

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

Навчально-науковий інститут навігації

Кафедра морських перевезень

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРАНТА

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

Полтавцева Костянтина Валентиновича

(прізвище, ім'я по-батькові)

Тема роботи: **Комплексне опрацювання та дослідження етапів переходу судна «Verrazane» за маршрутом Кашима - Лос-Анджелес**

Підпис магістранта 

Завідувач кафедри _____ Ніколаєва Л.Л.

Керівник _____ Савчук В.Д.

Рецензент _____

Нормоконтроль _____ Ніколаєва Л.Л.

м. Одеса
2025 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Навчально-науковий інститут навігації

кафедра морських перевезень

спеціалізація 271.01 Навігація і управління морськими суднами

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Завідувач кафедри

" 29 " 08 2025 р.

ЗАВДАННЯ

по дипломній роботі магістранта

Полтавцева Костянтина Валентиновича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** **Комплексне опрацювання та дослідження етапів переходу судна «Verrazane» за маршрутом Кашима - Лос-Анджелес**
затверджена наказом по НУОМА від " ____ " грудня 2025 р. № _____
2. Строк здачі курсантом закінченої роботи " 28 " листопада 2025 року
3. Вхідні дані до роботи:
 1. Методичні вказівки для виконання магістерської роботи
 2. Суднова документація: Ship Particulars, Maneuvering Booklet, Wheelhouse poster, General Arrangement, Stability Booklet, Capacity Plan With Deadweight Scale тощо
 3. Статистичні данні, їх аналіз і висновки в сфері дослідження
 4. Міжнародні конвенції кодекси та резолюції
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):
 1. Характеристики судна
 2. Аналіз, оцінка та планування та розміщення вантажів
 3. Обробка та розміщення вантажів
 4. Оцінка морехідних якостей судна
 5. Особливості морських перевезень зрідженого природного газу
5. Перелік графічного матеріалу:
 1. Схематичний план судна
 2. Графічний план переходу
 3. Регазифікаційні судна
 4. Судно типу FSRU

6. Консультанти по роботі з вказанням розділів, що до неї відносяться:

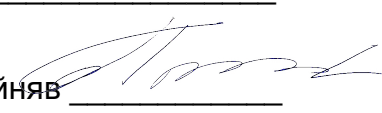
Розділ	ПІБ консультанта	Підпис і дата
1. Характеристики судна	проф. Савчук В.Д.	
2. Аналіз, оцінка та планування навігаційного переходу	проф. Савчук В.Д.	
3. Обробка та розміщення вантажів	проф. Савчук В.Д.	
4. Оцінка морехідних якостей судна	проф. Савчук В.Д.	
5. Особливості морських перевезень зрідженого природного газу	проф. Савчук В.Д.	
6. Розрахунок економічних показників роботи судна в рейсі (кафедра «Менеджменту і економіки морського транспорту»)	проф. Савчук В.Д.	
7. Охоронні заходи та цивільна оборона на судні (кафедра «Судноводіння»)	проф. Савчук В.Д.	

7. Календарний план дипломної роботи магістранта

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Характеристики судна	08.09.2025	виконано
2.	Аналіз, оцінка та планування навігаційного переходу	18.09.2025	виконано
3.	Обробка та розміщення вантажів	30.09.2025	виконано
4.	Оцінка морехідних якостей судна	10.10.2025	виконано
5.	Особливості морських перевезень зрідженого природного газу	18.11.2025	виконано
6.	Розрахунок економічних показників роботи судна в рейсі	21.11.2025	виконано
7.	Охоронні заходи та цивільна оборона на судні	25.11.2025	виконано

Дата видачі завдання 29.08.2025

Керівник _____

Завдання до виконання прийняв  _____

Магістерська робота містить 138 стор., 24 рис., 49 табл. і 43 використаних джерела.

Досліджено особливості та перспективи розвитку морського перевезення зріджених природних газів.

Розглянуто теоретичні засади та дано характеристику міжнародного ринку морських перевезень природного газу.

Представлено актуальні інноваційні розробки в сфері морського перевезення газу, а також тенденції та перспективи розвитку ринку.

Проаналізовано транспортно-експлуатаційні характеристики і конструктивні особливості судна, виконано планування переходу, складено вантажний план і виконана перевірка остійності згідно вимогам ММО.

Розраховано кількісні і якісні показники роботи судна в рейсі.

Розглянуті питання охоронних заходів та цивільної оборони на судні, виконані розрахунки.

Ключові слова: зріджений природний газ, морське перевезення, міжнародний ринок природного газу, інноваційні технології.

The master's thesis contains 138 pages, 24 fig., 49 table. and 43 sources used.

In Master`s degree graduation work features and market prospects of marine transportation of liquefied natural gas are studied.

General description of maritime transport market of natural gas is described.

Current innovations in the field of maritime transport of gas, the trends and market prospects are described.

The transport and operational characteristics and design features of the vessel were analyzed, the transition planning was carried out, the cargo plan was drawn up and the stability checks were carried out in accordance with IMO requirements.

The calculations on the economic justification of the flight were made and the analysis of its quantitative and qualitative indicators was made.

Issues of security measures and civil defense on ships were considered, calculations were made.

Key words: operation of ships, shipping, emissions control area, emissions, air quality.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА	10
1.1 Загальні відомості і головні розміри судна.....	10
1.2 Транспортно-експлуатаційні характеристики судна.....	13
1.3 Маневрені характеристики	13
1.4 Навігаційне обладнання	18
1.5 Забезпечення непотоплюваності	20
2 АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПЛАНУВАННЯ НАВІГАЦІЙНОГО ПЕРЕХОДУ	22
2.1 Загальні вимоги до аналізу та плануванню навігаційного переходу	22
2.2 Оцінка запланованого переходу.....	25
2.2.1 Підготовка для прийому та обміну навігаційною інформацією на переході.....	29
2.2.2 Збір та аналіз гідрометеорологічної інформації	31
2.2.3 Збір та аналіз навігаційної інформації при прибережному плаванні	32
2.3 Навігаційні розрахунки для забезпечення безпеки плавання	40
2.3.1 Розрахунок ортодромії	40
2.3.2 Складання маршрутних листів	43
2.3.3 Графічний план переходу	45
2.3.4 Розрахунок природної освітленості	46
2.3.5 Розрахунок висот приливів та побудова графіків приливів	47
2.4 Висновки.....	49
3 ОБРОБКА ТА РОЗМІЩЕННЯ ВАНТАЖІВ	51
3.1 Транспортні характеристики вантажів	51
3.2 Підготовка вантажних приміщень до прийому вантажу	54
3.3 Розрахунок чистої вантажопідйомності судна	58

3.4	Складання вантажного плану	61
3.5	Характеристика експлуатаційних умов рейсу	62
4	ОЦІНКА МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ СУДНА	65
4.1	Розрахунок водотоннажності та координат центра ваги судна	65
4.2	Розрахунки посадки і початкової остійності	70
4.3	Контроль остійності за матеріалами Інформації	74
4.4	Розрахунок і побудова діаграм остійності	74
4.5	Розрахунок нормованих параметрів остійності.....	76
4.6	Перевірка виконання рекомендованих ІМО критеріїв остійності.....	81
4.7	Контроль загальної поздовжньої міцності судна	82
5	ОСОБЛИВОСТІ І ПЕРСПЕКТИВИ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗРІДЖЕНОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ.....	85
5.1	Технологія морського перевезення природного газу.....	85
5.1.1	Історія розвитку перевезень.....	85
5.1.2	Характеристики і особливості зрідженого природного газу.....	88
5.1.3	Технологічні умови перевезення.....	91
5.2	Використання природного газу в якості джерела енергії.....	97
5.2.1	Зріджений природний газ – альтернатива нафтопродуктам.....	97
5.2.2	Міжнародні газотранспортні системи.....	99
5.2.3	Сланцевий газ і його ефективний видобуток.....	102
5.3	Інноваційні розробки в сфері морського перевезення природного газу.....	106
5.3.1	Стислий природний газ.....	106
5.3.2	Офшорні технології в перевезенні.....	108
5.3.3	Комплексна система видобутку, зберігання і скраплення природного газу.....	110

6 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СУДНА В РЕЙСІ.....	114
6.1 Загальна частина	114
6.2 Методика розрахунку кількісних експлуатаційно-економічних показників роботи судна в рейсі.....	113
6.3 Методика розрахунку якісних експлуатаційно-економічних показників роботи судна в рейсі.....	118
6.4 Прогнозування роботи судна за експлуатаційний період	120
6.5 Оцінка ефективності виконаного рейсу і роботи судна за експлуатаційний період.....	121
 7 ОХОРОННІ ЗАХОДИ І ЦИВІЛЬНА ОБОРОНА НА СУДНІ.....	123
7.1 Прогнозування наслідків надзвичайної ситуації на об'єкті морського транспорту	123
7.1.1 Вихідні дані (сценарій виникнення надзвичайної ситуації на об'єкті морського транспорту).....	123
7.1.2 Оцінка масштабів хімічного зараження території.....	124
7.1.3 Висновки і рекомендовані заходи для зменшення людських втрат	131
7.1.4 Стандартні робочі процедури по прийняттю відповідних заходів у разі підозрілої діяльності на судні або поблизу нього	132
 ВИСНОВКИ.....	134
 СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	136

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасна технологічна цивілізація вимагає колосальної кількості енергії для забезпечення своїх потреб. Сьогодні, ми є сировинною цивілізацією, наші потреби ростуть із кожним днем і для їхнього задоволення ми використовуємо ті ресурси, які добуваємо із землі. Нафта, газ, вугілля, метали, руда, деревина, усе це непоправні елементи, однак альтернатива використання невичерпних джерел енергії, таких як енергія сонця, усе ще занадто складно.

Нафта є первинним джерелом теплової енергії, однак вже майже сто років, як видобуток і споживання її росте, а нові місцезнаходження перестали відкривати ще в 1980-х роках. По оцінках фахівців, починаючи з 2040-го року, рівень видобутку почне стрімко падати. Саме тому сучасні енергетичні концерни вкладають усе більше грошей в освоєння природного газу. Природний газ сьогодні забезпечує порядку тридцяти відсотків потреб людства в енергії і ця частка постійно росте. До 2030-го року процентне співвідношення використання газу зрівняється з нафтою і буде неухильно рости.

Метою роботи є систематизація основних тенденцій і перспектив розвитку світового ринку зрідженого природного газу, і пошук оптимальних шляхів забезпечення енергетичної незалежності України.

Для досягнення поставленої мети в роботі ставляться і вирішуються наступні завдання:

- розкрити фактори розвитку ринку ЗПГ;
- виявити середньо- і довгострокові тенденції та динаміку розвитку світового ринку ЗПГ;
- дослідити особливості функціонування інфраструктури світового ринку ЗПГ.

Об'єктом дослідження є процес розвитку світового ринку зрідженого природного газу.

Предметом дослідження являються теоретичні і експлуатаційні основи розвитку світового ринку ЗПГ із врахуванням його специфіки.

Методи дослідження. Аналітичні і статистичні матеріали державних органів і найбільших світових нафтогазових і консультаційно-аудиторських компаній таких як: міжнародна газова асоціація «Седігаз», річні звіти таких енергетичних компаній як «British Petroleum», «SHELL», «Petronas», «EXXON Mobil», дані науково-дослідних інститутів, статті і огляди вітчизняної і закордонної преси. Використані методи економічного прогнозування.

Наукова новизна. Найбільш значимі наукові результати магістерської роботи полягають у наступному:

- обґрунтовано доцільність морських перевезень ЗПГ;
- дана оцінка попиту на цей енергоносіє в майбутньому на основі кількісного і якісного аналізу ринків ЗПГ;
- виділені інноваційні технології, які можуть бути використані в морських перевезеннях газу.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА

Даний розділ присвячений характеристикам газовозу «VERRAZANE», на якому проходила практика автора роботи.

1.1 Загальні відомості і головні розміри судна

Основні характеристики газовозу «VERRAZANE» представлені у формі табл. 1.1 [1, 2].

Таблиця 1.1 – Основні відомості про судно

№	Параметри	Характеристики
1	2	3
1.	Назва судна	VERRAZANE
2.	Тип судна	Судно для перевезення зрідженого нафтового газу
3.	Позивний сигнал судна	9HA5563
4.	IMO №	9649146
5.	MMSI №	229693000
6.	Рік і місце будівництва	DATE KEEL LAID / LAUNCHED / DELIVERED: 12-Dec-2012 / 08-May-2013 / 17-Oct-2013 SHIPBUILDER: Hyundai Mipo Dockyard Co Ltd HULL NUMBER: H-8097
7.	Клас Регістра	Bureau Veritas, Register # 22207Q: I ✕ HULL ✕ MACH, LIQUEFIED GAS CARRIER, Unrestricted Navigation, ✕ VeriSTAR - HULL, DFL, 25 Years, ✕ AUT-UMS, MON-SHAFT, INWATERSURVEY, GREEN PASSPORT, ERS-S.
8.	Порт приписки	Flag: Malta; Port of Registry: Valletta
9.	Судновласник	Verrazane Shipping (Goldex Fortune Ltd)

Продовження табл. 1.1

1	2	3																																																																		
10.	Менеджмент:	Sea Hawk Gas S.A. Address: 84, Vouliagmenis Avenue, 16673 Voula, Greece. Number: +30 210 9681575																																																																		
11.	Довжина найбільша (L), м:	173,7																																																																		
12.	Довжина між перпендикулярами (L _{LL}), м:	165,0																																																																		
13.	Ширина найбільша (B), м:	28,0																																																																		
14.	Висота борту до верхньої палуби (H), м:	17,8																																																																		
15.	Найбільше осідання (T), м:	T _s = 10,42; T _T = 10,637; T _w = 10,203																																																																		
16.	Осадка (T) в повному вантажу і порожньому, м:	T _{max} = 10,42; T _{min} = 3,48																																																																		
17.	Водотоннажність, т: в повному вантажу (Δ): порожньому (Δ ₀):	37097,00; 10799,00																																																																		
18.	Повна вантажопідйомність (Δ _w), т:	26298,00																																																																		
19.	Головний двигун: тип: потужність, кВт.: частота обертання, об/хв.:	Hyundai Heavy Industries Co Ltd; MAN-B&W 6S50ME-B8.2 (Tier II); 9960 & 127,0 RPM																																																																		
20.	Режими роботи головного двигуна:	<table><tr><td colspan="7">Type of engine : <u>Hyundai- B&W 6S50MC-B8.2(Tier II)</u></td></tr><tr><td colspan="7">9960 KW x 127 RPM</td></tr><tr><td colspan="7">Type of propeller : <u>Fixed Pitch Propeller</u></td></tr><tr><td colspan="2">Engine order</td><td>RPM</td><td colspan="2">Speed(kts)</td><td>Engine order</td><td>RPM</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td></td><td>Load</td><td>Bal.</td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="5">ahead</td><td>Full sea</td><td>119.5</td><td>16.60</td><td>17.40</td><td rowspan="5">Astern</td><td></td></tr><tr><td>Full</td><td>96</td><td>13.10</td><td>14.10</td><td>Full</td><td>96</td></tr><tr><td>Half</td><td>76</td><td>10.80</td><td>11.10</td><td>Half</td><td>76</td></tr><tr><td>Slow</td><td>58</td><td>8.30</td><td>8.50</td><td>Slow</td><td>58</td></tr><tr><td>Dead slow</td><td>32</td><td>4.70</td><td>5.00</td><td>Dead slow</td><td>32</td></tr></table>	Type of engine : <u>Hyundai- B&W 6S50MC-B8.2(Tier II)</u>							9960 KW x 127 RPM							Type of propeller : <u>Fixed Pitch Propeller</u>							Engine order		RPM	Speed(kts)		Engine order	RPM				Load	Bal.			ahead	Full sea	119.5	16.60	17.40	Astern		Full	96	13.10	14.10	Full	96	Half	76	10.80	11.10	Half	76	Slow	58	8.30	8.50	Slow	58	Dead slow	32	4.70	5.00	Dead slow	32
Type of engine : <u>Hyundai- B&W 6S50MC-B8.2(Tier II)</u>																																																																				
9960 KW x 127 RPM																																																																				
Type of propeller : <u>Fixed Pitch Propeller</u>																																																																				
Engine order		RPM	Speed(kts)		Engine order	RPM																																																														
			Load	Bal.																																																																
ahead	Full sea	119.5	16.60	17.40	Astern																																																															
	Full	96	13.10	14.10		Full	96																																																													
	Half	76	10.80	11.10		Half	76																																																													
	Slow	58	8.30	8.50		Slow	58																																																													
	Dead slow	32	4.70	5.00		Dead slow	32																																																													

Продовження табл. 1.1

1	2	3
21.	Швидкість судна, вузл.: завантаженого: в баласті:	16,6; 17,4
22.	Гребний гвинт: кількість лопастей, од.: діаметр та крок гвинта, мм.: дискове відношення: напрямок обертання:	Fixed pitch propeller 4 EA; 5800 та 4555,3; 0,7854; Right Handed
23.	Тип керма:	Full Spade Ruder
24.	Тип стернової машини:	Electrohydraulic
25.	Судова електростанція: Склад суднової радіоапаратури відповідає вимогам районів А3 та включає в себе:	INMARSAT-C; NAVTEX RECEIVER; VHF RADIO TELEPHONE; WHISTLE CONTROL SYSTEM; COMMU. AERIAL SYSTEM
26.	Валова реєстрова місткість:	23160
27.	Чиста реєстрова місткість:	6947
28.	Добова витрата палива, т/добу: на ходу: важке паливо (HFO), т: дизельне паливо (DFO): на стоянці: дизельне паливо (DFO):	22,9; 1,5; 1,8
29.	Координати центру мас порожнього судна, м:	Z = -9,73; X = 10,48

Загальне відображення газовозу згідно приведених характеристик у таблиці приведено на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Газовоз «Verrazane»

1.2 Транспортно-експлуатаційні характеристики судна

Креслення газовозу «Verrazane» відображає розташування вантажних приміщень і приміщень для запасів, та суттєво характеризує конструктивні особливості судна, що приведено на рис. 1.2 [2].

Відображення плану верхньої палуби судна (вид зверху) з розташуванням механізмів вантажної системи і план розміщення баластних танків показаний на рис. 1.3 [2].

Схеми маніфолдів газовозу приведено на рис. 1.5 [2].

1.3 Маневрені характеристики

Маневрені та гальмівні характеристики судна визначають його здатність виконувати маневри (змінювати курс, швидкість, рухатися заднім

GENERAL ARRANGEMENT

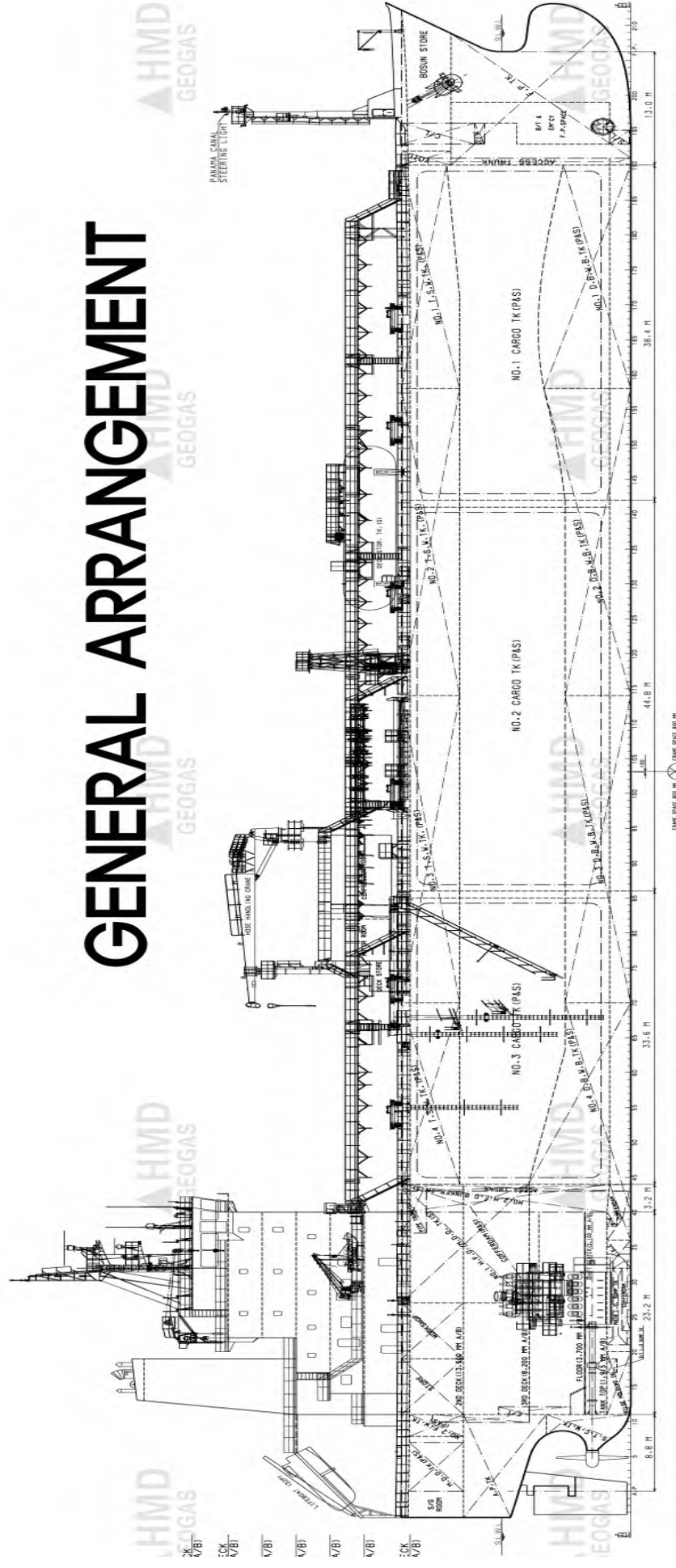
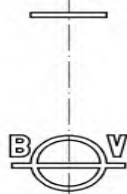


Рисунок 1.2 – Схематичне креслення бокового виду газовозу «Vertagane»



SUMMER LOAD DRAFT (EXT.): 10,420 MT
DISPLACEMENT: 37097 MT

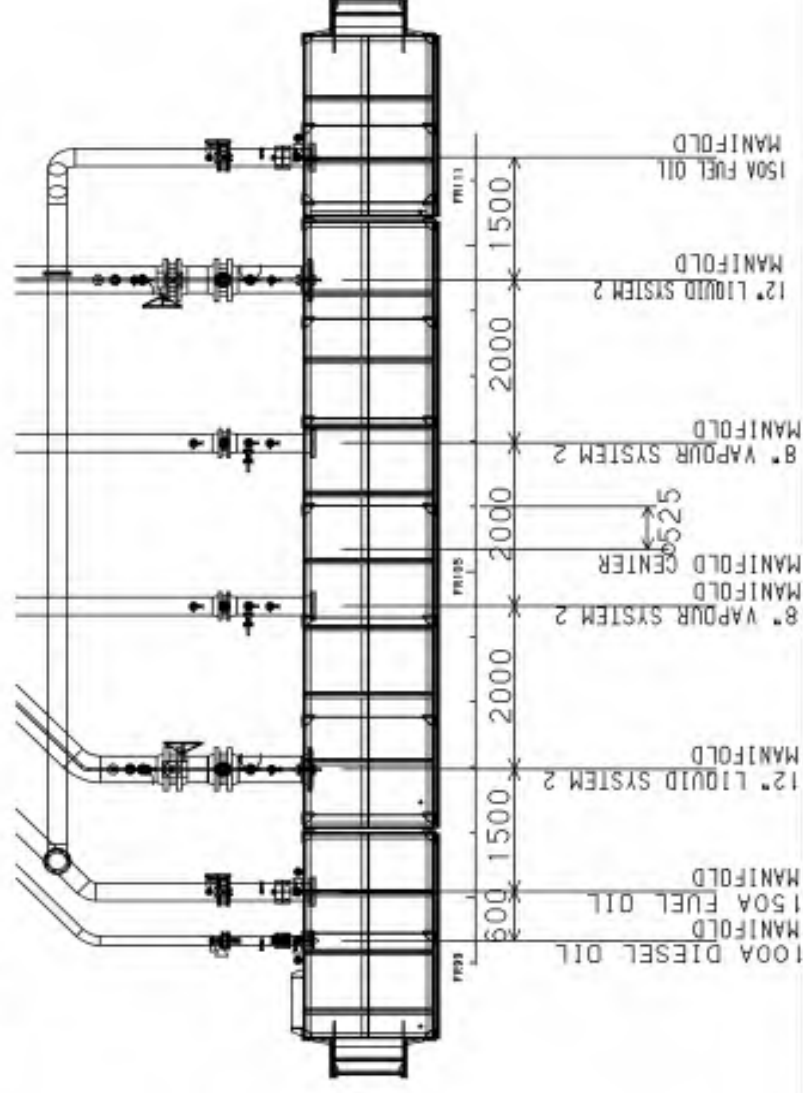
LIGHT WEIGHT	10799 MT
DRAFT	3.48 M

DEWT		DEADWEIGHT		DISPLACEMENT		MTC		TTC		DEWT	
(EXT. 4)	(TWT) (1,000)	E.G.	(EXT. 5)	(TWT) (1,000)	E.G.	(TWT) (1,000)	(TWT-4)	(TWT-5)	(EXT. 6)		
	31000		31000	43000		43000					
				42000		41000		400			
	30000		31000	42000		40000					
				41000		39000		470	42		
	29000		30000	40000		38000					
11	28000		29000	40000		38000					11
			28000	39000		37000		400			
	27000		28000	39000		37000					
			27000	38000		36000		430			
	26000		27000	38000		36000					
	25000		26000	37000		35000					
			25000	36000		34000		450			
	24000		25000	36000		34000					
			24000	35000		33000		440	41		
	23000		24000	35000		33000					
10	22000		23000	34000		32000		430			
			22000	33000		31000		420			
	21000		22000	33000		31000					
			21000	32000		30000		400	40		10
	20000		21000	32000		30000					
9			20000	31000		29000		410			
	19000		20000	31000		29000					
			19000	30000		28000		400			
	18000		19000	30000		28000					
			18000	29000		27000		390	39		
8	17000		18000	29000		27000					
			17000	28000		26000		380			8
	16000		17000	28000		26000					
			16000	27000		25000		370			
	15000		16000	27000		25000					
			15000	26000		24000		360			
	14000		15000	26000		24000					
			14000	25000		23000		350	38		
	13000		14000	25000		23000					
			13000	24000		22000		340			
7	12000		13000	24000		22000					7
			12000	23000		21000		330			
	11000		12000	23000		21000					
			11000	22000		20000		320	37		
	10000		11000	22000		20000					
6			10000	21000		19000		310			6
	9000		10000	21000		19000					
			9000	20000		18000		300			
	8000		9000	20000		18000					
			8000	19000		17000		290			
	7000		8000	19000		17000					
			7000	18000		16000		280			
	6000		7000	18000		16000					
			6000	17000		15000		270	36		
	5000		6000	17000		15000					
5			5000	16000		14000		260			5
	4000		5000	16000		14000					
			4000	15000		13000		250			
	3000		4000	15000		13000					
			3000	14000		12000		240			
4	2000		3000	14000		12000					
			2000	13000		11000		230	35		4
				12000		10000					
	1000		2000	12000		10000					
			1000	11000		9000		220			
	0		0	11000		9000					
						8000		210			
						7000					
						6000		200	34		
						5000					
3				10000		8000					
				9000		7000		190			3
				8000		6000					
						5000		180			
						4000					
						3000		170			
						2000					
						1000		160	33		
						0					

Рисунок 1.4 – Вантажна шкала судна

MANIFOLD VIEW

SCALE(1:100)



FR. 102 SEC.

Рисунок 1.5 – Схема розташування маніфолдів

ходом) і зупинятися у разі необхідності. В даному пункті розділу характеристики судна «Verrazane» представлені у вигляді рис. 1.6 [2].

Ці характеристики мають критичне значення для безпеки мореплавства, особливо в обмежених умовах, таких як порти, канали або вузькі фарватери.

1.4 Навігаційне обладнання

Навігаційне устаткування судна представлено у формі табл. 1.2 [2].

Таблиця 1.2 – Технічні засоби навігації

Прилад	Тип, марка
Radar plant	Furuno electric Co.LTD: S-BAND : FAR-2837SW; X-BAND: FAR-2827W
Gyro compass	Furuno/Yokogawa CMZ700D
Magnetic compass	Saracom Co..LTD: NAVI POLI
Echo sounder	Furuno electric Co.LTD: FE-700
Speed log	Furuno electric Co.LTD: DS-50
DGPS Navigator	Furuno electric Co.LTD: GP-90D
INS/ECDIS	Furuno electric Co.LTD: FEA-2107
AIS	Furuno electric Co.LTD: FA-100

Точносні характеристики ТЗН судна представлено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Точносні характеристики ТЗН на судні

Тип, марка ТЗН	Умови	Вимірювані навігаційні параметри	Середня квадратична похибка одного виміру
1	2	3	4
Gyro Compass, CMZ700D	—	Курс	0,02 ⁰
Magnetic Compass, NAVIPOL1	—	Курс	0,5 ⁰

MAX. RPM FOR MCR LIMIT	110 RPM
NEW MCR LIMIT	5600 KW
EEKI LIMIT	5608 KW

WHEEL HOUSE POSTER

according to IMO Res.A.601

Ship's name : **VERRAZANE**
 Call sign : **9HA5563**
 IMO No. : **9649146**

L.R.P. 165.00 m
 B(mld) 28.00 m
 D(mld) 17.80 m
 d(mld) scantling 10.40 m

WARNING

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

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

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

Date: **OCTOBER 04, 2013**

Warning: Show Register no. affecting when ship's speed is less than 3 knots.

