

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Машинобудівний навчально-науковий інститут
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
(повна назва кафедри)

„Допущений до захисту”

Завідувач кафедри ЕСЕУ та ТЕ,

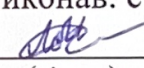
 Б.М. Личко

_____ 2025 р.

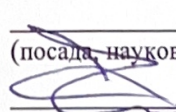
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему Вдосконалення енергетичної установки судна Scarlet Lady шляхом,
приведення до відповідності діючим вимогам ІМО.

Виконав: студент 6211м групи

 Борисов А.В.
(підпис) (фамілія ініціали)

Керівник роботи:

д.т.н., професор
(посада, науковий ступень вчене звання)
 Чередніченко О.К.
(підпис) (фамілія ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Спеціальність 135 «Суднобудування»
Освітньо-професійна програма «Суднові енергетичні установки та устаткування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри ЕСЕУ та ТЕ,
_____ Личко Б.М.
(підпис)
«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

*Тема: Вдосконалення енергетичної установки судна Scarlet Lady шляхом
приведення до відповідності діючим вимогам ІМО*

ЗМІСТ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Анотація – надається (державною та англійською мовами).

Вступ.

Розділ 1. Загальні відомості про судно та склад енергетичної установки.

1.1 Вибір і обґрунтування основних проектних рішень.

Розділ 2. Проектування головної установки судна.

2.1 Вибір головного двигуна та визначення його характеристик.

2.2 Проектування пропульсивної установки.

Розділ 3. Проектування допоміжної ЕУ.

3.1. Розробка теплової схеми СЕУ, та вибір методів утилізації скидної теплоти.

3.2. Проектування енергетичних комплексів. Визначення їх складу та підбор устаткування.

Розділ 4. Проектування систем СЕУ.

4.1. Розробка системних заходів для зменшення емісії компонентів GHG.

4.2 Визначення основних параметрів систем СЕУ.

4.3 Проектування та комплектація протипожежної системи СЕУ.

Розділ 5. Заходи по забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ.

5.1 Розробка системи моніторингу та діагностування технічного стану обладнання СЕУ.

5.2 Технологічна розробка. Технологія монтажу двигуна Wärtsilä 8L46F.

Розділ 6. Розробка розташування обладнання енергетичної установки на судні.

Розділ 7. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень та розробка рекомендацій з їх подальшого використання.

Висновки.

Список використаних джерел інформації.

Додатки.

Обсяг розрахунково-пояснювальної записки (РПЗ) : 90 - 120, формат аркушів А4.

До РПЗ додаються один або більше примірників презентації докладу, формат аркушів А4 або А3 (графічний матеріал форматується при друкуванні).

Доповідь здійснюється у вигляді слайд - презентації.

Презентація докладу, містить титульний лист з підписами, анотацію, графічні матеріали з підписами, висновки.

Перелік графічного матеріалу

№з /п	Назва етапів дипломного проекту (на розсуд керівника КР)	Аркуші, формат А1 ***.pdf
1	Характеристики судна, вибір та обґрунтування проектних рішень (креслення поздовжнього перерізу)	1-2
2	Теплова схема СЕУ (принципова схема)	1
3	Системи СЕУ	1-2
4	Розташування обладнання у МКВ, 2-3 види (креслення)	2-3
5	Технологічна розробка – монтаж/ремонт.	1-2
6	Плакати додаються в разі необхідності (кольорові або ч/б)	1-4

Тема КР затверджені наказом НУК

№ _____ від "___" _____ 2025 року.

Завдання видано

"___" _____ 2025 р.

Дата подання КР на кафедру

"01" грудня 2025 р.

Завдання прийняв до виконання студент


(підпис)

Борисов А.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)

Чередніченко О.К.
(прізвище та ініціали)

ANNOTATION

The qualification thesis is completed on the topic “Improvement of the Scarlet Lady ship’s power plant by bringing it into compliance with current IMO requirements.” The work examines the analysis of the basic ship power plant (SPP) and identifies promising directions for its modernization, taking into account the current environmental requirements of the IMO (International Maritime Organization).

Effective technical solutions for the modernization of the propulsion complex are proposed, including the installation of energy-saving devices (ESD), the replacement of the main diesel engines with dual-fuel (DF) engines operating on diesel fuel and LNG, as well as the implementation of modern technologies to reduce pollutant emissions.

Within the framework of the project, diagrams were developed and calculations of working fluid reserves, shaft line elements, and equipment layout in the engine room were carried out. Recommendations for the SPP technical diagnostics system were also provided. The proposed modernization will significantly increase the ship’s energy efficiency, reduce its negative environmental impact, and ensure compliance with international standards.

The project can be applied in practical activities related to the design and modernization of power plants of similar cruise vessels.

Keywords: ship power plant, propulsion complex, energy efficiency, modernization, IMO, LNG, environmental requirements.

					KPM.6.135.6211.01.A.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		3

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота виконана на тему «Вдосконалення енергетичної установки судна Scarlet Lady шляхом приведення до відповідності діючим вимогам ІМО». У роботі розглянуто питання аналізу базової суднової енергетичної установки (СЕУ) та визначено перспективні напрямки її модернізації з урахуванням сучасних екологічних вимог ІМО (International Maritime Organization).

Запропоновані ефективні технічні рішення з модернізації пропульсивного комплексу, включаючи встановлення енергозберігаючих пристроїв (ESD), заміну головних дизельних двигунів на дуал-ф'юел двигуни (DF), що працюють на дизельному паливі та LNG, а також впровадження сучасних технологій для зниження емісії забруднюючих речовин.

У рамках проекту розроблено схеми та здійснено розрахунки запасів робочих речовин, елементів валопроводу, розміщення обладнання в машинному відділенні та створено рекомендації щодо системи технічної діагностики СЕУ. Проведена модернізація дозволить суттєво підвищити енергоефективність судна, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та забезпечити відповідність міжнародним стандартам.

Проект може бути використаний у практичній діяльності при проектуванні та модернізації суднових енергетичних установок аналогічних круїзних суден.

Ключові слова: суднова енергетична установка, пропульсивний комплекс, енергоефективність, модернізація, ІМО, LNG, екологічні вимоги.

					КРМ.6.135.6211.01.А	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		4

Зміст

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. Загальна характеристика судна Scarlet Lady	9
РОЗДІЛ 2. Проектування головної установки судна	26
РОЗДІЛ 3. Проектування допоміжної енергетичної установки	46
РОЗДІЛ 4. Проектування систем суднової енергетичної установки	61
РОЗДІЛ 5. Заходи щодо забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ. Система моніторингу та діагностування	85
РОЗДІЛ 6. Розробка розташування обладнання енергетичної установки на судні	106
РОЗДІЛ 7. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень та рекомендації щодо їх подальшого використання	113
ВИСНОВКИ.....	117
Джерела інформації.....	119

ВСТУП

Сучасне морське судноплавство розвивається в умовах постійного посилення міжнародних вимог до енергоефективності та екологічної безпеки суден. Міжнародна морська організація (ІМО) запроваджує й актуалізує норми щодо обмеження викидів парникових газів та шкідливих компонентів вихлопу (NO_x, SO_x), а також індекси енергоефективності суден (EEDI, EEXI, CII), що безпосередньо впливають на можливість експлуатації суден у міжнародному сполученні. Особливо гостро ці вимоги проявляються для великих пасажирських і круїзних суден, які характеризуються значним енергоспоживанням, високою встановленою потужністю суднових енергетичних установок (CEU) і, відповідно, суттєвим внеском у глобальні викиди.

Круїзний лайнер Scarlet Lady є сучасним пасажирським судном, оснащеним електричною пропульсивною установкою на базі дизель-генераторів середньої швидкості та комплексом енергетичного обладнання, яке вже відповідає чинним міжнародним стандартам безпеки й екологічності. Разом з тим подальше посилення вимог ІМО, зокрема щодо інтенсивності викидів вуглецю й індексів енергоефективності, зумовлює необхідність додаткової модернізації енергетичної установки: переходу до використання подвійного палива (LNG / дизель), впровадження енергозберігаючих пристроїв (ESD), систем утилізації скидної теплоти, а також комплексних рішень зі зниження викидів NO_x, SO_x та GHG. Тому завдання приведення CEU судна Scarlet Lady до відповідності діючим вимогам ІМО є актуальною науково-технічною та практичною проблемою, що має безпосереднє значення для підвищення конкурентоспроможності та екологічної прийнятності сучасних круїзних суден.

Відповідно до цього тема кваліфікаційної роботи сформульована як «Вдосконалення енергетичної установки судна Scarlet Lady шляхом приведення до відповідності діючим вимогам ІМО».

										Лист
										6
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата						

КРМ.6.135.6211.01.В

КРМ.6.135.6211.01.01

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	Лім	Аркуш	Аркушів
						9	17
Студент		Борисов А.В.			Загальна характеристика судна Scarlet Lady		
Викладач		Чередніченко О.К.					
					НУК <i>ім. адмірала Макарова</i>		



SCARLET LADY – Cruise ship

Shipbuilder: Fincantieri
 Vessel's name: **Scarlet Lady**
 Owner/Operator: **VC Ship One Limited**
 Country: **Bermuda**
 Model test establishment used: **Maritime Research Institute Netherlands (MARIN)**
 Flag: **Bahamas**
 IMO number: **9804801**
 Total number of sister ships already completed (excluding ship presented): **Nil**
 Total number of sister ships still on order: **3**

Scarlet Lady, the first of four vessels ordered by Richard Branson's fledgling cruise line, was delivered in February 2020 and marks the entry of the entrepreneur's venture into the sector. The first sister – *Valiant Lady* – is due for delivery this year. All of the vessels are being built at Fincantieri's Sestri Ponente yard.

At 277.2m in length, 38m in beam and with a gross tonnage of approximately 110,000, the ship is by no means large by today's standards, but it is intended for a niche market catering for adult passengers only. The vessel has 17 decks with hotel and public spaces on decks 5 to 17.

Accommodation occupies almost the full length of *Scarlet Lady* with public open spaces being mostly confined to the two uppermost decks. The ship has a vertical bow similar to that of the Hurtigruten expedition vessels, a form designed to improve seakeeping and reduce fuel consumption.

The power and propulsion system of the vessel is a fairly typical diesel-electric set up with two 8-cylinder and two 12-cylinder Wärtsilä 46F engines driving twin ABB Azipods. Between them, the four Wärtsilä engines produce 48,000kW and the two Azipod XO units rated at 16,000kW each will take two thirds of the power when running at full speed. The normal service speed of the vessel is 20knots.

Virgin has chosen not to opt for dual-fuel engines but to operate with HFO as the main fuel. A Wärtsilä hybrid scrubber allows for SOx compliance and a SCR system achieves NOx Tier III emission standards. This is important as the ship will be based in Florida and thus operate for long periods in the US ECA zones.

A Climeon waste heat recovery system using the Organic Rankine Cycle can add a further 1,000kW to power output under ideal conditions, helping the ship achieve an EEDI rating of 10.7 against a required 13.58.

