 4.2 - Діаграма статичної остійності на відхід і визначення критерію погоди

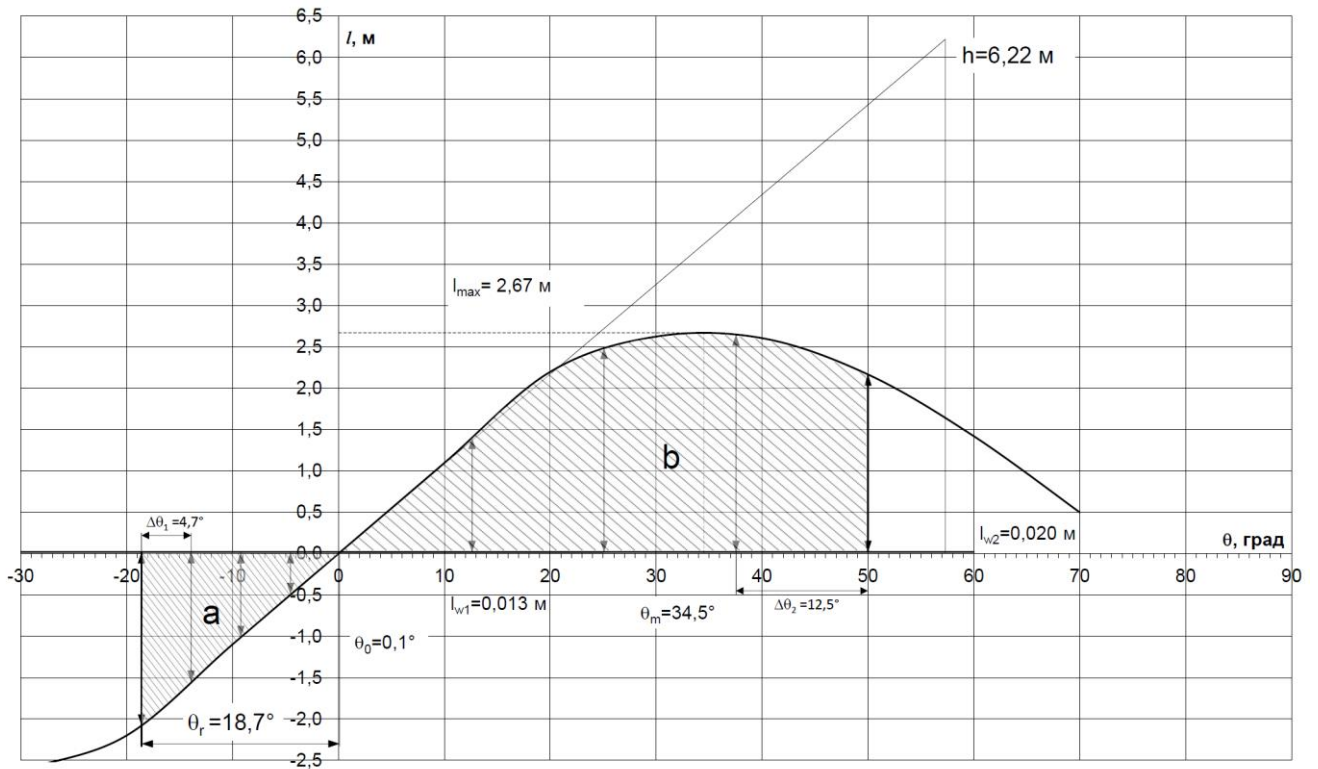


Рисунок 4.3 - Діаграма статичної остійності на прихід і визначення критерію погоди

Таблиця 4.13–Розрахунок нормованих параметрів остійності

Найменування величин	Позначення і формули	Значення величин	
		відхід	прихід
1	2	3	4
Водотоннажність масова, т	D	182000,4	182295,2
Осадка судна, м	T	16,48	16,51
Виправлена метацентрична висота, м	h	6,09	6,22
Площа парусності, м ²	A _v	3251	3259
Апліката центра парусності (ЦП), м	z	5,77	5,76
Плече парусності при постійному вітрі, м	$z_v = z + T/2$	14,01	14,02
Плече кренувального моменту від тиску вітру, м	$l_{w1}=0,504 A_v z_v / (gD)$	0,013	0,013
Кренувальне плече від пориву вітру, м	$l_{w2} = 1,5 l_{w1}$	0,020	0,020
Відносна площа скулових кілей,%	$100 A_K / (L B)$	-	
Коефіцієнт	k	1	
Відносна ширина	B/T	3,03	3,03
Безрозмірний множник	X ₁	0,894	0,894
Коефіцієнт загальної повноти	δ	0,820	0,820
Безрозмірний множник	X ₂	1,000	1,000
Інерційний коефіцієнт	$c=0,373+0,023B/T-0,043L/100$	0,329	0,329
Період хитавиці, с	$T_\theta = 2 c B / \sqrt{h}$	13,3	13,2
Коефіцієнт	S	0,0572	0,0578
Коефіцієнт	$r = 0,73 + 0,6 (z_g - T) / T$	0,640	0,634
Амплітуда хитавиці, °	$\theta_r = 109 k X_1 X_2 \sqrt{r S}$	18,6	18,7
Кут заливання, °	θ _f	>60	>60
Кут входу палуби у воду, °	$\theta_d = \arctg(2(H- T) / B)$	14,8	14,8
Кут крену від постійного вітру, °	θ ₀	0,1	0,1
Кут крену при хитавиці назустріч вітру, °	$\theta_1 = \theta_r - \theta_0$	18,5	18,6
Границя площ.“b” діаграми праворуч, °	θ _b	50	50
Площа “a” діаграми, м-рад	a	0,332	0,341
Площа “b” діаграми, м-рад	b	1,639	1,678
Критерій погоди	$K = b / a$	4,94	4,92

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

$\Delta\theta_1 = (\theta_1 + 1,5\theta_0)/4 = (18,5 + 1,5 \cdot 0,1)/4 = 4,68^\circ$			$\Delta\theta_1^{\text{рад}} = 4,68^\circ/57,3 = 0,0816 \text{ рад}$		
$\Delta\theta_2 = (\theta_6 - 1,5\theta_0)/4 = (50 - 1,5 \cdot 0,1)/4 = 12,48^\circ$			$\Delta\theta_2^{\text{рад}} = 12,48^\circ/57,3 = 0,2177 \text{ рад}$		
a_i	k_i	$a_i \cdot k_i$	b_i	k_i	$b_i \cdot k_i$
$a_1 = 2,05$	1	2,05	$b_1 = 0$	1	0
$a_2 = 1,54$	4	6,16	$b_2 = 1,35$	4	5,40
$a_3 = 1,00$	2	2,00	$b_3 = 2,42$	2	4,84
$a_4 = 0,50$	4	2,00	$b_4 = 2,57$	4	10,28
$a_5 = 0$	1	0	$b_5 = 2,061$	1	2,061
		$\Sigma_a = 12,21$			$\Sigma_b = 22,581$
$a = \frac{1}{3} \Sigma_a \cdot \Delta\theta_1^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 12,21 \times 0,0816 = 0,332$			$b = \frac{1}{3} \Sigma_b \cdot \Delta\theta_2^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 22,581 \times 0,2177 = 1,639$		

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

$\Delta\theta_1 = (\theta_1 + 1,5\theta_0)/4 = (18,6 + 1,5 \cdot 0,1)/4 = 4,7^\circ$			$\Delta\theta_1^{\text{рад}} = 4,7^\circ/57,3 = 0,082 \text{ рад}$		
$\Delta\theta_2 = (\theta_6 - 1,5\theta_0)/4 = (50 - 1,5 \cdot 0,1)/4 = 12,48^\circ$			$\Delta\theta_2^{\text{рад}} = 12,48^\circ/57,3 = 0,2177 \text{ рад}$		
a_i	k_i	$a_i \cdot k_i$	b_i	k_i	$b_i \cdot k_i$
$a_1 = 2,10$	1	2,10	$b_1 = 0$	1	0
$a_2 = 1,57$	4	6,28	$b_2 = 1,38$	4	5,52
$a_3 = 1,03$	2	2,06	$b_3 = 2,47$	2	4,94
$a_4 = 0,51$	4	2,04	$b_4 = 2,63$	4	10,52
$a_5 = 0$	1	0	$b_5 = 2,147$	1	2,147
		$\Sigma_a = 12,48$			$\Sigma_b = 23,127$
$a = \frac{1}{3} \Sigma_a \cdot \Delta\theta_1^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 12,48 \times 0,082 = 0,341$			$b = \frac{1}{3} \Sigma_b \cdot \Delta\theta_2^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 23,127 \times 0,2177 = 1,678$		

4.6 Перевірка виконання рекомендованих ІМО критеріїв остійності

Виконаємо перевірку остійності за вимогами ІМО порівнюючи розраховані значення з 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	0,803	0,819	YES
Площа під ДСО до кута крену 40 ⁰ , м·рад	A ₄₀	≥ 0,09	1,247	1,273	YES
Площа під ДСО між 30 ° і 40 °, м рад	A ₃₀₋₄₀	≥ 0,03	0,444	0,454	YES
Плече ДСО при куті крену 30° або більше, м	l ₃₀	≥ 0,20	2,573	2,625	YES
Кут крену, що відповідає максимуму ДСО, °	θ _м	≥ 25	34,4	34,5	YES
Виправлена метацентрична висота, м	h	> 0,15	6,09	6,22	YES
Критерій погоди	K	≥ 1	4,94	4,92	YES
Кут крену від постійного вітру, °	θ ₀	≤ 11.8	0,1	0,1	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 перерізують, 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.

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

Таблиця 4.17 – Перевірка подовжньої міцності на відхід

Переріз	SF, т	SFsea, %	Доп.SF, т	BM, тм	BMsea, %	Доп.BM, тм
14	647	16,2	4001	4532	13,3	34012
28,5	-143	2,4	-6002	8437	10,6	79527
43	-815	10,2	-8003	3755	3	125043
49	-1425	17	-8403	-1469	1,5	-100034
54	-1877	21,6	-8703	-8553	7,1	-120041
55	-1715	14,8	-11604	-15973	11,4	-140048
58,5	-1216	11,6	-10504	-40372	17,4	-232387
62	-881	8,3	-10604	-57480	18,2	-315108
65,5	-735	6,9	-10604	-70735	22,4	-315108
69	-621	5,9	-10604	-81907	26	-315108
72,5	-379	3,2	-11758	-90388	28,7	-315108
76	-179	1,2	-14605	-94708	30,1	-315108
79,5	87	0,7	12317	-95027	30,2	-315108
83	371	3,2	11604	-90639	28,8	-315108
86,5	720	6,3	11360	-80823	35,1	-230337
90	1233	10	12304	-63905	35,5	-180062
93,5	1771	15,4	11491	-38622	35,1	-110038
97	1848	26,4	7002	-7668	19,2	-40014

Максимальна перерізуєча сила 1877 т на 54 шпангоуті.

Максимальний згинальний момент -95027тм на 79,5 шпангоуті.

На рис.4.4. представлена еюра міцності на відхід.

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що протягом усього рейсу загальна поздовжня міцність забезпечена.

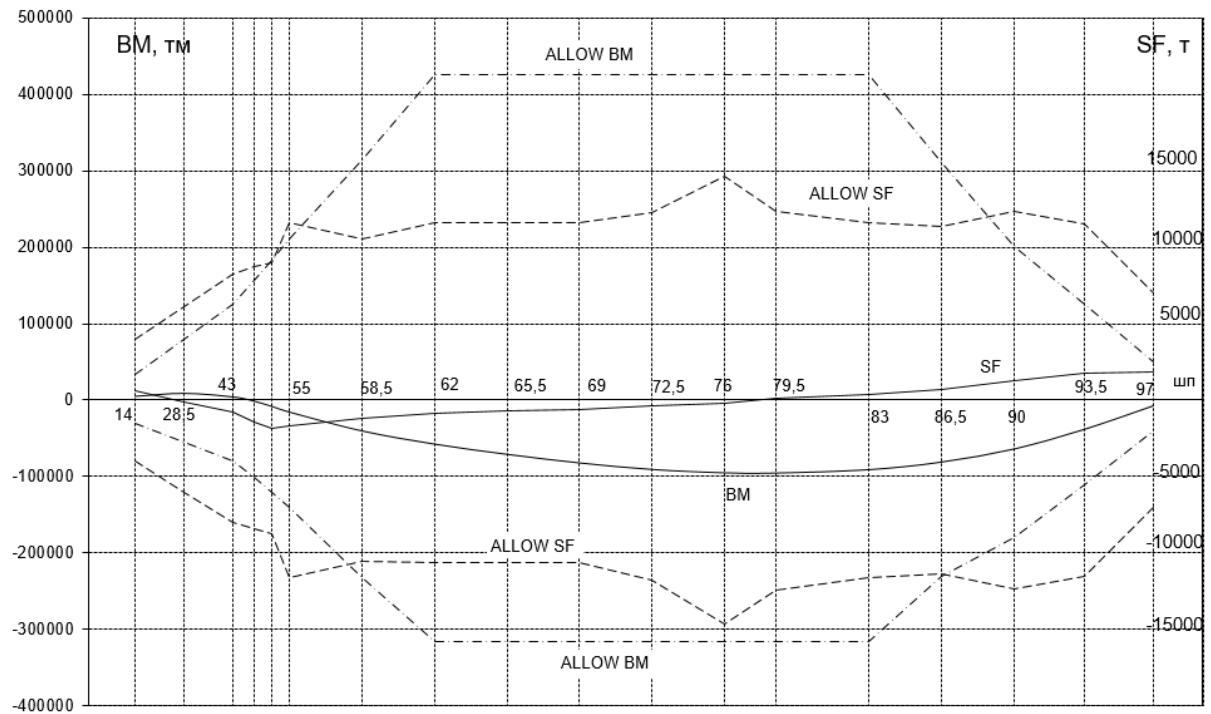


Рисунок 4.4 - Контроль міцності на відхід

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ПРОКЛАДКИ (САРП) З ФУНКЦІЄЮ ЗЛИТТЯ СЕНСОРНИХ ДАНИХ

Система автоматичного радіолокаційного прокладання (САРП), або ARPA, це комплекс, інтегрований з судновою радіолокаційною станцією (РЛС) для автоматичного відстеження цілей, розрахунку їх траєкторій та відображення інформації на екрані РЛС. Основні функції САРП включають автоматичне виявлення цілей, супровід до декількох десятків об'єктів одночасно, розрахунок елементів руху (швидкості та курсу) та зближення (дистанції та часу), а також подачу попереджувальних сигналів при зближенні з небезпечною метою. Ця система значно спрощує роботу судноводія, звільняючи його від ручного зняття пеленгів та дистанцій, і дозволяє зосередитись на оцінці ситуації та прийнятті рішень. Основні функції та можливості САРП наступні:

- автоматичне виявлення та супровід, система виявляє та бере на супровід не менше 20 цілей одночасно;
- розрахунок елементів руху, безперервно обчислюється курс, швидкість та інші параметри руху цілей, що супроводжуються;
- визначення елементів зближення, розраховується дистанція та час до найкоротшого зближення з кожною ціллю;
- програвання маневру, це дозволяє судноводію переглянути, як розвиватиметься ситуація під час маневру розходження;
- попереджувальна сигналізація повідомляє про появу нової або небезпечної цілі, втрату цілі або досягнення граничної відстані зближення;
- облегшення роботи судноводія, усувається необхідність ручних розрахунків та графічного прокладання на планшеті, автоматизуючи процес на екрані РЛС.