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

	Normal Loaded	Ballast
	Estimate	Trial
Forward	10.40 m	5.37 m
Aft	10.40 m	6.39 m

PROPULSION PARTICULARS

Type of engine :	Hyundai-BRW 6S80MC-B9.2(Tier II)			
	9960 KW x 127 RPM			
Type of propeller :	Fixed Pitch Propeller			
Engine order	RPM	Speed(kts)	Engine order	RPM
		Land	Sea	
Full sea	119.5	16.60	17.40	
Full	96	13.10	14.10	
Half	76	10.80	11.10	
Slow	58	8.20	8.50	
Dead slow	32	4.70	5.00	
Critical revolutions	42 ~ 52 RPM			
Minimum revolution	30.1 RPM			
Emergency full ahead to stop	8.65 min			
Maximum number of consecutive starts	20			

Full ahead power 2350 ahead power

SHIP'S PARTICULARS

Gross tonnage	23160
Net tonnage	6947
Displacement, maximum	37097 t
Deadweight, maximum	26298 t
Block coefficient at scant draught	0.7513

STEERING PARTICULARS

Type of rudder(s)	Semi-Spade
Maximum rudder angle	35°
Time hard-over to hard-over with one power unit	24.7°
Time hard-over to hard-over with two power unit	12.6°
Rudder angle for neutral effect	0° PORT/STBD

ANCHOR CHAIN

	Number of shots	Max. rate of heaving
PORT	11	02' 39"
STARBOARD	12	02' 38"

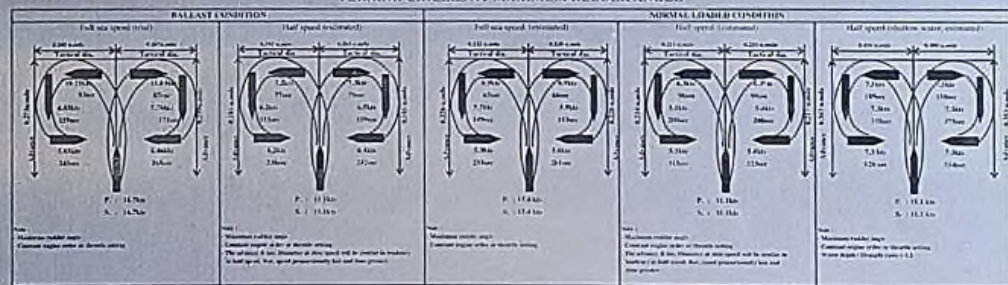
1 shot = 27.5m

DRAUGHT INCREASE (FULL LOADED)

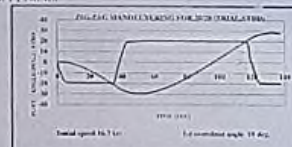
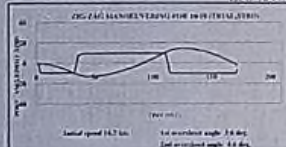
Estimated squat effect		
Under keel clearance	Ship speed (kts)	Draught increase(m)
2.68 m	2.0	0.017
	6.0	0.155
	10.0	0.430
5.20 m	2.0	0.014
	6.0	0.124
	10.0	0.344

Heeling effect	
Heeling effect(deg.)	Draught increase(m)
2	0.489
4	0.979
6	1.471
8	1.968
10	2.469
12	2.976
14	3.491

TURNING CIRCLES AT MAXIMUM RUDDER ANGLE



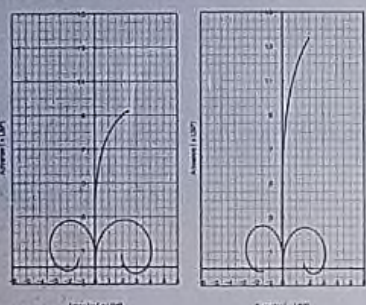
ZIG ZAG DIAGRAMS (BALLAST; TRIAL)



MAN OVERBOARD RESCUE MANOEUVREING (Normal Loaded; estimated)

- Signal of distress in the vicinity
- Give a full stop
- Give the alarm
- Sound the alarm
- Keep the look out

EMERGENCY MANOEUVREING (Ballast; trial)



STOPPING CHARACTERISTICS

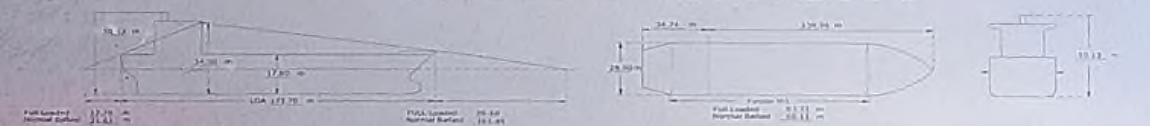
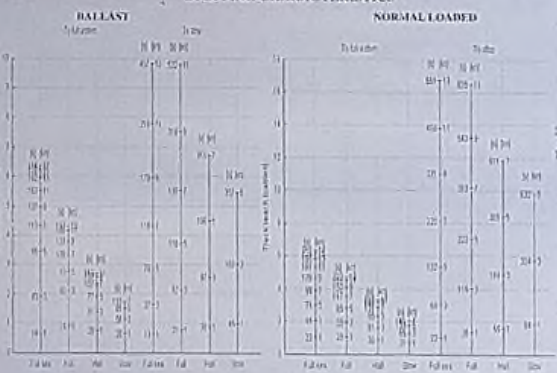


Рисунок 1.6 – Маневрені характеристики судна

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4
Echo Sounder, FE-700	—	Глибина під кілем	$\pm 0,5$ м
Speed Log, DS-50	—	Швидкість судна	$\pm 0,1$ вузл
DGPS Navigator, GP-90D	—	Широта, довгота	$\pm 0,05$ кбт
Radar S-Band, FAR-2837SW	Шкала 0.25-64 миль	Пеленг	$0,25^0$
	Шкала 0.25-3 миль	Відстань	± 10 метрів
	Шкала 3-8 миль	до об'єкта	0.5% від Д
	Шкала 8-64 миль		1.1% від Д
Radar X-Band, FAR-2827W	Шкала 0.25-64 миль	Пеленг	$0,25^0$
	Шкала 0.25-3 миль	Відстань до об'єкта	± 10 метрів
	Шкала 3-8 миль		0.5% від Д
	Шкала 8-64 миль		1.1% від Д

Оснащення ТЗН судна відповідає вимогам Конвенції СОЛАС-74.

1.5 Забезпечення непотоплюваності

Інформація про непотоплюваність газовозу «Verrazane» міститься в «Damage stability booklet». На рис. 1.7 показані відсіки, водонепроникні двері та перебирання. Всі приміщення на судні, які нижче головної палуби і на головній оснащені водонепроникними дверима розстібного типу. Це всі приміщення в машинному відділенні, приміщення на баку, вхід у надбудову на головній палубі і насосна.

Судно обладнане подвійним дном і бортом які використовують для прийому баласту. Баластне обладнане складають два головних баластових насоси відцентрового типу з електричним приводом, потужністю по $500 \text{ м}^3/\text{год}$. Керування всією системою виконується з CCR, і з пампрума для відкриття клапанів.

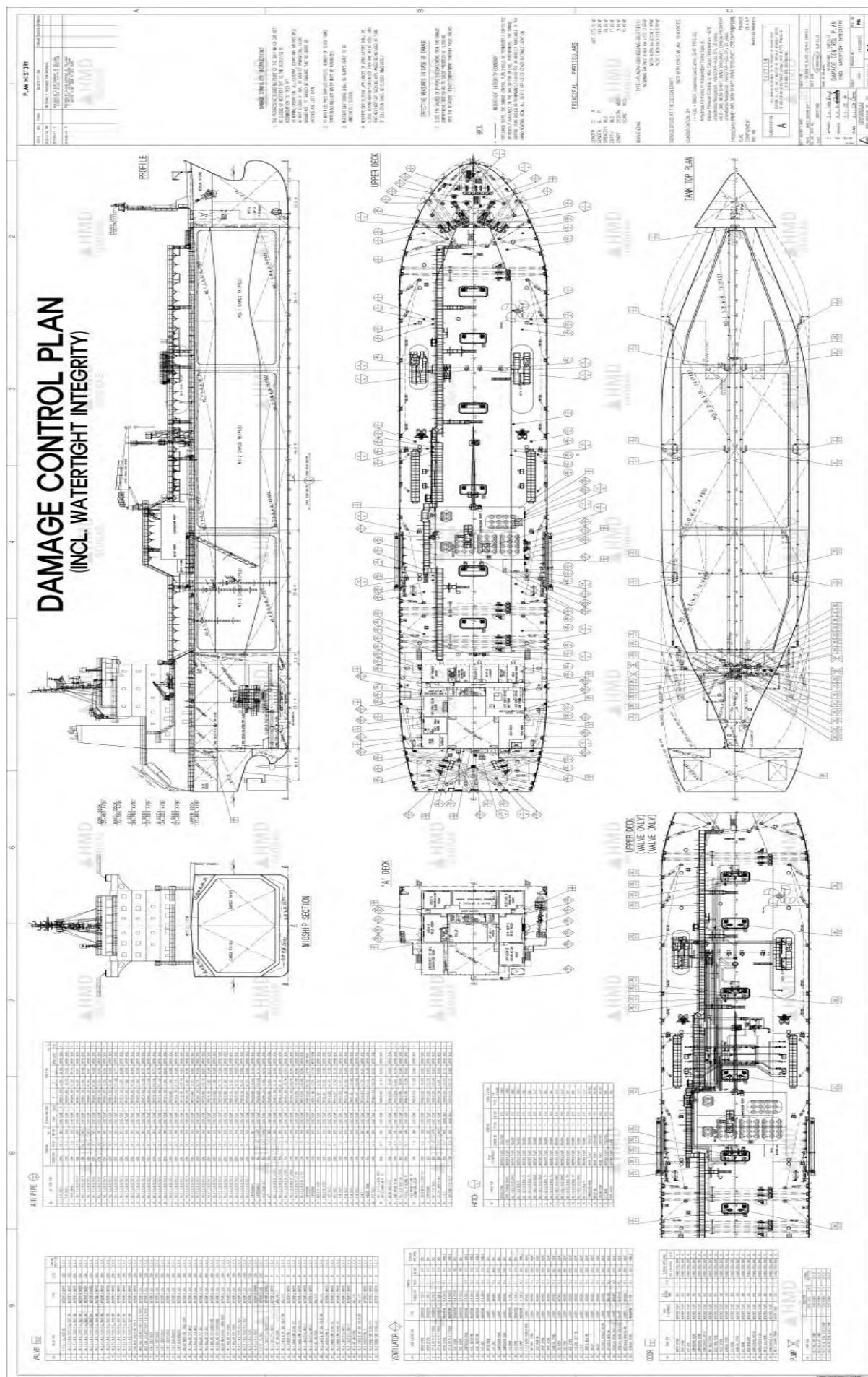


Рисунок 1.7 – План за боротьби за живучість газозову «Veragane»

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПЛАНУВАННЯ НАВІГАЦІЙНОГО ПЕРЕХОДУ

2.1 Загальні вимоги до аналізу та плануванню навігаційного переходу

Основним видом технологічного процесу роботи морського транспортного судна є його рейс, який визначається рейсовим завданням, повідомлюваним капітану судна завчасно.

Для адміністрації судна рейсове завдання є основою робочою програмою, призначеної для ретельного вивчення та аналізу всіх особливостей і обставин планованого рейсу і для розробки рейсового плану, який повинен передбачати здійснення рейсу з найменшою витратою часу і забезпечення виконання судном календарного плану. Рейсовий план повинен містити всі необхідні інструктивні вказівки, роз'яснюючі і уточнюючі умови виконання судном майбутнього рейсу: найменування портів призначення і послідовності заходу в них; рід і кількість вантажів; характер вантажних операцій і т.п.

Важливим елементом рейсу є його тривалість із зазначенням (дати та часу) його початку і кінця. Тривалість рейсу, визначальна витрати на ефективну перевезення вантажу, включає в себе ходову і стояночну складові.

Ходову складову тривалості рейсу розраховують на всіх окремих його ділянках з урахуванням швидкості судна. При плануванні рейсу довжину шляху вибирають із спеціальних таблиць морських відстаней.

На різних ділянках всього шляху навігаційні умови плавання можуть бути різні, тому фактично прохідне судном відстань часто відрізняється від табличного, оскільки судноводій на цих ділянках доводиться вибирати курси і швидкості судна в залежності від конкретних умов плавання. З цього випливає, що витрати часу судна на допоміжні ходові операції залежать насамперед від числа операцій, які є наслідком конкретних умов, у яких вчиняється плавання. У зв'язку з цим розробка рейсового плану тісно пов'язана з ретельним аналізом всіх обставин майбутнього

рейсу: визначенням швидкості і часу руху судна в вузкостях, на підходах до портів, урахуванням можливих затримок в очікуванні каравану при обов'язкових лоцманських проводках судів, в очікуванні повної води, світлого часу доби, криголама і т. д. [3].

Отримавши рейсове завдання, на судні одночасно з іншими роботами починають навігаційну підготовку до майбутнього переходу - планування переходу.

Як тільки план переходу, а також способи, за допомогою котрих він повинен бути виконаний, визначені, виникає необхідність в систематичному контролі за місцеположенням судна в морі, щоб переконатися, що розроблений план переходу реально виконаємо.

Спочатку підбирають всі необхідні карти, керівництва і посібники для плавання, коректують їх за найостаннішими коректурним документами, потім вивчають трасу майбутнього переходу в гідрометеорологічному і навігаційному відношенні, вибирають найбільш вигідні шляхи і, нарешті, здійснюють їх попередню прокладку.

Загальні вимоги до планування рейсу визначені Кодексом ПДНВ-10 в розділі А-VIII/2 частина 2.

Рекомендації по плануванню рейсу приводяться в наступних документах [4-6]:

- Bridge Procedures Guide, ICS, 2007. (BPG);
- Bridge Team Management, ІМО, 2004. (BTM);
- Рекомендації по організації штурманської служби на морських судах України (РІШСУ-98) – Одеса: ЮЖНИИМФ, 1993. – 111 с.

Планування рейсу починають зі збору інформації, на основі якої робиться оцінка майбутнього плавання. Планування рейсу включає чотири фази:

- оцінка (Appraisal);
- планування (Planning);
- виконання (Execution);
- контроль (Monitoring).

Згідно РШСУ-98 підготовка штурманської частини до рейсу включає в себе і підготовку технічних засобів навігації, яка виконується відповідно до інструкцій з їх експлуатації. Підготовка ТЗН передбачає включення приладів, а після приходу їх у робочий режим визначення параметрів і поправок. Крім того при необхідності поповнення ЗППів і ремонт. Прилад вважається в робочому стані, якщо його параметри відповідають технічним умовам заводу-виготовлювача.

При підготовці гірокомпаса до плавання необхідно запустити його не пізніше, ніж за 6:00, до відходу з тим, щоб він прийшов у меридіан.

Перевірити наявність, справність і правильність посадки в гнізда запобіжників. Заміряти рівень підтримуючої рідини в резервуарі основного приладу (від верхнього краю наливного отвору – 35 мм).

Перевірити систему охолодження, заправити чорнилом пір'я курсографа, узгодити всі репітери, курсограф і сельсини-приймачі, звірити з магнітним компасом. Поставити відмітку суднового часу з датою, на стрічці курсографа. Визначити поправку гірокомпаса до початку руху судна.

Підготовка магнітного компаса включає перевірку правильності встановлення його призми, придатності таблиці девіації та відповідності записаних в ній фактичних положень магнітів девіаційного приладу.

При підготовці лага проводять пробне включення схеми, установку нуля, перевіряють відповідність установки коректора записам у формулярі і наявність таблиці поправок у репітерів.

При підготовці ехолота перевірити надійність з'єднань і монтажу, відсутність заїдань механічних систем показчика та самописця. Переконалися в наявності мастила в підшипниках перетворювача, ламп і запобіжників. Оглянути контактні групи, встановити і відрегулювати папір на самописці.

Для підготовки радіолокатора його включають за відсутності людей біля антени, перевіряють узгодження з основним приладом гірокомпаса і працездатність РЛС на всіх шкалах дальності.

Для перевірки працездатності прийомоіндикатора супутникової навігаційної системи, перевіряють узгодження з гірокомпасом і лагом. Розбіжність не повинно перевищувати $0,2^{\circ}$ і 0,2 вузла.

2.2 Оцінка запланованого переходу

Відомості про підібрані карти зведені в табл. 2.1 [7].

Таблиця 2.1 – Перелік паперових карт на перехід

Chart No.	Назва карти	Дата випуску
1	2	3
The World Index of Charts at 1 : 3500000 or comparable scale		
4050	North Pacific Ocean – North Eastern Part Bering Sea	June 2011
4051	North Pacific Ocean - South Eastern Part	Nov. 2011
4052	North Pacific Ocean - South Western Part	Nov. 2011
4053	North Pacific Ocean - North Western Part	Dec. 2011
Routening Charts and Plans		
4510	Eastern Portion of Japan	Feb. 2011
4522	Mys Lopatka Rus to Chinook Trough	Dec. 2011
4802	United States and Mexico	Feb. 2011
4805	Hawaiian Islands to Aleutian Trench	Mar. 2011
4806	San Francisco & Vancouver Island	Feb. 2011
899	San Diego Bay to Port Arguello	Apr. 2013
JP1097	Inubo Saki to Shioyo Saki	Sep. 2012
1063	San Diego Channel	Apr. 2013
JP1049	Kashima Ko	-
1081	Los Angeles and Long Beach Harbors	June 2013

Продовження табл. 2.1

1	2	3
Non Navigational Charts		
Routing Chart		
5127 (7)	July - 1115 x 621 mm	Feb. 2010
Gnomonic Chart		
5097	North Pacific	
	Seasonal Periods	
5006	The World – Time Zone Chart	
5310	The World – General Surface Current Distribution	

Список публікацій на перехід представлено у табл. 2.2 [8-19].

Таблица 2.2 – Перелік публікацій на перехід

Номер	Назва посібника
1	2
Admiralty List of Radio Signals	
281 (2)	Volume 1, Part 2 – Admiralty List of Radio Signals Maritime Radio Stations The Americas, Far East and Oceania
286 (5)	Volume 6, Part 5, Pilot Services, Vessel Traffic Services and port Operations: North America, Canada and Greenland
286 (6)	Volume 6, Part 6, Pilot Services, Vessel Traffic Services and Port Operations: North East Asia
288	Volume 8, Satellite Navigation Systems
Admiralty Sailing Directions (Pilots) (ASD)	
8	Pacific Coasts of Central America and United States Pilot.13th Edition, 2013.
62	Pacific Islands Pilot, Vol. 3, 14th Edition 2016
41	Japan Pilot Volume 1

Продовження табл. 2.2

1	2
Admiralty Tide Tables (ATT)	
204	Volume 6 – North Pacific Ocean (including Tidal Stream Tables)
Miscellaneous Tidal Publications	
120A	Admiralty Manual of Tides, 1st Edition 1941 (Reprinted 1980)
122 (1)	Admiralty Tidal Handbook No.1 The Admiralty Method of Harmonic Tidal Analysis for Long Period Observations (1985 Edition)
122 (2)	Admiralty Tidal Handbook No.2 Datums for Hydrographic Surveys
122 (3)	Admiralty Tidal Handbook No.3 Harmonic Tidal Analyses for Short Periods
List of Lights and Fog Signals	
80	List of Lights, Volume G – Western Side of South Atlantic Ocean and East Pacific Ocean; from Cabo Orange to Point Barrow and Hawaiian Islands.
85	List of Lights, Volume M – Western side of North Pacific Ocean; excluding Western Parts of Philippine, East China and Yellow Seas
Astronomical Publications	
314	The Nautical Almanac, 2022
303(4)	Rapid Sight Reduction Tables for Navigation, 2012
323	Star Finder and Identifier
GP100	The Astronomical Almanac, 2014
	Norie's Nautical Tables, 2007
Miscellaneous Publications	
100	The Mariner's Handbook (9 th Edition, 2009)
131	Catalogue of Admiralty Notices to Mariners, 2015
133A	Paper Charts Maintenance Record
136	Admiralty Ocean Passages for the World (5 th Edition, 2004)
231	Admiralty Guide to the Practical use of ENC's used in ECDIS

Продовження табл. 2.2

1	2
234A	Cumulative list of Admiralty Notices to Mariners issued at 6 Monthly intervals, January 2014
247(1)	Annual Summary of Admiralty Notices to Mariners – Annual Notices and Temporary and Preliminary Notices
247(2)	Annual Summary of Admiralty Notices to Mariners – Amendments to Sailing Directions
294	How to Keep Your Admiralty Products Up-to-Date
713	Folio Cover for Charts
735	IALA Maritime Buoyage System; Combined Cardinal, Lateral System
5011	Symbols and Abbreviations used on Admiralty Paper Charts
5012	Admiralty Guide to ENC Symbols Used in ECDIS
	Weekly Edition of Admiralty Notices to Mariners
	International Code of Signals(ICS), 2005
	Guide to Port Entry,2017/2018, Volume 1
	Guide to Port Entry,2017/2018, Volume 3
	Lloyd’s Maritime Atlas (28 th Edition,2014)
	List Of Call Signals and Numerical indexes
	Ship’s Routening Guide, 2013
	Radio Navigational Aids, 2005
	COLREGS-1972
Software	
	Ports Guide, 2019
	Суднова програма по розрахунку безпечної швидкості на мілководді з урахуванням запасу води піж кілем

Підібрані матеріали охоплюють весь район плавання.

2.2.1 Підготовка до прийому та обміну навігаційною інформацією на переході

З посібника ALRS 283 вибираємо інформацію, необхідну для одержання факсимільних карт погоди на маршруті переходу, яку зводимо в табл. 2.3 [9].

Таблиця 2.3 – Радіостанції факсимільних гідрометеорологічних передач

N п/п	Радіостанція	Позначення і межі карти	Зміст передачі	Час передачі
1	Kagoshima JMH	C '1:20 000 000 38°30'N. 65°30'E, 38°30'N.145°30'W 001°00'S.112°30'E, 001°00'S.167°00'E	Surface analysis 12 hour surface pressure, wind, fog, icing, see ice prognosis	0840 (06) 2040 (18) 0820 (00) 2100 (12)
2	Kagoshima JMH	C " 1:20 000 000 37°30'N.67°00'E / 35°00'N.147°36'W. 001°00'S.112°24'E / 000°30'S.166°42'E.	Ocean wave analysis	0421 (00) 1620 (12)
3	Honolulu	2 70°N - 20°N, 175°W - 115°W	Surface analysis (Part 1, NE Pacific)	0330 (00) 1530 (12)
4	Honolulu	4 62°N - 18°N, East of 157°W	24h wind / wave forecast	0806 (00) 2006 (12)
5	Point Reyes	2 20°N - 70°N 115°W - 175°W	Final Surface analysis (Part 1, NE Pacific)	0331 (00) 1531 (12)

З посібника ALRS 285 вибираємо інформацію про райони NAVAREA і станціях NAVTEX по маршруту переходу [10]. Данні зводимо в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Райони NAVAREA, станції NAVTEX на переході

№	Ділянка переходу	Район NAVAREA	Станції NAVTEX	Координатор NAVAREA
1	Японські острови	XI	Moji [H]	Japan
			Yokohama [K]	
2	Тихий океан	XII	Long Beach (Cambria) [Q]	USA

З посібника ALRS 286 визначаємо наявність по маршруту контрольних постів, районів, де здійснюється керування рухом суден постами СУРС, розв'язують питання про зв'язок з контрольними станціями і постами – строках, формі та способах подачі інформації. З'ясовують деталі зв'язку з лоцманськими станціями і операторами терміналів у портах. Отримані відомості зводять у табл. 2.5 [9].

Таблиця 2.5 – Зв'язок на переході, СУРС

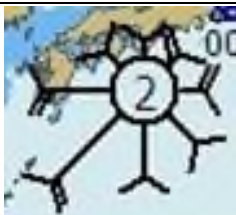
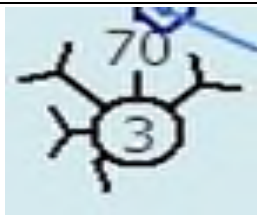
№	Станція	Спосіб зв'язку	Канали, частоти	Примітки
1	Kashima, Honshu	VHF	16, 12, 14	Pilots, Port Authority
2	San Pedro Bay San Pedro Traffic	VHF	14	San Pedro Reporting System Area
3	Los Angeles Pilot Terminal	VHF	16, 73	1h before Pilot Area After POB

Зв'язок забезпечено на всьому переході.

2.2.2 Збір та аналіз гідрометеорологічної інформації

Узагальнюючи основні погодні умови складемо табл. 2.6 і табл. 2.7 в яких наведено гідрометеорологічні характеристики на переході [11-12].

Таблиця 2.6 – Атмосферний тиск і розшифрування «роз вітрів»

Характеристики за ділянками	Кашима, Японія		Тихий океан		Лос-Анджелес, США	
Атмосферний тиск, мм. р. ст.	765		762		763	
Направлення	Повторюваність вітру,		Повторюваність вітру,		Повторюваність вітру,	
вітру	%		%		%	
N	4		0		1	
NE	4		2		2	
E	8		34		2	
SE	16		46		1	
S	8		4		2	
SW	13		3		60	
W	13		2		50	
NW	10		1		2	
Результуючий вітер	Направл., румб	SE	Направл., румб	SE	Направл., румб	SW
	швидк., м/с	1,3	швидк., м/с	4,1	швидк., м/с	8
Максим. швидкість вітру, м/с	Спост.	0,5	Спост.	2,1	Спост.	3,4
	Розрах.	1,1	Розрах.	2,5	Розрах.	5,0
Повторюваність штилів, %	10		5		0	
Схема «Рози вітрів»						

Видимість, водний і тепловий режим атмосфери приведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Видимість, водний і тепловий режим атмосфери, гідрометеорологічні характеристики

Характеристики за ділянками		Кашима, Японія	Тихий океан	Лос-Анджелес, США
Температура повітря, °С		23	20,5	21
Температура води, °С		21	19	20
Відносна вологість, %		78	80	70
Повторюваність туманів, %		5	1	9
Видимість менше 2 миль		-	-	18
Хмарність, бали		8	5	4
Солоність води, ‰		33,1	34,4	35,2
Щільність води, г/см ³		1,025	1,027	1,025
Постійні течії	назва	Куросіо	П.Пасатна	П.Пасатна
	направлення	W	NE	E
	швидкість, вузл	0,5	1	2<
	стійкість	≥50	≥50	≥50
Швидкість приливних течій, вузл		≥1	≥1	≥1
Висота хвиль, м	середня	≥1	≥1	≥1
	максимальна	2	4	5
Період хвиль, с		6	7	4

Описані метрологічні умови охоплюють весь район плавання.

2.2.3 Збір та аналіз навігаційної інформації при прибережному плаванні

Опис портів обирається з Guide to Port Entry [13]:

Порт навантаження Кашима (35°54'N; 140° 42'E).

Цей великий Японський порт розташований на східному узбережжі острова Хонсю, в 90 км від Токіо. Порт знаходиться в штучній гавані, побудованій для обслуговування великого промислового регіону, що охоплює Касіму, Камісу та Хасакі. Основні галузі промисловості включають виробництво чавуну, сталі, зерна, продуктів харчування, нафти, газу,

контейнерів та електротехніки. Через землетрус і цунамі в березні 2011 року деякі причали досі реконструюються.

Підхід до порту здійснюється безпосередньо з моря між маяками № 1 і №

2. Обмеження осадки на каналах:

1. Підхідний канал – 21,0-24,0 м.;
2. Загальний прохід – 14,0-19,0 м.;
3. Північний та Південний проходи між 10,0-13,0 м.

Вхід до порту заборонено в радіусі 30 м від танкерів, що прибувають з легкозаймистими небезпечними речовинами на борту, біля причалу або на якорі в межах порту, за винятком суден, яким це дозволено капітаном порту.

Лоцман не є обов'язковим для суден дедвейтом менше 50000 рег. т. Судна водотоннажністю 15000 рег. т. і більше (танкери водотоннажністю 1000 рег. т. і більше) повинні надіслати через агента розрахунок часу прибуття на лоцманську стоянку капітану порту не пізніше полудня за день до прибуття. Для нафтових, хімічних танкерів і танкерів для перевезення зрідженого газу доступні лоцмани для швартування (з 06:45 до 16:00 годин влітку і з 06:45 до 14:30 годин взимку) біля Південного молу. Лоцмани очікує у колі радіусом 1,5 морських миль з центром у точці 36°00.0'N 140°46.0'E (3,8 морських миль на північ від Південного хвилеріза).

Рекомендована якірна стоянка для великих суден знаходиться приблизно за 2,75 морських миль на північний північ від початку Південного хвилерізу, подалі від підходу до фарватеру Кашима, з глибинами 24 м, де є гарний ґрунт для стоянки. Карантинна якірна стоянка з глибинами 18-23 м знаходиться в 1,5 морських милях на північ від початку Південного хвилеріза і призначена тільки для суден водотоннажністю менше 3000 рег. т.

Максимальний діапазон приливу 0,5 м, середній діапазон відливу 0,9 м.

Щільність води в порту - 1025.

УКВ зв'язок Oh-aza Igiri, Kamisu-machi, позивний «Ibaraki Port Radio», безперервно 24 години на добу веде ефір. Всі виклики повинні проводитися на 16 каналі, а також на робочих каналах – 14 і 12.

Карти: ВА 3374. Japanese Chart JP1049. Admiralty Pilot NP41, NP286(6).

Переважаючий вітер: Північно-північний і південно-південний.

Сильні вітри викликаються тайфунами і екстремальними тропічними циклонами, які тривають недовго. Однак вони можуть призвести до евакуації з порту суден водотоннажністю понад 3000 тонн і більше при наближенні тайфуну.

Основні навігаційні засоби: Kashima Light 35°59.6'N 140°39.0'E, розміщений за 4,5 морських миль на північний захід від входу в гавань з білої круглої вежі висотою 32 м.

Термінал для LPG танкерів приймає судна відповідно до команд з центру порту. Судна маневрують за допомогою буксирів. Зв'язок з лоцманською компанією проводиться через агента. Підхід до причалу з газовими терміналами виконується тільки при денному світлі.

На рис. 2.1 і 2.2 зображено план порту Кашима і підхід до гавані [13].