TECHNICAL PARTICULARS

Length oa: 277.20m
 Length bp: 266.90m
 Breadth moulded: 38.00m
 Depth moulded to main deck: 11.24m
 Draught scantling: 8.30m design: 8.05m
 Gross: Approx. 110,000gt
 Displacement: Approx. 61,000t
 Lightweight: Approx. 48,300t
 Deadweight scantling: 12,950t design: 8,300t
 Block co-efficient: 0.70 @ 8.3m of draught
 Speed, service (–%MCR output): 20.0knots at 73% of POD power
 Bunkers (m³) Heavy oil: 2,315 Diesel oil: 660 Water ballast (m³): 2,400
 Classification society and notations: Lloyd's Register +100A1 Passenger Ship, +LMC with CCS notation, IWS % high-tensile steel used in construction: Approx. 80%
 Propulsion Main engine(s) Model: BL46F, 12V46F Manufacturer: Wärtsilä Number: 4 Type of fuel: HFO, MGO Output of each engine: 2 x 14,400kW, 2 x 9,600kW Is this a diesel-electric or hybrid?: Yes
 Propeller(s) Material: Ni-Al-Bronze Designer/Manufacturer: ABB Number: 2 Fixed/Controllable pitch: Fixed Diameter: 5.7m Speed: Approx. 130rpm at 100% Main-engine driven alternators Number: 4 Make/type: ABB Output/speed of each set: 2 x 16,560kVA, 2 x 11,000kVA

Exhaust-gas scrubbing equipment Manufacturer: Wärtsilä Moss AS Type: V-Sox hybrid On main engines?: Yes
 Boilers Number: 2 + 4 Type: OFB, EGB Make: Saacke Output, each boiler: 2 x 12th, 2 x 3.7th, 2 x 2.5th
 Bow thruster(s) Make: Fincantieri Number: 3 Output (each): 2,500kW
 Mooring equipment Number: 4 winch aft, 5 fore Type: Electric
 Special lifesaving equipment Number of each and capacity: 1,071 Make: Viking Type: VEDC If MES, vertical or sloping chutes?: Vertical
 Complement Officers: 93 Crew: 1,095 Single/double/other rooms: 813
 Passengers Total: 3,212 (2,770 lower beds) Number of cabins: 1,408 Percentage/number outboard: 93%
 Radars Number: 5 Make: Wärtsilä Model(s): 1 S-band, 4 X-band
 Fire extinguishing systems Engine room: Automatic water mist – CO₂ Make/Type: Eusebi Cabins: Automatic water mist Make/Type: Eusebi Public spaces: Automatic water mist Make/Type: Eusebi

Efficiency Attained EEDI value: 10.7 Required EEDI value: 13.58 Other installed monitoring tools: Hull Flex Monitoring System

The system is to be able to supply the following information:

- dynamic measuring/monitoring system for measuring of ship's floating position in port and at sea
- real time measuring of ship's trim, heel, hull deflection (hog/sag) and torsion
- draft values presented at draft scale locations and at the centre-line, corrected for deflection, torsion and sea water density
- presentation of hydrostatics corrected for trim and deflection

Real Time Performance Tool that provides decision support aid for ship's deck and engine officers with real-time and historic data of fuel and energy consumption in order to achieve energy conservation and energy saving.

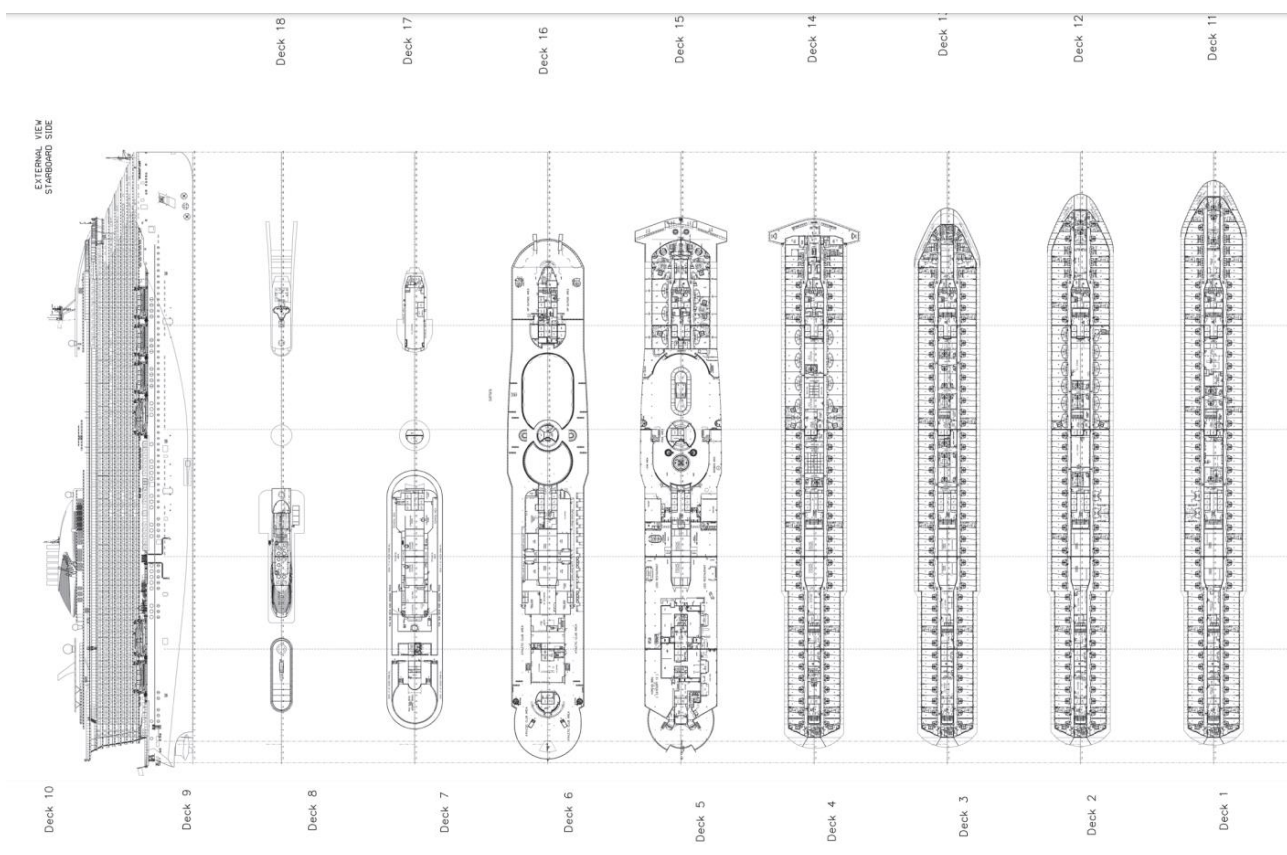
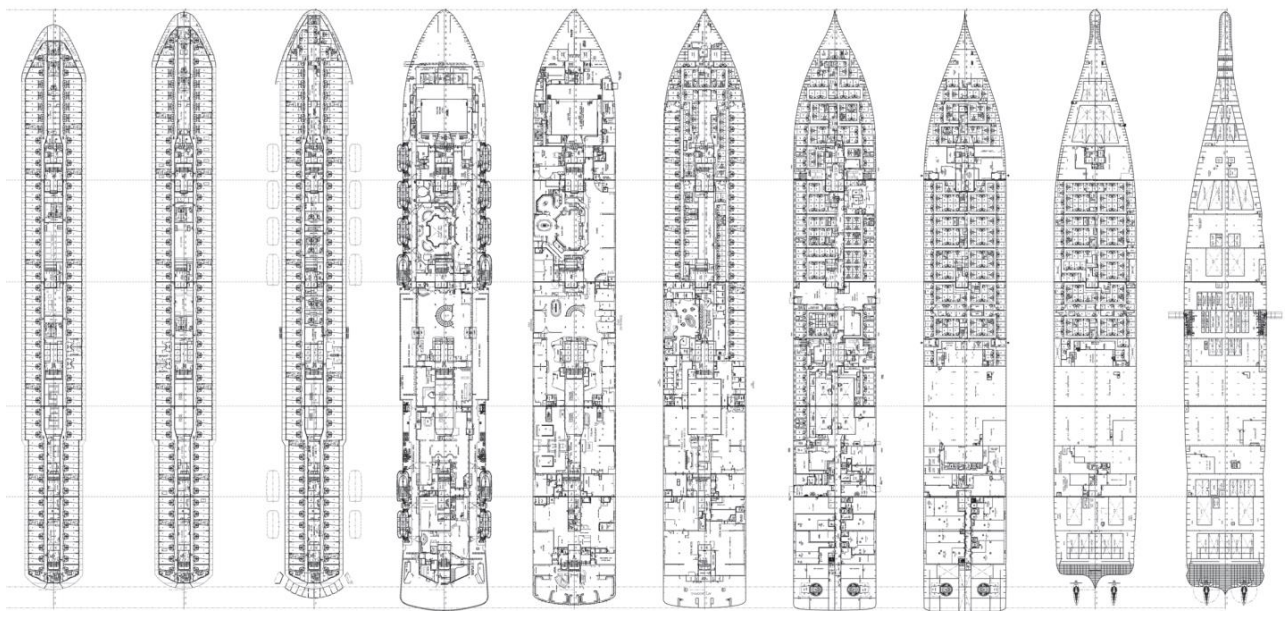
Energy Saving Technologies: Climeon waste heat recovery system, optimised air conditioning system with fancoils in cabins and public areas, occupancy based ventilation in public areas, demand based ventilation for galleys (Hoods Marvel system from Halton), extensive use of VFD for electric motors, extensive adoption of LED lighting

Hull coatings: Self-polishing copolymer styli acrylate antifouling

For funnel a transom polysiloxane paint with following characteristics:

- High volume solids compared to traditional polyurethanes results in lower VOC per litre and reduced impact on the applicator and the environment
- High loss retention ensuring a very long-lasting beautiful appearance. The durability of this finish is also supported by the very good abrasion and chemical resistance ensuring the structure looks new for a long time

Contract date: 5 December 2015
 Launch/float-out date: 19 February 2019
 Delivery date: 14 February 2020