Принцип роботи заснований на тому, що САРП використовує дані від суднової РЛС, гірокомпасу та лагу для створення та обробки інформації. На екрані індикатора РЛС відображається обстановка радіолокації, а також треки і вектори руху цілей. Оператор може вручну захопити ціль чи дозволити системі зробити це автоматично, після чого система сама відстежує її рух.

Існують і обмеження. САРП не гарантує виявлення всіх цілей, особливо малих. Ефективність її роботи залежить від правильного розуміння принципів роботи системи судноводієм та правильного налаштування системи.

5.1 Нормативно-правова база функціонування сучасних систем автоматизації радіолокаційної прокладки

Безпека мореплавства в умовах інтенсивного трафіку, особливо у вузькостях та зонах поділу руху, критично залежить від швидкості та точності оцінки ситуації зближення. Традиційні методи ручної радіолокаційної прокладки (на маневровому планшеті), хоча і залишаються базовим навиком

судноводія, не відповідають сучасним вимогам щодо дискретності оновлення інформації та кількості супроводжуваних цілей.

Сучасні системи автоматизованої радіолокаційної прокладки (САРП / ARPA - Automatic Radar Plotting Aids) еволюціонували від допоміжних засобів до центрального елемента Інтегрованих навігаційних систем (IBS). Їх головна задача - мінімізація "людського фактору" в рутинних процесах розрахунку елементів руху цілі (ЕРЦ) та надання судноводію готових рішень для запобігання зіткненням згідно з МППЗС-72 (COLREGs).

Згідно з вимогами Глави V конвенції SOLAS (Правило 19), обладнання класифікується залежно від валової місткості судна:

EPA (Electronic Plotting Aid): електронні засоби прокладки. Дозволяють ручне введення координат цілі («наклікування»), після чого система розраховує вектор. Не здійснюють автоматичного супроводу.

ATA (Automatic Tracking Aid): засоби автоматичного супроводу. Спрощена версія ARPA, що дозволяє автоматично супроводжувати мінімум 10 цілей (зазвичай для суден менше 3000 т).

ARPA (Automatic Radar Plotting Aid): повнофункціональна система. Забезпечує автоматичне захоплення (automatic acquisition) та супровід не менше 20 (для старих систем) або 40 (для сучасних систем CAT 1) цілей одночасно.

Для інженерного аналізу важливо виділити технічні завдання, які покладені на сучасні системи згідно зі стандартом IEC 62388:

Захоплення (Acquisition). *Ручне:* оператор вказує на ехо-сигнал. *Автоматичне:* система сканує визначені зони (Guard Zones) і захоплює будь-який об'єкт, що відповідає критеріям "цілі".

Супровід (Tracking). Система повинна згладжувати флуктуації відбитого сигналу. Процес супроводу базується на циклічному оновленні координат (φ, λ) або полярних координат (D, P) відносно власного судна.

Точність представлення даних. Згідно з MSC.192(79), через 1 хвилину сталого супроводу точність визначення відносного курсу цілі повинна бути не

гірше $\pm 11^\circ$, а через 3 хвилини - не гірше $\pm 3^\circ$. Це вимагає від розробників використання складних фільтрів (Калмана або $\alpha - \beta$), про які йтиметься далі.

Незважаючи на високий рівень автоматизації, існують наступні невирішені технічні проблеми:

- перескок цілі (Target Swapping): помилка алгоритму, коли вектор супроводу переходить на сусідню ціль або заваду.

- інерційність: затримка у виявленні маневру цілі, зумовлена необхідністю згладжування шумів.

- конфлікт даних Radar/AIS: розбіжності у позиціонуванні одного й того ж об'єкта різними сенсорами.

5.2 Огляд типових ARPA

Найбільш поширені сучасні Automatic Radar Plotting Aids (ARPA) це морські радары від провідних виробників (Furuno, JRC, Kongsberg, Raytheon Anschütz, Sperry Marine, Kelvin Hughes, SAM Electronics, Tokyo Keiki, Transas, Consilium). Вони працюють у X- та S-діапазонах, мають потужність від 10 до 50 кВт, дальність до 96 морських миль, багатокольорові дисплеї, цифрову обробку сигналів та відповідають стандартам ІМО/ІЕС.

X- та S-діапазони, це діапазони частот, які використовуються в морських радарях для різноманітних систем радіолокації та систем зв'язку. X-діапазон охоплює сантиметрові хвилі з частотами від 8 до 12 ГГц (приблизно від 2,5 до 3,75 см довжини хвилі), S-діапазон використовується для зв'язку та радіолокації з частотами приблизно від 2 до 4 ГГц.

X-діапазон: частота: 8–12 ГГц, довжина хвилі: 2,5–3,75 см.

Застосування: наземні та супутникові системи радіозв'язку; метеорологічні радары, які використовуються для спостереження за погодою; радары для контролю швидкості в транспортних системах.

S-діапазон: частота: 2–4 ГГц; довжина хвилі: 7,5–15 см. **Застосування:** супутниковий зв'язок; радіолокація для спостереження за повітряним рухом.

Таблиця 5.1- Найбільш використовувані сучасні ARPA-системи

№	Модель / Виробник	Основні характеристики
1	2	3
1	Furuno FR-2115/2125/2155	Потужність 12/25/50 кВт; дальність до 96 нм; X-band 9410 MHz; дисплей 21"; ARPA/EPA; CPA/TCPA попередження
2	JRC JMA-9100 Series	Потужність 10–30 кВт; X/S-band; багатофункціональний дисплей; до 100 одночасних цілей; цифрова обробка сигналів
3	Kongsberg Norcontrol ARPA	Потужність 25–50 кВт; X/S-band; інтеграція з ECDIS; автоматичне відстеження до 200 цілей; IMO сертифікація
4	Raytheon Anschütz Synapsis Radar	Потужність 12–30 кВт; X/S-band; модульна архітектура; ARPA до 100 цілей; інтеграція з навігаційними системами

Продовження табл. 5.1

1	2	3
5	Sperry Marine VisionMaster FT	Потужність 25 кВт; X/S-band; дисплей 23"; ARPA до 100 цілей; підтримка AIS; CPA/TCPA попередження
6	Kelvin Hughes SharpEye™ ARPA	Потужність 12–25 кВт; X/S-band; твердотільна технологія; низьке енергоспоживання; ARPA до 200 цілей
7	SAM Electronics CHARTPILOT Radar/ARPA	Потужність 30–50 кВт; X/S-band; інтеграція з ECDIS; ARPA до 100 цілей; IMO сертифікація
8	Tokyo Keiki TMR-7600 Series	Потужність 25–50 кВт; X/S-band; ARPA до 100 цілей; кольоровий дисплей; CPA/TCPA попередження
9	Transas Navi-Radar 4000	Потужність 25 кВт; X/S-band; ARPA до 100 цілей; інтеграція з ECDIS; цифрова обробка сигналів
10	Consilium Selesmar ARPA Radar	Потужність 25–50 кВт; X/S-band; ARPA до 100 цілей; IMO сертифікація; інтеграція з навігаційними системами

Загальні параметри сучасних ARPA наступні.

Діапазони частот: X-band (9.3–9.5 GHz), S-band (2.9–3.1 GHz).

Потужність передавача: 10–50 кВт.

Дальність виявлення: до 96 морських миль.

Швидкість обертання антени: 24–42 об/хв.

Кількість одночасно відстежуваних цілей: 50–200.

Функції: CPA/ТСПА попередження, автоматичне відстеження, інтеграція з AIS/ECDIS, цифрова обробка сигналів.

Відповідність стандартам: IMO Performance Standards, IEC 62388.

Зараз найбільш використовуваних у комерційному флоті ARPA виробників Furuno, JRC, Kongsberg, Raytheon Anschütz, Sperry Marine, Kelvin Hughes, SAM Electronics, Tokyo Keiki, Transas та Consilium, які забезпечують безпечну навігацію завдяки високій потужності, точності та інтеграції з іншими морськими системами.

У таблиці 5.2. наведене порівняння для X-band та S-band ARPA-радарів, яка допоможе зрозуміти їхні переваги та недоліки для різних типів суден.

У таблиці 5.3. наведені рекомендації щодо вибору ARPA-радарів.

У таблиці 5.4. наведено порівняння точностних характеристик для АТА та ARPA.

Ця таблиця узагальнює класифікацію обладнання. Вона демонструє, що хоча базові вимоги до точності обчислень є єдиними (визначаються фізикою процесу), але функціональне навантаження систем суттєво відрізняється.

Таблиця 5.2. - Порівняння X-band vs S-band ARPA

Параметр	X-band ARPA	S-band ARPA
Частота	9.3–9.5 GHz	2.9–3.1 GHz
Довжина хвилі	~3 см	~10 см
Роздільна здатність	Вища (краще бачить дрібні цілі, буї, човни)	Нижча (менш детально відображає дрібні об'єкти)
Дальність дії	До 48–96 нм (залежно від потужності)	До 96–120 нм (краще для далеких цілей)
Стійкість до погодних умов	Чутливий до дощу, туману, снігу	Менш чутливий, краще працює в негоду

Антенa	Зазвичай менша, легша	Більша, важча
Енергоспоживання	Нижче	Вище
Типові застосування	Маневрування в портах, прибережна навігація, виявлення малих цілей	Океанські переходи, великі судна, робота в складних погодних умовах
Кількість ARPA-цілей	50–100 (залежно від моделі)	100–200 (залежно від моделі)
Вартість	Зазвичай дешевший	Дорожчий

Таблиця 5.3 - Рекомендації щодо вибору ARPA-радарів

Тип судна	Оптимальний вибір	Обґрунтування
1	2	3
Контейнеровоз (Ocean-going)	S-band + X-band комбінація	S-band забезпечує стабільність у негоду та далекі переходи; X-band допомагає при маневруванні в портах.
Танкер (VLCC, LNG)	S-band основний + X-band резервний	Танкер має великі розміри та інерцію, тому потрібна максимальна дальність і стійкість до погодних умов.

Продовження табл. 5.3

1	2	3
Пасажирський лайнер / круїзне судно	X-band + S-band інтегровані з ECDIS/AIS	Важлива безпека пасажирів, тому потрібна висока деталізація (X-band) і надійність у шторм (S-band).
Буксир / портове судно	X-band основний	Робота в порту, маневрування біля великих суден, необхідність бачити дрібні цілі та буї.
Риболовецьке судно	X-band	Краще бачить дрібні цілі, інші судна та навігаційні знаки; компактна антена.
Військовий корабель	X-band високої потужності + S-band	Потрібна максимальна точність і стійкість у будь-яких умовах; часто інтегрується з бойовими системами.
Науково-дослідне судно, малі	X-band з високою роздільною здатністю	Важлива деталізація для роботи біля берегів та в районах з інтенсивним рухом.

безпілотні судна		
Паром / Ro-Ro	X-band основний + S-band резервний	Часті рейси в прибережних водах, але потрібна надійність у негоду.
Яхта / приватне судно	X-band компактний	Легкий, дешевий, добре підходить для прибережної навігації.
Балкер (Bulk Carrier)	S-band основний + X-band резервний	Великі переходи через океан, потрібна стійкість до погодних умов.

Таблиця 5.4. - Порівняння функціональних вимог та нормативної точності систем АТА та АРРА на основі Резолюцій ІМО А.823(19) та МСC.192(79)

Параметр / Характеристика	АТА (Automatic Tracking Aid)	АРРА (Automatic Radar Plotting Aid)	Сценарій випробувань
1	2	3	4
Призначення	Судна валовою місткістю < 10,000	Судна валовою місткістю > 10,000	Згідно SOLAS V/19
Захоплення цілей (Acquisition)	Ручне (Manual)	Ручне та Автоматичне (Auto-acquisition)	АРРА вимагає наявності охоронних зон (Guard Zones)

Продовження табл. 5.4

1	2	3	4
Мін. кількість супроводжуваних цілей	10	20 при ручному, 40 при автоматичному	Сучасні радары САТ 1 часто перевищують ці вимоги (до 100 цілей)
Імітація маневру (Trial Maneuver)	Не вимагається	Обов'язкова функція	Дозволяє перевірити наслідки зміни курсу/швидкості власного судна
Точність СРА (D _{CPA})	±1.0 морська миля	±1.0 морська миля	Через 3 хв. супроводу (сценарій: зустрічний курс)
Точність ТСРА (T _{CPA})	±1.0 хвилина	±1.0 хвилина	Через 3 хв. супроводу
Точність істинного	±3°	±3°	При сталому русі

курсу цілі			цілі
Точність істинної швидкості цілі	± 0.8 вузла	± 0.8 вузла	Або 1% від швидкості (що більше)
Час виходу на сталий режим	1-3 хв	1-3 хв	Залежить від фільтрів згладжування

Як видно з наведених таблиць, математичне ядро (вимоги до точності) у всіх систем ідентичне, оскільки воно базується на статистичній обробці радіолокаційного сигналу.

Головна відмінність рішень заключає в обчислювальній потужності, алгоритмах обробки та рівні автоматизації прийняття рішень судноводієм.

Таким чином, САРП (ARPA), за вимогою, має відображати на екрані у вигляді відповідних символів, принаймні, чотири рівнорознесених за часом попередніх розташувань супроводжуваних цілей за період, відповідний використовуваної шкали дальності. У САРП повинні передбачатися шкали дальності (3, 6 і 12 миль), а також забезпечуватися чітка індикація використовуваної шкали. Система повинна допускати роботу в режимі відносного руху при орієнтації зображення «Північ» і «Курс» зі стабілізацією від гірокомпаса. Крім того може бути передбачений режим істинного руху.



Рисунок 5.1 - Блок-схема еволюції стандартів

У цьому випадку судноводій має можливість вибору режимів справжнього або відносного руху. При цьому повинна бути чітка індикація про використовуваний режим руху й орієнтації. У разі автоматичного захоплення цілі при вході в зону захоплення, обрану судноводієм, або в разі її ручного захоплення, на екрані САРП (щонайменше через одну хвилину) повинна відображатися тенденція її руху, і протягом, щонайменше трьох хвилин – можливий передбачений вектор переміщення цілі. Безпосередньо вимірюваними САРП величинами є пеленги і відстані, які розраховуються з урахуванням введених значень курсу і швидкості свого судна. Вектори екстрапольованих переміщень розраховуються в припущенні, що курси і швидкості як судна, так і цілі залишаються незмінними.

Звідси випливають два висновки: а) похибки вимірювання пеленгів і дистанцій визначають характер похибок кінцевих результатів, одержуваних після математичної обробки; б) похибки кінцевих результатів залежать від точності введення параметрів, що характеризують рух свого судна (курс, швидкість).

Безумовно, параметри оцінки ситуації зближення за допомогою САРП виробляються з похибками. Саме застосовані алгоритми обробки сигналів дозволяють їх суттєво зменшувати.

5.3 Формулювання задачі супроводу та моделі руху цілі

Задача систем автоматизованої радіолокаційної прокладки (САРП) з математичної точки зору є задачею оцінювання стану (State Estimation) системи. Її метою є визначення істинного вектора стану цілі $\mathbf{x}_k$ у момент часу k на основі зашумлених радіолокаційних вимірювань $\mathbf{z}_k$.