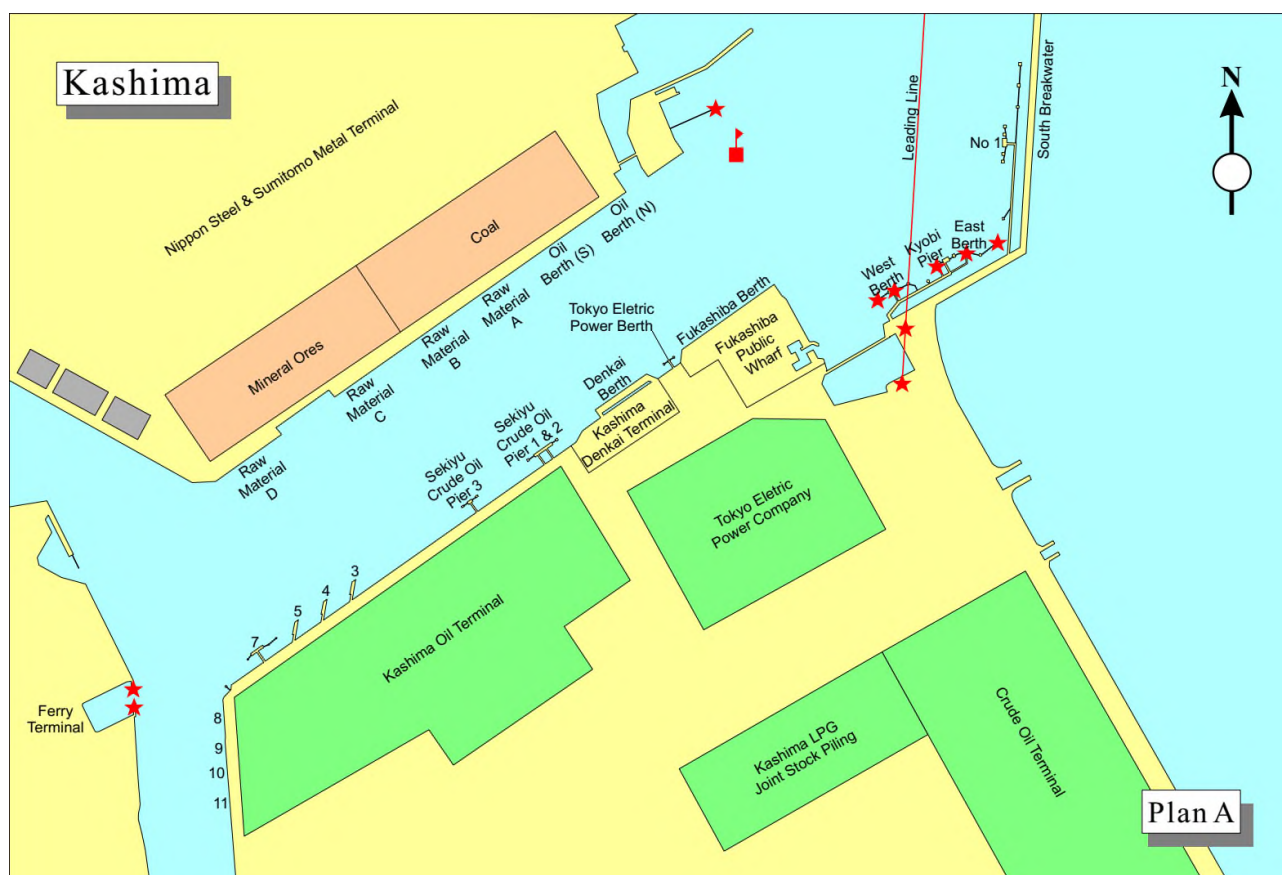


Рисунок 2.1 – План порту Кашима

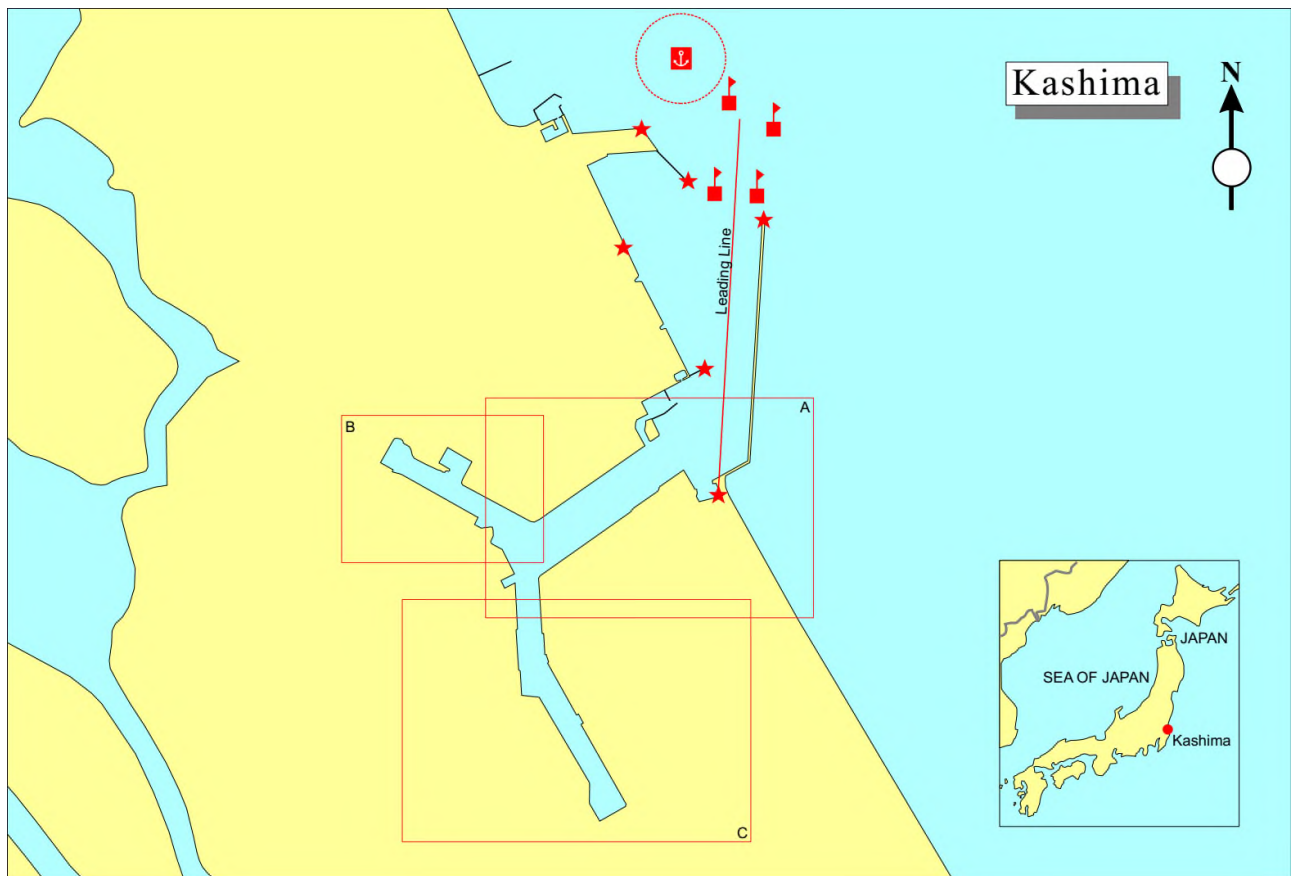


Рисунок 2.2 – Схема підходу до порту Кашима

Документи на відхід з порту Кашима:

1. Crew Lists - including Passport Numbers (6 копій);
2. International Tonnage Certificate;
3. Last Port Clearance;
4. Last Ports of Call Lists (6 копій);
5. 1 копія Maritime Declaration of Health (only if vessel granted free pratique by radio before arrival);
6. Ship's Register;
7. Stores List (1 копія).

Документи на відхід узгоджуються з агентом в порту.

Порт розвантаження Лос-Анделес (33°43'N; 118°16'W).

Порт Лос-Анджелеса розташований на західному узбережжі Каліфорнії, США, безпосередньо поруч з портом Лонг-Біч і на захід від нього, і виходить на канал Сан-Педро.

Порт Лос-Анджелеса займає близько 3000 га сухопутної та водної території, охоплює 56 км набережної і є однією з найбільших у світі штучних гаваней. Порт має різноманітні потужності для обробки будь-яких видів вантажів. Тут розташовано 27 терміналів на 270 причалів. Окрім найсучасніших контейнерних терміналів, порт має потужності для перевалки навалювальних, насипних, наливних, складських та автомобільних, газових вантажів, а також сучасний Всесвітній круїзний центр. Порт Лос-Анделес і Лонг-Біч разом утворюють найбільший в США портовий район, один з найбільших по вантажообігу в світі. Тут розташований п'ятий в світі за обігом контейнерний термінал (14,2 млн TEU у 2008 році).

Також в межах міста і його околиць розташований ряд бухт, пристосованих для стоянки маломірних суден та яхт. Нафтогавань доступна для танкерів з осіданням до 18 м. Довжина причального фронту понад 25 км. Причали Лос-Анджелеса обладнані сучасними пристроями для навантаження вантажів. Ввозяться такі морські вантажі: нафта і нафтопродукти, генеральні вантажі, каучук, сталь, продукти хімічної промисловості, різні гази. Вивозяться: руди, зерно, вугілля, промислові вироби.

Підхідний канал має підтримувану глибину 24,6 м. Гавань огорожена вигнутим хвилерізом довжиною 3399 м, його розширення на північний схід створює вхідний отвір шириною 609 м.

Головний канал порту: Західний басейновий канал і Східний басейновий канал були поглиблені до глибини 16,1 м.

Судноплавний канал Глен Андерсон веде на північний захід через хвилеріз до Головного каналу приблизно на 0,7 м; там він розгалужується на:

- Супертанкерний канал: веде на західно-західний напрямок до розворотного басейну біля входу до Східного каналу, глибина 16,15 м.

- Вхідний канал Pier 300 & Pier 400: веде на північний схід до нового контейнерного басейну, глибина входу 24,6 м.

- Головний канал: веде на північ до поворотного басейну Внутрішньої гавані, потім через канал Східного басейну та канал Серрітос, який з'єднує його з гаванню Лонг-Біч.

Довжина Головного каналу становить 1,5 милі, ширина 305 м, а глибина нещодавно збільшилася до 16,15 м до Західного басейну включно. Поворотний басейн, розташований на північ від мосту Вінсента Томаса, має діаметр 488 м і глибину 16,1 м. Західний басейн простягається на захід від поворотного басейну і має довжину берегової зони обробки вантажів 3587 м.

- Канал Східного басейну має ширину 198 м на південному кінці і 228 м при підході до Східного басейну, глибину 16,1 м в руслі і поворотному басейні.

Лоцманська проводка виконується по заявці через судового агента. Зв'язатися можна по УКВ радіостанції на 73 каналі. Викликати «KEB 206 Los Angeles Pilots» не менше, ніж за 2 години до прибуття в порт. Приймання лоцмана проводиться поблизу радіобуя Rason Buoy №3. Ділянка приймання лоцмана обирається агентом або капітаном судна.

Якірна стоянка: Постоновка на якір проводиться поблизу хвилеріза Federal Breakwater G1-G4, F1-F4. Судна, перебуваючи на якорі зобов'язані зв'язуватися з «Vessel Traffic Information Service (VTS)» по УКВ радіостанції на 16 каналі. Вахтові помічники зобов'язані постійно стежити за місцезнаходженням судна та чи не відбувається зміщення.

Буксирне забезпечення: Буксири доступні 24 години на добу. Замовляються по прибуттю в порт.

Діапазон приливів і відливів складає – 2,7 м.

Щільність води в порту – 1025.

Зв'язок: Усі судна зобов'язані моніторити канали: 16 і 13, а також на робочі канали 79A і 67. Лоцмани порту Los-Angeles на 16 і 73 каналі. USCG Капітан порту на 6, 16, 12, 22A каналах.

Портові буксири працюють на 77 каналі.

Морські буксири працюють на 8 і 16 каналах.

Крти: ВА 1081, 1082, 8004, 1063. Admiralty Pilot NP8, NP286(5). US 18749, 18751, 18746. US Coast Pilot 7.

Переважаючий вітер – Західний.

Основні навігаційні засоби: Підходи: Маяк Лос-Анджелеса, біла кругла вежа на бетонній основі, висотою 22 м (33 42.51'N 118 15.10'W, світлова послідовність Fl (1).G.15s, видно з 14 миль).

Внутрішня гавань: Радіовежа (сигнальні вогні) на даху мерії Сан-Педро (33 44.29'N 118 16.81'W).

Димова труба на острові Термінал (33 45.55'N 118 14.46'W).

Перелік документів, необхідних для оформлення приходу / відходу в порту Лос-Анджелес:

1. Agriculture Declarations (Form AIQ 43);
2. Complete Manifest deposited with Customs, original and traveller;
3. Complete manifest returned to vessel (traveller);
4. Crewman's Landing Permit (Form I-95A);
5. Dangerous Cargo Manifest deposited with Captain of the Port;
6. International Ship Security Certificate;
7. Manifest of first port cargo deposited with Customs broker;
8. Quarantine Declarations (Form PHS 43);
9. Visaed Crew List (Form I-418);
10. Certificate of Financial Responsibility (COFR);
11. Crew list;
12. International Oil Pollution Prevention Certificate;
13. Safe Manning Document;
14. Set Officer's Licences;
15. Shipboard Oil Pollution Emergency Plan (SOPEP);
16. Ship's particulars;
17. Safety Construction Certificate.

Нижче на рис. 2.3 представлений план порту Лос-Анджелес [13].

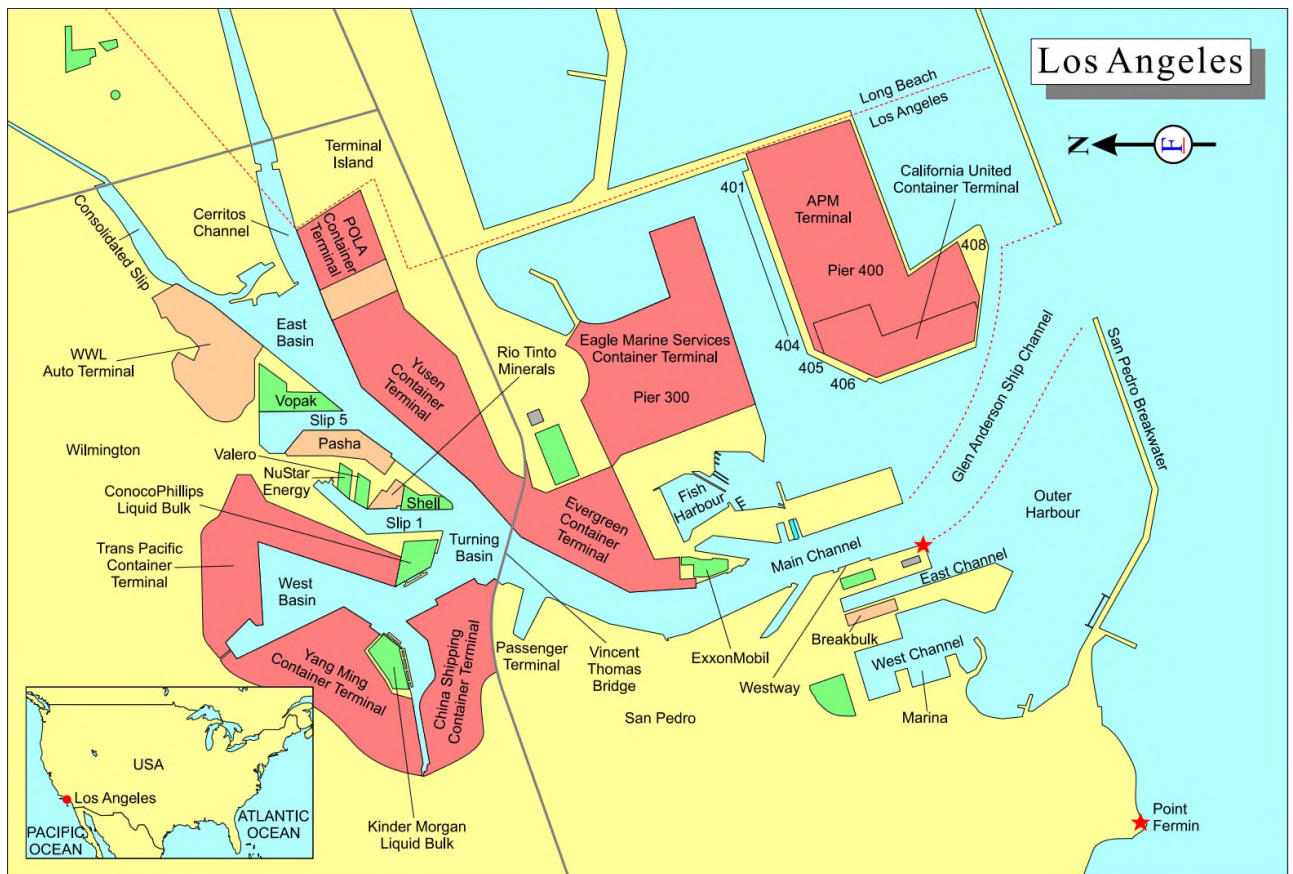


Рисунок 2.3 – План порту Лос-Анджелес

Список ЗНО, які зустрінуться на переході показаний у табл. 2.8 [14].

Таблиця 2.8 – ЗНО використовувані на переході

N п/п	Назва	Координати φ і λ	Дальність видимості, милі	Характеристика
1	2	3	4	5
1	Tower Kashima	35° 57,2'N 140° 41,44'E	16	White, red 1,3
2	Маяк Kashima	35° 57,4'N 140° 42,74'E	9	FL (1) 3s 15m 9M
3	Маяк	35° 55,5'N 140° 42,4'E	11	F 30m 11M
4	San Simeon	34° 26,9'N 120° 28,2'W	20	FL (1) 30s 40.5m 20M

Продовження табл. 2.8

1	2	3	4	5
5	Santa Barbara	34° 23,9'N 119° 43,3'W	15	FL (1) 10s 43.3m 15M
6	Pt Hueneme	34° 08,7'N 119° 12,6'W	20	FL (5) 30s 15.9m 20M
7	Anacapa	34° 00,9'N 119° 21,6'W	20	FL (2) 60s 84.4m 20M
8	Pt Vicente	33° 44,5'N 118° 24,6'W	24	FL (2) 20s 54.6m 24M
9	Point Fermin	33° 42,3'N 118° 17,6'W	13	FL (1) 10s 36.6m 13M
10	Los Angeles	33° 42,5'N 118° 15,1'W	22.3	Black, white 2,1
11	Long Beach	33° 43,4'N 118° 11,2'W	20	FL (1) 5s 15.2m 20M

Описані ЗНО охоплюють весь район плавання.

2.3 Навігаційні розрахунки для забезпечення безпеки плавання

2.3.1 Розрахунок ортодромії

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

Найвигіднішим шляхом можна вважати той шлях, що був завершений у можливо найкоротший час, не був зв'язаний з необґрунтованим ризиком посадки на мілину або небезпеку зіткнення з іншими суднами, що відповідав рекомендованому маршруту і був обраний з урахуванням гідрометеорологічних факторів, що забезпечують схоронність вантажу. Основною, для вибору

найвигіднішого шляху, як правило, є найкоротша відстань між двома точками. На поверхні сфероїда найкоротшою лінією між двома точками є геодезична лінія, на сфері – дуга великого кола. При виборі трансокеанського шляху необхідно розраховувати плавання по ортодромії [15].

Ортодромія є найкоротшою відстанню між двома крапками на земній сфері.

Щоб вирішити питання про доцільність плавання по дузі великого кола, користуються таблицею 23-б МТ-75, у якій приведені різниця між довжиною локсодромії (S) і ортодромії (D) для двох точок, або по формулах.

Перехід Кашима – Лос-Анджелес включає в себе океанський перехід, тому розрахуємо доцільність проходження по ДВК на цій ділянці.

Точки мають наступні координати:

1) $\varphi_n = 36^{\circ}01,0'N$, $\lambda_n = 140^{\circ}46,0'E$; і

2) $\varphi_k = 34^{\circ}24,8'N$, $\lambda_k = 120^{\circ}24,5'W$

Проводжу розрахунки за наступною послідовністю:

1. Визначимо різницю широт:

$$PШ = \varphi_k - \varphi_n; \quad (2.1)$$

$$PШ = 34^{\circ}24,8'N - 36^{\circ}01,0'N = -01^{\circ}36,2' = -96,2'$$

2. Визначимо різницю довгот:

$$PД = \lambda_k - \lambda_n; \quad (2.2)$$

$$PД = 120^{\circ}54,5'W - 140^{\circ}46,0'E = 261^{\circ}40,5' = \\ -261^{\circ}40,5' + 360^{\circ} = 98^{\circ}19,5' = 5899,5'$$

3. Розрахуємо різницю меридіональних частин РМЧ в екваторіальних милях:

$$PМЧ = 3437,75 \cdot \ln \left[\operatorname{tg} \left(45^{\circ} + \frac{\varphi_k}{2} \right) + \operatorname{tg} \left(45^{\circ} + \frac{\varphi_n}{2} \right) \right]; \quad (2.3)$$

$$PМЧ = 3437,75 \cdot \ln \left[\operatorname{tg} \left(45^{\circ} + \frac{34^{\circ}24,8'N}{2} \right) / \operatorname{tg} \left(45^{\circ} + \frac{36^{\circ}01,0'N}{2} \right) \right] = -117,81'$$

4. Визначаєм значення локсодромічного курсу КЛ:

$$\begin{aligned} K_{\text{Л}}' &= \arccos(\text{РМЧ} / \sqrt{\text{РМЧ}^2 + \text{РД}^2}) = \\ \arccos(-117,81' / \sqrt{-117,81^2 + 5899,5^2}) &= 91,144^\circ \end{aligned}$$

При $\text{РД} > 0$ $K_{\text{Л}} = K_{\text{Л}}'$;

$$K_{\text{Л}} = 91,144^\circ$$

5. Розрахунок локсодромічної відстані S_Л:

Оскільки $|\cos K_{\text{Л}}| < 0,01$; то $S_{\text{Л}} = |\text{РД}| \cos \varphi_{\text{Н}}$.

$$S_{\text{Л}} = / \cos 36,017 = 4771,77 \text{ миль}$$

6. Визначимо довжину ортодромії D₀:

$$\cos D_0 = \sin \varphi_{\text{Н}} \cdot \sin \varphi_{\text{К}} + \cos \varphi_{\text{Н}} \cdot \cos \varphi_{\text{К}} \cdot \cos \text{РД}; \quad (2.4)$$

$$\cos D_0 = \sin 36^\circ 01' \text{N} \cdot \sin 34^\circ 24,8' \text{N} + \cos 36^\circ 01' \text{N} \cdot \cos 34^\circ 24,8' \text{N} \cdot (-\cos 261^\circ 40,5') = 0.2358;$$

$$D_0 = 76,36^\circ = 4581,79 \text{ миль}$$

Доцільність плавання по ортодромії дорівнює:

$$\Delta S = S_{\text{Л}} - D_0 \quad (2.5)$$

$$\Delta S = 4771,77 - 4581,79 = 189,98 \text{ миль},$$

а при $V_c = 15$ вузл, тоді $\Delta t = 12,7$ год.

Зробимо розрахунок проміжних точок ортодромії для побудови на карті меркаторской проекції.

Для цього спочатку визначимо значення кута початкового курсу ортодромії, $K_{\text{Н}}$, по формулі:

$$\text{tg} K_{\text{Н}} = \frac{\sin |\text{РД}|}{(\text{tg} \varphi_{\text{К}} \cos \varphi_{\text{Н}} - \sin \varphi_{\text{Н}} \cos \text{РД})}; \quad (2.6)$$

Широти проміжних точок визначимо за формулою:

$$\text{tg} \varphi_i = (\sin |\text{РД}_i| + \text{tg} K_{\text{Н}} + \sin \varphi_{\text{Н}} \cdot \cos \text{РД}_i) + \cos \varphi_{\text{Н}} \quad (2.7)$$

Розрахунки виконаємо в програмі Microsoft Excel, результати розрахунків приведено в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Розрахунок проміжних точок ДВК

№	Широта	Довгота
Початкова точка	36° 01,0' N	140° 46,0' E
I1	43° 37,1' N	160° 00,0' E
I2	45° 42,4' N	170° 00,0' E
I3	46° 54,6' N	180° 00,0' E
I4	47° 12,9' N	170° 00,0' W
I5	46° 38,7' N	160° 00,0' W
I6	45° 09,6' N	150° 00,0' W
I7	42° 39,7' N	140° 00,0' W
Кінцева точка	34° 24,8' N	120° 54,5' W

Різниця між ортодромії і локсодромії становить 189,98 милі, тому через океан ми будемо йти по дузі великого кола, що значно скоротить наш час і запаси.

2.3.2 Складання маршрутних листів

Табличний план переходу (Маршрутний лист) є обов'язкової складової планування переходу. Його готують одночасно з розрахунками для графічного плану переходу.

Маршрутний лист у хронологічному порядку відображає всі події протягом рейсу по переходу. Крапка повороту (waypoint) позначає основну подію. Наступні події між крапками переходу можуть бути представлені у вигляді попереджуючих крапок (alerts) [16].

Виконавши попередню прокладку на рекомендованих відстанях від небезпек (safety margins), проводячи необхідні вимірювання і супутні розрахунки, результати яких представляємо у вигляді маршрутного листа в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Маршрутний лист переходу Кашима – Лос-Анджелес

№ WP	ПК	S, милі	V, вузл	Час пла- вання, діб/год./хв.	Поворотні точки і їх положення щодо примітних орієнтирів					
					Дата і час	φ	λ	Π	D, милі	Назва орієнтира
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	053°	0,05	15	0/00/02	01.07.22 8:02	35° 55,1N	140° 41,1E	064°	1,21	Concrete
2	031°	0,99	15	0/00/04	01.07.22 8:04	35° 55,7N	140° 42,1E	109°	0,28	Concrete
3	006°	0,55	15	0/00/06	01.07.22 8:06	35° 56,1N	140° 42,4E	180°	0,56	Concrete
4	007°	1,02	15	0/00/10	01.07.22 8:10	35° 57,2N	140° 42,5E	033°	0,31	Metal
5	024°	0,38	15	0/00/11	01.07.22 8:11	35° 57,5N	140° 42,6E	252°	0,98	Kashima
6	039°	0,18	15	0/00/12	01.07.22 8:12	35° 57,7N	140° 42,7E	169°	0,3	Metal
7	063°	4,27	15	0/00/29	01.07.22 8:29	36° 01,0N	140° 46,0E	256°	5,9	Tsuno-ore
8	074°	998,57	15	2/19/04/	04.07.22 3:04	43° 37,1N	160° 00,0E	-	-	-
9	080°	446,1	15	4/00/48	05.07.22 8:48	45° 42,4N	170° 00,0E	-	-	-
10	087°	422	15	5/04/56	06.07.22 12:56	46° 54,6N	180° 00,0E	-	-	-
11	095°	410,4	15	6/08/18	07.07.22 16:18	47° 12,9N	170° 00,0W	-	-	-
12	102°	412,44	15	7/11/47	08.07.22 19:47	46° 38,7N	160° 00,0W	-	-	-
13	109°	428,23	15	8/16/20	10.07.22 00:20	45° 09,6N	150° 00,0W	-	-	-
14	119°	458,84	15	9/22/56	11.07.22 6:56	42° 39,7N	140° 00,0W	-	-	-
15	106°	1025,32	15	12/19/17	14.07.22 3:17	34° 24,9N	120° 54,4W	085°	21,8	Pt Conception
16	120°	83,94	15	13/00/53	14.07.22	34° 02,1N	119° 17,1W	074°	3,72	Anacapa

Продовження табл. 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
					8:53					
17	083°	52,78	15	13/04/24	14.07.22 12:24	33° 35,7N	118° 22,4W	031°	7,7	Point Fermin
18	055°	4,8	15	13/04/43	14.07.22 12:43	33° 36,3N	118° 16,7W	352°	6,0	Point Fermin
19	011°	4,7	15	13/05/02	14.07.22 13:02	33° 38,9N	118° 12,1W	325°	4,35	Los Angeles
20	286°	4,69	15	13/05/23	14.07.22 13:23	33° 43,5N	118° 10,9W	230°	0,23	Long Beach
21	-	2,25	15	13/05/30	14.07.22 13:28	33° 43,5N	118° 13,6W	217°	2,08	Los Angeles

Загальна відстань становить: $S_{\text{заг}} = 4762,51$ миль;

Загальна тривалість плавання: 13 діб 05 годин 30 хвилин.

2.3.3 Графічний план переходу

Графічний план переходу представлений на рис. 2.4 [17].

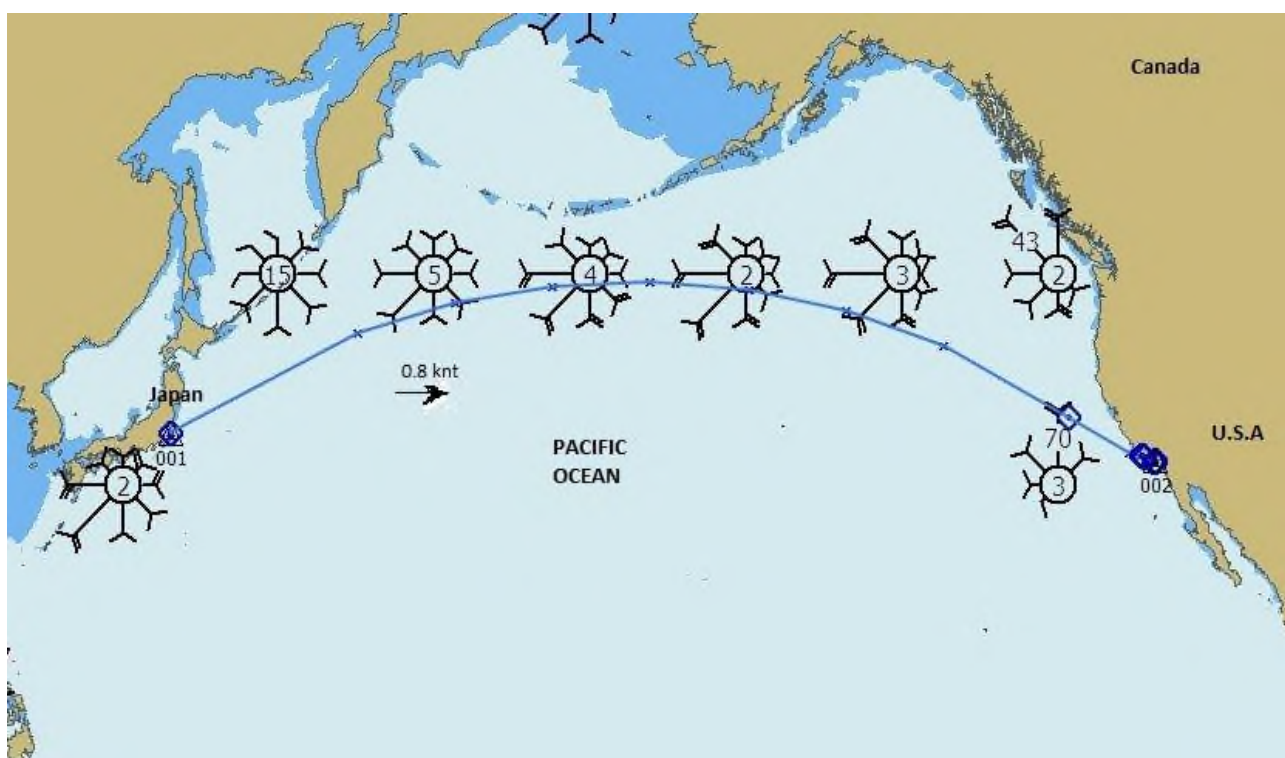


Рисунок 2.4 – Графічний план переходу Кашима – Лос-Анджелес

2.3.4 Розрахунок природної освітленості

Природня освітленість суттєво впливає на безпеку плавання, як про це свідчить аварійна статистика. Судноводію необхідно знати час настання цивільних і навігаційних сутінків, час заходу і сходу Сонця і Місяця.

У момент навігаційних сутінків проводяться виміри висот зірок і планет для визначення місця судна астронавігаційними способами, у момент заходу Сонця спускають Державний прапор, прапори і вимпели. Для проходу небезпечних ділянок, вузькостей, каналів, проток, входу або виходу в портах слід завчасно знати світлий час доби.

Виробнича діяльність судна також іноді залежить від світлого часу.

На перехід була розрахована таблиця освітленості (табл. 2.11) [18].

Таблиця 2.11 – Елементи освітленості

Дата	Початок навігац. сутінків	Сонце				Кінець навігац. сутінків	Місяць		
		Захід		Схід			Захід Тс	Вік, дні	Схід Тс
		Тс	А	Тс	А				
01.07	3:16	4:24	060°	18:57	300°	20:05	11:08	5	23:56
02.07	2:51	4:01	060°	18:45	300°	19:55	12:25	6	00:08
03.07	3:01	4:17	058°	19:21	302°	20:37	13:50	7	1:02
04.07	3:23	4:44	057°	19:04	303°	20:26	15:26	8	2:03
05.07	2:30	3:57	055°	19:32	305°	20:59	15:46	9	1:51
06.07	3:06	4:30	056°	19:56	304°	21:19	17:07	10	2:58
07.07	3:00	4:32	055°	20:17	305°	21:49	18:19	11	3:01
08.07	2:26	3:56	055°	19:34	305°	21:04	18:27	12	3:50
09.07	3:09	4:36	056°	20:07	304°	21:33	19:47	13	5:20
10.07	2:59	4:23	057°	19:47	303°	21:11	20:11	14	6:01
11.07	3:35	4:52	058°	19:58	302°	21:16	21:03	15	7:24
12.07	3:26	4:40	060°	19:31	300°	20:44	21:14	16	8:07
13.07	4:10	5:18	061°	19:50	299°	20:58	21:37	17	8:39
14.07	3:49	4:52	063°	19:04	297°	20:08	22:08	18	10:03

2.3.5 Розрахунок висот приливів та побудова графіків приливів

Характер і величина приливів у Світовому океані відрізняється більшою різноманітністю і складністю. Безпека плавання в морях із приливами вимагає попередніх розрахунків для пророкування рівня моря в заданому районі. Результати розрахунків приливів повинні бути такими, щоб надалі, під час плавання судна в даному районі потреби в складних розрахунках не було.

Інформацію про приливо-відливні потоки представляють спеціальні таблиці елементів таких потоків, що містяться безпосередньо на полях навігаційної морської карти морські райони, що зображують, підданих діям приливо-відливних явищ.

У будь-якому пункті Землі рівень моря постійно змінюється. Причини рівнів коливань можуть бути короткочасними і позовними. Останні обумовлюються, головним чином, підйомами та опусканнями суші; вони незначні за величиною і прямого відношення до безпеки мореплавання не мають. Короткочасні коливання рівня моря можуть носити регулярний (періодичний) і випадковий (неперіодичний) характер. Регулярні коливання рівня викликаються: Приливоутворюючої силами Місяця і Сонця (приливні коливання); періодично змінюються вітрами; річним ходом опадів; випаровуванням; стоком континентальних вод (сезонні коливання) та ін. Випадкові коливання рівня відбуваються під впливом неперіодично мінливого вітру, від різкої зміни атмосферного тиску.