РОЗДІЛ 1. Загальна характеристика судна Scarlet Lady

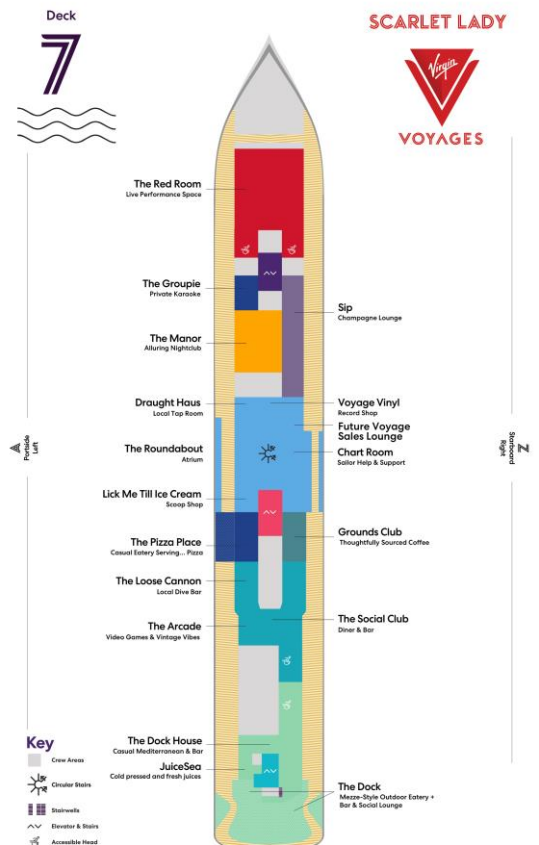
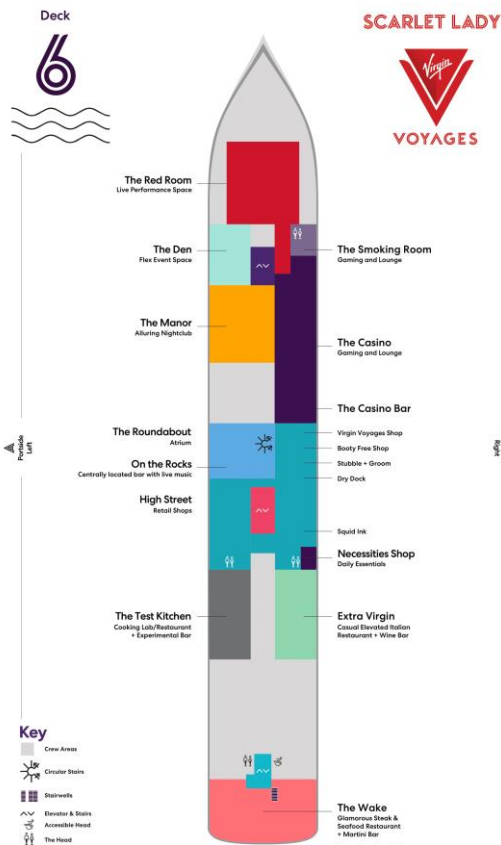
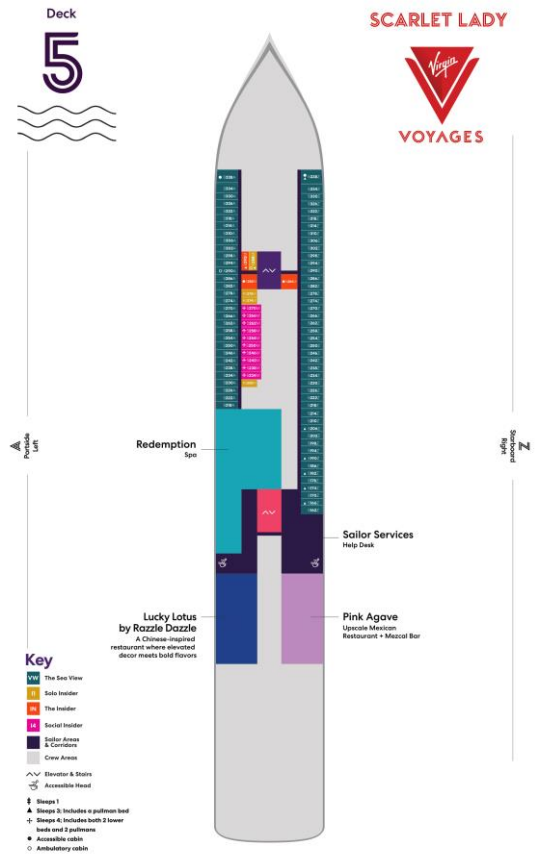
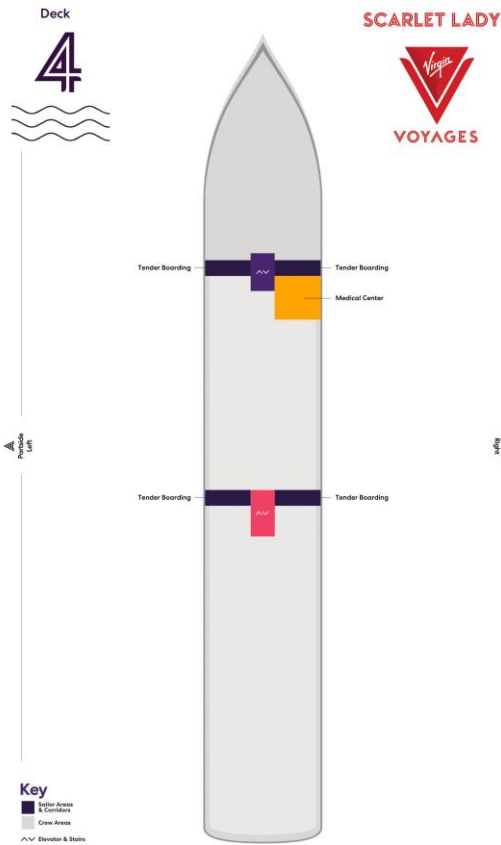
1.1. Призначення, район плавання та основні характеристики судна Scarlet Lady

Судно Scarlet Lady — сучасний круїзний лайнер, побудований компанією Fincantieri на верфі в Генуї, Італія, та належить компанії Virgin Voyages. Лайнер був спущений на воду у 2020 році і призначений для пасажирських перевезень, зокрема круїзних подорожей у Карибському регіоні, з базуванням у порту Маямі, США.



Рис. 1.1. Круїзний лайнер Scarlet Lady

					КРМ.6.135.6211.01.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		10

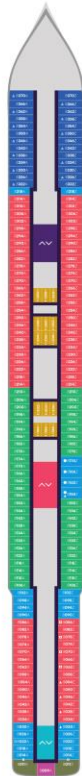


Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.01

Deck
8

SCARLET LADY
VOYAGES



Portside
Lift

Starboard
Lift

- Key**
- Cherry Corner Suite -
 - Priddy Big Terrace
 - Sweet Aft Suite -
 - Priddy Big Terrace
 - XL Sea Terrace
 - Central Sea Terrace
 - The Sea Terrace
 - Ltd View Sea Terrace
 - Solo Inboard
 - Lido Areas & Corridors
 - Crew Areas
 - Elevator & Stairs
 - Sleeps 1
 - Sleeps 2, Includes a pullman bed
 - Sleeps 3, Includes an extra lower bed
 - Sleeps 4, Includes bath on extra lower bed and a pullman bed
 - Accessible cabin
 - Ambulatory cabin
 - Connecting cabins

11/26/24 V1

Deck
9

SCARLET LADY
VOYAGES



Portside
Lift

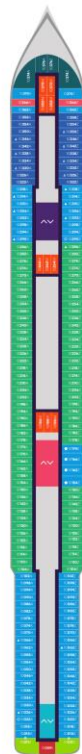
Starboard
Lift

- Key**
- Cherry Corner Suite -
 - Priddy Big Terrace
 - Sweet Aft Suite -
 - Priddy Big Terrace
 - XL Sea Terrace
 - Central Sea Terrace
 - The Sea Terrace
 - Ltd View Sea Terrace
 - Solo Sea View
 - The Sea View
 - The Inboard
 - Lido Areas & Corridors
 - Crew Areas
 - Elevator & Stairs
 - Sleeps 1
 - Sleeps 2, Includes a pullman bed
 - Sleeps 3, Includes an extra lower bed
 - Accessible cabin
 - Ambulatory cabin
 - Connecting cabins

11/26/24 V1

Deck
10

SCARLET LADY
VOYAGES



Portside
Lift

Starboard
Lift

- Key**
- Cherry Corner Suite -
 - Even Rigger Terrace
 - Sweet Aft Suite -
 - Even Rigger Terrace
 - XL Sea Terrace
 - Central Sea Terrace
 - The Sea Terrace
 - Ltd View Sea Terrace
 - The Sea View
 - The Inboard
 - Lido Areas & Corridors
 - Crew Areas
 - Elevator & Stairs
 - Sleeps 1
 - Sleeps 2, Includes a pullman bed
 - Sleeps 3, Includes an extra lower bed
 - Accessible cabin
 - Ambulatory cabin
 - Connecting cabins

11/26/24 V1

Deck
11

SCARLET LADY
VOYAGES



Portside
Lift

Starboard
Lift

- Key**
- Cherry Corner Suite -
 - Even Rigger Terrace
 - Sweet Aft Suite -
 - Even Rigger Terrace
 - Barloway Suite
 - XL Sea Terrace
 - Central Sea Terrace
 - The Sea Terrace
 - The Sea View
 - Solo Inboard
 - The Inboard
 - Lido Areas & Corridors
 - Crew Areas
 - Elevator & Stairs
 - Sleeps 1
 - Sleeps 2, Includes a pullman bed
 - Sleeps 3, Includes an extra lower bed
 - Accessible cabin
 - Ambulatory cabin
 - Connecting cabins

11/26/24 V1

KPM.6.135.6211.01.01

Лист

12

Deck 12



Portside
Lift

Starboard
Lift

- Key**
- Orange Corner Suite - Biggest Terrace
 - Green 4th Suite - Biggest Terrace
 - Yellow 5th Suite
 - Blue X1 Sea Terrace
 - Light Blue Central Sea Terrace
 - Dark Blue The Sea Terrace
 - Light Green Solo Sea View
 - Dark Green The Sea View
 - Orange Solo Insider
 - Red The Insider
 - Dark Blue Solar Areas & Corridors
 - Grey Crew Areas
 - Elevator & Stairs
 - Sleeps 1
 - Sleeps 2 includes a pullman bed
 - Sleeps 3 includes an extra lower bed
 - Accessible cabin
 - Ambulatory cabin
 - Connecting cabin

Deck 13



Portside
Lift

Starboard
Lift

- Key**
- Orange Corner Suite - Biggest Terrace
 - Green 4th Suite - Biggest Terrace
 - Yellow X1 Sea Terrace
 - Light Blue Central Sea Terrace
 - Dark Blue The Sea Terrace
 - Light Green Solo Insider
 - Red The Insider
 - Dark Blue Solar Areas & Corridors
 - Grey Crew Areas
 - Elevator & Stairs
 - Sleeps 1
 - Sleeps 2 includes a pullman bed
 - Accessible cabin
 - Ambulatory cabin
 - Connecting cabin

Deck 14



Portside
Lift

Starboard
Lift

- Key**
- Orange Corner Suite - Biggest Terrace
 - Green 4th Suite - Biggest Terrace
 - Yellow 5th Suite
 - Blue X1 Sea Terrace
 - Light Blue Central Sea Terrace
 - Dark Blue The Sea Terrace
 - Light Green Solo Insider
 - Red The Insider
 - Dark Blue Solar Areas & Corridors
 - Grey Crew Areas
 - Elevator & Stairs
 - Sleeps 1
 - Sleeps 2 includes a pullman bed
 - Sleeps 3 includes both an extra lower bed and a pullman bed
 - Sleeps up to 4
 - Accessible cabin
 - Connecting cabin
 - Ambulatory cabin

Deck 15



Portside
Lift

Starboard
Lift

- Key**
- Red Massive Suite
 - Purple Fab Suite
 - Orange Fun Suite
 - Light Blue Gorgeous Suite
 - Dark Blue Solar Areas & Corridors
 - Grey Crew Areas
 - Stairwells
 - Elevator & Stairs
 - Accessible Head
 - The Head
 - Sleeps up to 4
 - Accessible cabin
 - Ambulatory cabin

11/26/24 V1

11/26/24 V1

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.01

Лист

13

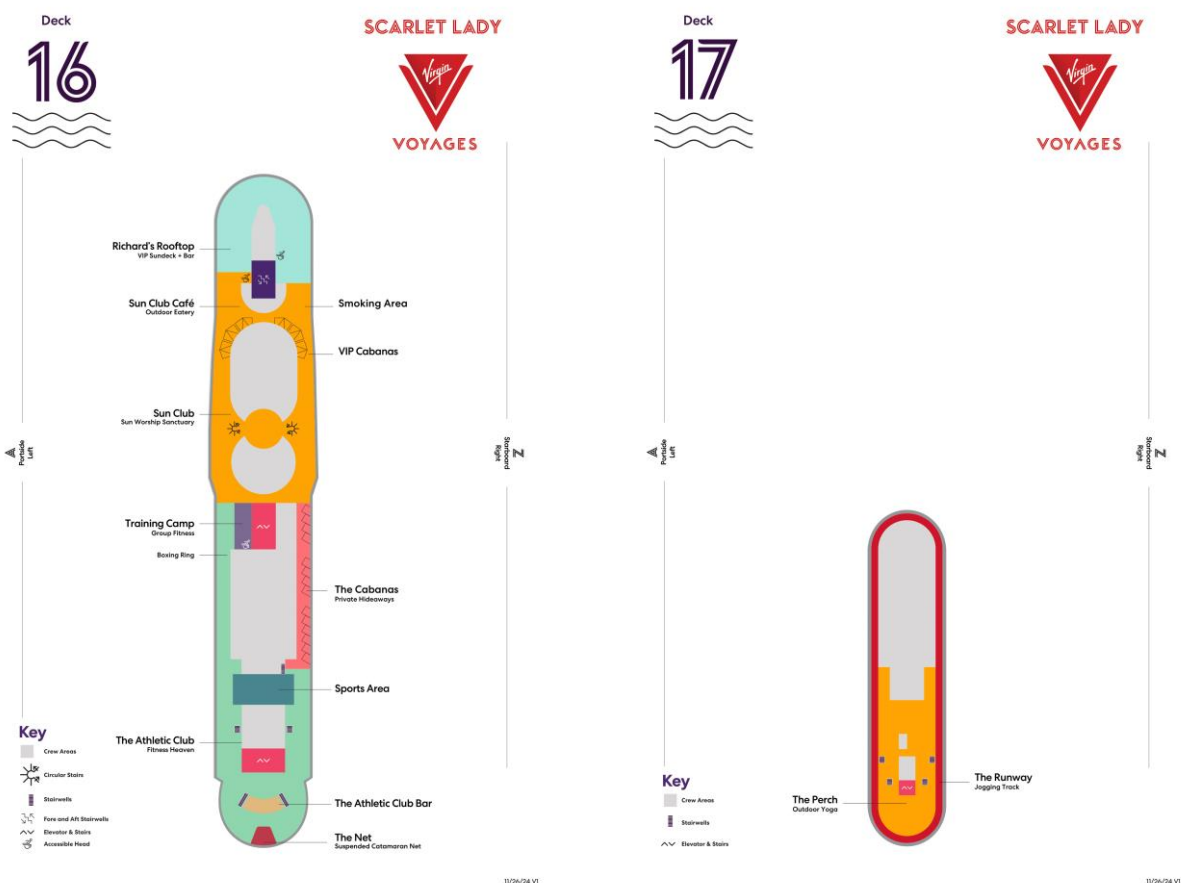


Рис. 1.2 – 1.15. Плани палуб круїзного лайнеру Scarlet Lady

Основні характеристики судна:

- Назва судна: Scarlet Lady
- Клас проекту за IACS: Lloyd's Register
- Номер ІМО: 9804801
- ММСІ: 311000807
- Прапор країни реєстрації: Багами
- Власник/оператор: Virgin Voyages
- Тип судна: круїзний лайнер
- Район експлуатації: Карибський регіон
- Довжина судна: 277,2 м
- Ширина судна: 38 м
- Водотоннажність: 110,000 GT

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.01

Лист

14

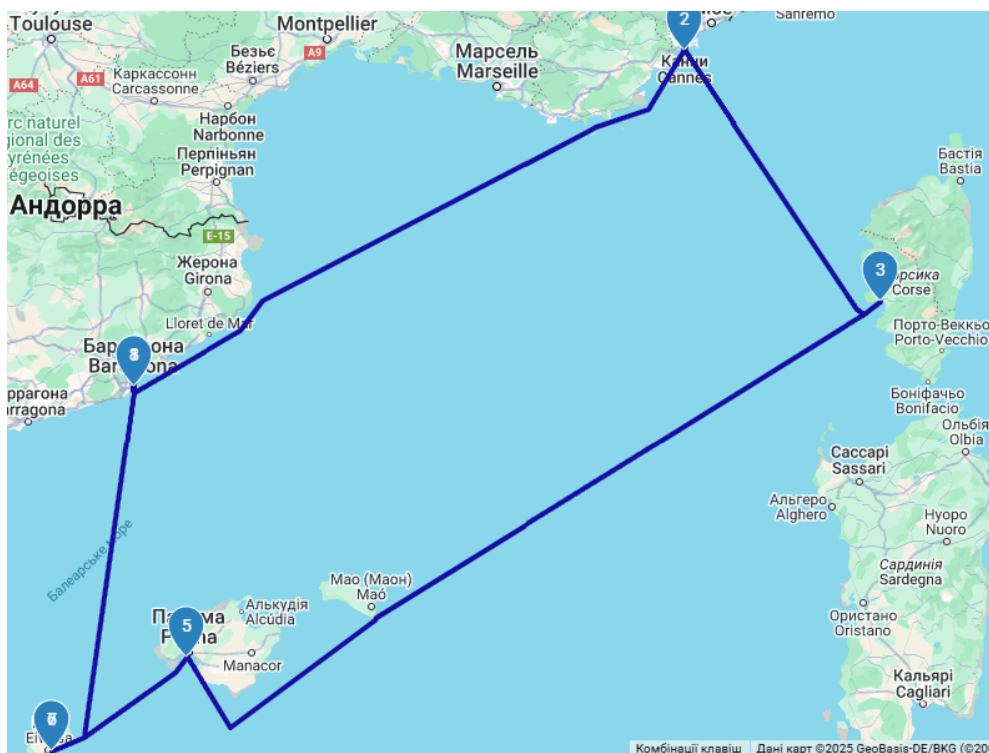
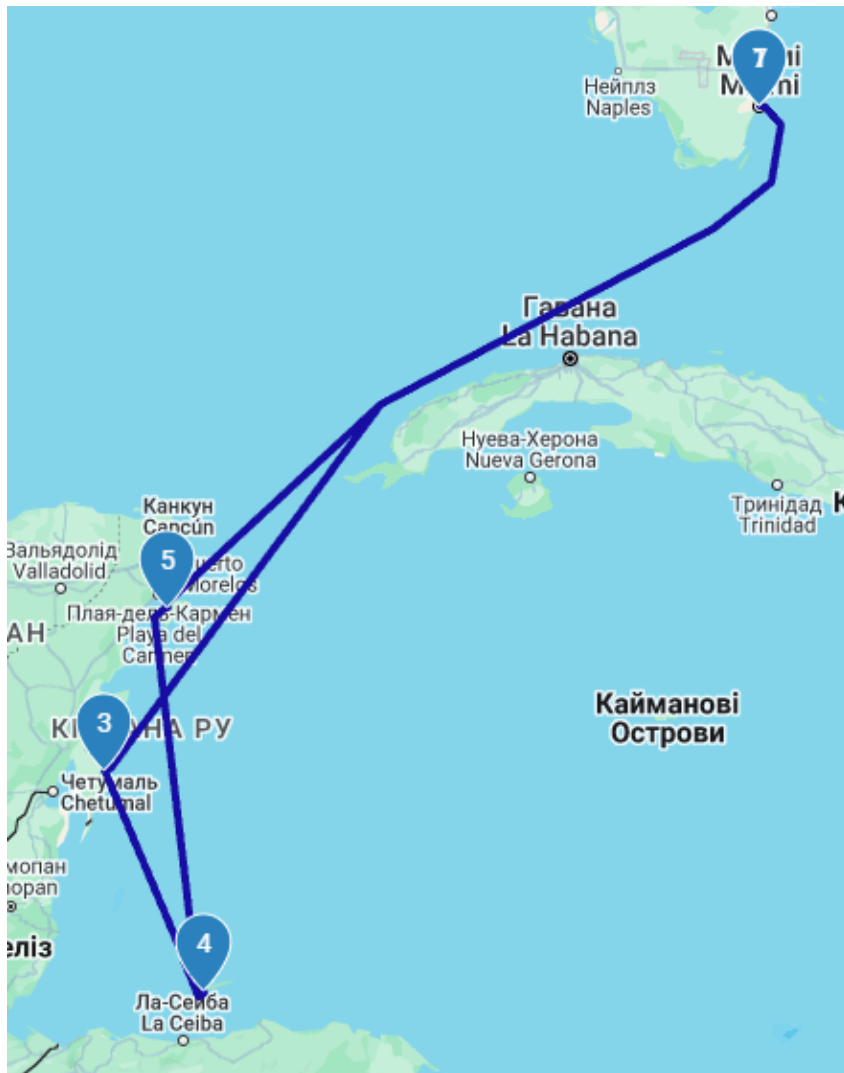


Рис. 1.16 – 1.17. Майбутні заплановані рейси круїзного лайнеру Scarlet Lady

					Лист	
					КРМ.6.135.6211.01.01	
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		
					18	



Рис 1.19. Двигун Wärtsilä 46F

Суднова пропульсивна установка:

- Тип рушія: електричні підрулюючі пристрої Azipod (2 одиниці)
- Потужність кожного Azipod: 16,000 кВт
- Система забезпечує високу маневреність та ефективність руху судна

1.4. Аналіз вихідного стану енергетичної установки та екологічних показників

Базова суднова енергетична установка *Scarlet Lady* вже відповідає сучасному рівню розвитку круїзного флоту та характеризується такими перевагами:

										Лист
										20
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	КРМ.6.135.6211.01.01					

введення судна в експлуатацію. Базове значення індексу EEDI судна забезпечує допуск до роботи на заданих круїзних маршрутах.

Разом із тим, аналіз вихідного стану СЕУ та екологічних показників виявляє низку **обмежень і резервів модернізації**:

- подальше посилення вимог **EEXI** та **СII** призводитиме до необхідності істотного зниження питомих викидів CO₂ і підвищення енергоефективності без погіршення комерційної швидкості та сервісу пасажирів;
- **робота виключно на дизельному паливі (MDO)** зумовлює високі абсолютні викиди CO₂, навіть за використання низькосірчастого палива;
- потенціал існуючих систем утилізації теплоти та енергозбереження використаний не повністю, можливе розширення та оптимізація WHRS, а також інтеграція нових енергозберігаючих пристроїв (ESD);
- за умов посиленого контролю викидів NO_x/SO_x у зонах ECA/NECA потрібне комплексне рішення, що поєднує **альтернативне паливо (LNG)** та **системи очищення вихлопних газів**.

Отже, вихідний стан енергетичної установки *Scarlet Lady* можна охарактеризувати як такий, що **відповідає сучасним вимогам**, але має обмежений «ресурс розвитку» відносно майбутніх фаз EEXI/СII та цілей декарбонізації, що й зумовлює необхідність її модернізації.

1.5. Постановка задач модернізації та формулювання основних проєктних рішень

З урахуванням аналізу нормативних вимог IMO/MARPOL та вихідного стану СЕУ судна *Scarlet Lady* основна **мета модернізації** полягає в підвищенні енергоефективності та екологічної безпеки енергетичної установки при збереженні експлуатаційних характеристик круїзного лайнера.

					KPM.6.135.6211.01.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		22

5. **Комплексне зниження викидів NO_x, SO_x та GHG.** Опрацювати можливості впровадження систем SCR, скрубєрів SO_x, EGR та їхнього комбінованого застосування з дуал-ф'юел двигунами. Сформувати технічно й економічно обґрунтований комплекс заходів, який забезпечує відповідність судна вимогам ІМО Tier III та глобальним обмеженням по SO_x і CO₂.
6. **Підвищення надійності, живучості та рівня автоматизації СЕУ.** Забезпечити резервування основних агрегатів і систем (ДГ, насоси, теплообмінники, системи керування). Розробити концепцію системи моніторингу та технічної діагностики (Engine Condition Monitoring, HSMS тощо). Інтегрувати автоматизовані системи контролю й управління для підтримки оптимальних режимів роботи СЕУ з погляду енергоефективності та екологічних показників.

Висновок до розділу

У розділі 1 наведено загальну характеристику круїзного лайнера *Scarlet Lady*, розглянуто його основні експлуатаційні параметри й район плавання, а також сформовано узагальнений опис складу суднової енергетичної установки у табличній формі. Проаналізовано чинну нормативно-правову базу (SOLAS, MARPOL 73/78, вимоги ІМО, індекси EEDI/EECI/СІІ), яка визначає вимоги до енергоефективності та екологічної безпеки судна.

Виконаний аналіз вихідного стану СЕУ показав, що базова енергетична установка *Scarlet Lady* відповідає сучасним міжнародним вимогам і має низку переваг (дизель-електрична схема, застосування систем утилізації теплоти, можливість інтеграції енергозберігаючих пристроїв). Водночас посилення вимог MARPOL Annex VI та індексів EECI/СІІ обмежує ресурс подальшої експлуатації судна без модернізації енергетичної установки.

					KPM.6.135.6211.01.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		24

На основі цього сформульовано задачі модернізації та окреслено основні напрями проєктних рішень, спрямованих на перехід до дуал-ф'юел технологій (MDO/LNG), розвиток систем утилізації теплоти, впровадження енергозберігаючих пристроїв і систем очищення вихлопних газів, а також підвищення рівня автоматизації та надійності СЕУ. Ці рішення є предметом детального опрацювання в наступних розділах кваліфікаційної роботи.

					КРМ.6.135.6211.01.01	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		25

КРМ.6.135.6211.01.02

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	Літ	Аркуш	Аркушів
						26	18
Студент	Борисов А.В.				НУК ім. адмірала Макарова		
Викладач	Чередніченко О.К.						