Вектор $\mathbf{x}$ стану цілі зазвичай містить її координати та складові швидкості:

$$\mathbf{x} = [x, \dot{x}, y, \dot{y}]^T$$

де (x, y) - координати цілі (наприклад, у Декартовій системі координат), а $(\dot{x}, \dot{y})$ - складові її швидкості.

5.3.1 Математичні моделі руху

1. Модель постійної швидкості (Constant Velocity, CV). Це найпоширеніша модель для стабільного супроводу цілі. Вона припускає, що ціль рухається прямолінійно та рівномірно між вимірюваннями.

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1}$$

де $\mathbf{F}$ - матриця переходу стану, а $\mathbf{w}_{k-1}$ - шум моделі (випадкове прискорення або невелике відхилення від прямолінійного руху), що описується нульовим середнім значенням і коваріаційною матрицею $\mathbf{Q}$.

2. Модель постійного прискорення (Constant Acceleration, CA): використовується для супроводу високоманеврених цілей. Вектор стану розширюється, включаючи компоненти прискорення $(\ddot{x}, \ddot{y})$:

$$\mathbf{x} = [x, \dot{x}, \ddot{x}, y, \dot{y}, \ddot{y}]^T$$

Ця модель точніша під час маневрування, але значно чутливіша до шумів, що вимагає ретельнішого налаштування фільтра.

Алгоритми згладжування та фільтрації даних наступні. Радіолокаційні вимірювання (дальність D та пеленг P) завжди містять випадкові помилки (шум $\mathbf{v}_k$).

Основна функція САРП - відокремити сигнал від шуму, використовуючи методи статистичної фільтрації.

5.3.2 Фільтри типу $\alpha - \beta$ та $\alpha - \beta - \gamma$

Фільтри сімейства $\alpha - \beta$ є історично першими та концептуально простішими для технічної реалізації в ARPA. Вони оцінюють позицію та швидкість цілі за допомогою двох постійних коефіцієнтів згладжування (α - для позиції, β - для швидкості).

Рівняння прогнозу та корекції:

Прогноз позиції: $\hat{x}_{k|k-1} = \hat{x}_{k-1|k-1} + \Delta t \cdot$

Залишок (Innovation): $e_k = z_k - \hat{x}_{k|k-1}$

Коригована позиція: $\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + \alpha \cdot e_k$

Коригована швидкість: $\hat{\dot{x}}_{k|k} = \hat{\dot{x}}_{k-1|k-1} + (\beta/\Delta t) \cdot e_k$

Перевагами тут є простота обчислень та низькі вимоги до апаратної частини. Але є і недоліки - коефіцієнти α та β є фіксованими (постійними). Це призводить до необхідності компромісу: високе значення коефіцієнтів забезпечує швидке виявлення маневру, але збільшує дисперсію помилки (шуми), а низьке їх значення зменшує шум, але підвищує інерційність системи.

5.3.3 Фільтр Калмана (Kalman Filter)

У сучасних системах ARPA, особливо класу CAT 1, фільтр Калмана є стандартом де-факто, оскільки він забезпечує оптимальну оцінку стану в сенсі методу найменших квадратів (Minimum Mean Square Error, MMSE). Його головна перевага полягає у динамічному обчисленні коефіцієнта посилення Калмана K_k на кожному кроці, що дозволяє адаптивно балансувати між довірою до моделі руху та довірою до поточного вимірювання.

Цикл Калмана складається з двох основних етапів, кожен з яких описується відповідними матричними рівняннями:

Етап 1. Прогнозування (Prediction)

На цьому етапі система передбачає наступний стан цілі та відповідну йому коваріаційну матрицю на основі моделі руху:

1. Прогноз вектора стану:

$$\hat{x}_{k|k-1} = F_k \hat{x}_{k-1|k-1}$$

2. Прогноз коваріаційної матриці помилок (визначення невизначеності):

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k$$

де Q_k - матриця коваріації шуму моделі.

Етап 2. Коригування (Update/Correction)

На цьому етапі прогноз коригується за допомогою нового вимірювання $\mathbf{z}_k$.

3. Обчислення коефіцієнту посилення Калмана (Kalman Gain):

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)^{-1}$$

де $\mathbf{R}_k$ - матриця коваріації шуму вимірювання (визначається характеристиками РЛС), а $\mathbf{H}_k$ - матриця вимірювань.

4. Оновлення вектора стану:

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k} = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k (\mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1})$$

Цей крок вносить корекцію (залишок $\mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}$), зважену коефіцієнтом $\mathbf{K}_k$.

5. Оновлення коваріаційної матриці помилок:

$$\mathbf{P}_{k|k} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{k|k-1}$$

Це зменшує невизначеність (помилку оцінки) для наступного кроку прогнозування.

Основна вимога до ARPA пояснюється наступним. Оскільки радіолокаційні вимірювання (D, P) є нелінійними відносно декартових координат (x, y), сучасні САРП зазвичай використовують розширений фільтр Калмана (Extended Kalman Filter, EKF) або фільтр Калмана безперервної точки (Unscented Kalman Filter, UKF) для обробки нелінійних перетворень.

5.3.4 Критерії виявлення маневру цілі

Головний недолік базового фільтра Калмана (CV-модель) полягає в тому, що він працює оптимально лише доти, доки ціль дотримується передбачуваної моделі руху. Коли ціль починає маневрувати (з'являється прискорення), помилка оцінки швидко зростає.

Для стійкого супроводу маневрених цілей застосовуються такі методи:

1. Аналіз залишку (Innovation Analysis). Це найпростіший метод. Якщо абсолютна величина залишку (різниця між вимірюванням та прогнозом) перевищує встановлений поріг (наприклад, 3σ - три стандартних відхилення), це сигналізує про виявлення маневру.

$$|z_k - H_k \hat{x}_{k|k-1}| > T$$

де T - порогове значення. Після виявлення маневру система може тимчасово збільшити значення матриці шуму моделі Q (для збільшення "довіри" до нових вимірювань).

2. Системи з кількома моделями (Multiple Model, MM). Це найбільш досконалий підхід. Фільтр паралельно запускає кілька моделей супроводу:

- Фільтр 1: CV (постійна швидкість)
- Фільтр 2: CA (постійне прискорення)
- Фільтр 3: CT (постійний поворот - Constant Turn)

Остаточна оцінка стану цілі є середньозваженою оцінкою від усіх фільтрів, де вагові коефіцієнти (вірогідності) динамічно змінюються залежно від того, яка модель найкраще пояснює поточний вимір.

Ці методики гарантують, що час затримки при виявленні маневру цілі не перевищує критичних значень, встановлених ІМО, забезпечуючи судноводія своєчасною інформацією.

5.4 Проблема асоціації та злиття даних (Sensor Fusion)

Постановка задачі інтеграції РЛС та АІС

Сучасні вимоги до навігаційних систем, зокрема Резолюція ІМО MSC.192(79), передбачають обов'язкову інтеграцію радіолокаційної інформації з даними Автоматичної ідентифікаційної системи (АІС). Це створює задачу **Sensor Fusion** (злиття сенсорних даних).

З математичної точки зору, ми маємо два незалежних вимірювачі, які оцінюють стан одного й того ж об'єкта (цілі), але мають різні характеристики шумів та дискретність оновлення:

1. **РЛС (Radar):** Забезпечує високу точність відносних координат (дальність, пеленг), оновлюється з періодом обертання антени (зазвичай 3 с для

швидкісних суден або 6-12 с для звичайних), але не дає миттєвого вектора швидкості (потрібен час на фільтрацію).

2. **AIC (AIS):** Передає точні географічні координати (GNSS), істинний курс та швидкість, вектор повороту (Rate of Turn), але залежить від справності сенсорів на судні-цілі та має змінну дискретність передачі даних (від 2 с до 3 хв).

Головна проблема, яку вирішує САРПІ на цьому етапі - це **асоціація даних** (Data Association). Система повинна однозначно вирішити: *«Чи належить цей радарний ехо-сигнал тому самому судну, яке передає це повідомлення AIC?»*.

Помилка асоціації призводить до появи на екрані «суден-привидів» (Ghost Targets), коли одне фізичне судно відображається як дві різні цілі, що дезорієнтує судноводія та призводить до помилкових спрацювань сигналізації про небезпеку.

Методи стробування (Gating)

Першим етапом асоціації є процедура стробування. Вона дозволяє відсіяти малоімовірні пари «трек-вимірювання» та зменшити обчислювальне навантаження.

Навколо прогнозованої позиції цілі (отриманої на етапі *Prediction* фільтра Калмана, див. Розділ 2) будується область, яка називається стробом (*Gate*). Розмір стробу визначається коваріаційною матрицею помилок передбачення $P_{k|k-1}$ та залишком вимірювання S_k .

Найбільш ефективним методом стробування є використання відстані Махаланобіса (d^2), яка враховує статистичні характеристики похибок:

$$d^2 = \tilde{y}_k^T S_k^{-1} \tilde{y}_k \leq G$$

де: $\tilde{y}_k$ - вектор залишку (різниця між координатами РЛС та AIC); S_k - коваріаційна матриця залишку; G - порогове значення (Gate threshold), що обирається з таблиць розподілу χ^2 (хі-квадрат) для заданої ймовірності правильної асоціації (зазвичай $P_G = 0.95 \dots 0.99$).

Якщо відстань d^2 менша за поріг G , дані від РЛС та АІС вважаються кандидатами на об'єднання.

Алгоритми асоціації (Correlation Algorithms)

Після стробування виникає ситуація невизначеності, коли в один строб можуть потрапити кілька вимірювань, або одне вимірювання потрапляє в строби кількох цілей. Для вирішення конфліктів застосовуються такі алгоритми:

Метод найближчого сусіда (Nearest Neighbor, NN)

Це найпростіший підхід. Серед усіх вимірювань, що потрапили у строб, обирається те, яке знаходиться найближче до прогнозованої точки (має мінімальну відстань Махаланобіса). Перевагою є швидкодія але у щільному трафіку часто дає помилки, "перестрибуючи" на сусідні цілі або завади.

Глобальний найближчий сусід (Global Nearest Neighbor, GNN)

Цей метод розглядає всі можливі пари "ціль-вимірювання" одночасно і шукає таку комбінацію, яка мінімізує сумарну відстань для всіх цілей у зоні огляду. Це класична задача про призначення (Assignment Problem), яка вирішується за допомогою алгоритмів оптимізації (наприклад, алгоритм МанКреса або JVC).

Імовірнісна асоціація даних (Probabilistic Data Association, PDA)

На відміну від GNN, який приймає жорстке рішення ("це вимірювання належить цій цілі"), PDA оновлює стан цілі як зважену суму всіх вимірювань у стробі. Ваги залежать від імовірності того, що конкретне вимірювання є істинним, а не шумом.

Цей метод є стандартом для сучасних ARPA в умовах сильних завад, хоча він вимагає значних обчислювальних ресурсів.

5.4.1 Архітектура злиття треків (Track-to-Track Fusion)

У морських системах найчастіше використовується децентралізована архітектура злиття. Це означає, що і РЛС, і АІС мають власні незалежні трекери (фільтри Калмана), які формують локальні вектори стану:

- $\hat{x}_{Radar}$ - оцінка за даними радара;

- $\hat{x}_{AIS}$ - оцінка за даними AIS.

Об'єднаний вектор стану $\hat{x}_{Fused}$ обчислюється як зважена сума, де "вага" залежить від точності кожного сенсора (оберненої коваріаційної матриці P^{-1}):

$$\hat{x}_{Fused} = P_{Fused}(P_{Radar}^{-1}\hat{x}_{Radar} + P_{AIS}^{-1}\hat{x}_{AIS}) ; \quad P_{Fused} = (P_{Radar}^{-1} + P_{AIS}^{-1})^{-1}$$

Такий підхід дозволяє системі автоматично надавати перевагу точнішому джерелу. Наприклад:

1. При маневрі AIS передає дані про кутову швидкість (ROT) миттєво, тому його вага у визначенні курсу зростає.
2. При збоях GPS дані AIS стають недостовірними (коваріація P_{AIS}), і система плавно переходить на пріоритетне використання даних РЛС.

Практичні проблеми реалізації є наступними

При розробці програмного забезпечення САРП необхідно враховувати специфічні проблеми злиття:

1. **Часова синхронізація:** дані РЛС та AIS надходять асинхронно. Необхідно приводити (екстраполювати) обидва вектори стану до єдиного моменту часу (Time Alignment) перед процедурою злиття.
2. **Паралакс сенсорів:** антена РЛС зазвичай встановлена на щоглі, а антена GNSS (джерело координат для AIS) може бути на крилах містка. На великих суднах (танкери VLCC) відстань між ними може досягати 200 метрів. Без врахування офсетів (antenna offsets) алгоритм злиття буде бачити дві різні цілі, що рухаються паралельно.

5.4.2 Алгоритмізація задач запобігання зіткненням

Геометрія відносного руху та розрахунок параметрів зближення

Після того, як фільтри сформували стійкий вектор стану цілі, основним завданням САРП є перехід від абсолютних координат до простору відносного руху. Саме відносний рух визначає ризик зіткнення.

Ключовими критеріями безпеки, згідно зі стандартами ІМО MSC.192(79)¹, є:

1. D_{CPA} (Distance to Closest Point of Approach) - найкоротша відстань зближення (дистанція в точці найкоротшого зближення).

2. T_{CPA} (Time to Closest Point of Approach) - час до моменту найкоротшого зближення.

Розрахунок вектору відносної швидкості

Нехай вектор швидкості власного судна $\vec{V}_{own}$, а вектор швидкості цілі $\vec{V}_{target}$. Вектор відносної швидкості $\vec{V}_{rel}$ обчислюється як:

$$\vec{V}_{rel} = \vec{V}_{target} - \vec{V}_{own}$$

У проєкціях на декартові осі (x - Схід, y - Північ):

$$V_{rx} = V_{tx} - V_{ox} ; \quad V_{ry} = V_{ty} - V_{oy},$$

де (V_{tx}, V_{ty}) - компоненти швидкості цілі, а (V_{ox}, V_{oy}) - компоненти швидкості власного судна.

Аналітичне виведення D_{CPA} та T_{CPA}

Позначимо поточні відносні координати цілі як (x, y). Квадрат відстані $R^2(t)$ між суднами у довільний момент часу t описується рівнянням:

$$R^2(t) = (x + V_{rx} \cdot t)^2 + (y + V_{ry} \cdot t)^2$$

Для знаходження мінімуму цієї функції необхідно прирівняти першу похідну по часу до нуля: $\frac{d(R^2)}{dt} = 0$. Вирішуючи це рівняння відносно t, отримуємо формулу для розрахунку часу до найкоротшого зближення:

$$T_{CPA} = -\frac{x \cdot V_{rx} + y \cdot V_{ry}}{V_{rx}^2 + V_{ry}^2}$$

Значення $T_{CPA} = -\frac{x \cdot V_{rx} + y \cdot V_{ry}}{V_{rx}^2 + V_{ry}^2}$ може бути:

- від'ємним: момент найкоротшого зближення вже минув (ціль віддаляється);
- додатнім: ціль наближається, загроза існує.