Порт Кашима і Лос-Анджелес є основними портами. Дані по приливним явищам для них беремо з Admiralty Tide Tables Vol.1, Vol.2., які представлені в табл. 2.12 [19].

Таблиця 2.12 – Приливні явища

Кашима		Лос-Анджелес	
1	2	3	4
01/07/25	01/07/25	14/07/25	14/07/25

Продовження табл. 2.12

1	2	3	4
Тп hп	Тп hп	Тп hп	Тп hп
04:04 1,4	18:53 1,3	10:26 1,3	21:20 2,2
Тм hм	Тм hм	Тм hм	Тм hм
11:32 0,1	23:35 1,0	03:51 -0,5	15:05 0,6

На рис. 2.5 представлено графік приливів в порту Кашима, а на рис. 2.6 представлено графік приливів в порту Лос-Анджелес.

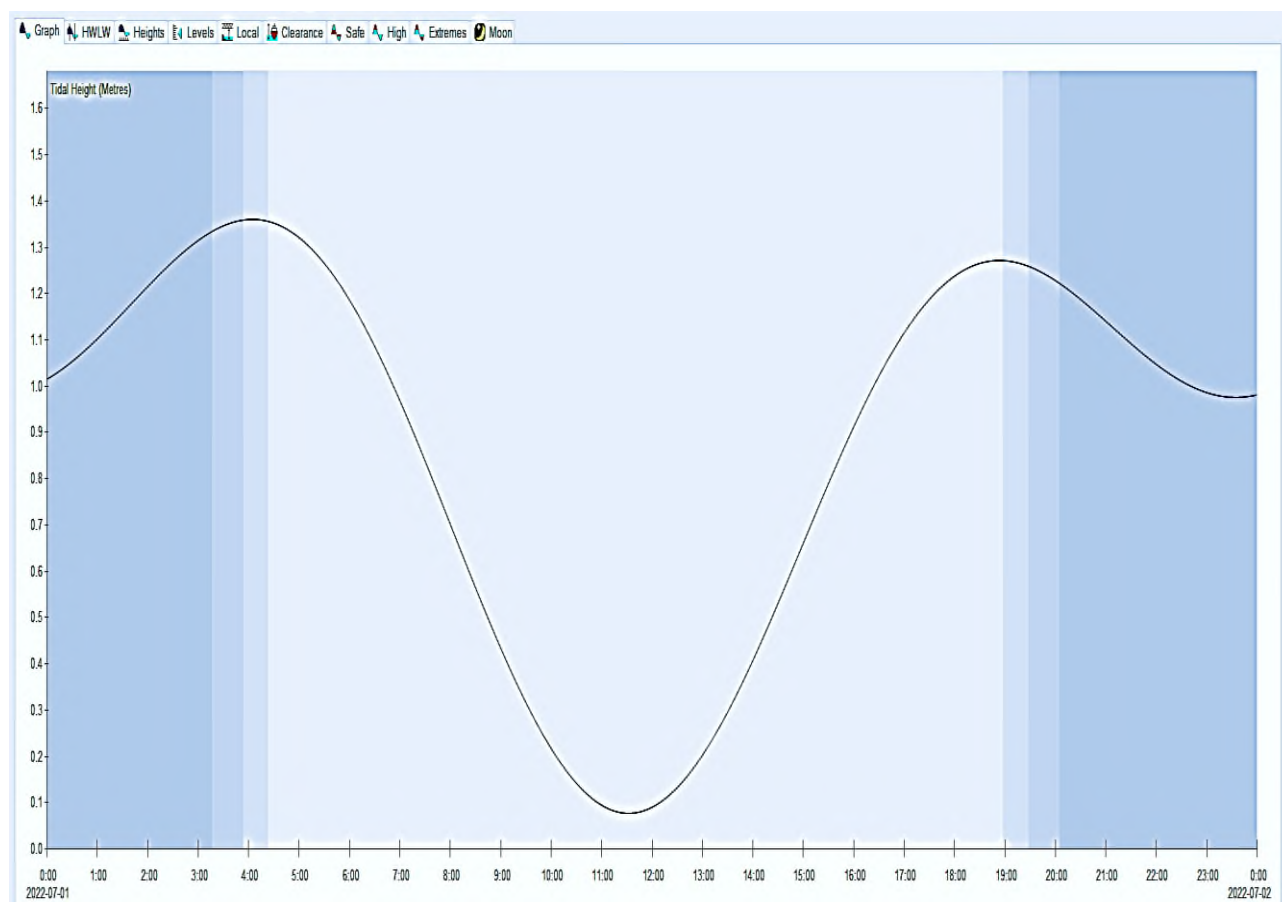


Рисунок 2.5 – Графік повної і малої води для порту Кашима

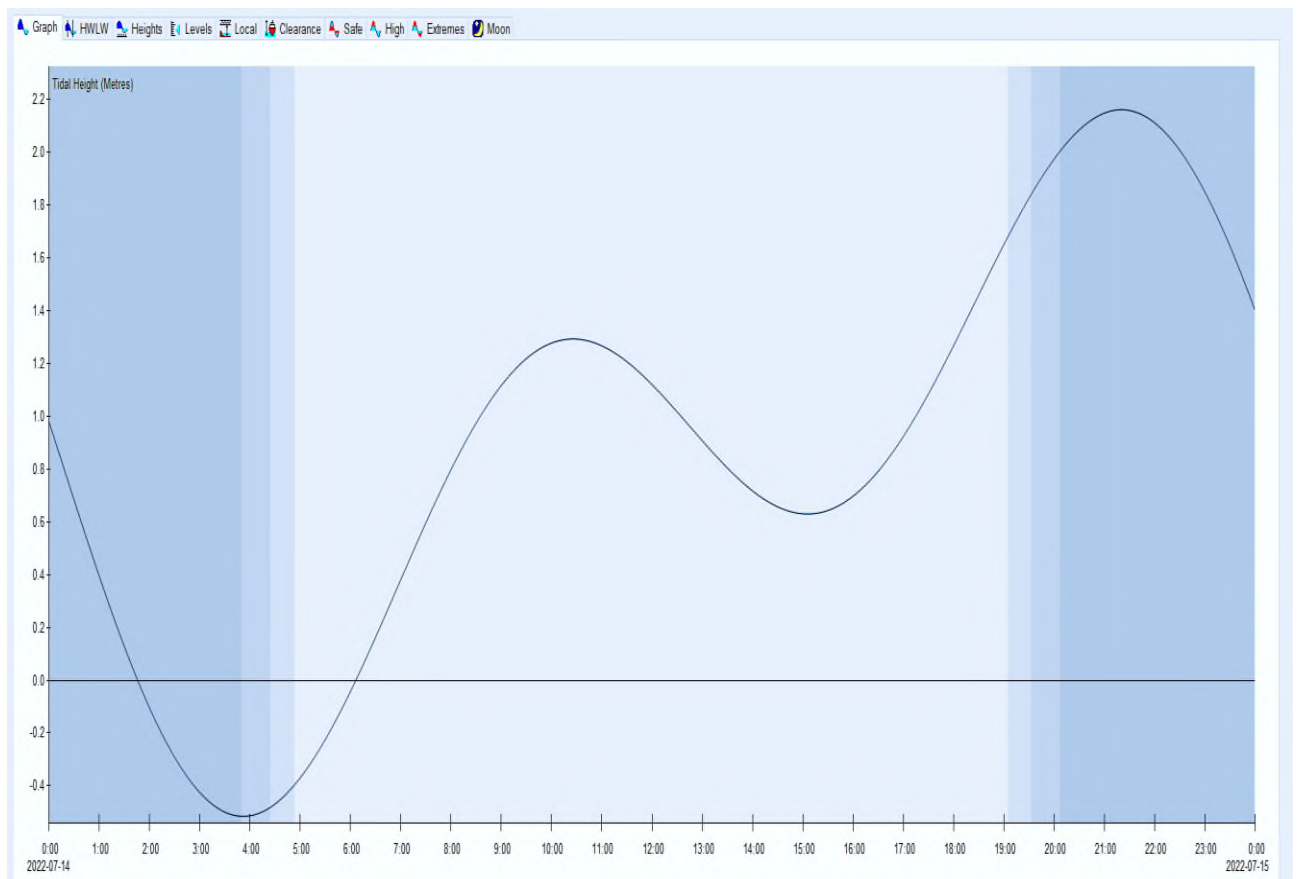


Рисунок 2.6 – Графік повної і малої води для порту Лос-Анджелес

За графіками можливо визначити запас води під кілем для різного часу доби.

2.4 Висновки

Оцінка навігаційного переходу Кашима – Лос-Анджелес підтвердила можливість виконання рейсу із заданими параметрами із належним рівнем безпеки мореплавання на всіх ділянках шляху. В розділі виконано повний аналіз і планування переходу Кашима – Лос-Анджелес, включаючи вибір та перевірку карт, публікацій, засобів зв'язку, ЗНО, гідрометеорологічних умов, приливів і освітленості. Сформовано безпечний маршрут, загальна довжина якого становить 4762,51 морської милі при

тривалості рейсу 13 діб 5 годин 30 хвилин за розрахункової швидкості 15 вузлів.

Визначено, що на всьому переході забезпечено навігаційне покриття: підібрано повний комплект морських карт, довідників, ALRS, пілотів, припливних таблиць, а також засобів отримання навігаційної і гідрометеорологічної інформації (NAVTEX, NAVAREA, факсимільні карти погоди, VTS).

Для прибережних ділянок детально опрацьовано умови входу/виходу і стоянки в портах Кашима та Лос-Анджелес, включаючи глибини каналів, обмеження осадки, схеми лоцманської проводки, якірні стоянки, вимоги до документів та особливості роботи з портовими службами.

У комплексі виконані розрахунки і підготовчі заходи дають змогу вважати розроблений маршрут технічно обґрунтованим і придатним до практичної реалізації з необхідним рівнем навігаційної безпеки.

РОЗДІЛ 3

ОБРОБКА ТА РОЗМІЩЕННЯ ВАНТАЖІВ

3.1 Транспортні характеристики вантажів

3.1.1 Наливні вантажі

Одним з етапів планування комплексної проробки рейсу судна є детальне вивчення особливостей вантажів, для їх правильного підрахунку, розміщенню та збереженню під час транспортування, що сприяє загального забезпечення безпеки плавання судна, та вчасної доставці до отримувача [20].

В даному рейсі до перевезення приймається суміш пропан-бутан.

Даний газ відноситься до зріджених вуглеводневих газів (ЗВГ) або зріджений нафтовий газ (ЗНГ; англ. Liquefied petroleum gas (LPG)), що представляє собою суміш зріджених під тиском легких вуглеводнів із температурою кипіння від -50 до 0 °С. Такі гази призначені для застосування як паливо, а також використовуються як сировина для органічного синтезу. Склад може істотно відрізнятися; основні компоненти - пропан, ізобутан і н-бутан.

Пропан-бутан – це суміш зріджених пропану (C_3H_8) і бутану (C_4H_{10}), а також невеликої кількості (до 1 %) ненасичених вуглеводнів. Крім того, до нього додають трохи речовин, які мають сильний запах, що дозволяє виявити виявлення витікання. Сировину для ЗВГ видобувають у газоконденсатних родовищах, а також із нафтових супутніх і газів, одержуваних у процесі переробки нафти. Пропан-бутан широко застосовується в багатьох країнах світу для потреб промисловості, комунально-побутового та житлового секторів, нафтохімічних виробництв, та як автомобільне паливо.

В основному термін «зрідженні нафтові гази» використовується в термінології нафтової індустрії для позначення цілої групи вуглеводнів або їх сумішей, які здебільшого складаються з пропану і бутану. Однак таке

визначення не є досить точним, оскільки кожен з різних типів вуглеводнів може стати рідиною при певних умовах. За загальноприйнятим нормами до числа зріджених нафтових газів відносять зазвичай такі гази:

- пропан;
- пропилен;
- нормальний бутан;
- 3-бутан;
- бутилен.

Беспрімесний пропан нічим не пахне і не має забарвлення, тому для визначення присутності цього газу в нього додають сторонні пахучі речовини. Бутан, в свою чергу, володіє відмінним запахом, контакт з яким може привести до асфіксії і проблем з серцем. Обидва гази володіють високими вибуховими властивостями.

Гази мають небезпечні властивості і віднесені до 2 класу небезпеки за кодексом IMDG [21]:

Пропан – UN 1978 відноситься до класу 2F;

Бутан – UN 1011 також відноситься до класу 2F.

Клас 2 – це гази сжаті, зріджені охолодженням, розчинені під тиском, а також суміші газів і вироби, що містять такі речовини. При цьому газом називаємо речовину, яка при температурі 50 °C має тиск пару більше 300 кПа (3 бар) або є повністю газоподібним при температурі 20 ° C і нормальному тиску 101,3 кПа. На рис. 3.1 приведений символ небезпечного вантажу 2-го класу.

Підклас 2F – Легкозаймистий зріджений газ.



Рисунок 3.1 – Небезпечний вантаж UN1978 та UN1011

В табл. 3.1 представлені загальні характеристики пропану і бутану.

Таблиця 3.1 – Характеристики зріджених газів

Назва газу	Молекулярна вага, г/моль	Температура кипіння при атмосферному тиску, °C	Критична температура, °C	Критичний тиск, кПа	Відносна густина рідини 15°C/15°C	Відносна густина парів (повітря = 1)
Пропан	44,097	-42,07	96,67	4249	0,5083	1,5225
Бутан	58,124	-0,49	152,01	3797	0,5847	2,0068

Найбільш поширена суміш пропану-бутану технічна, приблизно в однаковому співвідношенні.

Суміш, яка представлена для перевезення має наступні характеристики:

1. Густина рідкої фази:

При температурі 15°C щільність суміші, що складається з 60% пропану (C₃H₈) і 40% бутану (C₄H₁₀), становить 0,5389 кг/м³.

2. Зниження температури призводить до збільшення щільності.

Щільність такої пропан-бутанової суміші буде збільшуватися на 0,0016 кг/м³ за кожен градус зниження температури.

Таким чином, при зниженні температури з 15°C до -8°C (на 23 градуси) збільшення щільності на складає:

$$0,0016 \text{ кг/м}^3 \cdot 23 = 0,0368 \text{ кг/м}^3$$

Отже, щільність при завантаженні -8°C становить:

$$0,5389 \text{ кг/м}^3 + 0,0368 \text{ кг/м}^3 = 0,5757 \text{ кг/м}^3$$

Загальні транспортні характеристики пропану-бутану приведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні характеристики вантажів

№ п/п	Назва вантажів	IGC Code			Норми вантажних робіт, т/год	
		Номер ООН	Тип судна	Спеціальні вимоги	Завантаження	Розвантаження
1	Пропан- бутан	1978 та 1011	2G	-	560	450

Тип судна 2G – це судно газовоз, яке призначено для перевезення продуктів поіменованих у розділі 19 (IGC Code) і на якому потребується прийняття в достатньо великих масштабах дій по запобіганню витоку вантажу, віднесених до таких продуктів.

Правила, що регламентують перевезення вантажу: SOLAS-74, CH VII; MARPOL-73/78; ISGOTT; IGC Code; OCIMF SIRE; CDI SIR; Рекомендації ООН з перевезення небезпечних вантажів. Типові правила (ST/SG/AC.10/1/REV/18); Процедури СУБ компанії.

3.2 Підготовка вантажних приміщень до прийому вантажу

Номенклатура, властивості вантажів, характеристики вантажних приміщень і умови майбутнього рейсу зумовлюють підготовку судна. Всі вантажні пристрої судна повинні бути повністю підготовлені до прийому вантажу, обумовленого в договорі морського перевезення. Взаємна інформація судна і порту призначення про час прибуття і про вантаж дозволить скоротити стоянку судна в порту і своєчасно підготувати вантажні пристрої судна і причал порту до вантажних операцій.

У попередній інформації Капітан повинен повідомити відомості про осадку судна, кількість вантажу і розподіл його по трюмах або танках, наявності палубного вантажу, найменування вантажоодержувачів, справність суднових перевантажувальних засобів, а також про всі потреби судна в паливі, воді, продуктах, необхідному ремонті та інших потребах судна, задоволення яких входить в обов'язки порту.

Підготовка до прийому вантажу включає в себе продувку танків від повітря азотом, випаровування та заохолодження танків парами вже наявного до перевозки вантажу.

Послідовність дій при продувці азотом з терміналу [22-23].

1. Розпочати продувку вантажних танків з темпом 200 м³/год через вейпорний маніфольд.

2. Коли тиск у вантажних танках рівнятиметься 0,04 – 0,05 Bar, відкрити ліквідний маніфольд з морської сторони.

3. Тримати вище указаний тиск у вантажних танках, для можливості узяти зразок з семпльпоінтів.

4. Для утримання тиску регулювати відкриття клапану маніфольда

5. Перевіряти вміст кисню з топу, середини та з дна танків кожен годину, робити запис у N₂ Purging Report.

6. Темп 200 м³/год - перші 3 години.

7. Темп 800 м³/год – 2 години після (6).

8. Темп 1500 м³/год – весь залишений час.

9. Перевіряти точку роси з сюрвейєром, робити запис в N₂ Purging Report та Судновій вантажний журнал.

10. Коли вміст O₂ буде близьким до 0,2% та температура точки роси близька до -25⁰C, розпочати пресування вантажних танків до 1Bar (ліквідний маніфольд закрити) для виконання мильного тесту. Для цього потрібно отримати дозвіл сюрвейєра.

11. Коли тиск у вантажних танках буде близьким до 1 Bar зупинити продувку азотом та виконати мильний тест.

12. По проходженню мильного тесту, спустити тиск з танків, щоб продути вантажну систему

13. Після зменшення тиску, підготувати вантажне обладнання для випаровування (gassing-up).

Послідовність дій для випаровування та заохолодження.

1. Розпочати отримувати зріджений Пропілен через ліквідну лінію на дну танку з темпом 4 т/год.

2. Регулювати клапан маніфольду, щоб стримувати мінімальний темп.

3. Регулювати філінги для рівномірного випаровування в усіх танках.

4. Вивантажувати азот через вейпорну зворотню лінію.

5. Перевіряти контент гідрокарбону та температуру у танках разом з інспектором, робити запис до вантажного журналу.

6. Увесь час ліквідна та вейпорна лінія повинні бути відкриті.

7. Коли вантажні танки будуть прийняті інспектором, стартувати компресори, закрити вейпорну зворотню лінію, відкрити топ спрей в танках.

8. Розпочати заохолодження корпусів танків з приблизним темпом 10⁰/год.

9. Коли температура каркасу стане -40⁰С, інформувати термінал про готовність судна розпочати завантаження.

Завантаження і розвантаження вантажів на судні супроводжується оформленням ряду документів, що проходять через судно і візованих капітаном, старшим помічником і судовими тальманами. Вони включають:

- загальні документи вантажного звіту;
- документи про кількість і приналежність вантажу;
- документи, що засвідчують якісне полягання вантажу;
- документи про час поводження з вантажем на судні.

Документи про кількість і приналежність вантажу [24]:

1. Вантажний ордер (Shipping Order) – первинний транспортний документ, що містить всі необхідні дані про вантаж і служить підставою для його приймання на судно або виписки коносаменту на цей вантаж; підписується вантажовідправником. У разі передачі вантажу на судно на підставі вантажного

ордера, старший помічник ставить свій підпис на копіях, які з цієї миті називаються штурманською розпискою.

2. Тальманська розписка (Tally Sheet) – підписується лічильником вантажу від судна і від порту і використовується при оформленні документів на передану кількість вантажів, а також при розгляді претензій по вантажу.

3. Списки на вантажі, дозволені митницею – підписуються представниками порту, повинні звірятися з даними тальманських розписок. Якщо при здачі вантажу вантажоодержувач робить зауваження по зміні якості вантажу, що відбулася не з вини судна, старший помічник зобов'язаний зробити запис в графі зауважень про те, що судно не несе відповідальності за вказані одержувачем дефекти.

Документи про час робіт з вантажем на судні

1. Нотіс про готовність (Notice Readiness) – документ, що засвідчує готовність судна до виробництва вантажних операцій. Нотіс про готовність вважається документом, що визначає початок часу стоянки, якщо він поданий в терміни, встановлені договором про морське перевезення. Підписується капітаном.

2. Таймшит (Time Sheet) – акт обліку часу стоянки – складають в кожному порту вантаження і вивантаження. Його підписує капітан і представник фрахтувальника.

3. Гарантійний лист (Letter Indemnity) – лист про відшкодування збитку вантажовідправником по загальній аварії і іншим витратам по вантажах, що відправляються. Його складає агент вантажовідправника на підставі штурманських розписок для видачі чистого коносаменту.

4. Список обмовок на невідповідність параметрів вантажу або маси вантажних місць з додатком листа агента судновласника на адресу фрахтувальника про захист інтересів судновласника, на випадок пред'явлення претензій по доставленому вантажу в порт призначення.

5. Акт по сталійному часу – складають при виникненні суперечок по численню періоду часу навантажувально-розвантажувальних робіт.

3.3 Розрахунок чистої вантажопідйомності судна

Повна розрахункова водотоннажність судна Δ_p , що служить вихідною величиною при визначенні його чистої вантажопідйомності Δ_q на рейс, залежить від вантажних марок у портах завантаження і розвантаження та 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 [25].

Перехід Кашима – Лос-Анджелес проходить у зоні дії літньої вантажної марки. Обмеження по осадці в акваторії портів відсутні для даного судна.

Повна водотоннажність по літню вантажну марку (з ТЕХ судна):

$$\Delta_p = 37097 \text{ т.}$$

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

$$\Delta_w = \Delta_p - \Delta_0, \quad (3.1)$$

де Δ_0 – водотоннажність судна порожньому, т.

$$\Delta_w = 37097 - 10799 = 26298 \text{ т}$$

Ходовий час визначається по формулі:

$$t_p = S / (V_s \cdot 24) + t_{зп}, \quad (3.2)$$

де: V_s – швидкість судна;

S – довжина траси переходу, милі;

$t_{зп}$ – час затримок судна в шляху, діб.

$$t_x = 4762,51 / (15 \cdot 24) = 13,22 \text{ діб.}$$

Нормативна тривалість стояночного часу розраховується по формулі:

$$t_{\text{ст}} = \frac{\sum Q_i}{M}, \quad (3.3)$$

де: Q_i – кількість вантажу, т;

M – валова норма вантажних робіт, т/добу.

На борт судна за умовами рейсу приймається 19827,2 т вантажу.

$$t_{\text{ст}} = 19827,2 / (560 \cdot 24) + 19827,2 / (450 \cdot 24) + 0,28 = 3,3 \text{ доби}$$

В даному випадку – 0,28 діб це додатковий час витрачений в порту.

Кількість вантажу, що може прийняти судно, залежить від величини запасів.

Зазвичай немає необхідності враховувати стояночні запаси, що витрачають у порту навантаження, тому що до моменту закінчення навантаження стояночні запаси, передбачені на час навантажування будуть витрачені.

Загальна кількість рейсових запасів $P_{\text{зап}}$ розраховується як сума ходових запасів $P_{\text{зап}}^x$ і необхідних для порту вивантаження стояночних запасів $P_{\text{зап}}^{\text{ст}}$:

$$P_{\text{зап}} = P_{\text{зап}}^x + P_{\text{зап}}^{\text{ст}}; \quad (3.4)$$

Кількість ходових запасів становить суму:

$$P_{\text{зап}}^x = P_{\text{т}}^x + P_{\text{в}}^x + P_{\text{см}}^x; \quad (3.5)$$

де $P_{\text{т}}^x$, $P_{\text{в}}^x$, $P_{\text{см}}^x$ – відповідно кількість палива, води і мастила необхідне на перехід від порту навантаження до порту вивантаження.

$$P_{\text{т}}^x = q_{\text{т}}^x \cdot t_{\text{х}} \cdot k_{\text{шт}}; \quad (3.6)$$

$$P_{\text{в}}^x = q_{\text{в}}^x \cdot t_{\text{х}} \cdot k_{\text{шт}}; \quad (3.7)$$

$$P_{\text{см}}^x = q_{\text{м}}^x \cdot P_{\text{т}}^x \cdot k_{\text{шт}}; \quad (3.8)$$

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

$$P_{T(\text{маз})}^x = 22,9 \cdot 13,22 = 302,7 \text{ т}$$

$$P_{T(\text{диз})}^x = 1,5 \cdot 13,22 = 19,8 \text{ т}$$

$$P_B^x = 5 \cdot 13,22 = 66 \text{ т}$$

$$P_{\text{см}}^x = 0,2 \cdot 13,22 = 2,6 \text{ т}$$

$$P_{\text{зап}}^x = 302,7 + 19,8 + 66 + 2,6 = 391,1 \text{ т}$$

Аналогічно знаходять кількість стояночних запасів:

$$P_{\text{зап}}^{\text{ст}} = P_T^{\text{ст}} + P_B^{\text{ст}} + P_{\text{см}}^{\text{ст}}; \quad (3.9)$$

$$P_T^{\text{ст}} = q_T^{\text{ст}} \cdot t_{\text{ст}}; \quad (3.10)$$

$$P_B^{\text{ст}} = q_B^{\text{ст}} \cdot t_{\text{ст}}; \quad (3.11)$$

$$P_{\text{см}}^{\text{ст}} = 0,05 \cdot P_T^{\text{ст}}; \quad (3.12)$$

де $q_T^{\text{ст}}$, $q_B^{\text{ст}}$, $q_{\text{м}}^{\text{ст}}$ – добова норма витрати палива, води та масла на стоянці судна відповідно, т/добу.

$$P_T^{\text{ст}} = 1,8 \cdot 3,3 = 5,94 \text{ т}$$

$$P_B^{\text{ст}} = 1,5 \cdot 3,3 = 4,95 \text{ т}$$

$$P_{\text{см}}^{\text{ст}} = 0,15 \cdot 3,3 = 0,5 \text{ т}$$

$$P_{\text{зап}}^{\text{ст}} = 5,94 + 4,95 + 0,5 = 11,39 \text{ т}$$

$$P_{\text{зап}} = 391,1 + 11,39 = 402,5 \text{ т}$$

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

$$\Delta_{\text{ч}} = \Delta_W - (P_{\text{зап}} + \text{const}); \quad (3.13)$$

де const – екіпаж, постачання і ін.

$$\Delta_{\text{ч}} = 26298 - (402,5 + 126,7) = 25768,8 \text{ т}$$

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

Так як щільність прийнятого до перевозки вантажу менша за одиницю, це значить що, завантажувати судно необхідно по вантажомісткості, а не по

вантажопідйомності. Загальний допустимий об'єм танків для завантаження 34440 м³, тоді чиста вантажопідйомність судна визначається наступним чином:

$$\Delta_{\text{ч}} = V_{\text{танків}} \cdot \rho_{\text{вантажу}}; \quad (3.14)$$

$$\Delta_{\text{ч}} = 34440 \cdot 0,5757 = 19827,2 \text{ т}$$

Зведемо дані про масу і об'єм вантажу в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Відомості про маси і об'єм партій вантажу, який приймається

Найменування вантажу	Маса вантажу Q_i , т	Щільність, ρ , т/м ³	Об'єм займаний вантажем V_i , м ³
Пропан-бутан	19827,2	0,5757	34440

Виконаємо перевірку:

$$Q \leq \Delta_{\text{ч}}, \quad (3.15)$$

$$19827,2 \leq 19827,2 \text{ т};$$

$$V \leq W_{\text{с}}, \quad (3.16)$$

$$34440 \leq 34440 \text{ м}^3.$$

Фактична маса та об'єм вантажів не перевищують розраховану чисту вантажопідйомність судна на рейс, та об'єм судових вантажних приміщень.

3.4 Складання вантажного плану

Перевізник несе відповідальність за неправильне розміщення вантажів на судні. Неправильне або невдале розміщення вантажів, перевантаження окремих відсіків неминуче приводить до перенапружень корпусу, а в окремих випадках до пошкоджень і навіть аварії судна. Тому судно повинне бути завантажено так,

щоб не з'явився крен, були належний диферент і достатня остійність, не були порушені умови місцевої і загальної міцності. Це досягається відповідним розподілом вагового завантаження по вантажних приміщеннях судна.

Розподіл вантажів виконано в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Розміщення вантажів на судні

№	Найменування приміщення	Об'єм вантажів, м ³	Маса вантажів, т
1	NO.1 CARGO TANK(P)	4771,4	2746,9
2	NO.1 CARGO TANK(S)	4774,0	2748,4
3	NO.2 CARGO TANK(P)	7210,5	4151,1
4	NO.2 CARGO TANK(S)	7221,6	4157,5
5	NO.3 CARGO TANK(P)	5232,2	3012,2
6	NO.3 CARGO TANK(S)	5230,3	3011,1
	Разом:	34440,0	19827,2

У подальших розрахунках будемо опиратися на дану таблицю.

3.5 Характеристика експлуатаційних умов рейсу

При складанні вантажного плану необхідно в комплексі враховувати характеристики судна, вантажів, траси і портів заходу. Далі описуємо порти заходу з точки зору оцінки їх вантажних можливостей [13]:

Порт відходу: Кашима (густина води – 1,025т/м³)

Розташування: на східному узбережжі острова Хонсю, в 90 км від Токіо.

Опис порту: великий порт, що обробляє різні вантажі. Порт може приймати газовози 100000 dwt, довжиною 258 м і осадкою 13,8 м. В порту є можливість поповнити запаси палива, прісної води і т.п.

Обладнання для LPG танкерів: Обробка танкерів проводиться на причалі COP No.2. Є вантажні лінії, лінії для парів. Продуктивність вантажних робіт - 1200м³ / ч, максимальний тиск на маніфолді - 9кг / см². Температури вантажів: для пропану від -40 ° С до -45 ° С, для бутану від -2 ° С до -4 ° С.

Часи роботи: Одна робоча зміна. Звичайний час їхньої роботи: 0800 - 1700. Понаднормова робота можлива при зверненні в митницю. Неділя вихідний. Доплата за понаднормові 1630 - 2130 (Додатково 60%), 2130 - 0830 наступного ранку (Додатково 120%), неділя та вихідні (Додатково 100%).

Свята: 31 грудня по 6 січня (Новий Рік), 14 - 16 Августа (Свята).

Паливо: є всі види морського палива, подається зазвичай баржею. Потрібно повідомити компанію за 7 днів.

Вода: доступні баржі з водою 1 х 350 тонн і 1 х 160 тонн. Гідранти біля причалів Харуми і центральному пірсі Ідеміцу. Швидкість подачі води 50 тонн на годину у баржі, і 20 тонн годину біля причалів.

У порту Кашима діє літня вантажна марка.

Порт прибуття: Лос-Анджелес (густина води - 1,025т/м³)

Розташування: на південно-західному узбережжі Каліфорнії, в бухті Сан Педро.

Опис: забезпечений 26 вантажними терміналами для обробки різних видів вантажу. Велика кількість причалів для танкерів, а так само великий вибір сюрвеєрних компаній. Можливість поповнити запаси палива, прісної води, провізії.

Буксирне забезпечення: буксири доступні 24 години на добу. Замовляються по прибуттю у порт.

Свята: 1 січня (Новий Рік); 12 лютого (День Народження Лінкольна); 22 лютого (День Народження Вашингтона); Хороша Пятниця (після полуденний час); 30 травня (День Пам'яті); 4 Липня (День Незалежності); 1-й понеділок вересня (День Праці); 9 Вересня, тільки в Каліфорнії (День Прийому); 12 Жовтня (День Колумба); 11 листопада (День Ветеранів); 1-й четвер після 1-ого Понеділка листопада (День Виборів); 4-й четвер листопада (День Подяки); 25

грудня (Різдво). Коли будь-якої зі свят випадає на неділю, він переноситься на понеділок.

Часи роботи: З понеділка по п'ятницю 0800 - 1700, з перервою 1200 - 1300. Свята виключені. Субота і неділя вихідні. Понаднормові в будь-який інший час.