Проектування головної
установки судна

РОЗДІЛ 2. Проектування головної установки судна

2.1. Обґрунтування вибору типу головної установки

Сучасні тенденції морського судноплавства передбачають підвищення ефективності пропульсивних установок та скорочення викидів парникових газів (GHG), оксидів азоту (NO_x), сірки (SO_x) та інших шкідливих речовин. Ці вимоги чітко регламентуються Міжнародною морською організацією (IMO) в рамках MARPOL Annex VI, що включає EEDI (Energy Efficiency Design Index), EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) та індикатор інтенсивності викидів вуглецю (CII).

У базовій конфігурації судна Scarlet Lady застосована дизель-електрична схема: група середньообертових дизель-генераторів живить електричні рушії Azipod та всі судові споживачі. Така схема забезпечує гнучкий розподіл потужності між пропульсивними та допоміжними навантаженнями, високу маневреність та можливість оптимізації режимів роботи двигунів за паливною економічністю. З огляду на це, при модернізації головної установки доцільно зберегти саме дизель-електричний принцип побудови, змінюючи насамперед тип і паливну гнучкість головних двигунів.

Для підвищення енергоефективності та зниження викидів при модернізації пропульсивного комплексу Scarlet Lady розглядаються такі основні технічні заходи:

- використання енергозберігаючих пристроїв (Energy Saving Devices, ESD) у гвинто-рульовому та корпусному комплексі;
- впровадження альтернативних палив (LNG, метанол, аміак тощо) на базі дуал-ф'юел технологій;
- модернізація головних двигунів з переходом на дуал-ф'юел виконання.

Рекомендації щодо вибору:

Оптимальним варіантом для Scarlet Lady є двигун **Wärtsilä 12V46DF**. Він має відмінні характеристики гнучкості в паливі (дуал-фюел, можливість використовувати LNG і дизель), повністю відповідає сучасним вимогам ІМО Tier III і характеризується низькими викидами NO_x та CO₂. Цей двигун широко застосовується в сучасних круїзних лайнерах.

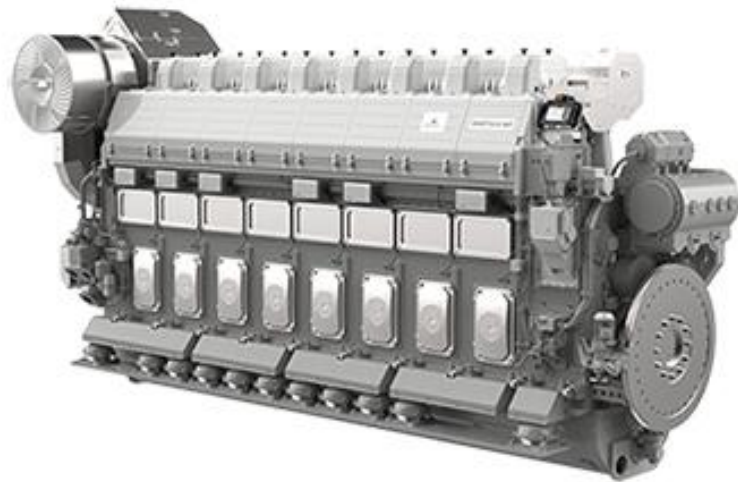


Рис. 2.6. Двигун Wärtsilä 46DF

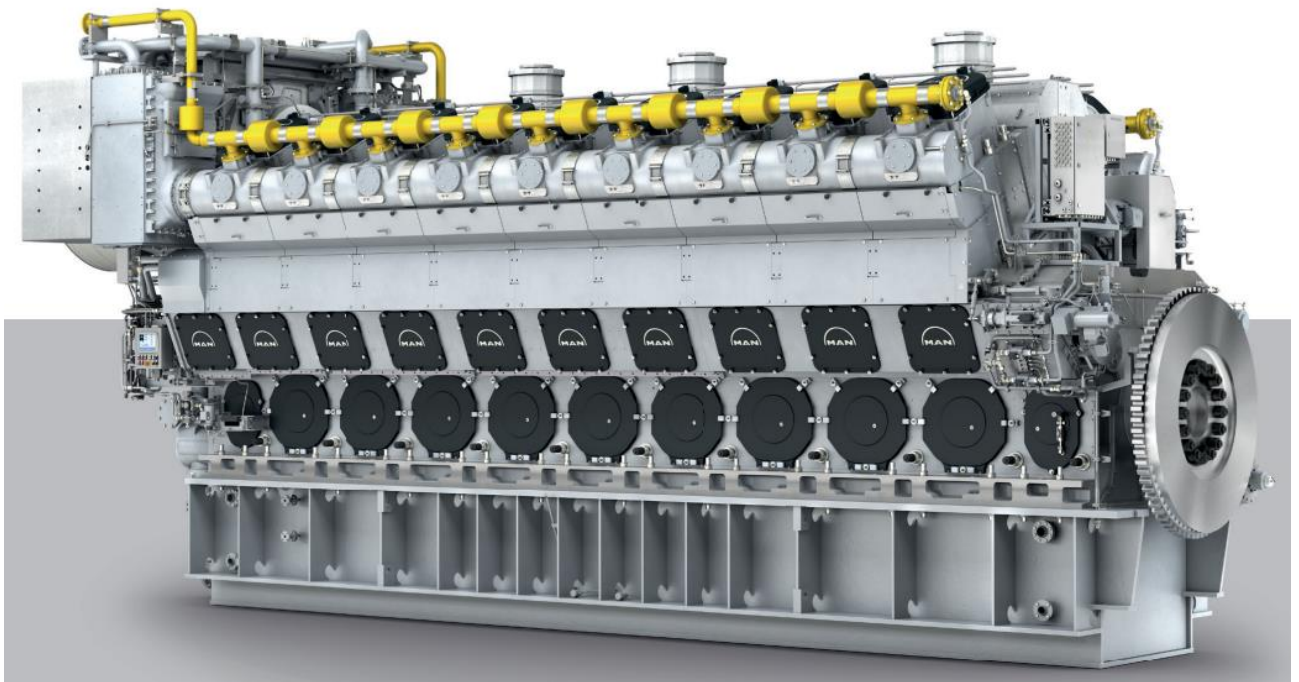


Рис. 2.7. Двигун MAN Energy 51/60DF

										Лист
										29
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	КРМ.6.135.6211.01.02					

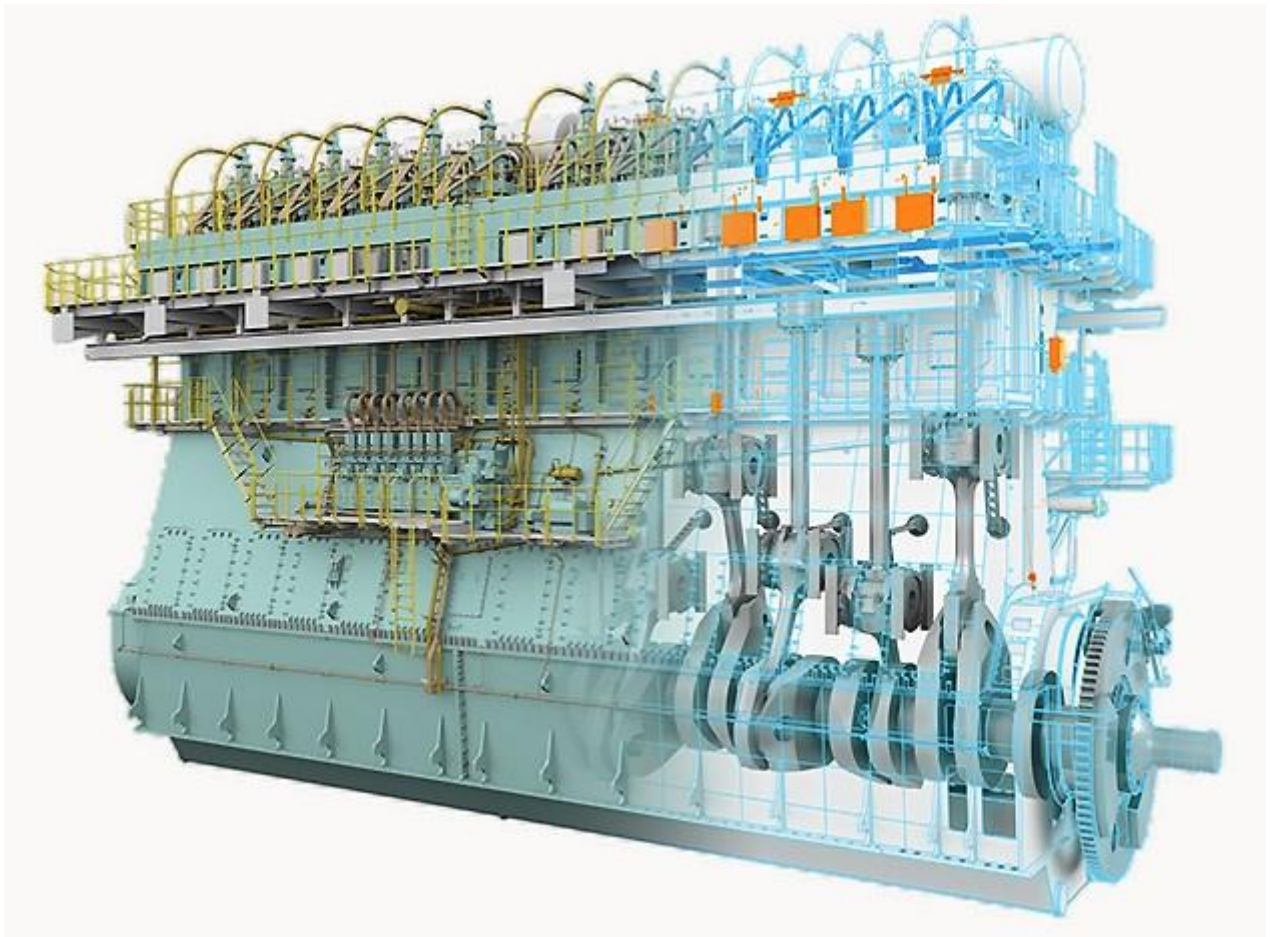


Рис. 2.8. Двигун WinGD X-DF

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

КРМ.6.135.6211.01.02

Лист

30

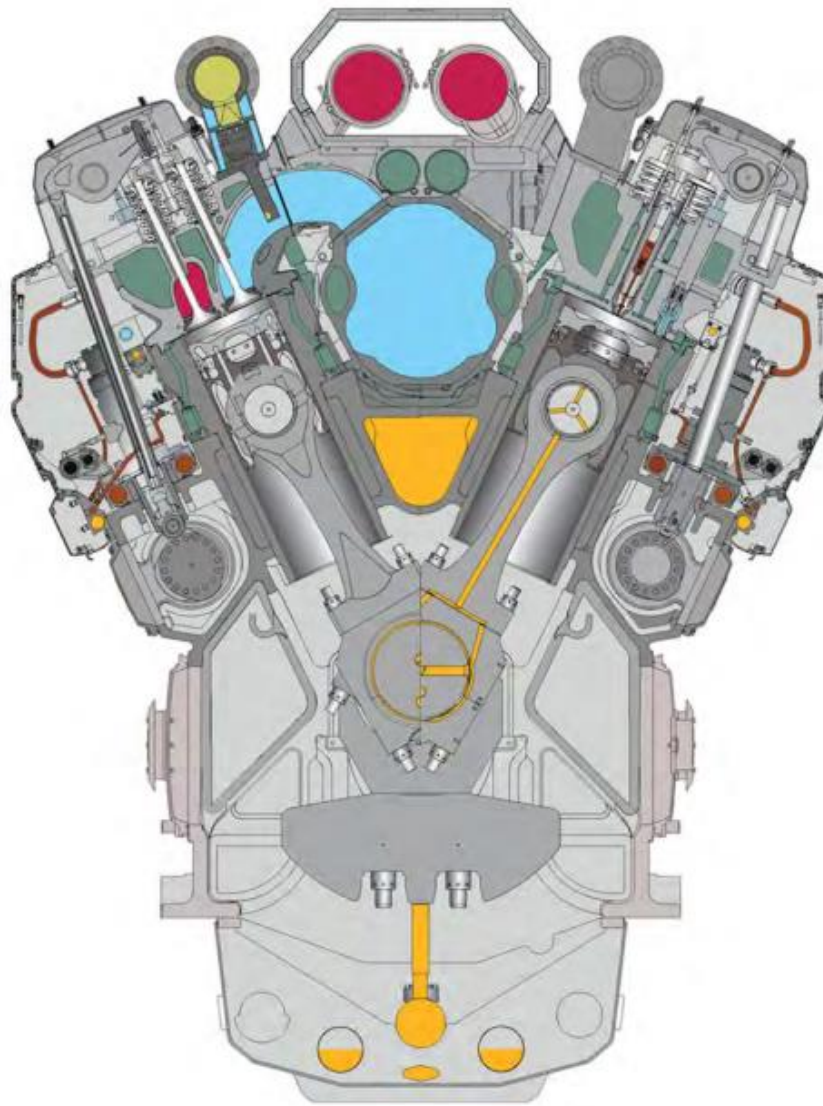


Рис. 2.9. Поперечний переріз V-подібного двигуна Wärtsilä 46DF

2.3. Аналіз роботи головних двигунів у газовому та дизельному режимах (схеми навантаження, турбонаддув, обмеження по режимах)

Тип передачі потужності, рекомендований для Scarlet Lady, — пряма передача з валогенератором. Пряма передача проста в конструкції, має високий ККД (до 98–99%), а також забезпечує високу надійність та довгий ресурс експлуатації.