Підставивши знайдене значення T_{CPA} у рівняння відстані, отримуємо величину D_{CPA} :

$$D_{CPA} = \sqrt{(x + V_{rx} \cdot T_{CPA})^2 + (y + V_{ry} \cdot T_{CPA})^2}$$

Геометрично D_{CRA} - це довжина перпендикуляра, опущеного з початку координат (власне судно) на лінію вектора відносної швидкості цілі (ЛВР - Лінія Відносного Руху) .

5.4.3 Формалізація правил МППЗС-72 (COLREGs Logic)

Для автоматизованого прийняття рішень обчислення лише D_{CRA} та T_{CRA} недостатньо. Системі необхідно визначити статус ситуації зближення згідно з Міжнародними правилами попередження зіткнення суден у морі (МППЗС-72).

Алгоритм класифікації ситуацій базується на аналізі курсового кута цілі (q) та її ракурсу (Aspect Angle).

Алгоритм визначення типу ситуації наступний.

Система перевіряє умови у такій послідовності:

1. Обгін (Overtaking, Rule 13):

Якщо ціль знаходиться у кормовому секторі (курсний кут $q > 112.5^\circ$) і її швидкість більша за швидкість власного судна.

- *Дія:* власне судно зберігає курс і швидкість (Stand-on), ціль повинна поступитися.

2. Зустрічний курс (Head-on, Rule 14):

Якщо ціль знаходиться прямо по курсу (наприклад, $q \in [-5^\circ, +5^\circ]$) і рухається протилежним курсом.

- *Дія:* Обидва судна повинні змінити курс праворуч.

3. Перетин курсів (Crossing, Rule 15):

Якщо ціль знаходиться по правому борту ($0^\circ < q < 112.5^\circ$).

- *Дія:* Власне судно зобов'язане поступитися дорогою (Give-way).

Якщо ціль знаходиться по лівому борту ($247.5^\circ < q < 360^\circ$).

- *Дія:* Власне судно зберігає курс (Stand-on), але спостерігає за діями цілі.

5.4.4 Зони небезпеки (PAD - Predicted Areas of Danger)

Одним із найефективніших методів візуалізації загрози та автоматичного пошуку маневру ухилення є метод PAD, запропонований ще у ранніх розробках Sperry Marine, але актуальний і для сучасних алгоритмів.

Суть методу полягає у переході від часового простору до простору курсів. PAD - це геометрична область (зазвичай шестикутник або еліпс) на екрані радара, побудована навколо цілі.

Математична модель PAD

Якщо власне судно змінить свій курс так, що вектор його швидкості перетне область PAD, це призведе до порушення встановленої межі безпеки ($D_{CPA} < R_{safe}$, де R_{safe} - задана оператором безпечна дистанція, наприклад, 1 або 2 милі).

Для побудови PAD розраховуються два граничні курси K_1 та K_2 , при яких $D_{CPA} = R_{safe}$.

Рівняння для знаходження граничних курсів є розв'язком квадратного рівняння відносно кута курсу власного судна ψ :

$$R_{safe} = \frac{|(V_{ty} \cos \psi - V_{tx} \sin \psi) \cdot D - (y \cos \psi - x \sin \psi) \cdot V_t|}{|\vec{V}_{rel}|}.$$

Цей підхід дозволяє графічно показати судноводію "заборонені курси".

Алгоритм "Пробного маневру" (Trial Maneuver)

Згідно з резолюцією ІМО А.823(19)², функція Trial Maneuver є обов'язковою. Вона дозволяє моделювати ситуацію у майбутньому ("Fast-Time Simulation").

Алгоритм працює наступним чином:

1. Створюється копія вектора стану власного судна.
2. До копії застосовуються введені оператором зміни (новий курс K_{new} або швидкість V_{new} з урахуванням динамічних характеристик судна (інерція, радіус циркуляції).
3. Для всіх цілей на супроводі перераховуються D_{CPA}' та T_{CPA}' з урахуванням нових параметрів.
4. Якщо для будь-якої цілі $D_{CPA}' < R_{safe}$, маневр підсвічується як небезпечний.

Це дозволяє судноводію перевірити безпеку маневру до його фактичного виконання.

5.5 Імітаційне моделювання та оцінка ефективності алгоритмів

Розробка архітектури імітаційної моделі

Для верифікації запропонованих алгоритмів фільтрації та оцінки ризиків зіткнення було розроблено програмний комплекс у середовищі MATLAB/Simulink. Вибір цього середовища зумовлений його широкими можливостями для матричних обчислень та наявністю бібліотек *Phased Array System Toolbox* та *Sensor Fusion and Tracking Toolbox*.

Структурна схема моделі складається з чотирьох основних блоків:

1. Генератор траєкторій (Trajectory Generator):

Формує "істинні" (Ground Truth) параметри руху цілей $(x_{true}, y_{true}, V_{true}, K_{true})$ згідно із заданими сценаріями. Він дозволяє моделювати як прямолінійний рух, так і складні маневри (циркуляція, змійка).

2. Блок імітації сенсорів (Sensor Simulation):

До істинних координат додається шум вимірювання, характерний для суднових РЛС.

- Шум по дальності σ_D : моделюється як гаусівський білий шум із СКВ (середньоквадратичним відхиленням) 15 метрів.
- Шум по пеленгу σ_P : моделюється як гаусівський шум із СКВ 0.1° .
- Дискретність оновлення даних: $T = 3$ с (імітація швидкісного радара).

3. Блок обробки (Tracking & Fusion Core):

Реалізує алгоритми, описані раніше: ініціалізація треку, стробування, фільтрація Калмана (EKF) та згладжування вектора швидкості.

4. Блок оцінки помилок (Evaluation Metrics):

Порівнює вихідні дані трекера з "істинними" даними генератора та обчислює статистичні похибки.

Сценарії випробувань згідно зі стандартом IEC 62388

Для підтвердження відповідності вимогам ІМО було змодельовано чотири базові сценарії, передбачені стандартом IEC 62388 для випробувань систем ARPA/ATA.

Сценарій 1: Прямолінійний рух (Steady State Tracking)

- Умови: ціль рухається з постійною швидкістю 20 вузлів на відстані 8 морських миль.
- Мета: перевірка стійкості фільтра та шумозаглушення.
- Вимога стандарту: через 1 хвилину супроводу похибка курсу не повинна перевищувати $\pm 3^\circ$, похибка швидкості - ± 0.8 вузла.

Сценарій 2: Маневр цілі (Maneuvering Target)

- Умови: ціль виконує поворот на 90° із кутовою швидкістю $10^\circ/\text{с}$.
- Мета: оцінка динамічної похибки та часу запізнення (Lag).
- Вимога стандарту: система повинна виявити маневр і відновити точність супроводу не пізніше ніж через 1 хвилину після завершення маневру.

Сценарій 3: Зближення (Collision Course)

- Умови: дві цілі рухаються курсами, що перетинаються, створюючи ситуацію небезпечного зближення ($D_{CPA} \leq 0.5$ милі).
- Мета: перевірка точності розрахунку T_{CPA} та спрацювання сигналізації.

Сценарій 4: Втрата сигналу (Coasting)

- Умови: імітується пропадання ехо-сигналу на 3-4 оберти антени (наприклад, через перекриття іншим судном або хвилювання моря).
- Мета: перевірка алгоритмів екстраполяції ("пам'яті" фільтра).

Аналіз результатів моделювання

Оцінка точності фільтрації

За результатами 100 прогонів моделі (Monte Carlo simulation) для Сценарію 1 було отримано такі усереднені значення середньоквадратичної помилки (RMSE):

- Похибка визначення позиції: зменшилася з 25 м (сирій сигнал) до 8 м (після фільтрації).
- Похибка визначення курсу: становила 1.2° (що значно менше допустимих 3°).
- Похибка визначення швидкості: становила 0.4 вузла.

Графік перехідного процесу показує, що час збіжності фільтра (settling time) до стабільного стану становить приблизно 45-50 секунд (близько 15-20 оглядів радара).

Дослідження реакції на маневр

У Сценарії 2 під час виконання маневру спостерігався різкий стрибок похибки (Dynamic Error), що є характерним для фільтрів з фіксованими коефіцієнтами.

Однак, завдяки застосуванню адаптивного алгоритму (зміна матриці коваріації шуму процесу Q при виявленні значного залишку), фільтр адаптувався до нової траєкторії за 20 секунд. Максимальне відхилення прогнозованої позиції під час повороту не перевищило 150 метрів.

Точність параметрів СРА/ТСРА

Аналіз Сценарію 3 показав, що точність розрахунку часу до зіткнення (T_{CRA}) критично залежить від точності визначення курсу.

При дистанції до цілі 10 миль похибка курсу в 1° призводить до похибки D_{CRA} приблизно в 0.17 милі. Отримані результати підтверджують, що розроблена система забезпечує надійне попередження про зіткнення за 12-15 хвилин до потенційного контакту.

Таким чином, проведене імітаційне моделювання підтвердило працездатність розроблених алгоритмів. Отримані кількісні показники точності повністю задовольняють вимоги Резолюції ІМО MSC.192(79). Використання фільтра Калмана дозволяє у 2-3 рази зменшити флуктуаційні помилки вимірювань координат порівняно з "сирим" сигналом. Найбільш критичним режимом є маневрування цілі, де виникає компроміс між згладжуванням шуму та швидкістю реакції. Запропонований адаптивний підхід дозволяє вирішити

цю проблему без втрати супроводу. Алгоритми розрахунку D_{CRA} забезпечують достатній запас часу для прийняття судноводієм рішення про маневр ухилення.

5.5.1 Додаткові навігаційні можливості САРП

Ефективність вирішення завдань навігації за допомогою САРП різко підвищується у тому випадку, коли в загальному комплексі математичного забезпечення САРП спеціально запрограмовані навігаційні елементи. Найбільш часто при цьому забезпечується можливість побудови на екрані САРП електронних ліній (ЕЛ, зазвичай - відрізків прямих) і електронних карт (ЕК).

Побудова і використання ЕЛ. Математичне забезпечення САРП зазвичай дозволяє будувати на екрані ЕЛ - пряму, заданим чином орієнтовану щодо початку розгортки свого судна і навколишнього оточення. ЕЛ будується з допомогою маркера або набірної поля. Її розташування може бути задано двома способами: за координатами двох заданих точок - решт ЕЛ; по напрямку і відстані від заданої точки (в тому числі від початку розгортки).

У процесі плавання ЕЛ можуть виставлятися у будь-яких положеннях, виходячи з навігаційних умов. Будь-яка ЕЛ стабілізується на екрані не відносно ґрунту, а щодо поточного (счислимого) місця судна. Отже, похибки числення викличуть неминучий дрейф ЕЛ щодо берегових орієнтирів, причому швидкість дрейфу буде залежати від точності числення. Резолюція ІМО вимагає при вирішенні завдань попередження зіткнень вводити в САРП вектор швидкості свого судна щодо води, тобто без урахування течії. Отже, швидкість дрейфу ЕЛ буде визначатися їх орієнтуванням щодо вектора течії і швидкістю течії.

Для того, щоб виведена на екран ЕЛ могла служити в якості ведучої, контрольної, що обмежує, необхідно постійно контролювати її дрейф. З цієї точки зору ЕЛ краще розташовувати таким чином, щоб на екрані САРП вони проходили через визначені (точкові) радіолокаційні орієнтири.

Нехай з морської навігаційної карти знімається відстань $D_{кр}$ від радіолокаційного орієнтира до лінії попередньої прокладки. При плаванні в

даному районі після появи цього орієнтиру на екрані САРП і його впевненого впізнання на екрані індикатора виставляється ЕЛ, віддалена від центру розгортки (місця судна) на величину $D_{кр}$ і орієнтована по шляховому куті ($\tau_{ел} = ПУ$). Якщо ЕЛ проходить через заданий орієнтир, це означає, що судно знаходиться на лінії попередньої прокладки. Якщо ЕЛ сходить з орієнтира, це означає, що судно знесенне у ту або іншу сторону з лінії заданого шляху, і судноводій повинен відкоригувати курс судна. Ця ж ЕЛ може бути використана для стабілізації ЕК.

Наприклад, у САРП «Digiplot RR» похибка установки ЕЛ, обумовлена конструктивними недоліками, складає на шкалі дальності 3 милі до 1 кб, на шкалі дальності 12 миль до 4 кб. Роздільна здатність ока на екрані діаметром 400 мм дає похибку 0,04 кб на шкалі 3 милі і 0,15 кб на шкалі 12 миль. Загалом сумарна похибка при використанні ЕЛ досягає 4,15 кб на шкалі дальності 12 миль.

"Радіолокаційний фарватер", це система ЕЛ, що позначають лінію заданого шляху та/або межі смуги руху. САРП «Digiplot RR» забезпечує відображення на екрані двох пар ЕЛ, що дозволяють судноводію візуально визначати момент відхилення судна від заданої траєкторії шляхом спостереження за обраними радіолокаційним орієнтиром і ЕЛ. Побудова ліній проводиться не за координатами поворотних точок, а шляхом задання напрямку та відстані відносно судна для кожної пари навігаційних ліній.

Математичне забезпечення САРП «Data Bridge-7» дозволяє отримати на екрані зображення осі фарватеру у вигляді пунктирної лінії і паралельні їй суцільні лінії, що обмежують фарватер по ширині (рис. 5.2). Фарватер може складатися з декількох відрізків, які мають не більше 10 поворотних точок. При цьому перша точка співпадає з початком розгортки, тобто присвоюється поточним місцем свого судна.

Вісь фарватеру будується з допомогою маркера, керованого маніпулятором. Маркер послідовно наводиться на кожну (починаючи з другої) точку повороту, і відповідні відрізки осі вводяться в пам'ять ЕОМ. Маркер

наводиться на точки повороту з попередньо розрахованими значеннями пеленгів і дистанцій або щодо свого судна, або щодо опорної точки» («reference position»). Будь який примітний радіолокаційний орієнтир можна ввести в режим "опорної точки". Тоді дисплей буде відображати інформацію про пеленг і дистанцію маркера відносно цієї точки. Побудова осі фарватеру щодо «опорної точки» зручніше і точніше, ніж щодо свого судна, так як знімається фактор руху судна і виключається похибка визначення місця судна.



Рисунок 5.2 - Радіолокаційний фарватер

Ширина радіолокаційного фарватеру" встановлюється штурманом в залежності від умов плавання в межах від 1 кб до 5 миль. При цьому на екрані суцільні лінії лягають паралельно осі фарватеру на заданому від неї видаленні.

Проводка судна по "радіолокаційному фарватеру" зводиться до того, щоб, спостерігаючи за позначками, забезпечувати рух початку розгортки строго по осі фарватеру. Таким чином реалізується відомий метод окомірної проводки, що отримав в літературі назву "метод попередньої радіолокаційної прокладки". Точність проводки судна залежить, в основному, від масштабу зображення на екрані і становить до +90 м на шкалі 8 миль. При виході судна за встановлену зону фарватеру подаються звукова і світлова сигналізації, а на екрані дисплея з'являється інформація «ship is outside fairway».