Паливо: паливо є як від барж, так і від компанії яка володіє причалом. Для спеціальної суміші палива потрібно подати повідомлення. Зв'язатися з агентом або терміналом.

Вода: доступна на всіх терміналах. Швидкість завантаження 25 - 50 тонн на годину.

В порту Лос-Анджелес діє літня вантажна марка в період виконання рейсу.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ СУДНА

4.1. Розрахунок водотоннажності й координат центра ваги судна

Для оцінки морехідних якостей використовувались Інформація про остійність (Final Trim & Stability Booklet – HDS-56-B002), яка затверджена класифікаційним товариством Bureau Veritas.

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

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

Таблиця 4.1 - Розподіл запасів на відхід

Найменування цистерн	Міст- кість, т	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
			x	z	M _x	M _z
1	2	3	4	5	6	7
Моторне паливо $\rho = 0,990 \text{ т/м}^3$						
NO.1 H.F.O./MDO TK (P)	253,1	195,8	-52,700	12,411	-10319	2430
NO.1 H.F.O./MDO TK (S)	330,2	240,4	-53,774	13,183	-12927	3169
NO.2 H.F.O.TK (P)	286,5	224,7	-48,932	8,999	-10995	2022
NO.2 H.F.O.TK (S)	442,3	315,2	-48,976	10,385	-15437	3273
NO.1 H.F.O.SETT.TK (P)	43,1	41,8	-48,900	12,600	-2044	527
NO.1 H.F.O.SERV.TK (P)	43,1	42,1	-48,900	12,600	-2059	530
NO.2 H.F.O.SETT.TK (P)	45,7	43,4	-48,900	12,600	-2122	547
NO.2 H.P.O.SERV.TK (P)	44,4	42,0	-48,900	12,600	-2054	529
Всього моторного палива		1145,4	-50,60	11,37	-57957	13027
Дизельне паливо $\rho = 0,900 \text{ т/м}^3$						
D.O.STOR.TK. (S)	83,8	70,3	-79,700	15,875	-5603	1116

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7
D.O.STOR.TK. (P)	83,8	65,4	-79,700	15,875	-5212	1038
NO.1 M.D.O.SERV.TK(P)	16,9	16,2	-56,500	15,550	-915	252
NO.2 M.D.O.SERV.TK(P)	16,9	15,6	-58,900	15,550	-919	243
Всього дизельного палива		167,5	-75,52	15,81	-12649	2649
Мастило $\rho = 0,900 \text{ т/м}^3$						
NO.1 CYL.O.STOR.TK (P)	19,8	10,2	-58,016	15,250	-592	156
NO.2 CYL.O.STOR.TK (P)	12,0	6,4	-59,300	15,250	-380	98
M.L.O.SETT.TK. (P)	12,0	6,8	-54,500	15,250	-371	104
M.L.O.STOR.TK. (P)	19,8	12,3	-55,784	15,250	-686	188
G/E.L.O. SETT. TK. (P)	1,8	0,9	-53,100	14,500	-48	13
G/E.L.O. STOR. TK. (P)	10,0	7,3	-53,100	15,382	-388	112
MAIN L.O. SUMP.TK. (C)	14,1	9,2	-61,813	1,046	-569	10
S/T L.O. SUMP.TK. (S)	1,7	0,8	-68,070	1,527	-54	1
Всього мастила		53,9	-57,29	12,65	-3088	682
Вода $\rho = 1,000 \text{ т/м}^3$						
NO. 1 F.W.TK. (P)	34,9	25,5	-55,934	1,127	-1426	29
NO. 1 F.W.TK. (S)	68,5	40,8	-56,186	1,130	-2292	46
NO.2 F.W.TK. (P)	89,5	65,0	-74,941	15,797	-4871	1027
NO.2 F.W.TK. (S)	89,5	65,0	-74,941	15,797	-4871	1027
Всього води		196,3	-68,57	10,85	-13460	2129
Інші танки						
S/T C.W. TK	16,7	16,7	-74,800	2,764	-1249	46
BILGE HOLD.TK.	34,7	2,8	-69,646	1,044	-195	3
OILY BILGE TK. (P)	13,1	1,9	-62,074	1,265	-118	2
F.O. SLUDGE TK. (P)	4,4	0,6	-55,300	7,700	-33	5
L.O. SLUDGE TK. (P)	5,5	0,8	-58,900	7,700	-47	6
SEWAGE HOLD. TK(P)	17,7	2,1	-72,500	10,700	-152	22

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7
GREY WATER TK (P)	32,3	3,8	-72,474	10,895	-275	41
Всього		28,7	-72,09	4,39	-2069	126
ВСЬОГО ЗАПАСІВ:		1591,8	-56,05	11,69	-89223	18613

Таблиця 4.2.- Розподіл запасів на прихід

Найменування цистерн	Міст- кість, т	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
			x	z	M _x	M _z
1	2	3	4	5	6	7
Моторне паливо $\rho = 0,990 \text{ т/м}^3$						
NO.1 H.F.O./MDO TK (P)	253,1	45,8	-52,700	12,411	-2414	568
NO.1 H.F.O./MDO TK (S)	330,2	87,7	-53,774	13,183	-4716	1156
NO.2 H.F.O.TK (P)	286,5	224,7	-48,932	8,999	-10995	2022
NO.2 H.F.O.TK (S)	442,3	315,2	-48,976	10,385	-15437	3273
NO.1 H.F.O.SETT.TK (P)	43,1	41,8	-48,900	12,600	-2044	527
NO.1 H.F.O.SERV.TK (P)	43,1	42,1	-48,900	12,600	-2059	530
NO.2 H.F.O.SETT.TK (P)	45,7	43,4	-48,900	12,600	-2122	547
NO.2 H.P.O.SERV.TK (P)	44,4	42,0	-48,900	12,600	-2054	529
Всього моторного палива		842,7	-49,65	10,86	-41841	9152
Дизельне паливо $\rho = 0,900 \text{ т/м}^3$						
D.O.STOR.TK. (S)	83,8	50,5	-79,700	15,875	-4025	802
D.O.STOR.TK. (P)	83,8	65,4	-79,700	15,875	-5212	1038
NO.1 M.D.O.SERV.TK(P)	16,9	16,2	-56,500	15,550	-915	252
NO.2 M.D.O.SERV.TK(P)	16,9	15,6	-58,900	15,550	-919	243
Всього дизельного палива		147,7	-74,96	15,81	-11071	2335
Мастило $\rho = 0,900 \text{ т/м}^3$						
NO.1 CYL.O.STOR.TK (P)	19,8	9,2	-58,016	15,250	-534	140
NO.2 CYL.O.STOR.TK (P)	12,0	6,4	-59,300	15,250	-380	98
M.L.O.SETT.TK. (P)	12,0	6,8	-54,500	15,250	-371	104

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7
M.L.O.STOR.TK. (P)	19,8	11,3	-55,784	15,250	-630	172
G/E.L.O. SETT. TK. (P)	1,8	0,9	-53,100	14,500	-48	13
G/E.L.O. STOR. TK. (P)	10,0	7,3	-53,100	15,382	-388	112
MAIN L.O. SUMP.TK. (C)	14,1	8,6	-61,813	1,046	-532	9
S/T L.O. SUMP.TK. (S)	1,7	0,8	-68,070	1,527	-54	1
Всього мастила		51,3	-57,25	12,65	-2937	649
Вода $\rho = 1,000 \text{ т/м}^3$						
NO. 1 F.W.TK. (P)	34,9	25,5	-55,934	1,127	-1426	29
NO. 1 F.W.TK. (S)	68,5	40,7	-56,186	1,130	-2292	46
NO.2 F.W.TK. (P)	89,5	32,0	-74,941	15,797	-2398	506
NO.2 F.W.TK. (S)	89,5	32,0	-74,941	15,797	-2398	506
Всього води		130,3	-65,34	8,34	-8514	1087
Інші танки						
S/T C.W. TK	16,7	16,7	-74,800	2,764	-1249	46
BILGE HOLD.TK.	34,7	2,8	-69,646	1,044	-195	3
OILY BILGE TK. (P)	13,1	1,9	-62,074	1,265	-118	2
F.O. SLUDGE TK. (P)	4,4	0,6	-55,300	7,700	-33	5
L.O. SLUDGE TK. (P)	5,5	0,8	-58,900	7,700	-47	6
SEWAGE HOLD. TK(P)	17,7	2,1	-72,500	10,700	-152	22
GREY WATER TK (P)	32,3	3,8	-72,474	10,895	-275	41
Всього		28,7	-72,09	4,39	-2069	126
ВСЬОГО ЗАПАСІВ:		1200,7	-55,33	11,12	-66432	13349

Розподіл вантажів представлено в табл. 4.3.

Для забезпечення посадки з невеликим диферентом на корму необхідно прийняти баласт.

Розподіл баласту представлено в табл. 4.4.

Таблиця 4.3 - Розподіл вантажу

Найменування приміщень	V, м ³	m, т	Плечі, м		Моменти, тм	
			x	z	M _x	M _z
NO.1 CARGO TANK(P)	4771,4	2746,9	47,56	9,73	130643	26727
NO.1 CARGO TANK(S)	4774,0	2748,4	47,56	9,73	130714	26742
NO.2 CARGO TANK(P)	7210,5	4151,1	8,39	9,39	34828	38979
NO.2 CARGO TANK(S)	7221,6	4157,5	8,39	9,39	34881	39039
NO.3 CARGO TANK(P)	5232,2	3012,2	-30,64	9,47	-92294	28526
NO.3 CARGO TANK(S)	5230,3	3011,1	-30,64	9,47	-92260	28515
ВСЬОГО ВАНТАЖУ	34440,0	19827,2	7,39	9,51	146512	188528

Таблиця 4.4.– Розподіл баласту

Найменування цистерн	Місткість, т	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
			x	z	M _x	M _z
F.P.TK	741,5	560	76,29	5,67	42722	3175
ВСЬОГО БАЛАСТУ:		560	76,29	5,67	42722	3175

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

Таблиця 4.5 – Зведені дані і розрахунок водотоннажності на відхід

Найменування статей навантаження	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
		x	z	M _x	M _z
Судно порожнє	10799	-9,73	10,48	-105074	113174
Константа	126,7	-47,45	17,13	-6012	2170
Суднові запаси	1591,8	-56,05	11,69	-89223	18613
Вантаж	19827,2	7,39	9,51	146512	188528
Баласт	560	76,29	5,67	42722	3175
Всього водотоннажність	32904,7	-0,34	9,90	-11075	325660

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

Таблиця 4.6 – Зведені дані і розрахунок водотоннажності на прихід

Найменування статей навантаження	Маса, т	Плечі, м		Моменти, тм	
		x	z	M_x	M_z
Судно порожнє	10799	-9,73	10,48	-105074	113174
Константа	126,7	-47,45	17,13	-6012	2170
Суднові запаси	1200,7	-55,33	11,12	-66432	13349
Вантаж	19827,2	7,39	9,51	146512	188528
Баласт	560	76,29	5,67	42722	3175
Всього водотоннажність:	32513,6	0,36	9,85	11716,0	320396,0

Схематично розподіл вантажу представлено на рис.4.1.

4.2. Розрахунки посадки і початкової остійності

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

Таблиця 4.7 – Розрахунки посадки судна на відхід і на прихід

Найменування величин	Позначення та формули	Значення величин	
		Відхід	Прихід
1	2	3	4
Водотоннажність масова, т	D	32904,7	32513,6
Абсциса центра ваги судна, м	x_g	-0,34	0,36
Водотоннажність об'ємна, м ³	$V = D / \rho$	32102	31721
Густина забортної води, т/м ³	ρ	1,025	1,025
Осадка судна, м	T	9,40	9,30
Момент диферентуючий на 1 см, тм/см	M_{cm}	427,7	424

Stowage Plan

m/v "VERRAZANE"

LOAD PORT: Kashima

DISCH. PORT: Los Angeles

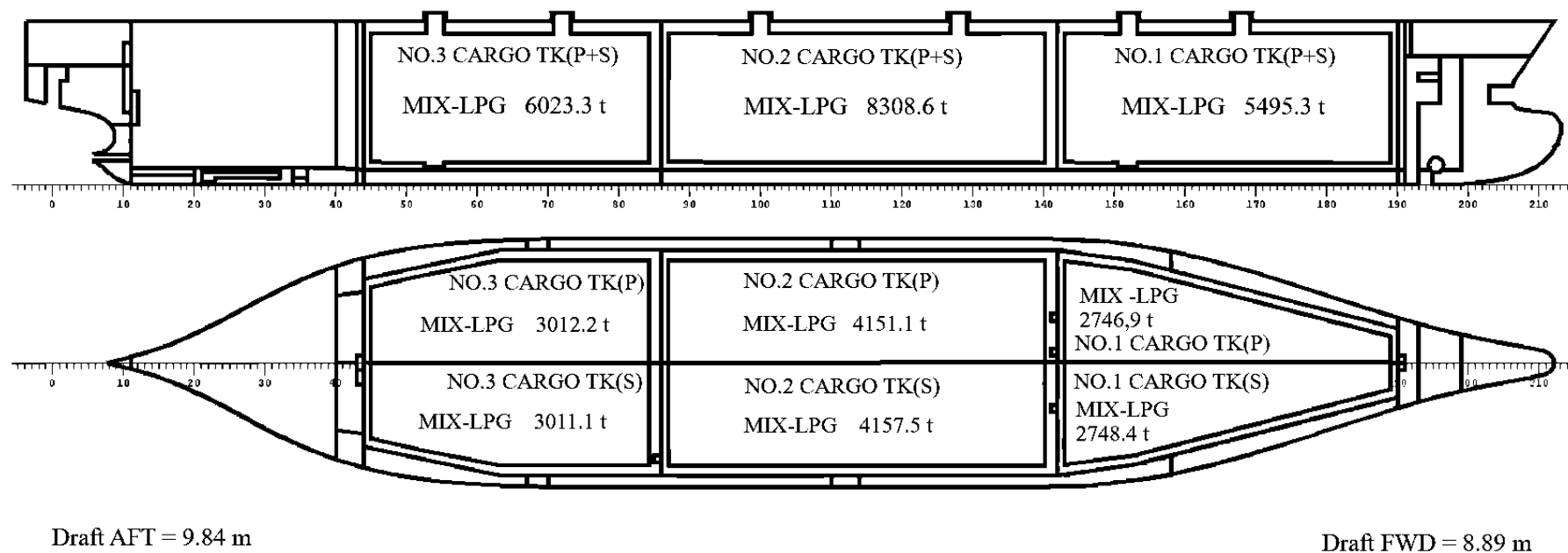


Рисунок 4.1 – Вантажний план судна

Продовження табл. 4.7

1	2	3	4
Абсциса центра величини судна, м	x_c	0,901	0,987
Абсциса Ц.В. площі ватерлінії, м	x_f	-5,81	-5,6
Апліката поперечного метацентра, м	z_m	12,19	12,16
Коефіцієнт загальної повноти	δ	0,739	0,738
Диферент судна, м	$d=D(x_g-x_c)/(100M_{cm})$	-0,95	-0,48
Осадка судна носом, м	$T_H=T+(L/2-x_f) d/L$	8,89	9,04
Осадка судна кормою, м	$T_K = T_H - d$	9,84	9,52

Для виконання розрахунків та контролю остійності судна необхідно визначити поправки на вплив вільної поверхні рідких вантажів (запасів і баласту) до метацентричної висоти і плечам статичної остійності. При визначенні виправлення на вільні поверхні в розрахунок приймаються цистерни запасів з найбільшим виправленням Δm_h незалежно від ступеня їхнього заповнення. Поправочні моменти Δm_h вибираються з таблиці даних по судових цистернах, що приводиться в Інформації.

Таблиця 4.8 – Виправлення на вплив вільної поверхні рідких вантажів

Найменування цистерн	Δm_h , тм
1	2
NO.1 H.F.O./MDO TK (P)	37
NO.1 H.F.O./MDO TK (S)	37
NO.2 H.F.O.TK (P)	458
NO.2 H.F.O.TK (S)	458
D.O.STOR.TK. (S)	32
D.O.STOR.TK. (P)	32
NO. 1 F.W.TK. (P)	66
NO. 1 F.W.TK. (S)	100
NO.2 F.W.TK. (P)	111

Продовження табл. 4.8

1	2
NO.2 F.W.TK. (S)	111
BILGE HOLD.TK.	35
GREY WATER TK (P)	33
F.P.TK	1065
NO.1 CARGO TANK(P)	525
NO.1 CARGO TANK(S)	525
NO.2 CARGO TANK(P)	786
NO.2 CARGO TANK(S)	786
NO.3 CARGO TANK(P)	567
NO.3 CARGO TANK(S)	567
Сума: $\Sigma \Delta m_h$	6331

Розрахунок параметрів початкової остійності виконаний у табл.4.9.

Таблиця 4.9 – Розрахунок параметрів початкової остійності

Найменування величин	Позначення та формули	Значення величин	
		Відхід	Прихід
Водотоннажність масова, т	D	32904,7	32513,6
Невиправлена апліката центра ваги судна, м	z_{g0}	9,90	9,85
Апліката поперечного метацентра, м	z_m	12,19	12,16
Невиправлена метацентрична висота, м	$h_0 = z_m - z_{g0}$	2,29	2,31
Виправлення на вільні поверхні, м	$\Delta h = \Sigma \Delta m_h / D$	0,19	0,19
Виправлена апліката центра ваги судна, м	$z_g = z_{g0} + \Delta h$	10,09	10,04
Виправлена метацентрична висота, м	$h = h_0 - \Delta h$	2,10	2,12

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 та формули	Значення величин	
		Відхід	Прихід
Водотоннажність масова, т	D	32904,7	32513,6
Виправлена апліката Ц.В. судна, м	z_g	10,09	10,04
Максимальна гранична апліката Ц.В., м	$z_g^{\max}$	12,04	12,01

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

4.4. Розрахунок і побудова діаграм остійності

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

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

а виправлені плечі статичної остійності будуть рівні:

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

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

$$a_{0-40} = 1/3 \Delta\Theta \cdot \sum_{40};$$

$$a_{0-30} = 3/8 \Delta\Theta \cdot \sum_{30};$$

$$a_{30-40} = a_{0-40} - a_{0-30}.$$

Продовження табл. 4.12

Кут крену θ°	Плече форми, l_ϕ , м	$\sin \theta^\circ$	$z_g \cdot \sin \theta^\circ$	Плече статичної остійності $l = l_\phi - z_g \cdot \sin \theta^\circ$, м	Множ-ник	Добу-ток	Множ-ник	Добуток
0	0,00	0,000	0,000	0,000	1	0,000	1	0,000
10	2,125	0,174	1,747	0,378	4	1,512	3	1,134
20	4,277	0,342	3,434	0,843	2	1,686	3	2,529
30	6,516	0,500	5,020	1,496	4	5,984	1	1,496
40	8,556	0,643	6,456	2,100	1	2,100	$\sum_{30}$	5,159
50	9,794	0,766	7,691	2,103	$\sum_{40}$	11,282	$a_{0-30} = 0,338$	
60	10,426	0,866	8,695	1,731	$a_{0-40} = 0,656$			
70	10,591	0,940	9,438	1,153	$a_{30-40} = 0,656 - 0,338 = 0,318$			

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

4.5. Розрахунки нормованих параметрів остійності

Рекомендовані критерії остійності неущкоджених 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 по-годи, кута крену від дії постійного вітру й діаграми статичної остійності (ДСО).

Розрахунок нормованих параметрів остійності виконаний у табл. 4.13.

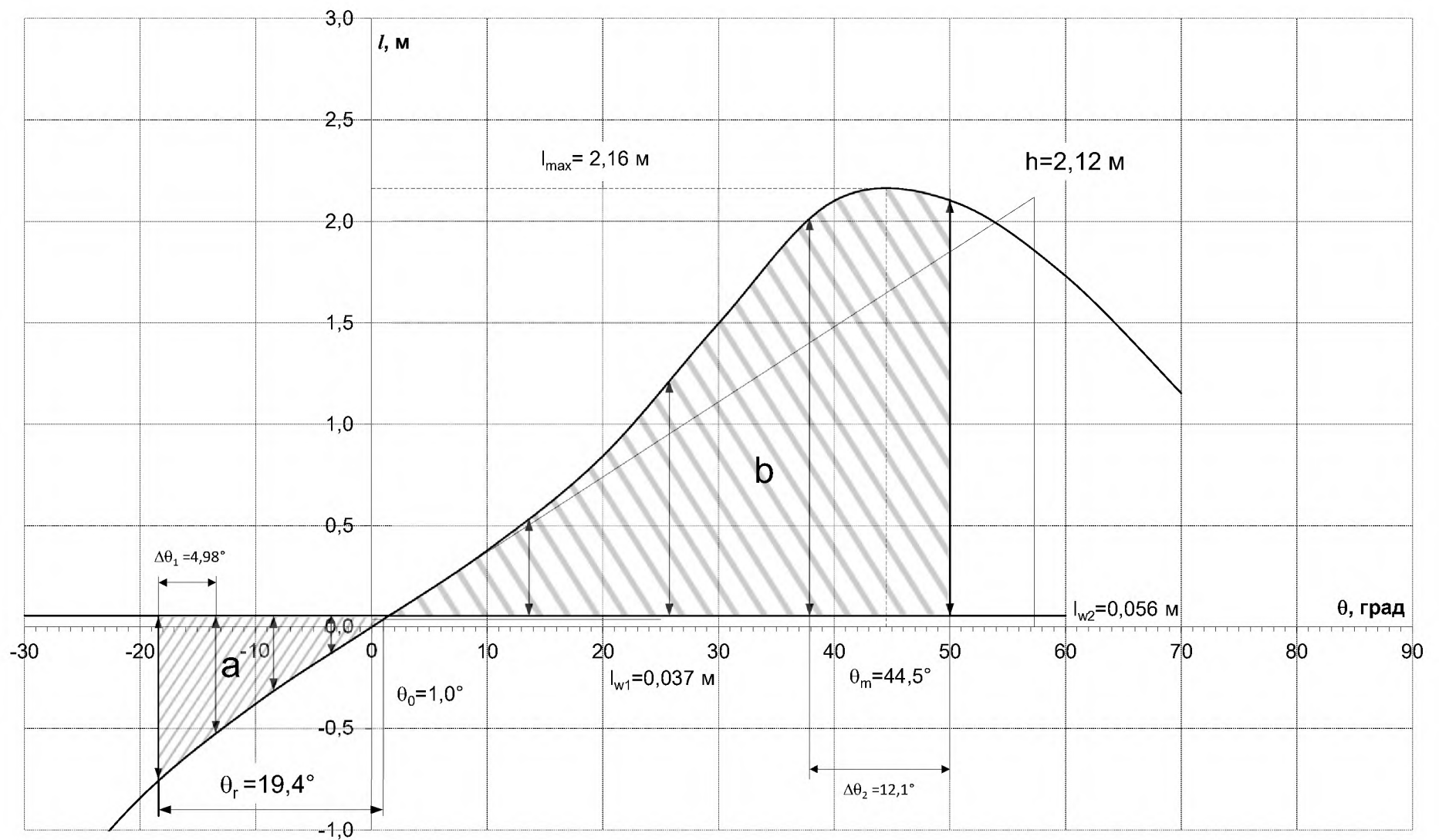


Рисунок 4.3 - Діаграма статичної остійності на прихід і визначення критерію погоди

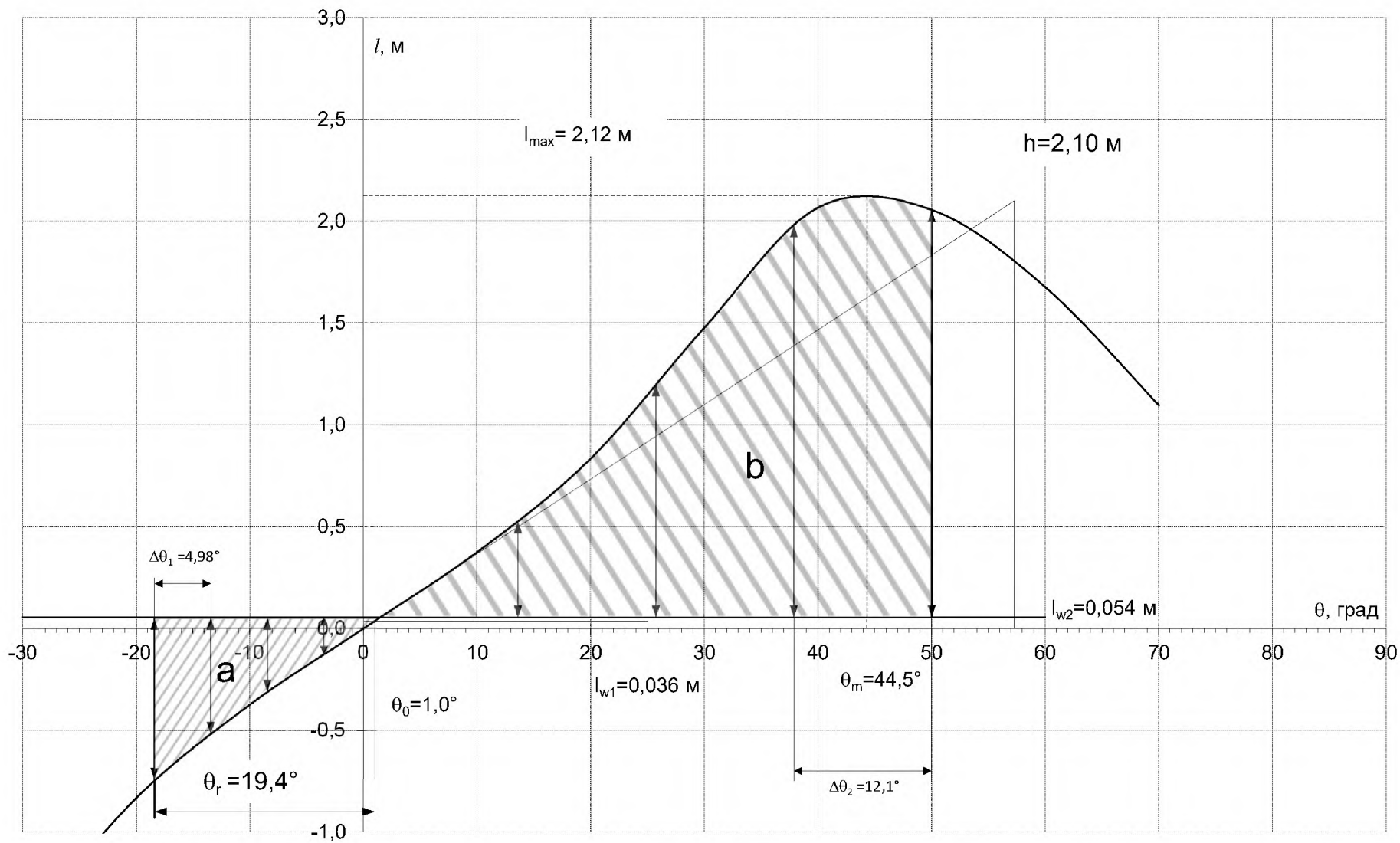


Рисунок 4.2 - Діаграма статичної остійності на відхід і визначення критерію погоди

Таблиця 4.13 - Розрахунок нормованих параметрів остійності

Найменування величин	Позначення та формули	Значення величин	
		Відхід	Прихід
1	2	3	4
Водотоннажність масова, т	D	32904,7	32513,6
Осадка судна, м	T	9,40	9,30
Виправлена метацентрична висота, м	h	2,10	2,12
Площа парусності, м ²	A _v	1958	1972
Апліката центра парусності (ЦП), м	z	7,15	7,23
Плече парусності при постійному вітрі, м	$z_v = z + T/2$	11,85	11,88
Плече кренувального моменту від тиску вітру, м	$l_{w1}=0,504A_v z_v / (g D)$	0,036	0,037
Кренувальне плече від пориву вітру, м	$l_{w2} = 1,5 l_{w1}$	0,054	0,056
Відносна площа скулових кілей, %	$100 A_k / (L B)$	0,584	
Коефіцієнт	k	0,988	
Відносна ширина	B/T	2,98	3,01
Безрозмірний множник	X ₁	0,902	0,898
Коефіцієнт загальної повноти	δ	0,739	0,738
Безрозмірний множник	X ₂	1,000	1,000
Інерційний коефіцієнт	$c=0,373+0,023B/T-0,043L/100$	0,371	0,371
Період хитавиці, с	$T_\theta = 2 c B / \sqrt{h}$	14,3	14,3
Коефіцієнт	S	0,0517	0,0517
Коефіцієнт	$r = 0,73+0,6 (z_g-T)/T$	0,774	0,778
Амплітуда хитавиці, °	$\theta_r = 09 k X_1 X_2 \sqrt{r S}$	19,4	19,4
Кут заливання, °	θ _f	74,2	75,6
Кут входу палуби у воду, °	$\theta_d = \arctg(2(H- T)/B)$	31,0	31,3
Кут крену від постійного вітру, °	θ ₀	1,0	1,0

Продовження табл. 4.13

1	2	3	4
Кут крену при хитавиці назустріч вітру, °	$\theta_1 = \theta_r - \theta_0$	18,4	18,4
Границя площ.“b” діаграми праворуч, °	θ_b	50,0	50,0
Площа “a” діаграми, м-рад	a	0,131	0,133
Площа “b” діаграми, м-рад	b	0,980	0,996
Критерій погоди	$K = b / a$	7,48	7,49

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

$\Delta\theta_1 = (\theta_1 + 1,5\theta_0)/4 = (18,4 + 1,5 \cdot 1,0)/4 = 4,98^\circ$ $\Delta\theta_1^{\text{рад}} = 4,98^\circ/57,3 = 0,0868$ рад					
$\Delta\theta_2 = (\theta_b - 1,5\theta_0)/4 = (50 - 1,5 \cdot 1,0)/4 = 12,13^\circ$ $\Delta\theta_2^{\text{рад}} = 12,13^\circ/57,3 = 0,2116$ рад					
a_i	k_i	$a_i \cdot k_i$	b_i	k_i	$b_i \cdot k_i$
$a_1 = 0,80$	1	0,800	$b_1 = 0$	1	0
$a_2 = 0,572$	4	2,288	$b_2 = 0,474$	4	1,896
$a_3 = 0,365$	2	0,730	$b_3 = 1,146$	2	2,292
$a_4 = 0,180$	4	0,720	$b_4 = 1,926$	4	7,704
$a_5 = 0$	1	0	$b_5 = 2,001$	1	2,001
		$\Sigma_a = 4,538$			$\Sigma_b = 13,893$
$a = \frac{1}{3} \Sigma_a \cdot \Delta\theta_1^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 4,538 \cdot 0,0868 =$ $= 0,131$			$b = \frac{1}{3} \Sigma_b \cdot \Delta\theta_2^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 13,893 \cdot 0,2116 =$ $= 0,980$		

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

$\Delta\theta_1 = (\theta_1 + 1,5\theta_0)/4 = (18,4 + 1,5 \cdot 1,0)/4 = 4,98^\circ$ $\Delta\theta_1^{\text{рад}} = 4,98^\circ/57,3 = 0,0868$ рад					
$\Delta\theta_2 = (\theta_b - 1,5\theta_0)/4 = (50 - 1,5 \cdot 1,0)/4 = 12,13^\circ$ $\Delta\theta_2^{\text{рад}} = 12,13^\circ/57,3 = 0,2116$ рад					
a_i	k_i	$a_i \cdot k_i$	b_i	k_i	$b_i \cdot k_i$
$a_1 = 0,812$	1	0,812	$b_1 = 0$	1	0
$a_2 = 0,580$	4	2,320	$b_2 = 0,480$	4	1,920
$a_3 = 0,370$	2	0,740	$b_3 = 1,160$	2	2,320
$a_4 = 0,182$	4	0,728	$b_4 = 1,960$	4	7,840
$a_5 = 0$	1	0	$b_5 = 2,047$	1	2,047
		$\Sigma_a = 4,600$			$\Sigma_b = 14,127$
$a = \frac{1}{3} \Sigma_a \cdot \Delta\theta_1^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 4,600 \cdot 0,0868 =$ $= 0,133$			$b = \frac{1}{3} \Sigma_b \cdot \Delta\theta_2^{\text{рад}} = \frac{1}{3} 14,127 \cdot 0,2116 =$ $= 0,996$		

4.6. Перевірка виконання рекомендованих ІМО критеріїв остійності

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

Таблиця 4.16 – Перевірка виконання загальних вимог Кодексу ІМО

Найменування величин	Позначення	Значення величин			Викон. (ТАК/НІ)
		нормативне	відхід	прихід	
1	2	3	4	5	6
<i>Загальні критерії</i>					
Площа під ДСО до кута крену 30° , м·рад	A_{30}	$\geq 0,055$	0,334	0,338	ТАК
Площа під ДСО до кута крену 40° , м·рад	A_{40}	$\geq 0,09$	0,648	0,656	ТАК
Площа під ДСО між 30° і 40° , м·рад	A_{30-40}	$\geq 0,03$	0,314	0,318	ТАК

Продовження табл. 4.16

1	2	3	4	5	6
Плече ДСО при куті крену 30° або більше, м	l_{30}	$\geq 0,20$	1,476	1,496	ТАК
Кут крену, що відповідає максимуму ДСО, °	θ_m	≥ 25	44,3	44,5	ТАК
Виправлена метацентрична висота, м	h	$> 0,15$	2,10	2,12	ТАК
Критерій погоди	K	≥ 1	7,48	7,49	ТАК
Кут крену від постійного вітру, °	θ_0	≤ 16	1,0	1,0	ТАК

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

4.7. Перевірка загальної подовжньої міцності корпусу

Перевірка загальної міцності повинна виконуватися відповідно до суднової Інструкції по завантаженню (або Інструкції з міцності судна) у формі розрахункових таблиць, що рекомендуються нею, зазвичай по перерізуючим силам і згинальним моментам у декількох розрахункових поперечних перерізах судна.