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

КРМ.6.135.6211.01.02

Лист

31

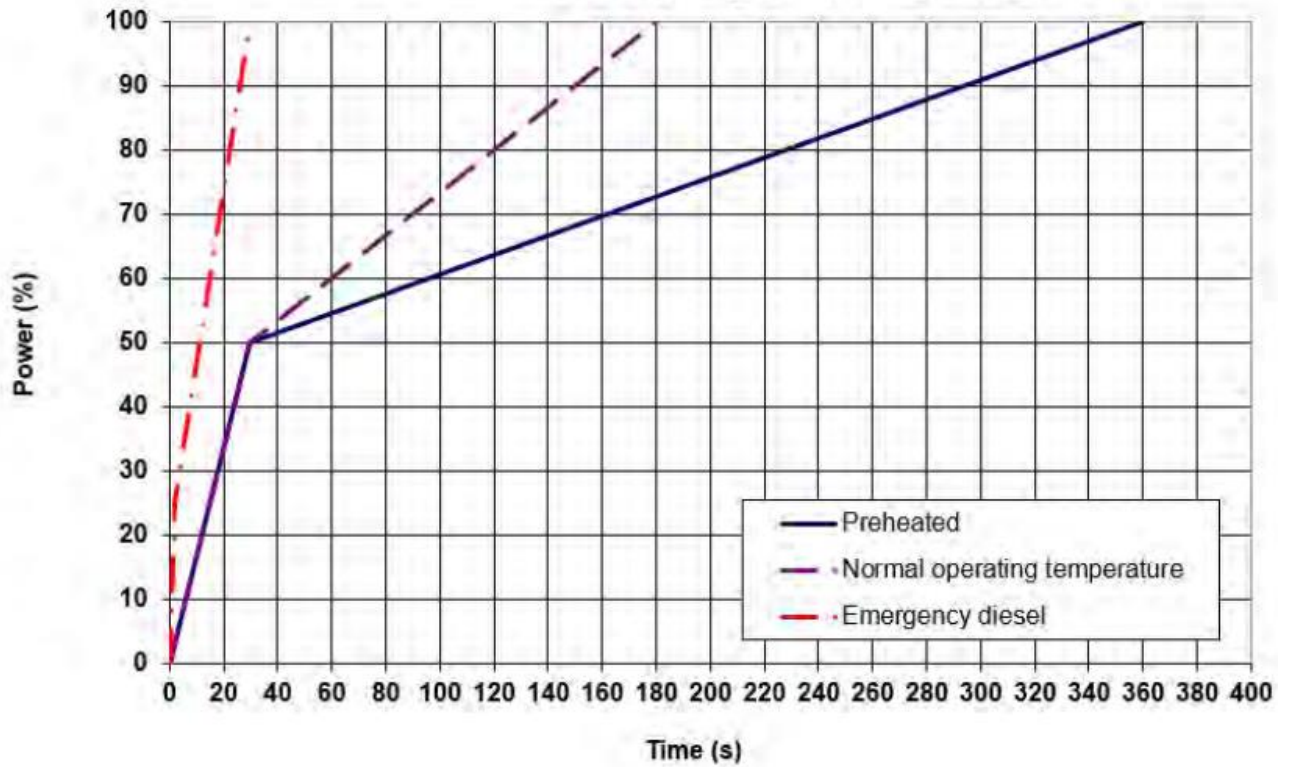


Рис. 2.11. Послідовне завантаження

Норми навантаження в газовому режимі, наведені на діаграмах вище, повинні застосовуватися при використанні газу числа метану ≥ 80

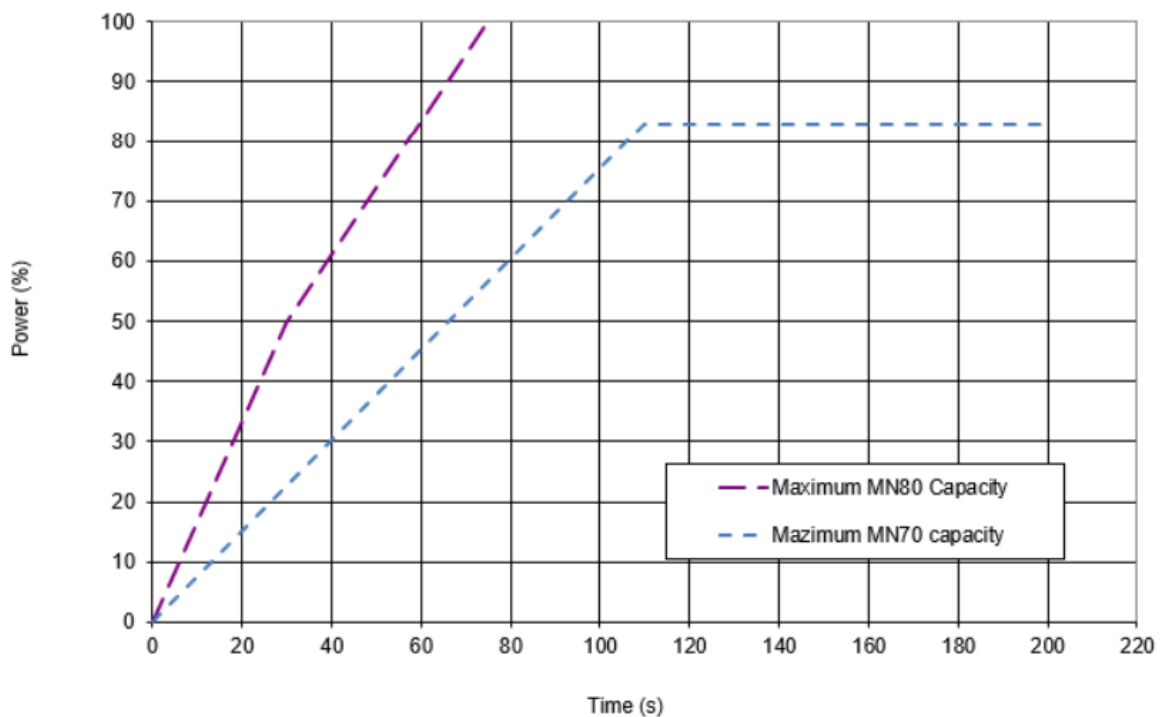


Рис. 2.12. Максимальна навантажувальна здатність у газовому режимі

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.02

Лист

33

Розвантаження:

У нормальному режимі роботи навантаження не слід знижувати від високого до низького значення істотно швидше, ніж воно збільшується. Аварійну зупинку можна розпізнати за значним переміщенням рукоятки з режиму руху вперед у режим руху назад протягом кількох секунд, що скасовує звичайне поступове зниження навантаження.