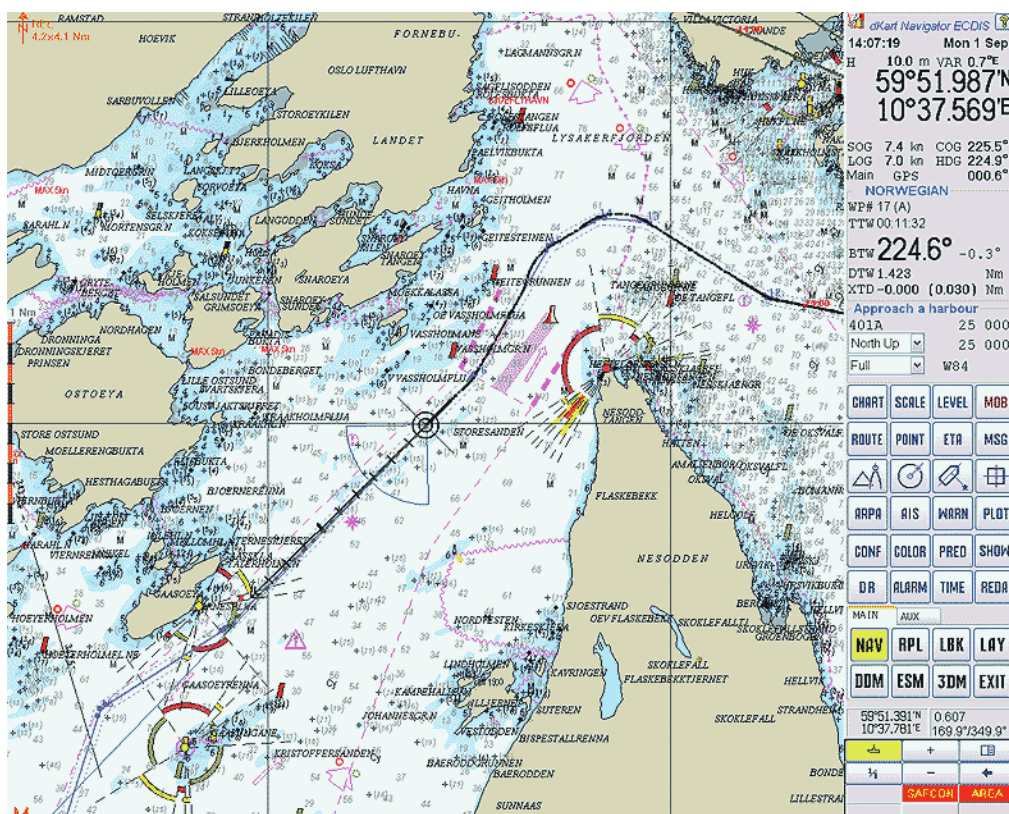


Рисунок 5.3 - Електронна карта на дисплеї

Режим «радіолокаційний фарватер» необхідно використовувати спільно з режимом автоматичного розрахунку сумарного зносу. В іншому випадку встановлений фарватер (стабілізований щодо поточного місця судна) буде схильний до зносу разом з судном і його застосування буде марним і навіть небезпечним. Судноводій зобов'язаний систематично контролювати відсутність дрейфу побудованого «радіолокаційного фарватеру», для чого пропонується в режимі «опорної точки» періодично перевіряти сталість пеленга і дистанції з даної «опорної точки» на найближчу точку повороту. Побудований «радіолокаційний фарватер» може використовуватися до тих пір, поки суміш (дрейф) його осі не перевищить 20% встановленої ширини фарватеру.

Складність візуального контролю дрейфу «радіолокаційного фарватеру» дозволяє використовувати цей режим лише в прибережному плаванні, де не обмежена свобода маневрування і не пред'являються жорсткі вимоги до точності судноводіння.

Побудова і використання електронних карт. Математичне забезпечення САРП може мати можливість виводу на екран індикатора картографічної

інформації, відповідної спостережуваного радіолокаційному зображенні навколишнього оточення. Даний режим отримав назву «електронна карта» (ЕК).

ЕК - це система ЕЛ і символів, які відображають на екрані САРП основні елементи навігаційної обстановки в районі плавання. Електронні символи ("картографічні символи") вказують розташування основних навігаційних орієнтирів - мисів, островців, маяків, плавмаяков, буїв, затонулих суден з частинами над водою і т.і. ЕЛ відображають лінії заданого шляху (вісь фарватеру), межі смуг руху і поділу зон, заборонених та обмежених для плавання районів контрольні та огорожувальні ізолінії і т.і. Оскільки ЕК "накладається" безпосередньо на радіолокаційне зображення, вона повинна бути представлена в тій же проекції, мати той же масштаб, ті ж режими орієнтації ("Північ", "Курс") та стабілізації, що й зображення на екрані САРП, з тим, щоб була можливість паралельної одночасної зміни цих характеристик в разі перемикання шкали дальності або режиму індикації САРП.

Обмеженість обсягу пам'яті постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП) САРП, призначеного для зберігання навігаційної інформації, обумовлює доцільність побудови ЕК тільки для найбільш складних у навігаційному відношенні районів плавання.

Наприклад, програми сімейства dKart Navigator ECS / ECDIS призначені для максимально повного і оперативного відображення інформації по навігаційної обстановці, що дозволяє судноводію оптимізувати прийняті рішення та скоротити час їх прийняття. Тим самим підвищується безпека судноплавства, зростає економічна ефективність експлуатації суден.

Використання векторних електронних карт. Програми dKart Navigator використовують векторні електронні карти, що дозволяє проводити швидкий аналіз навігаційної ситуації та передбачити його зміни. Можливе використання як офіційного формату ІНО S-57, так і карт із світової колекції компанії C-MAP. У програмі передбачений ряд засобів для оперативної коректури карт, як автоматичної так і ручної на основі інформації, що надходить по різних каналах зв'язку включаючи Інтернет.

Можливість сполучення з зовнішніми пристроями. Розвинений програмний інтерфейс dKart Navigator дозволяє приймати, обробляти і відображати на моніторі оператора сигнали від всіх вживаних в даний час навігаційних пристроїв, починаючи від гірокомпас і закінчуючи АІС транспондером. Тим самим досягається максимально можлива повнота представлення оператору інформації про навігаційну обстановку.

У програмах dKart Navigator передбачений широкий набір призначених для користувача функцій, що прискорює процес прийняття рішень судноводієм і підвищує їх якість. Всю сукупність функцій програми можна умовно розділити на наступні групи: а) відображення ЕК і робота з ними; б) попередня прокладка; виконавча прокладка; в) функції контролю безпеки маршрутів; г) спеціальні функції.

Система dKart Navigator призначена для вирішення наступних завдань судноводіння:

- відображення на карті даних про власну позицію, курс і швидкість судна на основі інформації навігаційних пристроїв;
- прокладка маршрутів і контроль їх проходження;
- відображення на карті цілей САРП (ARPA) і АІС (Transponder)
- попередження судноводія про наближення до небезпек і районам з особливими умовами плавання;
- автоматизація навігаційних розрахунків;
- автоматична і ручна коректура карт і інші функції.

Побудова ЕК вимагає великої підготовчої роботи, пов'язаної з виконанням попередньої прокладки, підбором характерних радіолокаційних орієнтирів, визначенням полярних (пеленг, дистанція) або географічних (широта, довгота) координат всіх намічених точок.

Точність відображення картографічної інформації залежить від похибок датчиків орієнтації і стабілізації карти щодо географічних координат, від достовірності і точності координат елементів ЕК, а також від похибок самого індикаторного пристрою.

Найбільш складною є стабілізації ЕК щодо радіолокаційного зображення навколишнього оточення, тобто стабілізація картографічної інформації щодо системи географічних координат. Як і будь-яка ЕС, ЕК стабілізується на екрані

не відносно ґрунту, а щодо поточного місця судна. Отже, похибки поточного місця судна визивають неминучий дрейф ЕК щодо берегових орієнтирів, в результаті чого судноводій змушений періодично виконувати ручну корекцію, компенсує цей дрейф.

У САРП зазвичай передбачається автоматична стабілізація щодо радіолокаційного зображення шляхом АС точкового радіолокаційного орієнтира з подальшим автоматичним визначенням і врахуванням вектора шляхової швидкості судна. У режимі АС точкових орієнтирів похибка обчислення поточних координат судна не перевищує 50-100 м на дистанціях близько 10 миль. Такого ж порядку будуть і похибки стабілізації курсу. Щоб підвищити надійність і точність стабілізації, на АС приймається кілька точкових орієнтирів одночасно (зазвичай, не менше чотирьох). Даний спосіб є найбільш точним і надійним, однак точкові радіолокаційні орієнтири не завжди придатні для АС. Крім того, слід зауважити, що у разі маневрування судна відбувається збій у розрахунку параметрів зносу і похибки стабілізації ЕК різко збільшуються. Перед маневруванням необхідно вимкнути режим автоматичного обчислення параметрів сумарного зносу і переходити на їх ручного введення, встановлюючи останні отримані значення. Після закінчення маневрування слід знову включати автоматичний режим. Через 100 с будуть отримані стійкі величини параметрів сумарного зносу.

Наприклад, алгоритмічне забезпечення САРП «Data Bridge-7» дозволяє побудувати 4 ЕК, які з привласненими їм номерами (1-4) зберігаються в комірках ПЗУ і можуть бути викликані для відображення на екрані. ЕК протяжністю до 200 миль відображається на екрані у вигляді відрізків прямих ліній (пунктирних та/або суцільних) і символів Х («пісочний годинник»). Прямі лінії відображають осьові лінії кордону і фарватерів, а символи Х - прикметні радіолокаційні орієнтири («картографічні символи»). На кожній карті може бути не більше 60 відрізків і символів. Роздільна здатність карти становить 6 м. Побудова ЕК можлива двома способами: по координатах і за допомогою маніпулятора. При першому способі з допомогою набірної поля і дисплея в

пам'ять ЕОМ вводяться координати характерних точок прокладки і елементів картографічної інформації. Картографічним символом Х присвоюються координати вибраних радіолокаційних орієнтирів. При другому способі ці ж точки вводяться з допомогою маркера, керованого маніпулятором, по пеленгу і дистанції щодо опорної точки». Якщо «опорна точка» нерухома, то обидва способи рівнозначні по точності. Враховуючи можливість помилок, доцільно перевірити основні елементи карти з допомогою маніпулятора, якщо карта будувалася за координатами. Побудованій ЕК присвоюється номер, під яким вона зберігається в ПЗУ САРП.

При підході до району, для якого складена ЕК, необхідно викликати її на екран і «прив'язати» до спостережуваного радіолокаційного зображення місцевості. Це робиться у кілька етапів. Спочатку один з надійно упізнаних орієнтирів приймається на АС та його координати вводяться в систему; у результаті включається завдання автоматичного визначення поточних координат судна. Потім включається режим автоматичного визначення вектора сумарного зносу для стабілізації відображення ЕК щодо нерухомих об'єктів. Після цього з ПЗУ викликається відповідна ЕК, яка за допомогою маркера встановлюється в задане положення шляхом поєднання одного з «картографічних символів» із зображенням відповідного радіолокаційного орієнтира. При цьому разом з даними «картографічним символом» відповідно зсуваються і всі інші елементи карти. Правильність суміщення ЕК з радіолокаційними орієнтирами на ІКО перевіряється візуально по всім іншим елементам.

Надалі стабілізація ЕК здійснюється автоматично шляхом АС одного або декількох (до чотирьох) радіолокаційних орієнтирів.

Управління рухом свого судна зводиться до забезпечення руху центру розгортки строго по лінії, яка відзначає вісь фарватеру, тобто найбільш явно реалізується відомий принцип «провідної ізолінії». Роль огорожуючих (небезпечних) ізоліній відіграють прямі, які позначають межі смуг руху або межі зони поділу. Поворот з одного курсу на інший виконується у вигляді

плавного перекладу початку розгортки на екрані з одного прямолінійного відрізка на інший з заданим радіусом циркуляції. У випадках, коли вимоги до точності визначення точки початку повороту підвищені, можна нанести додаткові контрольні лінії положення, використовуючи дані попередньої прокладки. Вибраний контрольний орієнтир зазначається «картографічним символом» (див. рис. 5.2, 5.3). Якщо контрольний орієнтир знаходиться на курсових кутах, близьких до траверзних, то на екрані будується відрізок прямої від «картографічного символу» за напрямом контрольного пеленга на точку початку повороту (точку 1). Поворот слід починати в момент перетину цієї прямої з центром розгортки. Якщо контрольний орієнтир знаходиться на гострих курсових кутах, то на екрані будується відрізок прямої, перпендикулярної до контрольного пеленгу, на відстані від орієнтира, рівному контрольній дистанції до точки початку повороту (точка 2). Якщо ж контрольний орієнтир знаходиться на проміжних курсових кутах, то від «картографічного символу» орієнтир будуються два відрізки прямих: один - за напрямом контрольного пеленга, інший - перпендикулярно йому на контрольній дистанції від орієнтира до точки початку повороту (точка 3). В цьому випадку для виходу судна у точку початку повороту необхідно забезпечити «влучення» центру розгортки на екрані в перехрестя цих прямих. Крім того, точку початку повороту можна відзначати маркером, виставлених по пеленгу і дистанції щодо контрольного орієнтира.

Ефективність використання режиму ЕК залежить від ступеня складності району плавання і складу вирішуваних завдань.

У прибережному плаванні режим ЕК може використовуватися практично без обмежень. Основна проблема пов'язана лише з підбором точкових радіолокаційних орієнтирів для АС з подальшим визначенням поточних координат судна і стабілізацією ЕК. Контроль за суміщенням ЕК з радіолокаційним зображенням виконується періодично, через 20-30 хв.

При плаванні по системах розподілу руху судноводії зазвичай користуються шкалами дальності 6-12 миль, тобто при діаметрі екрану

індикатора 450 мм знаменник масштабу зображення $Z = 50000 - 100000$. Якщо суміщення ЕК з береговими орієнтирами виконується з точністю до $\pm 0,5$ мм, то похибка суміщення на місцевості становитиме $\pm 25 - 50$ м. Якщо суміщення виконується на підході до системи поділу з подальшою стабілізацією ЕК з АС точкового орієнтиру, то до моменту виходу судна із системи поділу руху неузгодженість ЕК за рахунок дрейфу не перевищує ± 1 кб з імовірністю 0,95.

При плаванні в шхерах, коли зазвичай використовуються шкали дальності 1,5 - 3 милі, знаменник масштабу зображення зменшується до $C = 12000 - 24000$. При цьому строб АС займає досить велику площу. При цьому в стробі АС часто спостерігається кілька чітко розділяються ехо - сигналів точкових орієнтирів, що працювати неможливо. Крім того, часто спостерігаються зриви АС орієнтирів, розташованих на відстані до 1 - 1,5 кб від берега, так як строб переходить на позначки берега. Строб може переходити і на судна, що проходять на відстані до 1 - 2 кб від орієнтира. Тому більшість орієнтирів, якими користуються судноводії для визначення місця судна по РЛС, приймати на АС для стабілізації ЕК не представляється можливим. Необхідно експериментальним шляхом підбирати орієнтири, які стійко захоплюються і супроводжуються при плаванні в даному районі. При цьому максимально допустимий інтервал автоматичної стабілізації без контролю з боку судноводія не повинен перевищувати 10 хв. Наприклад, точність стабілізації ЕК САРП «Rascal-Dessa» при плаванні у стокгольмських шхерах наведена у табл. 5.5.