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

Розрахунок міцності виконаємо використовуючи суднову програму схвалену класифікаційним товариством Bureau Veritas.

Перевірку виконаємо у дев'яти перерізах: на 11, 40, 44, 70, 86, 114, 142, 158 і 190 шпангоутах.

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

Таблиця 4.17. – Перевірка подовжньої міцності на відхід

Пере-різ	X, м	SF, т	SFsea, %	Доп.SF, т	BM, тм	BMsea,%	Доп.BM,тм
11	8,80	494	19,8	2500	2798	20,9	13400
40	32,00	151	4,1	3700	11106	19,0	58500
44	35,20	573	15,5	3700	12323	19,3	64000
70	56,00	317	9,9	3200	20470	20,5	100000
86	68,80	-31	1 ,0	-3000	23757	23,8	100000
114	91,20	-351	11 ,7	-3000	17982	18,0	100000
142	113,60	-494	14,1	-3500	10256	10,3	100000
158	126,40	-454	13,0	-3500	3399	5,7	60000
190	152,00	105	7,0	1500	-923	16,5	-5600

Максимальна перерізуюча сила 573 т (15,5%) на 44 шпангоуті.

Максимальний згинальний момент 23757 тм (23,8%) на 86 шпангоуті.

На рис. 4.4 представлена епюра перерізуючих сил і згинальних моментів на відхід.

Протягом усього рейсу загальна поздовжня міцність забезпечена.

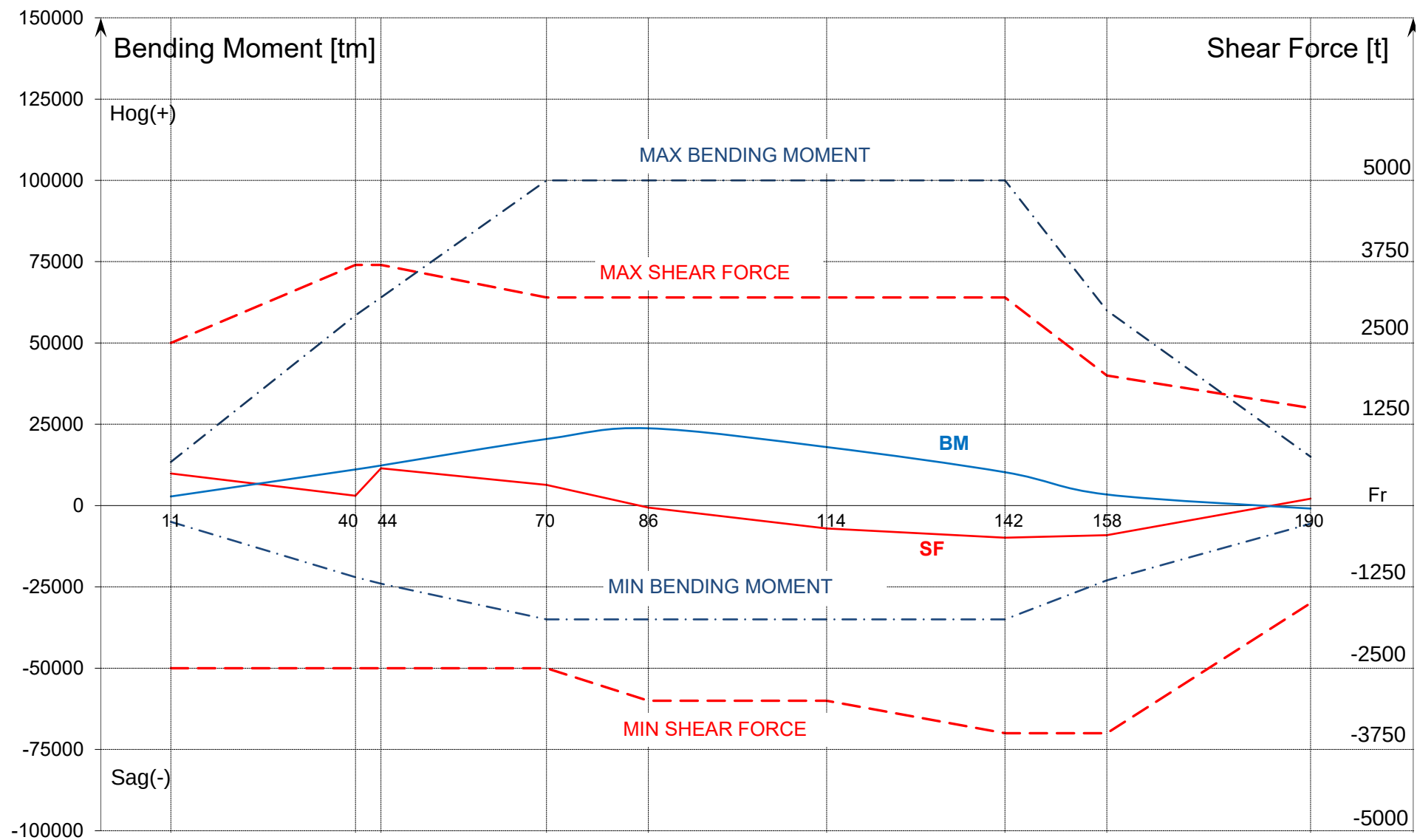


Рисунок 4.4 – Епюра перерізуючих сил та згинальних моментів на відхід

РОЗДІЛ 5

ОСОБЛИВОСТІ І ПЕРСПЕКТИВИ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗРІДЖЕНОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ

5.1 Технологія морського перевезення природного газу

5.1.1 Історія розвитку перевезень

З історії видно, що скраплення природного газу це не сучасна технологія. Британський хімік-фізик Фарадей зміг скраплювати метан в 1854 році, а перший компресор по скрапленню був побудований у Мюнхені в 1873 році німецьким інженером Карлом Він Лінді. Про скраплення природного газу стали серйозно думати після відкриття в 1920-х роках цього століття в США великих родовищ, розташованих удалині від великих міст. Транспортувати газ по далеких магістральних трубопроводах тоді ще не вміли. От чому почалися дослідження зі скраплення газу для його перевезення по залізницях і в наливних судах. Однак перша промислова установка по виробництву рідкого метану була споруджена для інших цілей. В 1941 році в Клівленді (США) побудований завод скраплення для покриття добових «пікових» навантажень споживання газу в зимовий час. Завод проробив ледве більше трьох років, коли страшна катастрофа припинила його існування. Відбувся розрив резервуару, і 4000 м³ зрідженого газу витекло, випарувалося і спалахнуло. При аварії загинули 128 людей, 400 були поранені. Чотири дні бушувала пожежа. Він наніс величезний матеріальний збиток [29].

У Радянському Союзі в 1954 році на Московському заводі скраплення природного газу ввели в експлуатацію установку, розраховану на виробництво 25 тис. тонн ЗПГ на рік. Тоді ж був успішно проведений комплекс робіт із застосування рідкого газу як палива в автомобільних двигунах. Однак

незабаром були відкриті великі родовища нафти, і проблема використання зрідженого газу втратила актуальність [30].

Транспортування морем ЗПГ завжди була тільки невеликою частиною всієї індустрії природного газу, яка вимагає більших вкладень у розробку газових родовищ, заводів по скрапленню, вантажних терміналів і сховищ. Як тільки перші судна для перевезення ЗПГ були побудовані, і показали себе досить надійно, то зміни в їхній конструкції і виникаючі звідси ризики були небажані, як для покупців, так і для продавців, які були основними особами консорціумів.

Суднобудівники і судновласники також не проявляли особливої активності. Кількість верфей, що будують судна для перевезення ЗПГ невелика, хоча недавно Іспанія і Китай заявили про свої наміри почати будівництво.

Однак ситуація на ринку ЗПГ змінилася і продовжує мінятися дуже швидко. З'явилося багато бажаючих спробувати себе в цьому бізнесі. На початку 1950-х років розвиток техніки уможливив морське транспортування ЗПГ на більші відстані. Першим судном для перевезення ЗПГ був перебудований суховантаж «Marlin Hitch» (рис. 5.1) типу «Ліберті», будови 1945 року, у якому вільно стояли алюмінієві танки із зовнішньою теплоізоляцією з бальсу.



Рисунок 5.1 – Перший у світі газовоз «Methane Pioneer»

Воно було перейменовано в «Methane Pioneer» і в 1959 році зробило свій перший рейс із 5000 м³ вантажу з США у Великобританію. Незважаючи на те, що вода, яка проникла в трюм, намочила бальсу, судно працювало досить довго, поки не стало використовуватися як плавуче сховище.

Цей експеримент показав, що більші обсяги зрідженого природного газу можуть безпечно перевозитися.

Комерційне транспортування ЗПГ почалася в 1964 році. Компанія «Британський газ» імпортувала природний газ із Алжиру в Об'єднане Королівство. Вони використовували два судна «Methane Progress» і «Methane Princess», які мали алюмінієві танки, парову турбіну, у каютах якої можна було утилізувати метан, що википів. Ці судна експлуатувалися до половини 1990-х років XX століття. «Methane Progress» зробив 467 рейсів, після чого був пущений на металобрухт в 1992 році, що стосується «Methane Princess», то воно зробило більше 500 рейсів до того, як його пустили на металобрухт в 1998 році. У перші 10 років комерційної діяльності таких суден їх обсяги збільшилися з 27,5 тис. м³ до 125 тис. м³ і до сьогодення до 216 тис. м³. Спочатку доправити якнайбільше ЗПГ не було основною метою, як сьогодні. Сучасні контракти, включають вартість спаленого газу, і це лягає на плечі покупця. Із цієї причини, використання як палива або його скраплення стали основними причинами нових ідей у суднобудуванні. Для газозовів були розроблені спеціальні кодекси, основними з яких є:

- Код для існуючих суден, що перевозять зріджений газ наливом (побудованих до 31 грудня 1976 року);

- Код для будівлі і устаткування суден, що перевозять зріджений газ наливом (судна побудовані після 31 грудня 1976 року, але до 1 липня 1986 року);

- Міжнародний кодекс будови і устаткування суден, що перевозять зріджений газ наливом (судна, побудовані після 1 липня 1986 року);

- Сертифікат відповідності – сертифікат придатності до перевезення зріджених газів наливом – його наявність на борту обов'язкова для газозовів, а

проформа наведена в додатку до Міжнародного Коду будівлі і устаткування суден, що перевозять зріджений газ наливом.

5.1.2 Характеристики і особливості зрідженого природного газу

У наші дні, коли запаси традиційних джерел енергії, таких як вугілля і сирої нафта, вичерпуються, а політична нестабільність середньо-східного регіону усе більше загострюється, усе це приводить людей до міркування про інший енергетичний ресурс – природний газ. Природний газ добувається з родовищ сирої нафти, а також з родовищ природного газу. Найбільші родовища перебувають в Ірані та росії. Росія експортує природний газ у країни західної Європи по трубопроводах. Інші джерела розташовуються, наприклад, в Індонезії, Алжирі і Малайзії в багатьох милях від країн, яким необхідний природний газ для своєї індустрії. При неможливості транспортування природного газу по трубопроводах єдиним економічно вигідним способом транспортування природного газу морем є судна-газовози. Вчені і енергетики всього світу вважають XXI століття «епохою метану». Уже сьогодні в розвинених державах метан становить значну частину палива (у Фінляндії більше 20%) [30].

Завдяки простій технології видобутку і переробки вартість природного газу суттєво нижче вартості більшості традиційних палив, зокрема продуктів нафтопереробки.

Природний газ має великий попит, оскільки він набагато безпечніше для навколишнього середовища в порівнянні з іншими видами палива. У продуктах згоряння природного газу втримується в 10 раз менше окису вуглецю і в 2 рази – окислів азоту. Так зараз близько 4 млн. автомобілів у світі використовують природний газ як моторне паливо.

Застосування природного газу дозволяє міняти моторне мастило з інтервалом в 5-10 разів більше, ніж при використанні бензину. Установлено, що двигун на природному газі працює в 2-3 рази довше в порівнянні з бензиновим.

Не тільки розвиток автомобільного транспорту обумовлює необхідність використання природного газу як альтернативного палива. Введення в 2005 році в дію додатка VI до Міжнародної конвенції МАРПОЛ-73/78 регламентує вимоги щодо шкідливих викидів в атмосферу з морських суден, порушує питання про доцільність використання природного газу для судових двигунів.

Зріджений природний газ, як паливо, має цілий ряд переваг [31]:

- метан легше повітря і у випадку аварійного розливу він швидко випаровується, на відміну від важкого пропану, що накопичується в природніх і штучних поглибленнях і вибухає, що є небезпекою;

- не токсичний у малих концентраціях;

- не викликає корозії металів;

- ЗПГ дешевше, ніж будь-яке нафтове паливо, у тому числі і дизельне, але по калорійності їх перевершує;

- низька температура кипіння гарантує повний випар ЗПГ при низьких температурах навколишнього повітря;

- природний газ згоряє практично повністю і не залишає кіптяви, що погіршують екологію і понижають КПД, димові гази приділяються, не мають домішок сірки і не руйнують метал димоходу;

- експлуатаційні витрати на обслуговування газових котелень також нижче, ніж традиційних;

- ще однією особливістю зрідженого природного газу є те, що казани, що працюють на природному газі, мають більший КПД – до 94%, не вимагають витрати палива на попередній підігрів узимку (як мазутні і пропан-бутанові).

Природний газ, це суміш вуглеводнів, яка після скраплення утворює чисту без кольору і запаху рідину. Такий ЗПГ звичайно транспортується і зберігається при температурі близької до крапки його кипіння при атмосферному тиску, приблизно – 160 °С.

У реальності склад ЗПГ різний і, як показано в табл. 5.1, залежить від джерела його походження і процесу скраплення, але основний компонент це звичайно метан. Іншими складовими можуть бути: етан, пропан, бутан, пентан і можливо невеликий відсоток азоту.

Таблиця 5.1 – Хімічний склад природного газу по регіонах

Назва хімічного елемента	Хімічна формула	Склад природного газу в місцях родовищ Катару, %	Склад природного газу в місцях родовищ Перської затоки, %	Середньостатичний склад природного газу, %
Метан	CH ₄	90,28	84,50	89,63
Етан	C ₂ H ₆	6,33	12,90	6,32
Пропан	C ₃ H ₈	2,49	1,50	2,16
Бутан	C ₄ H ₁₀	0,49	0,50	1,20
Ізо-Бутан	C ₄ H ₁₀	0,00	0,00	0,00
Пентан	C ₅ H ₁₂	0,02	0,00	0,00
Ізо-Пентан	C ₅ H ₁₂	0,00	0,00	0,00
Азот	N ₂	0,41	0,60	0,69

ЗПГ одержують із природного газу шляхом стиску з наступним охолодженням. При скрапленні газ зменшується в обсязі приблизно в 600 раз. Процес скраплення йде щаблями, на кожній з яких газ стискується в 5-12 раз, потім проохолоджується і передається на наступний щабель. Властиво скрапленню відбувається при охолодженні після останньої стадії стиску. Процес скраплення в такий спосіб вимагає значної витрати енергії – до 25% від її кількості, що утримується в зрідженому газі. У процесі скраплення використовуються різні види установок – дросельні, турбодетандерні, турбінно-вихрові і інші. Існує технологія, що дозволяє

заощадити на скрапленні до 50% енергії, з використанням енергії, що губиться на газорозподільних станціях при дроселюванні газу від тиску магістрального трубопроводу (4-6 МПа) до тиску споживача (0,3-1,2 МПа). При цьому використовується як властиво потенційна енергія стисненого газу, так і природне охолодження газу при зниженні тиску. При цьому додатково заощаджується енергія, необхідна для підігріву газу перед подачею до споживача.

Чистий ЗПГ не горить, сам по собі не вибухає (у рідкому ЗПГ можна гасити сигарети), плаває на поверхні води не змішуючись із нею. На відкритому просторі при нормальній температурі ЗПГ вертається в газоподібний стан і швидко розчиняється в повітрі. При випарі газ може загорітися, якщо відбудеться контакт із джерелом полум'я. Для запалення необхідно мати концентрацію пару у повітрі від 5% до 15%. Якщо концентрація до 5%, то випарів недостатньо для початку загоряння, а якщо більше 15%, то в навколишньому середовищі стає занадто мало кисню. Для використання ЗПГ використовують регазифікацію – випару без присутності повітря.

5.1.3 Технологічні умови перевезення

Зріджений природний газ перевозитися спеціальними суднами, так званими танкерами-метановозами або газовозами. Газовозами називаються судна, які перевозять наливом зріджені гази, і підпадають під дію Міжнародного Кодексу будівлі і устаткування суден, які перевозять зріджені гази наливом. Традиційно ці судна діляться на судна-газовози, які перевозять зріджені природні гази і на судна-газовози, які перевозять зріджені нафтові гази. Різниця в конструкції цих суден визначається властивостями перевезеного вантажу і у способі його транспортування.

Судна-газовози деяких типів досить схожі з танкерами. Відрізняє їх від останніх високий надводний борт і наявність у трюмному просторі спеціальних

резервуарів – вантажних танків, розрахованих на дуже низькі температури. Зазначені конструктивні особливості обумовлені властивостями вантажу: низькою температурою і відносною в порівнянні з нафтою легкістю. Природний газ завжди транспортується в повністю охолоджену форму при температурі $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ і атмосферному тиску. Вантажні танки на метановозах витримують тиск до 2 бар і температуру до $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$. Місткість танкерів-метановозів, використовуваних у цей час, перевищує 200 тис. м^3 , а у швидкому майбутньому планується побудувати метановози місткістю більше 300 тис. м^3 .

Через теплообмін вантажу з навколишнім середовищем частина його випаровується. Знижувати надлишковий тиск пару понад допустимого можна:

- нацьковуючи тиск в атмосферу;
- використовуючи газ як паливо;
- скраплювати газ і повертати в танк.

На першому судні, що перевозив метан через океан, від надлишкового тиску в танках втрачали, використовуючи перший метод. Однак зараз метан використовують як паливо для головного двигуна разом зі звичайним паливом. У якості головного двигуна на таких судах застосовують парову турбіну, але існують і танкери з дизельними енергетичними установками, що використовують і метан, і дизельне паливо. Під час морського переходу, тепло ЗПГ передається через ізоляцію танка, викликаючи випар частини вантажу, так зване википання. Склад ЗПГ змінюється за рахунок википання, тому що більш легкі компоненти, що мають низьку температуру кипіння, випаровуються першими. Тому, що вивантажуючи ЗПГ, воно має більшу щільність, бо той, який вантажився, нижче відсоток змісту метану і азоту, але вищий відсоток змісту етану, пропану, бутану і пентану [32].

Межа займистості метану в повітрі (21% кисню) коливається від 5,3% до 14% за обсягом. Для зменшення цієї межі, перед початком навантаження повітря віддаляється з танків за допомогою азоту до змісту кисню 2%. У теорії, зривши не відбудеться, якщо зміст кисню в суміші нижче 13% відносно процентного вмісту метану. Для безпеки, на практиці, інертизація триває поки

зміст кисню не буде нижче 2%. пара, що википіла, ЗПГ легше повітря при температурі -110°C , або вище – залежить від складу ЗПГ. У зв'язку із цим, пара буде прагнути піти нагору над щоглою й швидко розсіюватися. Коли холодна пара, змішаний з навколишнім повітрям, суміш пар / повітря буде добре видна як біла хмара через конденсацію вологи в повітрі. Звичайно прийнято вважати, що границя займистості суміші пара / повітря не поширюється занадто далеко за межі цієї білої хмари.

Температура самозапалювання метану, тобто мінімальна температура нагрівання газу, при якій він самозаймається без стороннього джерела відкритого вогню, становить 595°C . Критична температура метану - $82,5^{\circ}\text{C}$, а критичний тиск 43 бар. Тому, у конструкціях суден для перевезення ЗПГ застосовуються спеціальні матеріали, які не втрачають своїх міцностних характеристик при низьких температурах. Це ІНВАР (36% нікель-залізний сплав), аустенітна нержавіюча сталь, 9% нікелева сталь, сплави алюмінію. Усі ці матеріали зберігають свої характеристики при низьких, температурах, і протистояти перевантаженням, зберігаючи свою непроникність. Щоб уникнути тендітного зламу звичайних сталей, повинні бути вжиті відповідні заходи для запобігання контакту ЗПГ або азоту з ними. Додатково, повинні мати спеціальне устаткування на випадок витоку ЗПГ або азоту. Райони маніфолдів обладнані піддоном, зі спеціальної сталі, який при розливі не дає поширитися низькотемпературної рідини, і існує можливість дренувати цю рідину за борт. Судно в районі маніфолда обладнане водяною завісою, що працює від пожежного насоса. Пожежний насос повинен бути завжди під тиском і водяна завіса може бути наведена в дію при будь-яких вантажних операціях.

Додатково, пожежні шланги повинні бути прокладені до кожного купола, для обробки будь-якого маленького витоку із клапана або фланця. Постійні піддони повинні бути встановлені під устаткуванням, і переносні піддони повинні бути готові для негайного використання у випадку можливих витоків. При будь-яких переміщеннях вантажу, і особливо під час

навантаження-вивантаження, повинен бути організований постійний обхід на палубі для своєчасного виявлення витоків.

У випадку розливу або витоків, водяний напір повинен бути спрямований у це місце для розсіювання і випару рідини, а головне для захисту звичайної сталі. Витік повинна бути ліквідована, при необхідності навіть зупинивши вантажні операції. У випадку великого розливу або витоків, вантажні операції повинні бути зупинені негайно, оголошена тривога і включене палубне зрошення. Кількість газу, що випаровується, повинне бути не більше необхідного для силової установки. Наприклад, на метановозах місткістю 125 тис. м³ щодня випаровується від 0,18% до 0,25% загальної кількості вантажу. Це означає, що приблизно 70-75% палива, необхідного для забезпечення повного ходу, можна одержати за рахунок використання метану. Перед завантаженням природного газу вантажні танки слід заохолодити до температури -135 °С, щоб уникнути руйнування матеріалу танків у результаті перепаду температур. Таке заохолодження проводять при використанні системи розпилення вантажу в просторі танка згідно часовими-температурно-тимчасовими характеристиками для даного судна. Звичайна швидкість охолодження 5-7 градусів/годину. Вивантаження проводиться за допомогою заглибного насоса, який встановлюється усередині спеціальної колони в центрі танка. Причому і електромотор, і насос є єдиною системою і розташовані в нижній точці танка, вантаж використовується для охолодження електродвигуна і змащення насоса. Слід мати у виді, що середні і невеликі метановози часто обладнують установкою для скраплення газу, що дозволяє використовувати їх для перевезення етилену і нафтових газів. Устаткування ж великих метановозів установками для скраплення газу не ефективно, оскільки потужність такої установки для судна місткістю 125 тис. м³ повинна бути більше 8500 к.с.

Для перевезення зріджених газів використовуються найрізноманітніші конструкції вантажних танків. При цьому враховуються такі параметри, як:

- максимальний робочий тиск;

- максимальна температура вантажу;
- конфігурація танка;
- матеріал, використовуваний у конструкції танка.

Згідно із правилами Міжнародної морської організації вантажні танки, призначені для перевезення зріджених газів, діляться на п'ять основних груп:

- вбудовані;
- мембранні;
- напівмембранні;
- незалежні, типів А, У і С;
- з внутрішньою ізоляцією.

У цей час у світі існує кілька фірм, які будують танкери-метановози по різних технологіях. Танкери будівлі 80-х років минулого століття мають ємність 120 тис. м³ ЗПГ. У цих танкерах ЗПГ розміщується в п'ятих-шести розділених автономних відсіках обсягом 30-35 тис. м³. Теплоізоляція танків з ЗПГ забезпечує випаровуваність на рівні 0,2-0,35% за добу від обсягу. Для забезпечення стійкості при порожньому рейсі в наборі корпусу танкера, звичайно в бортах і днищі, улаштовані ємності для баласту. Інший конструктивний розв'язок мають танкера німецької фірми «Лінді». Відсіки танкери заповнені об'єднаними в групи горизонтальними колекторами й установленими впритул друг до друга циліндричними алюмінієвими резервуарами діаметром 3 м.

За чотири десятиліття галузі ЗПГ розроблена безліч конструкцій метановозів, але тільки чотири з них можуть претендувати на комерційну і технічну прийнятність. Серед них дві конструкції «мембранного» типу (рис. 5.2), розроблені у Франції, і дві конструкції «вільного» типу, одна з яких народилася в Норвегії, а інша – у Японії. Норвезька конструкція одержала популярність завдяки характерним сферичним резервуарам.



Рисунок 5.2 – Мембранний танк зсередини

Транспортування ЗПГ вважається потенційно небезпечним заходом, тому не дивно, що в процесі проектування, керування і експлуатації метановозів застосовуються самі тверді нормативи техніки безпеки. Усі метановози забезпечені другим корпусом і повинні відповідати «Кодексу Міжнародної морської організації по будівництву і оснащенню суден, що здійснюють транспортування великотоннажних вантажів зріджених газів». У цьому кодексі приводяться вимоги, що включають критерії проектування і розміщення резервуарів, будівельні матеріали, ізоляцію і заходи щодо охорони навколишнього середовища.

Екіпажі метановозів проходять спеціальну підготовку і навчання, що дозволяє безпечно експлуатувати судно, як у нормальній, так і в аварійній ситуації. Оскільки більшість метановозів ходять по строго певних і постійних маршрутах, екіпажі мають можливість добре вивчити маршрут і знайти

оптимальні методи і процедури взаємодії з портами та співробітниками берегових терміналів.

У цей час на ринку практично немає вільних судів-газовозів, тим більше не існує метановозів льодового класу, необхідних при транспортуванні газу з Арктики. Це робить доцільним застосування комплексного підходу до реалізації проектів транспортування зрідженого природного газу, включаючи будівництво не тільки заводів і терміналів, але і суден посиленого льодового класу і допоміжного флоту. Економічність транспортування природного газу морем у порівнянні із трубопровідним транспортом підвищується: зі збільшенням дальності перевезення (по розрахунках, морське перевезення ЗПГ на відстань 5000 км обходиться не дорожче перекачування по магістральному трубопроводу на відстань 2500 км). Дальність перевезень ЗПГ і час не дуже значний і не є перешкодою для його експорту. Відстань, на яку здійснюються поставки ЗПГ із Алжиру в Японію, перевищує 16 тис. км. Більше того, на початку 1990-х років поставки ЗПГ у Європу здійснювалися по разових угодах з Австралії на значно більш далекі відстані [33].

5.2 Використання природного газу в якості джерела енергії

5.2.1 Зріджений природний газ – альтернатива нафтопродуктам

Нафта – унікальний продукт для одержання багатьох штучних матеріалів, наприклад, синтетичного каучуку. З нього роблять дві третини гуми, використовуваної для виробництва автомобільних шин, і калош, і самих різних дитячих іграшок. І пластмаси без нафти не зробити. А що таке пластик у нашому сьогоденнішньому житті, – пояснювати не потрібно: це і внутрішність залізничного вагона, і трубопровід, по якому вдома йде вода, і поліетиленові пакети, без яких і в магазин не заглянеш. Але ж крім цього, з нафти і газу

роблять ще добрива і отрутохімікати для потреб сільського господарства, медичні препарати і ще дуже багато корисних і потрібних речей.

Найбільшою енергетичною проблемою сучасного світу є зріст попиту на нафту, який не супроводжується відповідним ростом її поставок. Нафта необхідна, тому що бензин і дизельне паливо поки що є найдешевшим паливом для двигунів внутрішнього згоряння, однак у дуже швидкому часі єдиною реальною альтернативою цьому енергоресурсу стане природний газ. Ключ до того, що газ витисне нафту, укладений у новій технології перетворення газу, в зручний для транспортування. ЗПГ – це газ, охолоджений до температури -160°C і в зрідженому стані готовий для закачування на танкер. У такому виді він має обсяг у шістсот раз менший, ніж звичайно. І не потрібно будувати дорогі трубопроводи, а газ можна доправити в найбільш важкодоступні райони планети. Цей метод скраплення газу був відкритий в 60-ті роки XX століття, але тільки тепер удалося вдвічі знизити вартість процесу перетворення газу в концентровану рідину і зробити транспортування рентабельним. У світі зараз близько 25% газу перевозиться в зрідженому стані. В усьому світі паливо на основі природного газу користується більшим попитом, оскільки природний газ набагато безпечніше для навколишнього середовища в порівнянні з іншими видами горючих корисних копалин, такими, як вугілля або нафта. Використання природного газу замість інших видів палива знижує вплив господарської діяльності людини на навколишнє середовище в силу: відсутності твердих відходів (на відміну від вугілля і ядерного палива); зменшення парникового ефекту, кислотних дощів, смогу, викидів діоксида сірки, оксиду вуглецю, оксиду азоту; спалювання газу не приводить до забруднення водойм. Більше того, природний газ є найбільше енергетично коштовним паливом, при порівнянні кількості виділюваного тепла при згорянні одного грама природного ресурсу (природний газ – $55,6 \text{ кДж/гр}$, нафта – $47,9 \text{ кДж/гр}$, вугілля – $25\text{-}32 \text{ кДж/гр}$, деревина – $9,3\text{-}16,3 \text{ кДж/гр}$) [34].