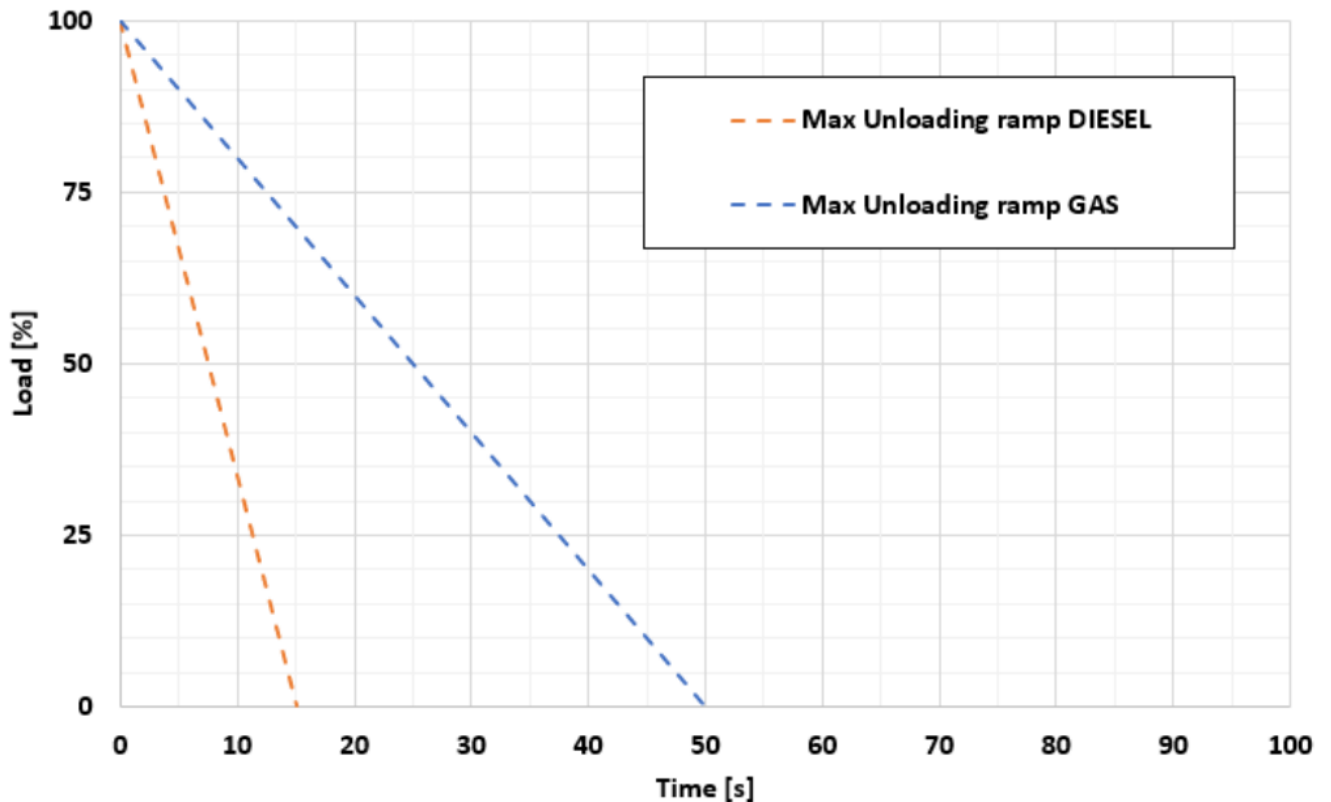


Рис. 2.13 Розвантажувальні рамп

Максимальні миттєві стрибки навантаження

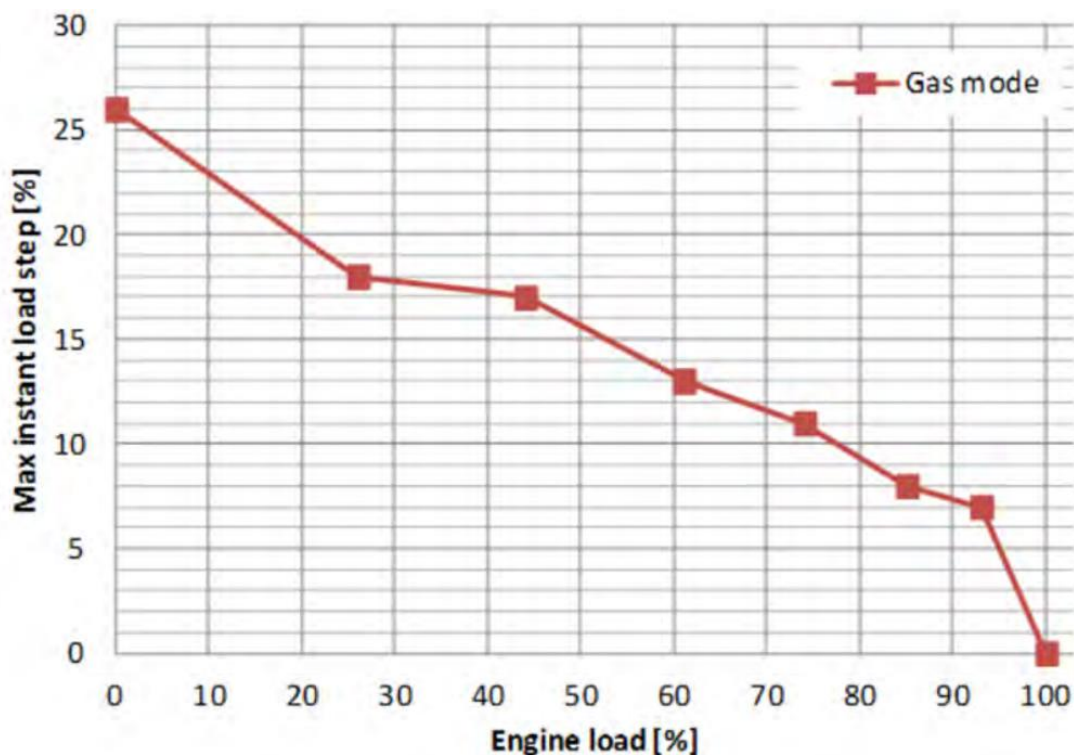


Рис. 2.14. Максимально допустимий крок навантаження в газовому режимі

Електрична система має бути спроектована так, щоб спрацювання вимикачів можна було безпечно опрацювати. Для цього двигуни необхідно захистити від стрибків навантаження, що перевищують їхню максимальну здатність приймати навантаження. Якщо швидке скидання навантаження складно реалізувати або небажане, миттєву сприйнятність навантаження можна збільшити завдяки швидкодіючому сигналу, який переводить установку в дизельний режим.

Режим - газ	
Миттєве прикладення навантаження	Поетапне зменшення навантаження
Смуга сталої частоти $\leq 1,5 \%$	Смуга сталої частоти $\leq 1,5 \%$
Максимальне падіння швидкості — 10 %	Максимальне падіння швидкості — 10 %
Час відновлення ≤ 10 с	Час відновлення ≤ 10 с

Інтервал між стрибками навантаження ≥ 20 с	Інтервал між стрибками навантаження ≥ 20 с
--	--

Режим – дизельне пальне	
Миттєве прикладення навантаження	Поетапне зменшення навантаження
Миттєвий стрибок навантаження: 0 % \rightarrow 33 % \rightarrow 56 % \rightarrow 77 % \rightarrow 100 %	Миттєвий стрибок навантаження: 100 % \rightarrow 50 % \rightarrow 0 %
Смуга сталої частоти $\leq 1,0$ %	Смуга сталої частоти $\leq 1,0$ %
Максимальне падіння швидкості — 10 %	Максимальне падіння швидкості — 10 %
Час відновлення ≤ 10 с	Час відновлення ≤ 10 с
Інтервал між стрибками навантаження ≥ 5 с	Інтервал між стрибками навантаження ≥ 5 с

Турбонаддув і охолодження наддувного повітря

Система турбонаддуву SPEX (Single Pipe EXhaust system) поєднує переваги імпульсного та постійного тиску. Увесь випускний колектор закрито теплоізоляційним кожухом, що забезпечує низьку температуру його поверхні.

В лінійних двигунах встановлюється один турбокомпресор, а у V-подібних — по одному турбокомпресору на кожен ряд циліндрів. Турбокомпресори змонтовані поперечно й розташовані на вільному (протилежному від приводу) кінці двигуна. Доступні вертикальні, похилі під поздовжнім кутом та горизонтальні вихідні патрубки відпрацьованих газів.

					КРМ.6.135.6211.01.02	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		36

Для оптимізації роботи турбонаддуву як на низьких, так і на високих навантаженнях, а також у дизельному та газовому режимах, на випускній стороні застосовується система скидання надлишкового тиску — клапан перепуску («waste-gate»), що активується при великих навантаженнях.

Стандартний охолоджувач наддувного повітря – двоступеневий (НТ- та LT-контурі свіжої води для високотемпературної й низькотемпературної секцій відповідно).

Для очищення турбокомпресора під час роботи передбачено штатні пристрої водяного промивання як з боку повітря, так і з боку відпрацьованих газів.

Турбокомпресор має внутрішні втулкові підшипники, що дозволяє обслуговувати картридж із боку компресора без демонтажу інших вузлів. Змащування здійснюється маслом системи змащення двигуна через інтегровані підвідні канали.

2.4. Проектування пропульсивної установки

2.4.1. Вибір типу рушіїв та їх характеристик (Azipod та ESD — PBCF, Air Lubrication System)

Модернізована головна установка на базі двигунів Wärtsilä 46DF працює у складі дизель-електричної пропульсивної системи. Потужність від чотирьох дуал-ф'юел дизель-генераторів через головний розподільчий щит подається:

- на перетворювачі частоти та електродвигуни рушіїв Azipod (пропульсивне навантаження);
- на судову мережу для живлення «hotel-навантаження» та допоміжних систем.

Таке компонування забезпечує можливість гнучкого керування потужністю на рушіях Azipod залежно від режиму руху, роздільне або

					КРМ.6.135.6211.01.02	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		37

комбіноване живлення пропульсивних і непропульсивних споживачів, підвищену маневреність судна (обертання Azipod на 360°) без зміни структури головної установки.

Серед основних типів ESD слід розглянути такі пристрої та технології:

1. Mewis Duct:

- Знижує опір руху за рахунок поліпшення обтікання гребного гвинта.
- Дозволяє економити до 6-8% палива.

2. Schneekluth Duct:

- Пристрій, що встановлюється перед гвинтом та забезпечує рівномірний розподіл потоку води.
- Економія палива близько 5-6%.

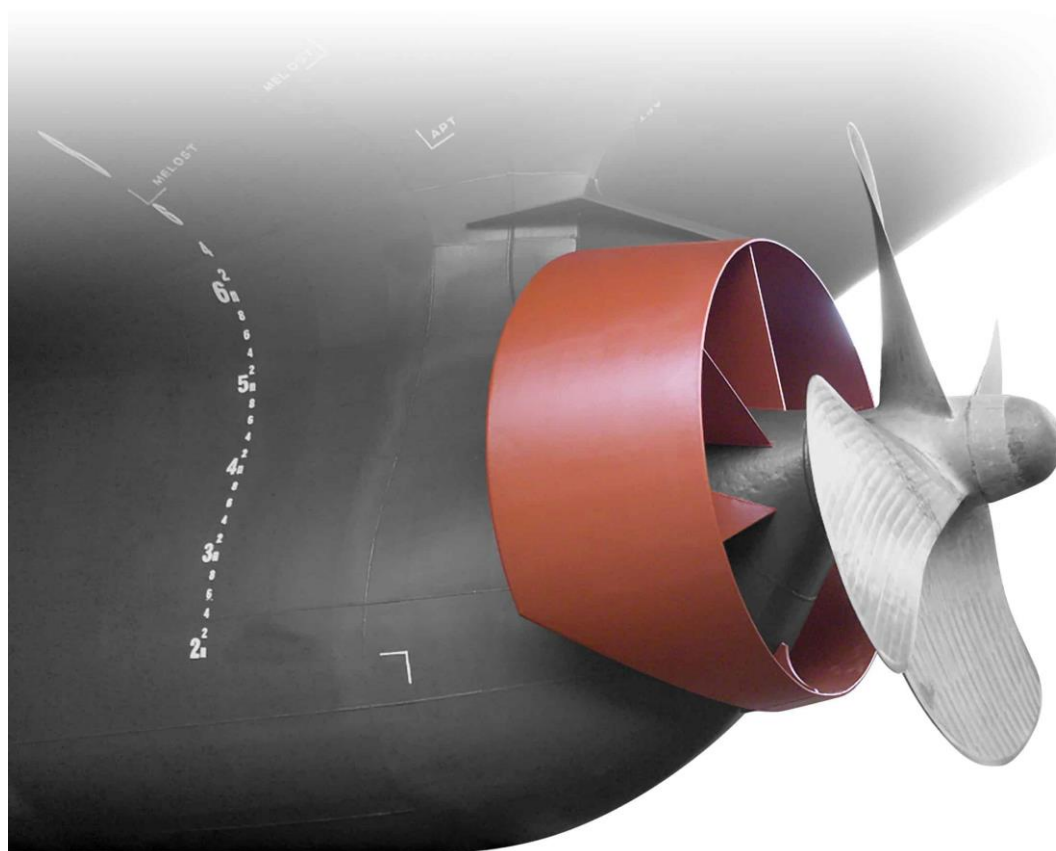


Рис. 2.1. Mewis Duct

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.02

Лист

38



Рис. 2.2. Schneekluth Duct

3. Повітряне мастило (Air Lubrication System):

- Система, яка створює шар мікропухирців повітря між корпусом судна та водою.
- Дозволяє економити до 7-10% палива.



Рис. 2.3. Візуалізація принципу дії Air Lubrication System

						КРМ.6.135.6211.01.02	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата			39

4. Propeller Boss Cap Fins (PBCF):

- Спеціальні лопаті, що встановлюються на ковпак ступиці гвинта, зменшуючи завихрення.
- Знижує витрати палива на 3-5%.

5. Flettner Rotor або Rotor Sails (вітряні рушії):

- Використовують силу вітру для створення додаткової тяги.
- Можуть знизити витрати палива на 5-10%, але мають значні габарити та впливають на дизайн судна.



Рис. 2.4. Propeller Boss Cap Fins



Рис. 2.5. Приклад використання Flettner Rotor на круїзному лайнері
(Viking Grace)

Для Scarlet Lady рекомендується використовувати наступні Energy Saving Devices, зважаючи на особливості конструкції круїзного судна та його експлуатаційних характеристик:

- **Air Lubrication System** – значне зниження гідродинамічного опору, що добре підходить для великих круїзних суден.
- **Propeller Boss Cap Fins (PBCF)** – легко інтегрується у вже наявну конструкцію гвинтів, не впливає на дизайн і має хорошу окупність.

Ці заходи є перевіреними, їх успішно використовують великі круїзні оператори, такі як Royal Caribbean та MSC Cruises.