Таблиця 5.5 - Точність стабілізації ЕК САРП «Rascal-Dessa».

Характеристика	Шкала дальності,	
	1,5	3,0
Період автоматичної стабілізації, хв	15	20
Граничні значення неузгодженості ЕК (по 120 вимірами з ймовірністю 0,95), кб	0,22	0,33
Допустима величина дрейфу ЕК, кб.*	0,2	0,2

Максимально допустима дискретність контролю, хв	10	10
---	----	----

*) 20% ширини фарватеру в найбільш вузькій частині.

При плаванні на мілководді слід звертати особливу увагу на введення в САРП швидкості судна. Застосовані на судах гідродинамічні та індукційні лаги мають похибки, обумовлені впливом мілководдя. Так, за дослідженнями, при відношенні глибини до осідання $H/T = 1,5$ похибка показань індукційного лага може досягати 20% , що різко знижує точність інформації (Кц, VЦ, Дкр, ткр), що видається обчислювальним пристроєм. У цій ситуації можна рекомендувати ручне введення відносної швидкості (по частоті обертання гвинта з урахуванням поправки на мілководді). Якщо ж у САРП вводиться абсолютна швидкість від доплерівського лага, слід об'єктивно оцінювати позитивні і негативні сторони такого введення.

При постановці судна на якір визначають і наносять на морську навігаційну карту зону безпечної якірної стоянки, причому замість традиційного кола будують чотирьох - або багатоугольник. З карти знімають пеленги і дистанції вершин відносно точки якірної стоянки. За цими даними в режимі ЕК будують на екрані навколо центру розгортки (місця судна) «зону безпеки» у вигляді відрізків прямих ліній. Для контролю і корекції побудованої карти на відмітках примітних радіолокаційних орієнтирів встановлюють «картографічні символи». У разі дрейфу судна на якорі центр розгортки на екрані буде зближуватися з однією з картографічних ліній.

Режим радіолокаційного тренажера. Алгоритмічне забезпечення ряду моделей САРП передбачає режим радіолокаційного тренажера (РЛТ). Так, у САРП «Data Bridge-7» можливо моделювання чотирьох завдань на розходження з кількома цілями. Крім вирішення завдань попередження зіткнень, в режимі РЛТ можна відпрацювати навички побудови і використання «радіолокаційного фарватеру» та ЕК.

Висновки

У ході виконання дослідницького розділу випускної кваліфікаційної роботи успішно вирішено комплекс науково-технічних завдань, спрямованих

на підвищення точності та надійності функціонування сучасних систем автоматизованої радіолокаційної прокладки (САРП) на морських судах.

1. Проаналізовано нормативну базу та вимоги: на основі Резолюцій ІМО (зокрема MSC.192(79)) та конвенції SOLAS визначено ключові функціональні та точнісні вимоги до систем ARPA/ATA, що стало основою для подальшої математичної формалізації.

2. Обрано оптимальний математичний апарат супроводу: досліджено моделі руху цілі (CV, CA) та підтверджено ефективність застосування розширеного фільтра Калмана (EKF) для оцінки вектора стану цілі. Запропоновано механізм аналізу залишку (Innovation Analysis) для адаптивного виявлення маневрів цілі, що дозволяє мінімізувати динамічну похибку під час зміни курсу.

3. Вирішено проблему злиття даних (Sensor Fusion): розроблено архітектуру інтеграції даних РЛС та АІС на рівні треків (Track-to-Track Fusion). Застосування принципу відстані Махаланобіса забезпечило надійне стробування та асоціацію. Об'єднання векторів стану зваженою сумою, де ваги визначаються оберненою коваріаційною матрицею, гарантує використання найбільш достовірних даних у кожен момент часу.

4. Формалізовано логіку запобігання зіткненням: на основі отриманих відфільтрованих даних розроблено аналітичні формули для розрахунку параметрів D_{CPA} та T_{CPA} . Представлено алгоритмічну логіку класифікації ситуацій зближення згідно з правилами МППЗС-72 (COLREGs) та описано метод Пробного маневру (Trial Maneuver) на основі геометрії відносного руху.

5. Системи з частотами X-band краще підходять для прибережної навігації та портових операцій, де важливо бачити дрібні цілі. Системи з частотами S-band оптимальні для великих суден та океанських переходів, бо вони менш чутливі до погодних перешкод і мають більшу дальність. На сучасних судах часто встановлюють обидва типи радарів для взаємного доповнення. Загальні поради використання:

а) для великих суден (танкери, контейнеровози, балкери) краще мати обидва діапазони;

б) для малих та прибережних суден (буксири, яхти, риболовецькі) достатньо X-band;

в) для пасажирських та спеціалізованих суден потрібна комбінація, інтеграція з AIS/ECDIS для максимальної безпеки.

6. Підтверджено ефективність моделюванням: створено імітаційну модель у середовищі MATLAB/Simulink, яка дозволила верифікувати розроблені алгоритми за сценаріями, що відповідають стандарту ІЕС 62388. Імітаційні випробування підтвердили, що після фільтрації похибка визначення курсу становить $\approx 1.2^\circ$, а швидкості ≈ 0.4 вузла, що повністю відповідає або перевищує мінімальні вимоги ІМО.

Таким чином, розроблений комплекс алгоритмів забезпечує високу точність супроводу, стійкість до завад та надійну підтримку прийняття рішень судноводієм в умовах інтенсивного морського трафіку.

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СУДНА В РЕЙС

6.1 Огляд фрахтового ринку танкерного тоннажу

Фрахтовий ринок танкерів у 2024–2025 роках залишається в стані підвищеної волатильності та структурних змін, спричинених насамперед геополітичними факторами та галузевими регуляціями. Ринок характеризується високим попитом на тоннаж, що вимірюється в тонно-милях.

Геополітичні фактори та збільшення попиту на тонно-мілі

Головним чинником, що підтримує високі ставки, є зростання середньої тривалості рейсу (tonne-mile demand):

Криза в Червоному морі та Суецький канал: Напади в Червоному морі змусили значну частину танкерного флоту переорієнтуватися на довші маршрути навколо мису Доброї Надії. Це миттєво поглинуло надлишкову пропозицію тоннажу, оскільки кожен рейс вимагає більше часу, що фактично скорочує доступну пропозицію на ринку.

Санкції та "Тіньовий флот": Санкції проти російської нафти (цінова стега G7) призвели до створення великого "тіньового флоту" старих танкерів. Це призвело до фрагментації ринку та менш ефективних торговельних схем (довші рейси, менш оптимальні маршрути), що підтримує загальний попит на тонно-милі.

Регуляторний тиск та динаміка флоту

Флот відчуває зростаючий тиск екологічних стандартів, що впливає на пропозицію тоннажу:

Регуляції IMO (EEXI та CII): Впровадження індексу енергоефективності існуючих суден (EEXI) та індикатора інтенсивності викидів вуглецю (CII) змушує судна зменшувати швидкість ("slow steaming") для покращення екологічного рейтингу. Зменшення швидкості збільшує час доставки, що ще більше обмежує доступну пропозицію тоннажу на ринку.

Старіння флоту та утилізація: Зростаючий вік світового танкерного флоту, особливо у сегментах VLCC та Suezmax, у поєднанні з новими екологічними вимогами, призводить до збільшення темпів утилізації (scrapping). Це обмежує зростання пропозиції тоннажу.

Нові замовлення: Попри високий попит, кількість нових замовлень (Newbuilding) залишається обмеженою через високу вартість будівництва та обмежену потужність верфей, які віддають пріоритет будівництву контейнеровозів та суден для перевезення ЗПГ (LNG).

Прогноз попиту на нафту

ОПЕК+ та видобуток: Політика ОПЕК+ щодо контролю за видобутком має прямий вплив на обсяги морських перевезень. Будь-яке послаблення обмежень може миттєво збільшити попит на тоннаж.

Світовий економічний ріст: Прогнозоване стабільне зростання попиту на нафту, особливо з боку Азії (Китай, Індія), підтримує позитивний прогноз для танкерного ринку.

Загальний висновок

Ринок танкерного тоннажу у 2024–2025 роках залишається «Bullish», оскільки структурні фактори (геополітика, регуляції) створюють стійкий дисбаланс, підтримуючи високі фрахтові ставки. Ключовим фактором є не стільки зростання обсягів нафти, скільки різке збільшення попиту на тонномілі через необхідність обходити традиційні торгові шляхи [47].

6.2 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 «MOON SAFARI» з порту Амстердам в порт Пунта Кардон зведені в табл. 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 «MOON SAFARI»	Δ_w	тон	164176,5
2	Запаси на початок рейсу	G_p	тон	2909,9

3	Відстань між портами	L	милі	4442,8
4	Кількість навантаженого вантажу: бензол	ΣQm	т	152811
5	Фрахтова ставка за 1т вантажу	f	\$/т	15
6	Норми навантаження вантажу	$M_{ван}$	т/ добу	12000
7	Норми вивантаження вантажу	$M_{вив}$	т/ добу	10000
8	Експлуатаційна швидкість	v	екс. вузли	11,5
9	Швидкість в каналах, вузостях	v	кан. вузли	7,0
10	Добова витрата палива на ходу: важке	q^e_x	тон/добу	62,5
	легке	$q^e_{ст}$	тон/добу	12,0
11	Ціна 1 тони палива: важке	C_v	\$/т	450
	легке	C_l	\$/т	580
12	Балансова вартість судна	$C_{бал}$	\$	24626475
13	Річна норма амортизації	Ha	%	10

Продовження табл.6.1

1	2	3	4	5
14	Позаексплуатаційний час	T_{ze}	діб.	15
15	Чисельність екіпажу	$Ч_{ек}$	чол.	22
16	Час затримки в дорозі	$t_{зам}$	діб.	0,2
17	Додатковий час в портах стоянки	$t_{доод}$	год.	-
18	Заробітна платня	$R_{зн}$	\$/добу	3000
19	Витрати на технічне постачання	$R_{т.пос}$	\$/добу	500
20	Навігаційні витрати	$R_{нав}$	\$/добу	420
21	Портові збори	$R_{порт}$	\$	88520
22	Агентство суден	$R_{аг}$	\$/добу	250
23	Витрати на страхування судна	$R_{стр}$	\$/добу	450
24	Витрати на ремонт	$C_{рем}$	\$/мр.п.	1500000
25	Вартість одного доковання	$C_{док}$	\$	160000

При розрахунку кількісних показників роботи судна в рейсі використовуємо дані рейсового завдання [48, 50].

1. Розраховуємо чисту вантажопідйомність судна:

$$\Delta_q = \Delta_w - G_{зан}, \quad (6.1)$$

$$\Delta_q = 164176,5 - 2909,9 = 161266,6 \text{ т}$$

2. Розраховуємо експлуатаційний період роботи судна:

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

де T_k – календарний період, приймаємо 365 діб;

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

3. Розраховуємо час рейсу:

- ходовий час:

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

$$t_x = 4442,8 / (11,5 \times 24) + 0,2 = 16,3 \text{ діб}$$

- стоянковий час:

$$t_{cm} = t_{cm}^3 + t_{cm}^6 = \left(\frac{Q_1}{M_{31}} \right) + \left(\frac{Q_1}{M_{61}} \right) + t_{\text{дон}} \quad (6.4)$$

$$t_{cm} = 152811 / (12000 \times 24) + 152811 / (10000 \times 24) = 1,2 \text{ діб.}$$

- час рейсу складе:

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

$$t_p = 16,3 + 1,2 = 17,5 \text{ діб}$$

4. Розрахуємо провізну спроможність судна:

- зроблено тонно-миль за рейс:

$$\Sigma QL = 152811 \times 4442,8 = 678908711 \text{ тонно-миль/рейс}$$

- зроблено тоннаже-миль за рейс:

$$\Sigma D_{\text{ч}} L = 161266,6 \times 4442,8 = 716475250 \text{ тоннаже-миль/рейс}$$

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

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

$$\Sigma F_{\text{рейс}} = 152811 \times 15 = 2292165 \text{ $/рейс}$$

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

Постійні експлуатаційні витрати судна за добу розраховуємо за формулою:

$$R_{екс.} = R_{зн} + R_{хар} + R_{рем} + R_{ам} + R_{сн} + R_{м.нос} + R_{нав} + R_{норм}/t_p + R_{аз} + R_{стр}, \quad (6.7)$$

- витрати на заробітну плату ($R_{зн}$) 3000 \$/добу;
- витрати на харчування екіпажу ($R_{хар}$) розраховуємо за формулою:

$$R_{хар} = \mathcal{U}_{ек} \cdot n_{хар} \quad (6.8)$$

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:

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

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

t_{mn} – міжремонтний період 5 років.

$$R_{рем} = ((160000 + 1500000) / 5) / 350 = 949 \text{ $/добу}$$

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

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

$$R_{ам} = (24626475 \times 0,1) / 350 = 7036 \text{ $/добу};$$

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

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

де $H_{сн}$ – норма постачання;

$$R_{сн} = (24626475 \times 0,02) / 350 = 1407 \text{ \$/добу};$$

- витрати на технічне постачання ($R_{т.пос.}$) 500 \\$/добу;
- навігаційні витрати, \\$/добу ($R_{нав}$) 420 \\$/добу;
- портові збори ($R_{порт}$) 88520 \\$/рейс;
- витрати з агентування ($R_{аг}$) 250 \\$/добу;
- витрати на страхування ($R_{стр}$) 450 \\$/добу.

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

$$R_{екс} = 3000 + 264 + 949 + 7036 + 1407 + 500 + 420 + 88520 / 17,5 + \\ + 250 + 450 = 19334 \text{ \$/ добу}$$

7. Розраховуємо непрямі (адміністративно-управлінські)

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

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

$$R_{кос.} = 19334 \times 0,02 = 387 \text{ \$/добу}$$

8. Знаходимо загальні постійні експлуатаційні витрати судна за добу:

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

$$R_{заг} = 19334 + 387 = 19721 \text{ \$/добу}$$

9. Знаходимо загальні постійні експлуатаційні витрати судна за рейс:

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

$$\Sigma R_{\text{заг.екс}} = 19721 \times 17,5 = 345118 \text{ \$/рейс}$$

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

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

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

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

$$R^{\text{с}}_x = 1,1 \times 62,5 \times 450 = 30938 \text{ \$/ добу}$$

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

$$R^{\text{с}}_{\text{ст}} = k_{\text{см}} \cdot q_{\text{ст}} \cdot \Pi_{\text{в}} \quad (6.16)$$

$$R^{\text{с}}_{\text{ст}} = 1,1 \times 12,0 \times 580 = 7656 \text{ \$/ добу}$$

- витрати на паливо і мастильні матеріали витрати за рейс:

$$\Sigma R_{\text{пер}} = (R^{\text{с}}_x \cdot t_x) + (R^{\text{с}}_{\text{ст}} \cdot t_{\text{ст}}) \quad (6.17)$$

$$\Sigma R_{\text{пер}} = 30938 \times 16,3 + 7656 \times 1,2 = 513476 \text{ \$/рейс}$$

11. Знаходимо загальні витрати судна за рейс:

$$\Sigma R_{\text{рейс}} = \Sigma R_{\text{заг.екс}} + \Sigma R_{\text{пер}} \quad (6.18)$$

$$\Sigma R_{\text{рейс}} = 345118 + 513476 = 858594 \text{ \$/рейс}$$

12. Знаходимо прибуток судна за рейс:

$$\Sigma \Pi_{\text{рейс}} = \Sigma F_{\text{рейс}} - \Sigma R_{\text{рейс}} \quad (6.19)$$

$$\Sigma \Pi_{\text{рейс}} = 2292165 - 858594 = 1433571 \text{ \$/рейс}$$

Прибуток судна т/х «MOON SAFARI» з порту Амстердам в порт Пунта Кардон з вантажем бензол за рейс склав 1433571 \\$/рейс.