На ріст цін нафти вплинув цілий ряд факторів: зниження рівня видобутку в Іраку, громадянська війна в Нігерії, вибухи на трубопроводах у Саудівській

Аравії, урагани (наприклад «Катріна») і тайфуни, що неабияк ушкодили промислові платформи в Мексиканській затоці, цунамі в Південно-Східній Азії. На безперервний ріст цін на нафту світ прирікає Китай, тому що одна третина нинішнього росту попиту на нафту виникає через Китай. Тим часом, для Пекіна питання енергетики в бюджеті після 2010 року має стратегічне значення. КНР стала другим після США імпортером угледовородного сировини у світі. Бразилія, Індія і Китай підписали Договір про торгівлю й співробітництві (BRIC – аббревіатура перших букв назв цих країн). У зв'язку із прогнозованим скороченням у світі енергоресурсів BRIC і Європейський Союз зосереджують увагу на державах, що пропонують їм енергетичну альтернативу. Так, Китай з Іраном уклали угоду про поставки газу. Індію в 2010 році підписала комплексну угоду з Росією і Іраном на 40 млрд. дол. про довгострокових поставках нафти і газу. Іран виступив з ініціативою створення Азіатського банку фінансування енергетики для освоєння сировинних ресурсів. У якості неофіційного партнера коаліції BRIC можна вважати Організацію Шанхайського співробітництва, у якій об'єднані Китай, Таджикистан, Киргизія, Казахстан і Узбекистан.

«Кожна фірма енергетичної галузі, що бажає, щоб з нею вважалися на ринку XXI століття, повинна інвестувати у виробництво зрідженого газу», – затверджує Чарльз Уотсон, директор «Shell Gas& Power».

5.2.2 Міжнародні газотранспортні системи

Найбільш розгалужену мережу міжнародних газопроводів у світі мають країни Європейського Союзу, СНД і США. При цьому із усіх регіонів світу МГС (Міжнародні газотранспортні системи) найбільше значення відіграють у Європейському Союзі, по суті, забезпечуючи його енергобезпеку. Роль Росії тут є ключовою, оскільки частка російського природного газу в загальному обсязі споживання ЄС досягла 25%, а в обсязі його імпорту – 44% [35].

Імпорт природного газу в Європі має три чітко виражені напрямки: північ (Норвегія, Нідерланди, Великобританія), південь (Алжир, Лівія) і схід (росія). У перспективі буде активно розбудовуватися також південно-східний напрямок транспортування газу з Ірану, Росії і інших країн Каспійського регіону.

Останні роки основні зусилля Євросоюзу в цілому і окремих його країн спрямовані на диверсифікованість маршрутів поставки природного газу.

Розвиток газотранспортної інфраструктури ЄС здійснюється відповідно до довгострокової Європейської програми створення транс'європейських мереж транспорту, телекомунікацій і енергетичних інфраструктур (Trans-European networks of transport, telecommunications and energy infrastructures — Tens). Цій програмі надається особливе значення, тому що вона розглядається керівництвом ЄС у якості найважливішого інструмента стратегічного розвитку, зміцнення європейської безпеки і інтеграції регіонів Союзу в єдиний економічний і політичний простір.

Ідея мереж була висунута на початку 1990-х у документах ЄС. Маастрихтський договір 1993 року сформулював мету і завдання створення і розвитку TENs. В 1996 році Рада і Європейська парламент схвалили керівні принципи TENs. Остаточні Транс'європейські мережі були інституїровані як одне з напрямків (програм) Європейського союзу в контексті політики «Європейської перспективи просторового розвитку», остаточний варіант якої прийнятий членами ЄС у Потсдамі 10-11 травня 1999 року. Загальна потреба в інвестиціях для реалізації TENs оцінювалася спочатку в 400 млрд. євро. Зараз оцінки необхідного обсягу інвестицій зросли до 1000 млрд. євро [36].

В останні роки спостерігається тенденція до активізації інтеграційних процесів в енергетичній сфері по програмі Tens. Європейський Союз приступив до формування єдиного інфраструктурного простору в цій сфері. Мова йде про створення зв'язаних мереж електропостачання (поки регіональних, а надалі, можливо, і в рамках усього Союзу), систем газопроводів і розвитку інфраструктури зрідженого природного газу. У цьому зв'язку Європейська комісія і Європейська Рада прийняли ряд заходів.

По-перше, були розроблені Керівні принципи для Транс'європейських енергетичних. У них Європейська комісія виділила 314 проектів інфраструктури («проекти загального європейського інтересу»), реалізація яких зізнається першорядним завданням Союзу і повинна бути прискорена. У їхньому составі позначено 42 першочергових проекту, які є міжнародними або можуть мати істотний вплив на міждержавні відносини через те, що їх завершення забезпечить уведення потужностей по передачі електроенергії або енергетичних ресурсів (газу) іншим країнам.

По-друге, ЄС увів правила гарантування підключення до електричних мереж і поставок газу між державами-членами Союзу, забезпечуючи тим самим більш стійкий інвестиційний клімат.

По-третє, Європейська Рада призвала надавати активну підтримку проектам інфраструктури, що пройшли екологічну експертизу, які націлені на відкриття нових маршрутів поставки енергетичних ресурсів. На своєму засіданні Європейська Рада висунула на перший план важливість створення інтегрованого, прозорого і слухного внутрішнього енергетичного ринку з погодженими правилами.

Для реалізації цих заходів був розроблений відповідний план. Основні інфраструктурні проекти ЄС у газовій сфері за цим планом [37]:

- газопровід NABUCCO;
- газопровід GALSI, що зв'язує Алжир і Італію через Сардинію, з відгалуженням до Франції через Корсику;
- газопровід Швеція - Данія - Німеччина;
- розподільні мережі між Німеччиною, Нідерландами, Бельгією і Великобританією.

Керівництво ЄС іде по шляху планомірного створення єдиної системи газопостачання Союзу. По суті, воно буде аналог того, що було зроблено і успішно функціонувало в СРСР, але тільки для специфічних умов ринкової економіки, коли конкуренція допускається в раніше монопольні галузі.

5.2.3 Сланцевий газ і його ефективний видобуток

Сланець – шари чорних або бурих викопних осадових порід з високим змістом органіки – є газ, було відомо з початку XIX століття. Більше того, перша газова свердловина в сланцевих шарах була пробурена в США ще в 1821 році.

Однак промисловці швидко розчарувалися в сланці як у джерелі газу. Ця порода відрізняється щільністю і низькою пористістю, і газ залягає в невеликих ізольованих «кишенях». Щоб добути його, потрібно пробурити безліч свердловин, кожна з яких дасть лише дуже невеликий обсяг газу.

Під час загострення проблеми енергетичної безпеки в США, в 70-ті роки XX століття, уряд, перебуваючи в пошуку можливих розв'язків, згадало і про сланець. Були проведені розвідницькі роботи, у ході яких виявлено чотири величезні сланцеві структури — Barnett, Haynesville, Fayetteville і Marcellus, що простягнуться на десятки тисяч квадратних кілометрів і, очевидно гігантські запаси, що містять, природного газу. Однак на той момент ці резерви виявилися недоступними, а розробки відповідних технологій видобутку були перервані після падіння цін на нафту в 80-х.

Проте, в 90-ті роки ряд невеликих компаній, найбільшої і найбільш активної з яких стала Chesapeake Energy, вирішили повернутися до ідеї добування газу зі сланцевих шарів. У той час споживання газу в США швидко збільшувалося внаслідок масового будівництва по всій країні ефективних і екологічно чистих парогазових енергоблоків, ціни на газ були досить високі, так що гра заслуговувала на увагу.

Дослідники запропонували застосувати для видобутку сланцевого газу дві технології, які були розроблені ще десятиліття назад, але на той час не мали широкого застосування. Однією з них було горизонтальне буравлення, відмінність полягає в тому, що вже усередині шару бур поступово відхилявся від вертикалі, поки це відхилення не досягало 90 градусів, а потім продовжував рух уже паралельно земної поверхні.

Уперше ця технологія була застосована ще в 40-ві роки, однак потім від неї відмовилися через дорожнечу. Завдяки розробкам 90-х і застосуванню нових матеріалів, зокрема, для бурових труб, витрати вдалося знизити: вартість горизонтальної свердловини була вище, ніж у традиційної вертикальної, у середньому в 4 рази.

У газоносних сланцевих шарах у такі горизонтальні свердловини накачувалася під тиском суміш піску, води і спеціальних хімікатів. Передбачалося, що гідроудар зруйнує перегородки газових кишень, що дозволить зібрати всі запаси газу разом і обійтися без буравлення безлічі малоцінних вертикальних свердловин.

Дослідницькі роботи, дослідження і випробування тривали кілька років, а з 2002 року в покладі Barnett у штаті Техас була пробурена перша горизонтальна свердловина. Почалося практичне впровадження нової технології.

Для багатьох фахівців повною несподіванкою став факт значного збільшення виробництва природного газу в США. З 2008 році видобуток природного газу в США раптово збільшилася на 7,5% (або на 41,7 млрд. м³), показавши найвищі темпи росту за чверть століття. Більшу частину цього збільшення дав саме сланцевий газ.

Знаменно і те, що в 2009-2010 роках ця країна вийшла на перше місце у світі за обсягом, що добувається і продаваного газу. США вперше з 2012 року обігнали росію по його виробництву [38].

Пояснення цьому феномену полягає в різкому росту видобутку сланцевого газу в США, який закрит найбільший енергетичний ринок цієї країни для багатьох експортерів зрідженого газу, а також привів до його надвиробництва в Європі. Під сумнівом може виявитися освоєння нових великих газових родовищ і будівництво великих газопроводів.

Відпала і можливість значного експорту зрідженого російського газу в США. «Технології видобутку газу перебувають у постійному розвитку, і те, що

ще недавно видалося неможливим, незабаром може виявитися фактом, що відбулось».

США має самі більші у світі запаси горючого сланцю (70% від світових), який є в багатьох штатах (в 42 з 50). Поклади сланців залягають на великій глибині і містять горючу речовину (0,5-25%). Одержувати з нього синтетичного сланцевого газу шляхом термічної переробки поки не є економічно вигідним. Однак у самому сланці є вже деяка кількість природного сланцевого газу, який можна виділити з нього.

Концентрація природного сланцевого газу в сланці значно менше, ніж у природних газових родовищах. Але за рахунок більших площ сланцевих покладів його видобуток стає економічно виправданою.

Батьком масштабного виробництва сланцевого газу в США вважається мільярдер зі США Джордж П. Мітчелл. Він в 1946 році створив найбільшу нафто- і газодобувну компанію «Mitchell Energy & Development», яку він продав в 2001 році компанії «Devon Energy» за 3,5 мільярди доларів. Він був піонером горизонтального буравлення. Йому треба було 17 років експериментів, щоб продемонструвати, що такий підхід до добування газу зі сланцевої формації був економічно життєздатним.

Широке використання цієї технології в США дозволило значно знизити витрати на видобуток газу і відкрило для використання додаткові величезні запаси природного газу, які змінили національну енергетичну карту США.

Нові технології горизонтального буравлення вперше випробувані на північноамериканських газових сланцях. Цю технологію буравлення освоїли деякі компанії, тому що вона досить складна і дорога. В 2007 році в США було 4185 сланцевих газових свердловин. В 2010 році було добуто 51 млрд. м³ сланцевого газу або 10% від загального видобутку газу. До 2015 року обсяг видобутку сланцевого газу в США складає більш 180 млрд. м³ на рік, а до 2020 року – половину видобутку природного газу, такі самі оптимістичні очікування. Сланцевий газ дає дві третини всіх газових резервів, що технічно добуваються, достатніх для того, щоб забезпечити потреби країни протягом 90 років. США

щорічно нарощує видобуток сланцевого газу, що дозволить незабаром повністю відмовитися від імпорту газу.

Найбільшим джерелом сланцевого газу є поклади Marcellus Shale, що охоплюють більшу частину Пенсільванії і Західної Вірджинії, а також частина штатів Огайо і Нью-Йорк. Обсяги цього гіперродовища становлять 489 трлн. м³ газу. Прогноз по сланцевому газу в США дуже оптимістичний, тому що вартість сланцевого газу втричі нижче європейських цін на природний газ, а його добувають поблизу від місця споживання, що є головною його гідністю. Це дуже важливо, оскільки при спалюванні газу парникових газів буде значно менше, чим від інших енергоносіїв. Природний газ породжує на третину менше викидів, чому нафта й наполовину менше, чим вугілля. Газ також знижує викиди двоокису сірки й оксиду азоту. Перехід на газову енергетику, використовуючи величезний потенціал сланцевого газу, дозволить США розв'язати проблему з парниковими газами в країні.

При видобутку сланцевого газу потрібно враховувати і екологічну безпеку нових технологій. Можливе забруднення підземних питних вод при видобутку, який проходить із використанням хімікатів. Однак особливої небезпеки видобуток газу все-таки не представляє. У цілому на виробництво сланцевого газу витрата води менше, чим при виробництві енергії іншими способами.

Енергетичні експерти вже прогнозують, що сланці можуть **зменшити** залежність Європи від російського газу.

Багато інші країни, за прикладом США, також почали підготовчі роботи з одержання сланцевого газу зі своїх родовищ: Німеччина, Угорщина, Польща, Іспанії, Великобританія, Індія й інші країни.

У Швеції в 2009 році фірма «Shell PLC» почала буравлення свердловин сланцевого газу, якого вистачить для повного самозабезпечування на 15-20 років. Найбільша китайська нафтопереробна компанія «China Petroleum & Chemical Corp (Sinopec)» і найбільша в Європі британська нафтова компанія

«ВР» проводять переговори про спільну розвідку і видобутку сланцевого газу в Китаї.

Дональд Трамп і Ху Цзиньтао оголосили про запуск спільного проекту по розробці сланцю. Сланцевий газ у Європі шукають не менше 40 компаній. За експертними оцінками запаси сланцевого газу в Голландії порівнянні із запасами гігантського газового родовища Гронінген у цій країні. На Балтійськом узбережжя Польщі запаси сланцевого газу становлять 12 трлн. кубометрів. Європейські запаси сланцевого газу становлять 35 трлн. м³. Альтернативне газове паливо (сланцевий газ, вугільний метан і ін.) може докорінно змінити весь світовий газовий ринок. Технологічні інновації зроблять США світовим лідером по експорту газу. Багато фахівців вважаються, що починається нова ера, і усе більше експертів із цим згодні.

5.3 Інноваційні розробки в сфері морського перевезення природного газу

5.3.1 Стислий природний газ

У пошуках більш високої економічної ефективності морських перевезень природного газу в наш час розроблена нова концепція – скомпресований природний газ (СПГ). Скомпресований природний газ роблять шляхом стиску (компримірування) природного газу в компресорних установках.

Зберігання і транспортування компримірованого природного газу відбувається в спеціальних накопичувачах газу під тиском 200-220 бар. Також використовується додавання до компримірованому природному газу біогазу, що дозволяє знизити викиди вуглецю в атмосферу.

СПГ технологія є більш дешевою в розрізі як капітальних витрат на будівництво судна, так і експлуатаційних витрат. Основний недолік системи

полягає в тому, що ємність природного газу в порівнянні зі ЗПГ-Танкерами в рази менше.

У підсумку, при перерахуванні на тону перевезеного вантажу, ефективність значно знижується. Уперше технологія була випробувана ще в 1960-х роках, але тоді ціни були занадто низькі, і перевезення виявилися економічно неефективними.

Сьогодні, існує близько 10 різних концепцій СПГ-суден (рис. 5.3), але не один не перебуває в експлуатації. Як показав аналіз, СПГ-судна можуть бути ефективні на відстанях не більше 2500 морських миль, тоді як ЗПГ-танкери ефективні на будь-якій відстані, що перевищує 2200 морських миль.



Рисунок 5.3 – Комп'ютерна модель ЗПГ-судна

З іншого боку, СПГ-судна не вимагають капітальних витрат при будівництві заводів по газифікації і регазифікації, такі проекти мають гнучкість і можуть відкрити зовсім новий товарний ринок, для обслуговування споживачів на динамічній основі.

5.3.2 Офшорні технології в перевезенні

Сьогодні, сектор плавучого виробництва ЗПГ розбудовується як ніколи, колосальний обсяг інвестицій і накопичений досвід дозволили таким гігантам індустрії як «SHELL» реалізувати ряд проектів, що дозволяють значно заощадити на установці берегового встаткування і підводних трубопроводів. Фактично, сучасні офшорні технології націлені на те, щоб перевести всі етапи виробництва, зберігання, газифікації і регазифікації природного газу в морі. Це особливо вигідно і навіть необхідно при роботі з газом у таких країнах як Нігерія.

На сьогоднішній день існує два офшорні проекти, які значно спрощують увесь ЗПГ-комплекс. Це регазифікаційні судна LNGRV (Liquified Natural Gas Refrigerating vessel) і плавучі установки для регазифікації і зберігання газу FSRU (Floating Regasification and Storage unit).

Головна особливість LNGRV, це можливість регазифікувати газ на борту, і вивантажувати його за допомогою підключення до підводного турельного бую через пристрій на носу, для вивантаження на берег, або звичайним вантажним пристроєм у районі міделю на вантажній палубі (рис. 5.4).



Рисунок 5.4 – Фото регазифікаційного судна типу LNGRV т/х «Expedient»

Так само LNGRV можуть працювати як звичайні ЗПГ-Танкера. Основна перевага цієї системи очевидно, необхідність будівництва дорогих ЗПГ-Терміналів для приймання і наступної регазифікації газу попросту відпадає. При наявності спеціалізованого причалу газ можна відвантажувати із судна прямо в газову мережу країни. Час на розвантаження в повному завантаженні, тобто з наступною регазифікацією та вивантаженням становить 5-6 діб для танкера обсягом 120 тис. м³.

Уже сьогодні у п'ять ЗПГ-Термінали використовуються офшорні заглибні баштові навантажувальні буї, які дозволяють LNGRV регазифікувати вантажі в морі і накачувати газ через підводні трубопроводи.

Принцип роботи FSRU (рис. 5.5) такий же, як і в LNGRV, однак, концепція і проект були розроблені і виконано однією з найбільших судновласницьких компаній, що спеціалізується на газовозах – «Golar LNG Energy». Судно призначене для зберігання і регазифікації газу на борту, з можливістю передачі «судно-судно» і «судно-берег».



Рисунок 5.5 – Фото судна призначеного для зберігання і регазифікації газу типу FSRU т/х «FSRU Toscana»

Значний розвиток цієї технології відбувся в 2012 році, коли перша FSRU була встановлена в глибоких водах – це було одним з ЗПГ-Танкерів, конвертованих зараз під FSRU – і почало роботу на італійському узбережжі біля Ліворно.

З 2017 року були замовлені 65 нових ЗПГ-Танкерів, і багато з контрактів мають опціони на покупку додаткових суден. Два з нових замовлень визначені як FSRU, але велика кількість судновласників домовилися із суднобудівниками про те, що нові танкери і опціони можуть бути переустатковані під FSRU, якщо про це буде повідомлено до певної дати. Зростаюче число країн – імпортерів газу розглядають FSRU як ідеальний розв'язок своїх короткострокових потреб.

LNGRV і FSRU дозволяють доправити ЗПГ споживачам з низькими витратами і швидше, ніж це було б у випадку роботи з береговими терміналами і відповідною інфраструктурою, пов'язаними з ними процесами будівництва і дозвільними документами. FPSO для ЗПГ також дозволяють розбудовувати далекі офшорні родовища, які в іншому випадку були б занадто дорогими.

Сьогодні, у роботі перебувають 19 LNGRV і 13 FSRU, тоді як ще два LNG-Танкери переробляються під FSRU.

5.3.3 Комплексна система видобутку, зберігання і скраплення природного газу

Фінальний інвестиційний розв'язок «Shell», прийнятий в травні 2011 року, продовжити роботу над проектом «Prelude» у глибоководній зоні близько 200 км до північно-заходу Австралії представляє ключову віху в розвитку офшорної ЗПГ галузі. Наступний контракт на плавучу систему видобутку, зберігання і вивантаження ЗПГ (Liquefied Natural Gas Floating Production and Storage Unit, LNG FPSO) був першим у світі замовленням на таке судно, і його будівництво встановило нові критерії в морській архітектурі, обробці гідрокарбонатів і офшорної технології.

Судно довжиною 488 м, 74 м шириною і вантажопідйомністю 600 тис. т «LNG FPSO Prelude» (рис. 5.6) в 6 раз перевищує розмір найбільшого літака і значно більше найбільшої у світі плавучої структури у світі. Приблизно 260 тис. т із зазначеної ваги представлені корпусом і надбудовою.



Рисунок 5.6 – Фото т/х «LNG FPSO Prelude»

Тільки система установки платформи «Prelude» складе 30 м у діаметрі і 100 м у висоту. Система швартування дозволить судну міняти орієнтацію згідно з погодними умовами на крапці швартування, і розробляється так, щоб протистояти екстремальним силам у циклонних гідрометеорологічних умовах.

На додаток до 3,6 млн. т у рік ЗПГ, які зможе зробити «LNG FPSO Prelude», зможе зробити 1,3 млн. т у рік конденсату і 0,4 млн. т у рік зрідженого нафтового газу. На судні буде простір для зберігання 220 тис. м³ ЗПГ, у мембранних танках, 90 тис. м³ СНД і 126 тис. м³ конденсату. Судна-перевізники газу і конденсату будуть завантажуватися шляхом швартування бортом до борту.

Холодна вода, узята на глибині 150 м, буде використовуватися для посилення ефективності процесу скраплення. Холодна вода також дозволить використовувати парові турбіни як основну рушійну силу для генерації енергії і для забезпечення тепла ребойлеру. Тоді як пара не найефективніша джерело енергії, а він надійний і його використання дозволяє досягтися найбільш простої конструкції силової передачі.

«Shell» почала запуск першого судна LNG FPSO в 2017 році, мета, яка забезпечить розробку газу на родовищі Prelude після його виявлення.

Такий комплекс став новою відправною крапкою для ЗПГ-проектів по усьому світу. Такий комплекс разом з технологіями LNGRV або FSRU не потребує нічого більшого, ніж термінал із прийомним трубопроводом для виходу прямо в газову мережу.

Сучасний розв'язок проблеми транспортування природного газу був знайдене у вигляді морського перевезення. Для такої операції газ під тиском зменшують в обсязі більше ніж в 600 раз, що дозволяє перевозити більші кількості на будь-які відстані. Ринок морського перевезення зрідженого природного газу почав формуватися ще в 60-х роках, однак тоді він не був так сильно затребуваний через доступність нафти. Сьогодні ситуація інша, ринок морського перевезення газу є самою, що динамічно розбудовується галуззю морських перевезень. Держави і енергетична корпорації готові витратити величезні гроші для одержання економічних, екологічних технологій транспортування, тому що природний газ є єдиною реальною сучасною альтернативою нафти. За прогнозами аналітиків доведених запасів газу вистачить ще як мінімум на сто років використання в якості основного світового енергоресурсу.

Зріджений природний газ застосовується для тих же цілей, що і мережний природний газ, але інтегруючи в собі екологічні і технологічні переваги переваги звичайного трубопровідного газу, має властивості, які відкривають нові перспективи для його зберігання і транспортування. Той факт, що процес скраплення зменшує обсяг газу в 600 раз, при цьому при перекладі ЗПГ

у газоподібний стан його властивості відповідають властивостям природного газу з магістрального газопроводу, обумовив використання ЗПГ у якості ефективної форми транспортування природного газу. Насамперед, за допомогою ЗПГ вирішується проблема газопостачання на таких напрямках поставок, де технічно неможливо або економічно недоцільно використовувати газопроводи, тобто якщо мова йде про більші відстані або складні географічні умови. Маневреність поставок ЗПГ дозволяє розв'язати проблему доставки газу на потенційно вигідні, але вилучені ринки, тому що довжина транспортного маршруту, на відміну від прокладки трубопроводу, не є тут критичним параметром.

Враховуючи всі ті труднощі, які було подолано у зв'язку з такими масштабними і дорогими проектами, не дивно, що офшорний видобуток і виробництво ЗПГ на десятки років відстає від нафтового. Однак, завдяки зростаючому попиту на газ по всьому світу і значним технологічним прогресом, офшорний зріджений газ повинен мати значний вплив на економіку світу.

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СУДНА В РЕЙСІ

6.1 Загальна частина

Кожен рейс характеризується з кількісної та якісної сторони. Кількість працюючого тоннажу, обсяги перевезень, витрати часу, матеріальних і грошових ресурсів характеризуються абсолютними величинами. Кожен показник відображає якусь суттєву сторону транспортного процесу. У сукупності ці величини тісно пов'язані між собою і представляють єдину систему експлуатаційних, економічних і валютно-фінансових показників роботи судна, і загалом флоту.

Вихідні дані для рейсу т/х «Verrazane» з порту Кашима в порт Лос-Анджелес зведені в табл. 6.1 [1, 39].

Таблиця 6.1 – Початкові дані для розрахунку рейсу

№	Найменування показників	Умовні позначення	Од. вимір.	Значення
1	2	3	4	5
1	LPG «Verrazane»	Dw	т	26298
2	Запаси на початок рейсу	G _p	т	1591,8
3	Відстань між портами	L	милі	4762,51
4	Кількість завантаженого вантажу	Q	т	19827,2
5	Фрахтова ставка за 1 контейнер	f	дол.США/т	45
6	Норми завантаження вантажу	M _{зав}	т/добу	13440
7	Норми розвантаження вантажу	M _{розв}	т/добу	10800
8	Експлуатаційна швидкість	V _{екс}	вузл	15,0
9	Швидкість в каналах, в вузкостях або додатковий час	V _{кан}	вузл	15

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5
10	Добова витрата палива на ходу: важке легке	$q_{хв};$ $q_{хл}$	т/добу т/добу	22,9 1,5
11	Добова витрата палива на стоянці: важке легке	$q_{ств}$ $q_{стл}$	т/добу т/добу	0 1,8
12	Вартість 1 т палива: важке легке	B_v B_l	дол.США/т дол.США/т	520 660
13	Балансова вартість судна	$C_{бал}$	дол.США	16000000
14	Річна норма амортизації	$H_{ам}$	%	10
15	Час поза експлуатацією судна	$T_{пе}$	діб	10
16	Чисельність екіпажу	$\check{C}_{ек.}$	чол.	24
17	Час затримки в дорозі	$t_{затр}$	год.	0,01
18	Додатковий час в портах	$t_{дод}$	діб.	0,28
19	Заробітна плата екіпажу	$R_{зп}$	дол.США/добу	6100
20	Витрати на технічне постачання	$R_{тс.}$	дол.США/добу	210
21	Навігаційні витрати	$R_{нав}$	дол.США/добу	150
22	Портові збори	$R_{пор}$	дол.США	12000
23	Агентування суден	$R_{аг.}$	дол.США/добу	180
24	Витрати на страхування суден	$R_{стр}$	дол.США/добу	220
25	Вартість на ремонт	$C_{рем}$	дол.США/мр.п.	500000
26	Вартість одного докування	$C_{док}$	дол.США	50000
27	Коефіцієнт на адміністративно-управлінський апарат	$k_{ад}$	%	2

6.2 Методика розрахунку кількісних експлуатаційно-економічних показників роботи судна в рейсі

1. Розраховуємо чисту вантажопідйомність судна:

$$D_{\text{ч}} = D_{\text{w}} - G_{\text{зап.}}, \quad (6.1)$$

$$D_{\text{ч}} = 26298 - 1591,8 = 24706,2 \text{ т.}$$

2. Розраховуємо експлуатаційний період роботи судна

$$T_{\text{екс}} = T_{\text{к}} - T_{\text{ве}}, \quad (6.2)$$

$$T_{\text{е}} = 365 - 10 = 355 \text{ діб.}$$

3. Розраховуємо час рейсу

а) ходовий час:

$$t_{\text{х}} = \frac{L - l_{\text{вук}}}{V_{\text{екс}} \cdot 24} + t_{\text{затр}}, \quad (6.3)$$

$$t_{\text{х}} = (4762,51 / 24 \cdot 15,0) + 0,01 = 13,2 \text{ діб.}$$

б) стоянковий час:

$$t_{\text{ст}} = t_{\text{ст}}^{\text{н}} + t_{\text{ст}}^{\text{е}} = \left(\frac{Q_1}{M_{\text{н1}}} \right) + \left(\frac{Q_1}{M_{\text{Б1}}} \right) + t_{\text{дод}}, \quad (6.4)$$

$$t_{\text{ст}} = (19827,2 / 13440 + 19827,2 / 10800) + 0,28 = 3,6 \text{ діб.}$$

в) час рейсу складе:

$$t_{\text{р}} = t_{\text{х}} + t_{\text{ст.}}, \quad (6.5)$$

$$t_{\text{р}} = 13,2 + 3,6 = 16,8 \text{ діб.}$$

4. Розрахуємо провізну спроможність судна

$$\Sigma QL = 19827,2 \cdot 4762,51 = 94427238,27 \text{ тонно-миль/рейс,}$$

$$\Sigma D_{\text{ч}} L = 24706,2 \cdot 4762,51 = 117663524,6 \text{ тонно-миль / рейс.}$$

5. Розрахуємо доходи судна за рейс

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

$$\Sigma F_{\text{рейс}} = 19827,2 \cdot 45 = 892224 \text{ дол.США/рейс.}$$

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

1) Постійні експлуатаційні витрати судна

а) Витрати на харчування екіпажу:

$$R_{\text{харч}} = \text{Ч}_{\text{ек}} \cdot R_{\text{діб}} \cdot t_p, \quad (6.7)$$

$$\Sigma R_{\text{харч.р}} = 24 \cdot 15 = 360,0 \text{ дол.США /добу.}$$

б) Витрати на ремонт:

$$\Sigma R_{\text{рем}}^{\text{діб}} = \frac{(n_{\text{док}} \cdot C_{\text{док}} + C_{\text{рем}}) / t_{\text{мп}}}{T_{\text{екс}}}, \quad (6.8)$$

$$\Sigma R_{\text{рем.с}} = ((500000 + 150) / 5 \cdot 355) = 281,8 \text{ дол.США/добу.}$$

в) Витрати на амортизацію:

$$\Sigma R_{\text{ам}} = \frac{C_{\text{бал}} \cdot H_{\text{ам}}}{T_{\text{ек}} \cdot 100}, \quad (6.9)$$

$$\Sigma R_{\text{ам.р}} = ((16000000 \cdot 0,1) / (355 \cdot 100)) = 4507 \text{ дол.США /добу.}$$

г) Витрати на загально суднове постачання:

$$\Sigma R_{\text{сн}} = \frac{C_{\text{бал}} \cdot H_{\text{сн}}}{T_{\text{ек}} \cdot 100}, \quad (6.10)$$

$$\Sigma R_{\text{сн.р}} = ((16000000 \cdot 0,02) / (355 \cdot 100)) = 901,4 \text{ дол.США /добу.}$$

г) Постійні експлуатаційні витрати за добу:

$$R_{\text{екс}} = R_{\text{зп}} + R_{\text{харч}} + R_{\text{ам}} + R_{\text{сн}} + R_{\text{рем}} + R_{\text{тсн}} + R_{\text{нав}} + R_{\text{пор}} / t_p + R_{\text{аг}} + R_{\text{стр.}}, \quad (6.11)$$

$$\Sigma R_{\text{екс}} = 6100 + 360 + 4507 + 901,4 + 281,8 + 210 + 150 + 713,4 + 180 + 220 = 13623,6 \text{ дол.США /добу.}$$

2) Розрахуємо непрямі (адміністративно-управлінські) витрати судна за добу:

$$R_{\text{непр}} = R_{\text{екр}} \cdot k_{\text{ад}}, \quad (6.12)$$

$$R_{\text{непр}} = 13623,6 \cdot 0,02 = 272,5 \text{ дол.США/добу.}$$

3) Знаходимо загальні постійні експлуатаційні витрати судна за добу:

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

$$R_{\text{заг}} = 13623,6 + 272,5 = 13896,1 \text{ дол.США/добу.}$$

4) Знаходимо загальні постійні експлуатаційні витрати судна за рейс:

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

$$\Sigma R_{\text{заг.екс.}} = 13896,1 \cdot 16,8 = 233736,7 \text{ дол.США/рейс.}$$

5) Розраховуємо змінні витрати судна за добу і за рейс:

а) витрати на паливо і мастильні матеріали на ходу і на стоянці за добу експлуатації:

$$R_{\text{х.тяж.}} = k_{\text{см}} \cdot q_{\text{х}} \cdot B_{\text{т}} = 1 \cdot 22,9 \cdot 520 = 11908 \text{ дол.США/добу};$$

$$R_{\text{ст.тяж.}} = k_{\text{см}} \cdot q_{\text{ст}} \cdot B_{\text{т}} = 1 \cdot 3,3 \cdot 660 = 2178 \text{ дол.США/добу.}$$

б) Розраховуємо змінні витрати за рейс:

$$\Sigma R_{\text{змін}} = (R_{\text{х.тяж.}} \cdot t_{\text{х}}) + (R_{\text{ст.тяж.}} \cdot t_{\text{ст}}), \quad (6.15)$$

$$\Sigma R_{\text{змін}} = (11908 \cdot 13,2) + (2178 \cdot 3,6) = 165354,6 \text{ дол.США/рейс.}$$

6. Знаходимо загальні витрати судна за рейс:

$$\Sigma R_{\text{рейс}} = \Sigma R_{\text{заг.екс.}} + \Sigma R_{\text{змін.}}, \quad (6.16)$$

$$\Sigma R_{\text{рейс}} = 233736,7 + 165354,6 = 399091,4 \text{ дол.США/рейс.}$$

7. Знаходимо прибуток судна за рейс:

$$\Delta \Pi_{\text{рейс}} = \Sigma F_{\text{рейс}} - \Sigma R_{\text{заг.рейс}} \quad (6.17)$$

$$\Delta \Pi_{\text{рейс}} = 892224,6 - 399091,4 = 493132,6 \text{ дол.США /рейс.}$$

6.3 Методика розрахунку якісних експлуатаційно-економічних показників роботи судна в рейсі

1. Коефіцієнт використання календарного періоду:

$$K_e = \frac{T_e}{T_{\kappa}}, \quad (6.18)$$

$$K_e = 355 / 365 = 0,97.$$

2. Коефіцієнт використання вантажопідйомності судна:

$$\alpha_{заг} = \frac{\Sigma Q}{\Sigma D_q}, \quad (6.19)$$

$$\alpha_{заг} = 94427238,27 / 117663525 = 0,8025.$$

3. Середньодобова експлуатаційна швидкість:

$$V_{сер} = \frac{L}{t_x}, \quad (6.20)$$

$$V_{сер} = 4762,51 / 13,2 = 360 \text{ милі/добу.}$$

4. Коефіцієнт ходового часу:

$$\varepsilon_x = \frac{t_x}{t_p}, \quad (6.21)$$

$$\varepsilon_x = 13,2 / 16,8 = 0,79.$$

5. Продуктивність однієї тони вантажопідйомності за добу експлуатації:

$$\mu_b = \alpha_z \cdot V_{сер} \cdot \varepsilon_x, \quad (6.22)$$

$$\mu_b = 0,8025 \cdot 360 \cdot 0,79 = 227,2 \text{ т-милі/тнж-добу.}$$

6. Валова прибутковість одних судно-днів:

$$\mu_g = \frac{\Delta F_{чинв}}{t_p}, \quad (6.23)$$

$$\mu_b = 892224 / 16,8 = 53044,5 \text{ дол.США/добу.}$$

7. Рівень прибутковості являє відношення доходів до витрат:

$$PF = \frac{\Sigma F_{заг.рейс}}{\Sigma R_{заг.рейс}}, \quad (6.24)$$

$$PF = 892224 / 399091,4 = 2,24.$$

8. Розрахуємо собівартість перевезення однієї тони вантажу в рейсі:

$$S_T = \frac{\Sigma R_{заг}}{\Sigma Q}, \quad (6.25)$$

$$S_T = 399091,4 / 19827,2 = 20,1 \text{ дол.США/т.}$$

9. Прибуток з урахуванням податку 25%:

$$\Sigma P_{\text{рейс}} = \Delta F - \Sigma N_{\text{под}} = \Delta F_{\text{рейс}}, \quad (6.26)$$

$$\Sigma P_{\text{рейс}} = 493132,6 - 25\% = 369849,5 \text{ дол.США/рейс.}$$

10. Розрахуємо собівартість 1 тонно-милі на добу в рейсі:

$$S_{\text{т-м}} = \frac{\Sigma R_{\text{заг}}}{\Sigma Ql}, \quad (6.27)$$

$$S_{\text{т-м}} = 399091,4 / 94427238,27 = 0,00423 \text{ дол.США/т-м.}$$

11. Розрахуємо собівартість утримання судна за добу експлуатації:

$$S_{\text{с-с}} = \frac{\Sigma R_{\text{заг.}}}{t_p}, \quad (6.28)$$

$$S_c = 399091,4 / 16,8 = 23726,8 \text{ дол.США /добу.}$$

6.4 Прогнозування роботи судна за експлуатаційний період

1. Число рейсів за експлуатаційний період:

$$\text{Ч}_p = T_{\text{екс}} / t_p, \quad (6.29)$$

$$\text{Ч}_p = 355 / 16,8 = 21,1 \text{ рейсів.}$$

2. Обсяг перевезеного вантажу за експлуатаційний період:

$$\Sigma Q_{\text{екс}} = \Sigma Q \cdot \text{Ч}_p, \quad (6.30)$$

$$\Sigma Q_{\text{екс}} = 19827,2 \cdot 21,1 = 418462,4 \text{ т.}$$

3. Обсяг транспортної роботи за експлуатаційний період:

$$\Sigma Ql_{\text{екс}} = \Sigma Ql \cdot \text{Ч}_p, \quad (6.31)$$

$$\Sigma Ql_{\text{екс}} = 19827,2 \cdot 21,1 \cdot 4762,51 = 1992931202 \text{ т-м-рейсів.}$$

4. Дохід за експлуатаційний період:

$$\Sigma F_{\text{екс}} = \Sigma F_{\text{рейс}} \cdot \text{Ч}_p, \quad (6.32)$$

$$\Sigma F_{\text{екс}} = 892224 \cdot 21,1 = 18830806,4 \text{ дол.США/рік.}$$

5. Загальні витрати судна за експлуатаційний період:

$$\sum R_{\text{екс}} = \sum R_{\text{рейс}} \cdot \text{Ч}_p, \quad (6.33)$$

$$\sum R_{\text{екс}} = 399091,4 \cdot 21,1 = 8423010,8 \text{ дол.США/рік.}$$

6. Прибуток судна за експлуатаційний період:

$$\sum \Pi = \sum \Pi_{\text{рейс}} \cdot \text{Ч}_p, \quad (6.34)$$

$$\sum \Pi = 493132,6 \cdot 21,1 = 10407795,5 \text{ дол.США/рік.}$$

7. Рівень прибутковості роботи судна за експлуатаційний період:

$$\sum PF = \frac{\sum F_{\text{екс}}}{\sum R_{\text{екс}}}, \quad (6.35)$$

$$\sum PF = 18830806,4 / 8423010,8 = 2,24.$$

6.5 Оцінка ефективності виконаного рейсу і роботи судна за експлуатаційний період

Результати всіх розрахунків по закінченому рейсу зводимо в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Кількісні та якісні показники виконаного рейсу

№ п/п	Найменування показників	Умовні познач.	Од. вимірювання	Значення
1	2	3	4	5
1	Експлуатаційний період	T_e	діб	355
2	Відстань пройдена судном в рейсі	L, l	милі	4762,5
3	Перевезено вантажу	ΣQ	тон	19827,2
4	Судно-доба в рейсі	t_p	діб	16,8
	а) на ходу	t_x	діб	13,2
	б) на стоянці	$t_{ст}$	діб	3,6
5	Валовий дохід	F	дол.США	892224
6	Затрати загальні	R	дол.США	399091,4
7	Прибуток	Π	дол.США	493132,6
8	Коефіцієнт ходового часу	ε_x		0,79
9	Середньодобова експлуатація, швидкість	$V_{сер}$	милі/добу	360
10	Дохідність судна	$\mu'_в$	дол.США /добу	53044,5

Продовження табл. 6.2

1	2	3	4	5
11	Рівень дохідності	PF		2,24
12	Собівартість перевезення 1 т вантажу	S_T	дол.США /т	20,1
13	Собівартість 1 т-м	$S_{T-м}$	дол.США /т-м	0,004
14	Собівартість утримання судна за добу експлуатації	S_c	дол.США /діб.ек	23726,79

У результаті розрахунків встановлено, що рейс т/х «Verrazane» з Кашіми до Лос-Анджелеса має тривалість 16,8 доби, з яких 13,2 доби припадає на хід та 3,6 доби – на стоянки в портах. Чиста вантажопідйомність судна становить 24706,2 т, при фактичному завантаженні 19827,2 т, що відповідає значному рівню використання дедвейту.

Сукупні доходи судна за рейс становлять 892224 дол. США, тоді як загальні витрати дорівнюють 399091,4 дол. США. Прибуток за рейс досягає 493132,6 дол. США, що підтверджує економічну доцільність виконання даного перевезення.

Постійні експлуатаційні витрати за рейс становлять 233736,7 дол. США, змінні – 165354,6 дол. США, що свідчить про значну питому вагу паливно-енергетичних витрат у загальних витратах. Рівень прибутковості (PF) дорівнює 2,24, тобто на кожен долар витрат припадає 2,24 долара доходів, що характеризує рейс як високорентабельний. Коефіцієнт використання календарного періоду становить 0,97, що вказує на ефективне планування експлуатаційного часу судна. Коефіцієнт використання вантажопідйомності 0,8025 та коефіцієнт ходового часу 0,79 демонструють достатньо високий рівень організації перевезення та мінімальні простої. Продуктивність однієї тони вантажопідйомності за добу експлуатації дорівнює 227,2 т-миль/тнж-добу, що свідчить про ефективне використання технічних можливостей судна. Валова прибутковість однієї судно-доби становить 53044,5 дол. США, що за умови оптимальної собівартості перевезення однієї тони вантажу підтверджує конкурентоспроможність рейсу на ринку морських перевезень.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОННІ ЗАХОДИ І ЦИВІЛЬНА ОБОРОНА НА СУДНІ

7.1 Прогнозування наслідків надзвичайної ситуації на об'єкті морського транспорту

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

Вантажне судно «Afseroja Dua» очікує дозвіл на вхід у порт Монтевідео (Уругвай).

Отримано повідомлення про виникнення в порту надзвичайної ситуації терористичного характеру: в районі причалу № 4 стався вибух на танкері-химовозі. Внаслідок вибуху на танкері-химовозі пошкоджена вантажна ємність, з якої вилилося 5 т зрідженого фосгену. Розлитий фосген є сильнодіючою отруйною речовиною (СДОР). Характер розливу «вільно».

Метеорологічні умови на момент аварії: час доби – день, 15.00, температура повітря 20⁰, швидкість вітру 5 м/с, вітер зустрічний, суцільна хмарність. Відстань до місця аварії – 3 км.

Місцевість відкрита, характер – водна поверхня.

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

Запропонувати заходи щодо зменшення можливих втрат серед екіпажу судна.

Визначити стандартні робочі процедури по прийняттю відповідних заходів у разі підозрілої діяльності на судні або поблизу нього.

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») [40].

1) Визначення ступеня вертикальної стійкості повітря

За заданими метеорологічними умовами (час доби – день, швидкість вітру 5 м/с, суцільна хмарність) визначаємо по табл. 7.1 ступень вертикальної стійкості повітря – ізотермія.

Таблиця 7.1 – Визначення ступеня вертикальної стійкості повітря за прогнозом погоди

Швидкість вітру, м/с	Час доби					
	день			ніч		
	Наявність хмарності					
	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.

Розраховуємо еквівалентну кількість $Q_{31}(T)$ фосгену в первинній хмарі:

$$Q_{31} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7^1 \cdot Q_0 = 0,05 \cdot 1 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 5 = 0,06 \text{ т,}$$

де: $K_1 = 0,05$ – коефіцієнт, що залежить від умов зберігання СДОР (табл. 7.2);

Таблиця 7.2 – Характеристики СДОР і значення допоміжних коефіцієнтів

Найме- нування СДОР	Щіль- ність СДОР, т/ м³		Температура кипіння, °С	Порогова токсодоза, мг·хв/л	Значення допоміжних коефіцієнтів								
	Газ	Рідина			К ₁	К ₂	К ₃	К ₇ для температури повітря (°С)					
								-40	-20	0	10	20	40
Фосген	-	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	<u>0</u> 0,1	<u>0</u> 0,3	<u>0</u> 0,7	<u>0,5</u> 1	<u>1</u> 1	<u>2,7</u> 1

Примітка 1. У таблиці наведені значення K_7 : у чисельнику – K_7^I (для первинної хмари), у знаменнику – K_7^{II} (для вторинної хмари).

$K_3 = 1$ – коефіцієнт, що дорівнює відношенню порогової токсодози хлору до порогової токсодози фосгену (табл. 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);

$K_7^I = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього повітря на швидкість утворення первинної хмари (табл. 7.2);

$Q_0 = 5$ – кількість фосгену, що розлився при аварії, т.

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

Площа розливу S_p (м²) фосгену дорівнює:

$$S_p = \frac{V_p}{h} = \frac{Q_0 / \rho}{h} = \frac{5 / 1,432}{0,05} = 70 \text{ м}^2,$$

де: V_p – об'єм фосгену, що розлився, м³;

$\rho = 1,432$ – щільність фосгену, т/м³ (табл. 7.2);

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

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.) фосгену:

$$T = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7^{\text{II}}} + \frac{1}{K_m \cdot v_{\text{п}}} = \frac{0,05 \cdot 1,432}{0,061 \cdot 2,34 \cdot 1} + \frac{1}{1 \cdot 29} = 0,54 \text{ год.} \approx 32 \text{ хв.},$$

де: $K_2 = 0,061$ – коефіцієнт, що залежить від фізико-хімічних властивостей фосгену (табл. 7.2);

$K_4 = 2,34$ – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру (табл. 7.3);

Таблиця 7.3 – Значення коефіцієнту K_4 залежно від швидкості вітру

Швидкість вітру (u), м/с	$1 \leq$	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

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

$K_m = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив місцевості на швидкість поширення хмари фосгену (табл. 7.4);

Таблиця 7.4 – Значення коефіцієнту K_m залежно від впливу характеру місцевості

Рельєф місцевості, вид рослинності і забудови	Вертикальна стійкість повітря		
	конвекція	ізотермія	інверсія
Водна поверхня, відкрита місцевість	1	1	1
Міська (промислова) забудова	0,2	0,2	0,3
Територія порту	0,2	0,2	0,3

$v_{\Pi} = 29$ – швидкість перенесення переднього фронту зараженого повітря, км/год. (табл. 7.5).

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									
	$1 \leq$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Інверсія	5	10	16	21	-	-	-	-	-	-
Ізотермія	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59
Конвекція	7	14	21	28						

Розраховуємо еквівалентну кількість фосгену Q_{32} (т) у вторинній хмарі:

$$Q_{32} = \frac{Q_0 \cdot (1-K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7^{11}}{h \cdot \rho} = \frac{5 \cdot 0,95 \cdot 0,061 \cdot 1 \cdot 2,34 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 1}{0,05 \cdot 1,432} ;$$

$$Q_{32} = 2,18 \text{ т,}$$

де: $K_6 = N^{0,8} = 1^{0,8} = 1$ – 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 табл. 7.6.

Таблиця 7.6 – Глибина (км) зони зараження

Швидкість вітру, м/с	Еквівалентна кількість СДОР, т								
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20
1 і менше	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60

Для $Q_{\text{с1}} = 0,06$ т та швидкості вітру $u = 5$ м/с визначаємо глибину зони зараження первинною хмарою фосгену: $\Gamma_1 = 0,41$ км.

Для $Q_{\text{с2}} = 2,18$ т та швидкості вітру $u = 5$ м/с визначаємо глибину зони зараження вторинною хмарою фосгену: $\Gamma_2 = 2,42$ км.

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

$$\Gamma_{\Sigma} = \Gamma' + 0,5 \cdot \Gamma'' = 2,42 + 0,5 \cdot 0,41 = 2,62 \text{ км,}$$

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

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

$$\Gamma_{\pi} = N \cdot v_{\pi} = 1 \cdot 29 = 29 \text{ км.}$$

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

$$\Gamma = \min \left\{ \begin{matrix} \Gamma_{\Sigma} \\ \Gamma_{\pi} \end{matrix} \right\} = 2,62 \text{ км.}$$

Визначаємо площу зони можливого зараження S_b (км²) хмарию фосгену:

$$S_b = \pi \cdot \Gamma^2 \cdot \varphi / 360^0 = 3,14 \cdot 2,62^2 \cdot 45^0 / 360^0 = 2,69 \text{ км}^2,$$

де: $\Gamma = 2,62$ – розрахункова глибина зони зараження, км;

$\varphi = 45^0$ – кутовий розмір зони зараження, град (табл. 7.7).

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

Швидкість вітру (u), м/с	$\leq 0,5$	0,6 - 1	1,1 - 2	>2
φ , град	360	180	90	45

Визначаємо площу зони фактичного зараження S_f (км²):

$$S_f = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0,2} = 0,133 \cdot 2,62^2 \cdot 1^{0,2} = 0,91 \text{ км}^2,$$

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).

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

Територія можливого хімічного зараження представляє собою сектор, що має кутовий розмір $\varphi = 45^0$ (табл. 7.7) і радіус, який дорівнює значенню розра-

хунковій глибині зони зараження $\Gamma = 2,62$ км. Вершина сектору співпадає з джерелом зараження - місцем розливу фосгену.

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

Розраховуємо глибину зони смертельних уражень Γ_1 (км):

$$\Gamma_1 = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_3}{D_1} \right)^\Psi = 1,34 \cdot 1 \cdot \left(\frac{2,24}{6} \right)^{0,542} = 0,79 \text{ км},$$

де: $\lambda = 2,31$; $\Psi = 0,580$ – коефіцієнти, що залежать від швидкості вітру (табл. 7.8);

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

$Q_3 = Q_{31} + Q_{32} = 0,06 + 2,18 = 2,24$ – загальна еквівалентна кількість СДОР, що перейшла в первинну і вторинну хмару, т;

$D_1 = 6$ – летальна токсодоза для хлору, мг.хв/л.

Розраховуємо глибину зони важких уражень $\Gamma_{0,41}$ (км):

$$\Gamma_{0,41} = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_3}{D_{0,41}} \right)^\Psi = 1,34 \cdot 1 \cdot \left(\frac{2,24}{2,4} \right)^{0,542} = 1,29 \text{ км},$$

де: $D_{0,41} = 0,4 \cdot D_1 = 0,4 \cdot 6 = 2,4$ – значення токсодози, що відповідає 40% летальної токсодози для хлору, мг.хв/л.

Розраховуємо глибину зон уражень середньої важкості $\Gamma_{0,21}$ (км):

$$\Gamma_{0,21} = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_3}{D_{0,21}} \right)^\Psi = 1,34 \cdot 1 \cdot \left(\frac{2,24}{1,2} \right)^{0,542} = 1,88 \text{ км},$$

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

Глибина зони легких уражень відповідає значенню розрахунковій глибині зони зараження $\Gamma = 2,62$ км.

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

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

$$t = \frac{x}{K_m \cdot v_{\Pi}} = \frac{3}{1 \cdot 29} = 0,1 \text{ год.} \approx 6 \text{ хв.},$$

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 зараження внаслідок інциденту в порту показала, що в результаті утворення хмари зараженого повітря небезпечна зона поширюється на глибину до 2,62 км. Таким чином, можна зробити висновок, що судно «Afseroja Dua» не потрапляє в зону ураження (відстань до місця аварії – 3 км).

Для уникнення можливих людських втрат пропонуються наступні заходи:

- оголосити на судні тривогу та повідомити екіпаж про небезпеку;
- усім членам екіпажу терміново припинити усі роботи на палубі та укритись у надбудові судна;
- зв'язатися із аварійними службами порту для отримання оперативної інформації про розвиток аварії;
- на всяк випадок судну відійти подалі від берега, що буде гарантувати безпеку екіпажу.

7.1.4 Стандартні робочі процедури по прийняттю відповідних заходів у разі підозрілої діяльності на судні або поблизу нього

Стандартні робочі процедури встановлюють порядок дій суднового персоналу при порушенні захисту судна або підозрілої діяльності на судні або поблизу нього при всіх рівнях охорони (1, 2, 3).

Капітан уповноважений приймати будь-які рішення, спрямовані на порятунок судна, пасажирів та екіпажу, збереження вантажу, запобігання забруднення навколишнього середовища. Капітан і особа командного складу, відповідальна за охорону судна, повинні прийняти усі необхідні заходи, які будуть адекватні ситуації, що склалася. Виходячи з рекомендацій міжнародних і національних документів, можна сформулювати наступні основні заходи, які повинні бути проведені на судні [41-43]:

- своєчасне виявлення засобів нападу і нападників,
- максимальне ускладнення висадки нападників на судно,
- у разі висадки нападників на судно або виявленні їх на судні максимальне ускладнення можливого встановлення ними контролю над управлінням судна або захоплення заручників.

Розподіл відповідальності членів екіпажу за виконання дій, які повинні бути зроблені у разі підозрілої діяльності на судні або поблизу нього, наведений в табл. 7.9 і може бути використаний в якості чек-листа. Даний перелік дій жодним чином не обмежує капітана в прийнятті інших рішень, якщо він вважає їх більш ефективними в конкретних умовах.

Таблиця 7.9 – Заходи, які повинні бути прийняті у разі підозрілої діяльності на судні або поблизу нього

№ п/п	Дії, які повинні бути виконані	Відповідальний член екіпажу
1	2	3
1	Записати докладно попередження про загрозу теракту (якщо воно було) . У судновому журналі відображати всі заходи по	Вахтовий помічник

Продовження табл. 7.9

1	2	3
	забезпеченню безпеки до закінчення дозволу надзвичайної ситуації.	
2	Негайно доповісти капітану і ОКС.	Вахтовий помічник
3	Оголосити загальносуднову тривогу.	Капітан
4	Задраїти і закрити на замки всі приміщення на палубах.	Вахтовий помічник
5	Створити на судні зони безпеки, визначені Планом охорони судна і діяти у відповідності з Планом.	Офіцер з охорони судна
6	Забезпечити зорове спостереження і суворий пропускний режим.	Офіцер з охорони судна
7	Встановити зв'язок і взаємодію з Посадовою особою портового засобу, відповідальною за охорону, і портовою владою.	Офіцер з охорони судна
8	Тримати каюти членів екіпажу і ілюмінатори в каютах постійно закритими.	Вахтовий помічник
9	Забезпечити спостереження за сторонніми особами, які перебувають на борту, виключити їх вільне переміщення по судну.	Офіцер з охорони судна
10	Здійснювати постійний контроль за вантажно-розвантажувальними роботами, при перерві в роботах і по їх закінченню провести ретельний огляд трюмів, палуб і закриття люків.	Офіцер з охорони судна
11	З настанням темного часу доби забезпечити освітлення палуб і бортів судна, підняти трап, перевірити відсутність з бортів і корми звисаючих кінців, виставити додаткові спостережні пости, регулярно перевіряти, як задраєні і розкріплені зсередини всі двері і люки, що ведуть у коридори надбудови	Капітан Офіцер з охорони судна

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі також виконана навігаційна підготовка до переходу Кашима – Лос-Анджелес на газовозі «Verrazane», яка показала, що рейс безпечний за усіма параметрами та прибутковий.

В даному рейсі до перевезення приймається суміш пропан-бутан. Даний газ відноситься до зріджених вуглеводневих газів або зріджений нафтовий газ, що представляє собою суміш зріджених під тиском легких вуглеводнів із температурою кипіння від -50 до 0 °С.

Результати розрахунків, отримані при розрахунку контролю за посадкою остійністю і міцністю корпусу показують, що при цьому варіанті завантаження судно збереже плавучість і остійність. Контроль за остійністю виконано за вимогами ММО.

Зріджений природний газ відіграє усе більш помітну роль у світовій торгівлі енергоносіями. Частка споживання природного газу як основного джерела енергії збільшується щорічно. Сьогодні, у загальносвітовому балансі енергоресурсів природний газ посідає друге місце після нафти. Близько вісімдесяти відсотків усіх розвіданих запасів природного газу перебувати на Євразійському континенті, при чому більш половини від цієї кількості припадати на Російську Федерацію. У зв'язку з таким нерівномірним розподілом запасів газу та й усе зростаючими потребами по його використанню виникає гостре питання транспортування газу від виробника кінцевому споживачеві.

Сучасний розв'язок проблеми транспортування природного газу був знайдене у вигляді морського перевезення. Для такої операції газ під тиском зменшують в обсязі більше ніж в 600 раз, що дозволяє перевозити більші кількості на будь-які відстані. Ринок морського перевезення зрідженого природного газу почав формуватися ще в 60-х роках, однак тоді він не був так сильно затребуваний через доступність нафти. Сьогодні ситуація інша, ринок

морського перевезення газу є самою, що динамічно розбудовується галуззю морських перевезень. Держави і енергетична корпорації готові витратити величезні гроші для одержання економічних, екологічних технологій транспортування, тому що природний газ є єдиною реальною сучасною альтернативою нафти. За прогнозами аналітиків доведених запасів газу вистачить ще як мінімум на сто років використання в якості основного світового енергоресурсу.

Зріджений природний газ застосовується для тих же цілей, що і мережний природний газ, але, інтегруючи в собі екологічні та технологічні переваги звичайного трубопровідного газу, має властивості, які відкривають нові перспективи для його зберігання і транспортування. Той факт, що процес скраплення зменшує обсяг газу в 600 раз, при цьому при перекладі ЗПГ у газоподібний стан його властивості відповідають властивостям природного газу з магістрального газопроводу, обумовив використання ЗПГ у якості ефективної форми транспортування природного газу. Насамперед, за допомогою ЗПГ вирішується проблема газопостачання на таких напрямках поставок, де технічно неможливо або економічно недоцільно використовувати газопроводи, тобто якщо мова йде про більші відстані або складні географічні умови. Маневреність поставок ЗПГ дозволяє розв'язати проблему доставки газу на потенційно вигідні, але вилучені ринки, тому що довжина транспортного маршруту, на відміну від прокладки трубопроводу, не є тут критичним параметром.

Поставки ЗПГ для багатьох країн є невід'ємної складової їхньої енергетичної безпеки. Як споживачі, так і виробники даного енергоносія прагнуть за допомогою ЗПГ диверсифікувати напрямку і обсяги поставок, що особливо важливо у світлі твердої прив'язки країн до газопровідної інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ворохобін І.І., Цимбал М.М., Бурмака І.О., Ніколаєва Л.Л та інші. Методичні вказівки для виконання магістерської роботи // І.І. Ворохобін, М.М. Цимбал, І.О. Бурмака, Л.Л. Ніколаєва та ін. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – 96 с.
2. Ship Particular «Verrazane», Hyundai Mipo Dockyard Co Ltd, 2012.
3. Алексішин В.Г., Долгочуб В.Т. Практичне судноводіння / В.Г. Алексішин, В.Т. Долгочуб. – 3 Вид. випр. і доп. – Одеса: Фенікс, 2015. – 376.с.
4. International Convention on Standards of Training, Certification and Watch keeping for Seafarers, 1978/95 (STCW-78/95) + Amendment 2010.
5. Резолюція ІМО А.893 (21) – 1999 р. «Керівництво по плануванню рейсу».
6. Рекомендации по организации штурманской службы на морских судах Украины (РШСУ-98) – Одесса, ЮЖНИИМФ, 1998. – 112 с.
7. Catalogue Admiralty Charts and Publications. – London: UKHO, 2022.
8. Sailing Directions (Pilots). – London: UKHO, 2020.
9. Admiralty List of Radio Signals (ALRS) (NPs 281-288). – London: UKHO, 2020.
10. International Safety Net Manual, 2010. – 72 с.
11. Pilot Chart, інтернет ресурс гідрометеорологічних умов. URL: [Sailing Weather - Marine Weather Forecasts for Sailors and Adventurers - PassageWeather](#)
12. Atlas of the Oceans. – London: UKHO, 2011
13. Guide to Port Entry. – London, 2020.
14. Admiralty List of Lights and Fog Signals (ALL). – London: UKHO, 2020.
15. Морехідні таблиці МТ-75.
16. Ocean Passages for the World. NP136. London: UKHO, 2021.
17. The Mariner's Handbook. NP100. London: UKHO, 2021.
18. Brown's Nautical Almanac, London: 2022.

19. Admiralty Tidal Handbook №. 2 Datums for Hydrographic Surveys NP 122(2). – London: UKHO, 2018.
20. Снопков В.Г. Технологія перевезення вантажів морем: [навчальний посібник] / В.Г. Снопков. – О., 2001. – 279 с.
21. ISGOTT, 6th Edition. International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals. International Chamber of Shipping, OCIMF and IAPH, 2018.
22. International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk, Second Edition. Exeter: Polestar Wheatons Ltd, 2016. – 521 p.
23. Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals. Fourth Edition. London: Witherby & Co Ltd, 2016. 183 p.
24. Ніколаєва Л.Л. Комерційна експлуатація судна: підручник. Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 550 с.
25. Карта зон і сезонних районів [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://balt-lloyd.ru/morskaja-praktika/ostojchivost/gruzovaja-marka/attachment/karta-zon-i-sezonnyh-rajonov>
26. Теорія і будова судна: навчальний посібник / І.П. Давидов, Ю.П. Кучер, В.Ф. Сіряченко, О.І. Бурмака – Одеса: 28НУ «ОМА», 2019. – 110 с.
27. Правила класифікації та побудови морських суден. В 5-ти т. Том 2. – Київ: Регістр судноплавства України, 2020.
28. Резолюция MSC. 267 (85) 09.12.2008. «Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments» (ISC).
29. Иноземцев В. Газовый фронт // Вокруг Света. – 2010. – № 12 (2843). – С. 102-109.
30. Королева И.С. Мировая экономика. Глобальные тенденции за 100 лет: учебн. пособ. [для студ. высш. учебн. зав.]/ И.С. Королева 2009 г. – 242 с.
31. Инновационное развитие топливно-энергетического комплекса: проблемы и возможности / Г.К. Вороновский. – К.: Знання України, 2004. – 386 с.

32. Левковець П.Р. Моделі вдосконалення процесів інвестування постачальників компаній електроенергетичного сектору. – К.: Український транспортний університет, 1999. – 147 с.

33. Платонова Е. Сжиженный газ – хорошая альтернатива // Порты Украины. – 2009. – (86). – С.61-62.

34. Петров А. Проект газового терминала // Порты Украины.– 2010. – № 7 (99). – С.45.

35. Honore A. European Natural Gas Demand, Supply, and Pricing: Cycles, Seasons, and the Impact of LNG Price Arbitrage. Oxford Institute for Energy Studies. 2008. – 200 с.

36. Liquefied Natural Gas / Consulting Editor Griffin P., Smith H. Globe Law and Business. 2006. – 170 с.

37. Shively B., Ferrare J. Understanding Today's LNG Business. Enerdynamics Corp. 2005. – 124 с.

38. Tusiani M., Shearer G. LNG: A Nontechnical Guide. PennWell Corporation. 2007. – 436 с.

39. Сотниченко Л.Л., Бабаченко М.В. Економіка водного транспорту: методичні вказівки розрахункової роботи. – Одеса: НУ «ОМА», 2017. – 20 с.

40. Терновський В.Б. Методичні вказівки по виконанню розділу дипломної роботи «Охоронні заходи і цивільна оборона на судні». – Одеса: ОНМА, 2015. – 72 с.

41. Волошин А.А. Охрана судов и портовых средств: Учебное пособие. – Одесса, 2009. – 127 с.

42. Кодекс цивільного захисту України: чинне законодавство із змінами та допов. – К.: Алерта, 2015. – 102 с.

43. International Ship & Port Facility Security Code (ISPS Code) and SOLAS Ammendments, 2002. - London: International Maritime Organization, 2003. – 131 p.