Якісні показники роботи судна в рейсі розраховуємо за методикою [50]:

1. Коефіцієнт використання календарного періоду:

$$K_e = \frac{T_{екс}}{T_{к}}, \quad (6.20)$$

$$K_e = 350 / 365 = 0,959$$

2. Коефіцієнт завантаження судна:

$$\alpha_3 = \frac{\Sigma Q}{\Sigma D_u}, \quad (6.21)$$

$$\alpha_3 = 152811 / 161266,6 = 0,948$$

3. Середньодобова експлуатаційна швидкість:

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

$$V_{cp} = 4442,8 / 16,3 = 273$$

4. Коефіцієнт ходового часу:

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

$$\varepsilon_x = 16,3 / 17,5 = 0,931$$

5. Продуктивність однієї тони вантажопідйомності судна в добу експлуатації:

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

$$\mu_6 = 0,948 \times 273 \times 0,931 = 240,95$$

6. Валова прибутковість одних судоднів:

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

$$\mu = 2292165 / 17,5 = 130981 \text{ \$}/\text{доба}$$

7. Собівартість перевезення однієї тони вантажу в рейсі:

$$S_m = \Sigma R_{\text{рейс}} / \Sigma Q, \quad (6.26)$$

$$S_m = 858594 / 152811 = 5,62 \text{ \$}/\text{т}$$

8. Собівартість 1 тонно-милі в рейсі:

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

$$S_{m-m} = 858594 / 678908711 = 0,0012647 \text{ \$}/\text{т-м}$$

9. Собівартість утримання судна в добу експлуатації:

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

$$S_{c-c} = 858594 / 17,5 = 49063 \text{ \$}/\text{доб.екс}$$

10. Рівень прибутковості являє відношення доходів до витрат:

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

$$PF = 2292165 / 858594 = 2,67$$

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.

6.3 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 [50]:

1. Число рейсів за експлуатаційний період:

$$Ч_p = T_{\text{екс}} / t_p \quad (6.30)$$

$$Ч_p = 350 / 17,5 = 20,0$$

2. Обсяг перевезеного вантажу за експлуатаційний період:

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

$$\Sigma Q_{екс} = 152811 \times 20,0 = 3056220 \text{ т / рік}$$

3. Обсяг транспортної роботи за експлуатаційний:

$$\Sigma Ql_{екс} = \Sigma Ql Ч_p \quad (6.32)$$

$$\Sigma Ql_{екс} = 678908711 \times 20,0 = 13578174220 \text{ т-миль / рік}$$

4. Дохід за експлуатаційний період:

$$\Sigma F_{екс} = \Sigma F_{рейс.} Ч_p \quad (6.33)$$

$$\Sigma F_{екс} = 2292165 \times 20,0 = 45843300 \$ / рік$$

5. Загальні витрати судна за експлуатаційний період:

$$\Sigma R_{екс} = R_{рейс.} Ч_p \quad (6.34)$$

$$\Sigma R_{екс} = 858594 \times 20,0 = 17171880 \$ / рік$$

6. Прибуток судна за експлуатаційний період:

$$\Sigma П = П_p Ч_p \quad (6.35)$$

$$\Sigma П = 1433571 \times 20,0 = 28671420 \$ / рік$$

7. Рівень прибутковості роботи судна за експлуатаційний період:

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

$$PF = 45843300 / 17171880 = 2,67$$

Для оцінка ефективності виконаного рейсу і роботи судна за експлуатаційний період зведем розрахункові дані в табл. 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	\$	2292165
2	Затрати загальні	R	\$	858594
3	Прибуток	Π	\$	1433571
4	Коефіцієнт ходового часу	ε_x		0,931
5	Середньодобова експлуатаційна швидкість	V_{cp}	милі/добу	273
6	Дохідність судна	μ	\$/добу	130981
7	Рівень дохідності	PF		2,67
8	Собівартість перевезення 1 т вантажу	S_T	\$/т	5,62
9	Собівартість 1 т-милі	S_{T-M}	\$/т-м	0,0012647
10	Собівартість утримання судна за добу експлуатації	S_{C-C}	\$/добу	49063

В результаті проведених розрахунків, наведених у табл. 6.2. слід зазначити, що виконаний рейс є прибутковим. Рівень прибутковості 2,67, прибуток 1433571 \$ за рейс, а за експлуатаційний період прибуток складе 28671420 \$. Судно «MOON SAFARI» 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

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

Судно «JOHANN JACOB» стоїть в порту Луанда (Ангола) біля причалу № 6 під вантаженням.

Отримано повідомлення про виникнення надзвичайної ситуації терористичного характеру. На відстані 0,5 км від судна при проведенні швартовних операцій підірвався на міні танкер-хімовоз. В результаті вибуху на танкері-хімовозе сталося пошкодження вантажної ємності і розлив сірковуглецю. Кількість розлитого сірковуглецю, що є сильнодіючою отруйною речовиною (СДОР), – 12 т. Характер розливу - «вільно». На території порту оголошена терористична загроза.

Метеорологічні умови на момент аварії: час доби – день, 16.00, температура повітря 20⁰, швидкість вітру 10 м/с, вітер – зустрічний, суцільна хмарність. Характер місцевості – територія порту.

Виконати оперативний прогноз хімічної обстановки на час через 1 годину після аварії.

Запропонувати заходи по зменшенню можливих втрат серед екіпажу судна.

Визначити стандартні робочі процедури у разі отримання попередження про загрозу замінування судна.

7.1.2. Оцінка масштабів хімічного зараження території

Виконання розрахунків ведеться за допомогою формул і таблиць, наведених у Методиці прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій на об'єктах морського транспорту (Додаток 1 до «Методичних вказівок по виконанню розділу дипломної роботи «Охоронні заходи і цивільна оборона на судні»).

1) Визначення ступеня вертикальної стійкості повітря

За заданими метеорологічними умовами (час доби - день, швидкість вітру 10 м/с, суцільна хмарність) визначаємо по таблиці 7.1 ступень вертикальної стійкості повітря - ізотерія.

Таблиця 7.1- Визначення ступеня вертикальної стійкості повітря за прогнозом погоди

Швидкість вітру, м/с	Час доби					
	день			ніч		
	Наявність хмарності					
	відсутня	середня	суцільна	відсутня	середня	суцільна
0,5	конвекція	конвекція	ізотермія	інверсія	інверсія	ізотермія
0,6-2,0	конвекція	конвекція	ізотермія	інверсія	інверсія	ізотермія
2,1 – 4,0	конвекція	ізотермія	ізотермія	ізотермія	ізотермія	ізотермія
> 4,0	ізотермія	ізотермія	ізотермія	ізотермія	ізотермія	ізотермія

2) Розрахунок еквівалентної кількості СДОР у первинній хмарі

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

При розливі токсичних рідин первинна хмара не утворюється, тому еквівалентна кількість $Q_{\text{э1}}$ (т) речовини у первинній хмарі:

$$Q_{\text{э1}} = 0 \text{ т.}$$

3) Розрахунок площі розливу, тривалості вражаючої дії та еквівалентної кількості СДОР у вторинній хмарі

Площа розливу S_p (м²) сірковуглецю дорівнює:

$$S_p = \frac{V_p Q_o / \rho}{hh} = \frac{12 / 1,263}{0,05} = 190 \text{ м}^2,$$

де: V_p - об'єм сірковуглецю, що розлився, м³;

$Q_0 = 12$ - кількість сірковуглецю, що розлився при аварії, т.

$\rho = 1,263$ - щільність сірковуглецю, т/м³ (таблиця 7.2);

$h = 0,05$ - товщина шару сірковуглецю (для характеру розливу – «вільно»), м.

Таблиця 7.2 - Характеристики СДОР і значення допоміжних коефіцієнтів

Найменування СДОР	Щільність СДОР, т/м ³		Температура кипіння, °С	Порогова токсодоза, мг·хв/л	Значення допоміжних коефіцієнтів					
Сірковуглець	Газ	Рідина			K ₁	K ₂	K ₃	K ₇ для температури повітря (°С)		
								0	20	40
	-	1,263	46,2	45	0	0,021	0,013	0,4	1	2,1

Примітка. У таблиці наведені значення K₇ для вторинної хмари, тобто $K_7 = K_7^{\text{II}}$

Тривалість вражаючої дії СДОР визначається часом, що потрібний на його випаровування з площі розливу, і часом, протягом якого триває спад його концентрації до безпечного рівня після відходу хмари зараженого повітря від заданої точки.

Розраховуємо тривалість вражаючої дії T (год.) сірковуглецю:

$$T = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7^{\text{II}} K_m} + \frac{1}{v_{\text{п}}} = \frac{0,05 \cdot 1,263}{0,021 \times 4 \times 1 \times 0,2} + \frac{1}{59} = 0,84 \text{ год.} \approx 50 \text{ хв.},$$

де: $K_2 = 0,021$ - коефіцієнт, що залежить від фізико-хімічних властивостей сірковуглецю (таблиця 6.2);

$K_4 = 4$ - 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 поширення хмари сірковуглецю (таблиця 7.4);

$v_{\Pi} = 59$ - швидкість перенесення переднього фронту хмари зараженого повітря, км/год. (таблиця 7.5).

Таблиця 7.3 - Значення коефіцієнту K_4 залежно від швидкості вітру

Швидкість вітру (u), м/с	1≤	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_4	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0

Таблиця 7.4 - Значення коефіцієнту K_m залежно від впливу характеру місцевості

Рельєф місцевості, вид рослинності і забудови	Вертикальна стійкість повітря		
	конвекція	ізотермія	інверсія
Міська (промислова) забудова	0,2	0,2	0,3
Територія порту	0,2	0,2	0,3

Таблиця 7.5 - Швидкість (км/год.) перенесення v_{Π} переднього фронту хмари зараженого повітря залежно від швидкості вітру

Ступень вертикальної стійкості повітря	Швидкість вітру (u), м/с									
	1≤	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	-	-	-	-	-	-

Розраховуємо еквівалентну кількість сірковуглецю Q_{s2} (т) у вторинній хмарі:

$$Q_{s2} = \frac{(1-K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot Q_0}{h \cdot \rho} = \frac{1 \cdot 0,021 \cdot 0,013 \cdot 4 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 12}{0,05 \cdot 1,263} = 0,05 \text{ т,}$$

де: $K_1 = 0$ - коефіцієнт, що залежить від умов зберігання СДОР (таблиця 7.2);

$K_3 = 0,013$ - коефіцієнт, що дорівнює відношенню порогової токсодози хлору до порогової токсодози сірковуглецю (таблиця 7.2);

$K_5 = 0,23$ - коефіцієнт, який враховує ступень вертикальної стійкості повітря для ізотермії (п. 3.2. Методики прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій на об'єктах морського транспорту);

$K_6 = N^{0,8} = 1^{0,8} = 1$ - коефіцієнт, що залежить від часу N , що пройшов з моменту початку аварії; за умовами завдання $N = 1$ год.

4) Визначення глибини і площі зони зараження

Глибину зони зараження первинною (вторинною) хмарою СДОР при аваріях на технологічних ємностях, сховищах і транспорті визначаємо за допомогою таблиці 7.6.

Так як первинна хмара відсутня, то для $Q_{\Sigma 1} = 0,0$ т та швидкості вітру $u = 10$ м/с глибина зони зараження буде дорівнювати: $\Gamma_1 = 0,0$ км.

Для $Q_{\Sigma 2} = 0,05$ т та швидкості вітру $u = 10$ м/с визначаємо глибину зони зараження вторинною хмарою сірковуглецю: $\Gamma_2 = 0,26$ км.

Визначаємо повну глибину зони зараження Γ_{Σ} (км), що обумовлена дією первинної і вторинної хмари СДОР:

$$\Gamma_{\Sigma} = \Gamma' + 0,5 \cdot \Gamma'' = 0,26 + 0,5 \cdot 0,0 = 0,26 \text{ км} ,$$

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

Визначаємо гранично можливе значення глибини перенесення повітряних мас Γ_{Π} (км):

$$\Gamma_{\Pi} = N \cdot v_{\Pi} = 1 \cdot 59 = 59 \text{ км.}$$

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

$$\Gamma = \min \left\{ \begin{matrix} \Gamma_{\Sigma} \\ \Gamma_{\Pi} \end{matrix} \right\} = 0,26 \text{ км} .$$

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 менше	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31

Визначаємо площу зони можливого зараження S_B (км²) хмарию сірковуглецю:

$$S_B = \pi \cdot \Gamma^2 \cdot \varphi / 360^\circ = 3,14 \cdot 0,26^2 \cdot 45^\circ / 360^\circ = 0,027 \text{ км}^2,$$

де: $\Gamma = 0,26$ - розрахункова глибина зони зараження, км;

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

Визначаємо площу зони фактичного зараження S_f (км²):

$$S_f = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0,2} = 0,133 \cdot 0,26^2 \cdot 1^{0,2} = 0,009 \text{ км}^2,$$

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).

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	360	180	90	45

5) Розрахунок глибин поширення хмари СДОР у вражаючих концентраціях при смертельному, важкому, середньому і легкому ураженні

Територія можливого хімічного зараження умовно представляє собою сектор, що має кутовий розмір $\varphi = 45^\circ$ (таблиця 7.7) і радіус, який дорівнює значенню розрахунковій глибині зони зараження $\Gamma = 0,26$ км. Центр сектора співпадає з джерелом зараження - місцем розливу сірковуглецю. Бісектриса сектора співпадає з віссю сліду хмари та орієнтована по напрямку вітру.

У районі хімічного зараження виділяють зони смертельної концентрації, важкого, середнього і легкого ураження.

Розраховуємо глибину зони смертельних уражень Γ_l (км):

$$\Gamma_l = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_3}{\Delta t} \right)^\Psi = 0,92 \cdot 0,2 \cdot \left(\frac{0,05}{6} \right)^{0,515} = 0,016 \text{ км},$$

де: $\lambda = 0,92$; $\Psi = 0,515$ - коефіцієнти, що залежать від швидкості вітру (таблиця 8.8);

$Q_{\text{э}} = Q_{\text{э1}} + Q_{\text{э2}} = 0,0 + 0,05 = 0,05$ - загальна еквівалентна кількість СДОР, що перейшла в первинну і вторинну хмару, т;

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

Таблиця 7.8 – Коефіцієнти λ і ψ , що залежать від швидкості вітру

Коефіцієнти	Швидкість вітру (u), м/с							
	1 і менше	2	3	4	5	6	7	10
λ	3,73	2,31	1,80	1,52	1,34	1,20	1,11	0,92
ψ	0,606	0,580	0,563	0,551	0,542	0,537	0,531	0,515

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

$$\Gamma_{0,4l} = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_{\text{э}}}{D_{0,4l}} \right)^{\psi} = 0,92 \cdot 0,2 \cdot \left(\frac{0,05}{2,4} \right)^{0,515} = 0,026 \text{ км},$$

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

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

$$\Gamma_{0,2l} = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_{\text{э}}}{D_{0,2l}} \right)^{\psi} = 0,92 \cdot 0,2 \cdot \left(\frac{0,05}{1,2} \right)^{0,515} = 0,036 \text{ км},$$

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

Глибина зони легких уражень відповідає значенню розрахунковій глибині зони зараження $\Gamma = 0,26$ км.

б) Визначення часу підходу зараженого повітря до об'єкту (до надбудови судна)

Час підходу хмари СДОР до заданого об'єкту t (год.) залежить від швидкості перенесення хмари повітряним потоком і визначається за формулою:

$$t = \frac{x}{K_M \cdot v_{\Pi}} = \frac{0,5}{0,2 \cdot 59} = 0,04 \text{ год.} \approx 2,5 \text{ хв.},$$

де: x – відстань від джерела зараження до заданого об'єкту, км.

7.1.3. Висновки і рекомендовані заходи для зменшення людських втрат

Проведена оцінка масштабів хімічного на території порту показала, що судно «JOHANN JACOB» знаходиться за межами зони хімічного ураження.

Для уникнення можливих втрат серед екіпажу судна пропонуються наступні заходи:

- попередити людей про надзвичайну ситуацію, що трапилась в порту;
- зв'язатися з аварійними службами порту для отримання оперативної інформації про розвиток аварії та концентрацію СДОР в повітрі;
- не допускати, щоб люди наближались до небезпечної зони протягом часу дії вражаючих концентрацій СДОР (50 хв.).

7.1.4. Стандартні робочі процедури у разі отримання попередження про загрозу мінування судна

Капітан має повноваження на прийняття будь-яких рішень, що спрямовані на порятунок судна, пасажирів та екіпажу, збереження вантажу, запобігання забруднення навколишнього середовища. При отриманні повідомлення про загрозу мінування судна капітаном може бути прийнято рішення про залишення судна. Також капітан може прийняти рішення про залишення судна тими членами екіпажу, які не зайняті в аварійних партіях і роботах по рятуванню судна. Наведений в табл. 8.9 перелік дій жодним чином не обмежує капітана в прийнятті інших рішень, якщо він вважатиме їх більш ефективними в конкретних умовах.

Таблиця 7.9. Дії суднового екіпажу у разі отримання попередження про загрозу мінування судна

Дії, які повинні бути виконані	Відповідальні члени екіпажу
1	2
Записати докладно попередження про загрозу теракту (якщо воно було). У судновому журналі відображати всі заходи по забезпеченню безпеки до закінчення дозволу надзвичайної ситуації	Вахтовий помічник
Негайно доповісти капітану і офіцеру з охорони судна	Вахтовий

	помічник
Оголосити загальносуднову тривогу, провести герметизацію корпусу судна, засоби боротьби з водою і пожежею привести у негайну готовність	Капітан
Оповістити екіпаж судна про місце виявлення вибухового пристрою, закрити доступ до нього і в суміжні приміщення	Вахтовий помічник
Доповісти посадовій особі портового засобу, відповідальній за охорону (якщо судно на підході або виходить з порту), і посадовій особі компанії, відповідальній за охорону. Всі подальші дії здійснювати у контакті з цими особами. Поінформувати Адміністрацію	Офіцер з охорони судна
Аварійну партію привести в готовність №1. Колективні засоби рятування привести в готовність до спуску на воду. Організувати евакуацію екіпажу судна і пасажирів в найбільш безпечне місце на судні, забезпечивши індивідуальними засобами порятунку	Старший помічник
Запросити у влади найближчого порту місце безпечної стоянки судна і плавзасоби для евакуації екіпажу і пасажирів. З отриманням вказівок від влади порту або суден змінити курс і йти у вказану точку	Капітан
Не торкатися до підозрілою предмету і не пересувати його, виставити спостереження	Старший помічник
З прибуттям у вказану точку виконувати всі вказівки представників місцевої влади по виконанню заходів, що забезпечують безпеку, або встановити надійний зв'язок з органами, які повинні займатися питаннями розмінування, і виконувати їх вказівки	Капітан

ВИСНОВОК

Даний дипломний проект виконаний для економічного та безпечного переходу з порту Амстердам до порту Пунта Кардон.

Проведено підбір необхідної літератури, виконана прокладка курсів, розраховане плавання по них і природна освітленість за маршрутом переходу.

Проведений розрахунок плавання по дузі великого кола. Виконана робота дозволила зробити навігаційну опрацювання переходу і забезпечення безпеки плавання при його виконанні.

Вироблено розміщення вантажів в трюмах, виконані розрахунок і перевірка статичної і динамічної остійності за вимогами ІМО.

Проведена перевірка подовжньої міцності судна.

Розвиток сучасних суднових навігаційних систем спрямований на підвищення безпеки мореплавства в умовах зростаючої інтенсивності руху, складної навігаційної обстановки та зростання вимог міжнародних стандартів. Одним із ключових елементів Інтегрованих навігаційних систем судна є Система автоматизованої радіолокаційної прокладки (САРП, ARPA), яка забезпечує автоматичний супровід цілей, визначення параметрів зближення та попередження про ризики зіткнення.

У цьому розділі виконано комплексний огляд нормативної бази, технічних можливостей та алгоритмічних рішень сучасних ARPA-систем. Детально проаналізовано еволюцію апаратного забезпечення, математичні моделі супроводу цілей, побудову фільтрів для оцінювання стану, методи злиття даних Radar/AIS, алгоритми асоціації вимірювань, а також функції, пов'язані з реалізацією правил МППЗС-72 та візуалізацією зон небезпеки.

Особливу увагу приділено імітаційному моделюванню та перевірці працездатності запропонованих алгоритмів згідно з вимогами стандартів ІМО/ІЕС. Отримані результати демонструють важливість використання адаптивних фільтрів, оптимальних методів асоціації та комплексного

сенсорного злиття для досягнення високої точності навігації та мінімізації людського фактору.

Мета і завдання дослідження обумовили структуру роботи, яка складається з вступу, 7 основних розділів, висновків, списку використаних джерел.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки для виконання магістерської роботи / Укл. І.І. Ворохобін та ін. –Одеса: НУОМА, 2023. – 96 с.
2. 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)
3. Резолюція ІМО А.893 (21) –1999 «Посібник з планування рейсу».
4. Рекомендації щодо організації штурманської служби на морських судах України (РІШСУ-98).-Одесса: ЮжНИИМФ, 1998.-111с.
5. Руководство по процедурам на мостике — Bridge Procedure Guide. - International chamber of shipping. 1998-87 p.
6. Забезпечення навігаційної безпеки плавання [Текст]: навчальний посібник / В. Г. Алексішин, Л. А. Козир, С. В. Симоненко; Одеська морська національна академія. - Одеса: Фенікс; М.: ТрансЛіт, 2012. – 518 с.
7. Alan Murray. Astro Navigation From Square One To Ocean Master.- M-Y Books, 2013. - 445 p.
8. Практичне судноводіння [Текст]: навч. посібник / В. Г. Алексішин, В. Т. Долгочуб; Одеська морська національна академія. - 4-те вид., Випр. та дод. – О.: Фенікс, 2011. – 376 с.
9. Михальчук В.В. Мореходная астрономия: конспект лекций. - Одесса: ОНМА, 2003 - 55с.
10. D.J. House Seamanship Techniques. Shipboard and Marine Operations. 5th Editdion. 2018. - 922 p.
11. Кондрашихін В.Т., Бердінських Б.В., Мальцев А.С., Козир Л.А. Довідник судноводія з навігаційної безпеки мореплавання. – Одеса, 1990.-167с.
12. Інтернет ресурси:http://shturman-tof.ru/Slovar/Slovar_01.htm
13. Ніколаєва Л. Л. Комерційна експлуатація судна: навч. [для студ. вищ. навч. зав.] / Л. Л. Миколаєва. – Одеса: Фенікс, 2006. – 754 с.

14. Савчук В. Д. Технологія перевезення вантажів : підруч. / В. Д. Савчук. – Одеса: ВидавІнформ, 2008. – 335 с.
15. Бурмака І.О. Управління судами у ситуації небезпечного зближення / І.О Бурмака., Е.Н П'ятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.
16. Мальцев А.С. Теорія та практика безпечного управління судном під час маневрування. Дис. докт. техн. наук: 05.22.16. Одеса, 2007. 395 с.
17. Правила класифікації та побудови морських суден. В 5-ти т. Том 2. – Київ: Регістр судноплавства України, 2014.
18. Інтернет ресурси: <https://sea-man.org/yakornaya-stoyanka.html>
19. Сізов В.Г. Теорія корабля: Підручник. Видання 4-те, перероблене та доповнене. – Одеса: Фенікс, 2008. – 464 с.
20. 20. Максимаджі А.І. Капітану про міцність судна: Довідник.: Суднобудування, 1988. – 224 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. Регістр Судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден.: У 5-ти т. Том 2. - Київ: Регістр судноплавства України, 2016.
23. Мальцев А.С. Теорія та практика безпечного управління судном під час маневрування. Дис. докт. техн. наук: 05.22.16. Одеса, 2007.- 395 с.
24. Довідник судноводія з навігаційної безпеки мореплавання. – Одеса, 1990. – 167 с.
25. Bole A. G., Wall A. D., Norris A. Radar and ARPA Manual. 2nd ed. Oxford: Elsevier, 2005. 556 p. ISBN 9780080480527. URL: <https://shop.elsevier.com/books/radar-and-arpa-manual/bole/978-0-08-048052-7>

26. Bole A. G., Wall A. D., Norris A. Radar and ARPA Manual: Radar, AIS and Target Tracking for Marine Radar Users. 2nd ed. Oxford: Elsevier, 2013. 556 p. ISBN 9780080977522.
27. URL:
https://books.google.com/books/about/Radar_and_ARPA_Manual.html?id=po1XHQG0fP8C
28. Bole A. G., Wall A. D., Norris A. Radar and ARPA Manual. 3rd ed. Oxford: Elsevier, 2014. 556 p. ISBN 9780080977522.
29. URL: <https://shop.elsevier.com/books/radar-and-arpa-manual/bole/978-0-08-097752-2>
30. Bole A. G., Wall A. D., Norris A. Radar and ARPA Manual: Radar, AIS and Target Tracking for Marine Radar Users. 3rd ed. Oxford: Elsevier, 2014. 556 p. ISBN 9780080977522. URL: <https://www.perlego.com/book/1837139/radar-and-arpa-manual-radar-ais-and-target-tracking-for-marine-radar-users-pdf>
31. National Geospatial-Intelligence Agency. Chapter 5 — Automatic Radar Plotting Aids (ARPA). In: NGA MSI Publication. Springfield, VA: NGA, 2019. URL: <https://msi.nga.mil/api/publications/download?key=16694476/SFH00000/310ch5.pdf&type=download>
32. International Maritime Organization. Recommendation on Performance Standards for Automatic Radar Plotting Aids (ARPA). London: IMO, 2000. URL: <https://www.imorules.com/GUID-D3A94F60-B1CF-449C-A04B-7B7525F4CD11.html>
33. Automatic radar plotting aid. In: Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_radar_plotting_aid
34. Методологічні основи маневрування судів при зближенні // А.С.Мальцев, В.В.Голіков., І.В.Сафін., та ін.: ОНМА, 2013.-218 с.

35. Мальцев А.С. Маневрування суднів під час розбіжності./А.С. Мальцев, Є.Є. Тюпиков, І.І. Ворохобін.// -Одеса.: ОНМА, 2013. – 303 с.
36. Вагущенко Л.Л. Суднові навігаційно-інформаційні системи/ Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко.// - Одеса: НУ «ОМА» , 2016. – 238 с.
37. Вільський Г.Б. Навігаційна безпека при лоцманській проводці судів. / Г.Б. Вільський, А.С.Мальцев, В.В. Бездольний, Є.І. Гончаров// Під ред. А. С. Мальцева, Г. Б. Вільського. - Одеса-Миколаїв: Фенікс, 2007. – 456 с.
38. Kim J., Lee S., Park J. Tracking of ARPA Radar Signals Based on UK–PDAF and Fusion with AIS Data. Journal of Ocean Engineering and Technology. 2023. Vol. 37, No. 1. P. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.26748/KSOE.2022.046>
39. Kim J., Lee S., Park J. Tracking of ARPA Radar Signals Based on UK–PDAF and Fusion with AIS Data. DOAJ. 2023. URL: <https://doaj.org/article/ffb567c273834083a17f5cb39aeb5660>
40. Zhang Y., Li H., Wang X. Review of Collision Avoidance and Path Planning Methods for Ships Utilizing Radar Remote Sensing. ResearchGate. 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/354044857_Review_of_Collision_Avoidance_and_Path_Planning_Methods_for-Ships_Utilizing_Radar_Remote_Sensing/fulltext/61207be70c2bfa282a5cdeb5/Review-of-Collision-Avoidance-and-Path-Planning-Methods-for-Ships-Utilizing-Radar-Remote-Sensing.pdf
41. Smith R., Brown T. Integration of ARPA and AIS for Enhanced Collision Avoidance. Journal of Navigation. Cambridge University Press, 2020. Vol. 73, No. 4. P. 789–802. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/integration-of-arpa-and-ais-for-enhanced-collision-avoidance/>

42. Grabowski M., Kowalski P. Advances in Marine Radar and ARPA Training Simulators. TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2019. Vol. 13, No. 2. P. 321–328.
43. URL: <https://www.transnav.eu/Article/Advances-in-Marine-Radar-and-ARPA-Training-Simulators,58,123.html>
44. Johnson D. Automatic Radar Plotting Aids in Modern Bridge Systems. Marine Technology Society Journal. 2019. Vol. 53, No. 3. P. 45–52. DOI: <https://doi.org/10.1080/00253359.2019.1623456>
45. Chen L., Wu H. ARPA and ECDIS Integration for Maritime Safety. Journal of Marine Science and Engineering. 2020. Vol. 8, No. 2. P. 123. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse8020123>
46. Інтернет ресурси: <https://sea-man.org/yakornaya-stoyanka.html>
47. <https://unctad.org/en/pages/> - Review of Maritime Transport 2018 (Обзор морського транспорту)
48. Вінніков В.В. Економіка підприємства морського транспорту (економіка морських перевезень): - 3 видавництва, перероб. дод. - О.: Фенікс, 2011. – 944 с.
49. 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.
50. Сотниченко Л.Л., Бабаченко М.В. Економіка водного транспорту: методичні вказівки розрахункової роботи. – Одеса: НУ «ОМА», 2017, с. 20.
51. Б. І. Гуменюк. Міжнародна морська організація // Українська дипломатична енциклопедія: У 2-х т./Редкол.:Л. В. Губерський (голова) та ін. — К.: Знання України, 2004 — Т.2 — 812с. ISBN 966-316-045-4
52. Манільські поправки до Кодексу з підготовки і дипломування моряків та несення вахти (ПДНВ) [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896_052

53. Міжнародна конвенція щодо запобігання забруднення моря з суден (МАРПОЛ 73/78) -International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78)
54. 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.