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

КРМ.6.135.6211.01.02

Лист

41



Деталі судна

Подробиці

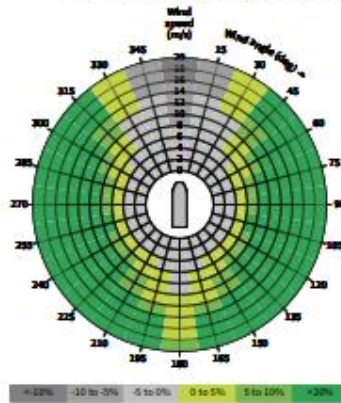
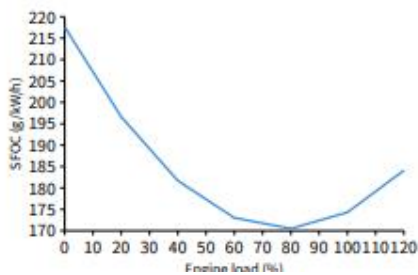
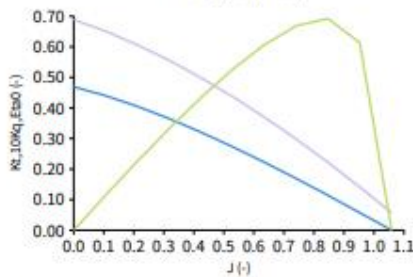
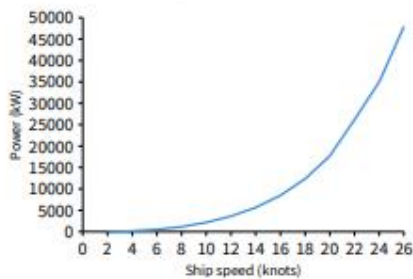
L _{oa}	277.2 m
L _{pp}	244.5 m
L _{wl}	255 m
B (m)	38 m
T	8.3 m
D	11.2 m
C _b	0.7 m
P _{ME total}	48000 kW
D _{prop}	5.7 m
N _{shaft}	2 -

Маршрут



FRS Продуктивність

Полярна продуктивність: Результати вибраного маршруту



Відстань: 2390.9 NM
 Тривалість: 5.2 days
 Середня швидкість: 19.0 knots
 Щомісячна економія споживання двигуна та викидів

Місяць	FO (t)	CO ₂ (t)	%
Jan	17.7	55.9	4.5
Feb	13.3	42.0	3.4
Mar	8.2	25.9	2.1
Apr	6.1	19.3	1.5
May	7.4	23.2	1.9
Jun	14.0	44.2	3.5
Jul	20.3	64.1	5.1
Aug	15.8	49.8	4.0
Sep	4.9	15.5	1.2
Oct	6.3	19.8	1.6
Nov	11.8	37.1	3.0
Dec	17.1	53.8	4.3

Середнє за рік **11.9** **37.5** **3.0%**
 Економія в умовах глобального вітру: **39 %**

Рис. 2.6. Оцінка річної економії за рахунок Flettner Rotor на круїзному лайнері Scarlet Lady

2.4.2. Розрахунок та перевірка елементів валопроводу

Для визначення оптимальних параметрів валопроводу виконано розрахунок діаметрів проміжного та гребного валів з урахуванням потужності обраного головного двигуна Wärtsilä 46DF (14,400 кВт) і частоти обертання валів (120 об/хв). Розрахунки проведено за рекомендаціями та формулами Морського Регістру Судноплавства, що забезпечує достатній запас міцності для валопроводу під час експлуатації:

Розрахунок діаметру проміжного валу:

$$d = F \cdot \sqrt[3]{\frac{Ne}{n}} = 100 \cdot \sqrt[3]{\frac{14400}{120}} \approx 527 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр проміжного валу $d = 530$ мм. Отриманий діаметр проміжного валу (530 мм) забезпечує передачу необхідної потужності з урахуванням стандартних навантажень.

Діаметр гребного валу визначається з коефіцієнтом запасу міцності (1,22):

$$d_{гр} = 1,22 \cdot d = 1,22 \cdot 530 \approx 647$$

Приймаємо діаметр гребного валу $d_{гр}=650$ мм. Діаметр гребного валу розраховано з додатковим коефіцієнтом запасу міцності, що забезпечує безпечну роботу системи навіть за екстремальних навантажень.

Ці значення відповідають вимогам надійності, міцності та експлуатаційної безпеки валопроводу судна.

2.4.3. Аналіз впливу модернізації на енергоефективність пропульсивного комплексу

Для подальшого зниження потрібної потужності ГУ та покращення показників EEXI/СІІ доцільно впровадити енергозберігаючі пристрої (Energy Saving Devices, ESD), що впливають на гідродинаміку потоку навколо корпусу та гребних гвинтів. До основних типів ESD, які розглядаються для Scarlet Lady, належать:

- **Mewis Duct** – кільцевий канал перед гвинтом, що покращує обтікання та знижує опір руху;
- **Air Lubrication System** – система повітряного мастила, що створює шар мікропухирців повітря між корпусом судна та водою;
- **Propeller Boss Cap Fins (PBCF)** – спеціальні лопаті на ковпаку ступиці гвинта, що зменшують завихрення й покращують ККД гвинта;
- **Flettner Rotor / Rotor Sails** – вітропривідні пристрої для створення додаткової тяги;

З урахуванням архітектури круїзного лайнера, обмежень за габаритами і дизайном, а також досвіду великих круїзних операторів (Royal Caribbean, MSC Cruises) для Scarlet Lady найбільш доцільними є:

- **Air Lubrication System** – як засіб зниження опору корпусу при рухові на крейсерських швидкостях;
- **Propeller Boss Cap Fins (PBCF)** – як відносно простий і недорогий пристрій, що легко інтегрується у наявну конструкцію гвинтів Azipod.

2.5. Висновки до розділу

У розділі 2 виконано проектування модернізованої головної установки круїзного лайнера Scarlet Lady з урахуванням вимог MARPOL Annex VI, EEXI та СІІ, а також конструктивних особливостей судна. На основі аналізу вихідних даних та нормативно-правових обмежень сформульовано вимоги до головної установки, основними з яких є збереження дизель-електричної схеми, перехід до дуал-ф'юел технологій (MDO/LNG), забезпечення відповідності IMO Tier III і підвищення енергоефективності.

Виконано порівняльний аналіз можливих типів дуал-ф'юел двигунів, у результаті якого обґрунтовано вибір середньообертових двигунів сімейства Wärtsilä 46DF як головних. Прийнято конфігурацію з чотирьох двигунів (8L46DF та 12V46DF), що забезпечує сумарну встановлену потужність на рівні не нижче базових 57 600 кВт і дає можливість гнучко керувати режимами роботи головної установки.

Показано взаємозв'язок модернізованої головної установки з електричною пропульсивною установкою Aziprod і проаналізовано роль енергозберігаючих пристроїв (ESD) у зниженні потрібної потужності ГУ та покращенні показників EEXI/СІІ. Рекомендовано застосування системи Air Lubrication System та пристроїв PBCF як найбільш доцільних для круїзного лайнера даного класу.

Отримані в цьому розділі рішення щодо вибору типу головної установки, головних двигунів, їх сумарної потужності та інтеграції з пропульсивною установкою є основою для подальшого проектування допоміжної енергетичної установки (розділ 3) та систем СЕУ (розділ 4), а також для техніко-економічної оцінки ефективності модернізації (розділ 7).

					КРМ.6.135.6211.01.02	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		45

КРМ.6.135.6211.01.03

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата			
Студент	Борисов А.В.				Літ	Аркуш	Аркушів
						46	15
Викладач	Чередніченко О.К.				НУК ім. адмірала Макарова		

Допоміжна енергетична
установка Scarlet Lady

3.2. Розробка теплової схеми СЕУ та вибір методів утилізації скидної теплоти

На основі попередніх розрахунків та теплової діаграми СЕУ (рис. 3.1) формується узагальнена тепла схема, що відображає основні джерела, споживачі та маршрути руху теплоти в енергетичній установці Scarlet Lady.

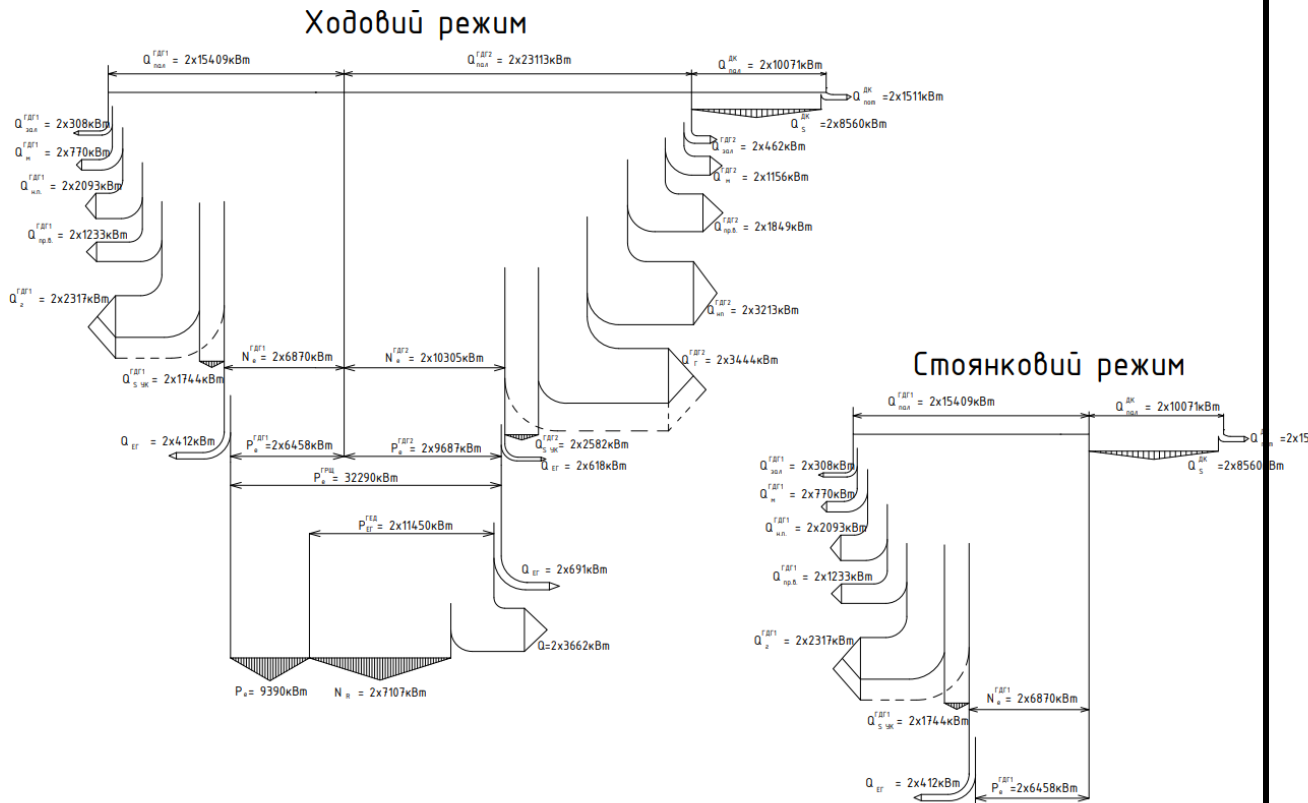


Рис. 3.1. Потіки теплоти в СЕУ

3.3. Енергетичні комплекси утилізації теплоти (EGR, WHRS, система Climeon)

Для систематизації складу обладнання допоміжної енергетичної установки та спрощення аналізу її роботи доцільно виділити кілька енергетичних комплексів, що об'єднують устаткування за функцією та типом перетворення енергії:

- котельний комплекс;

- комплекс утилізації високопотенційної теплоти (утилізаційні котли);
- комплекс низькопотенційної утилізації теплоти (система Climeon та WHR);
- комплекс опріснення та водопідготовки.

3.3.1. Котельний комплекс

До складу котельного комплексу входять допоміжні котли Aalborg CHB з відповідною арматурою, системами живлення, водопідготовки та автоматизації.

Основні функції котельного комплексу:

- виробництво пари/гарячої води для:
 - опалення приміщень;
 - систем гарячого водопостачання;
 - камбузного обладнання, пралень, санітарно-технічних потреб;
- забезпечення базового парового навантаження при стоянці в порту та на малих навантаженнях головних двигунів, коли утилізаційний комплекс не забезпечує потрібної кількості теплоти;
- резервування паропостачання на випадок відмови утилізаційних котлів або зниження тепловиділення двигунів (наприклад, при роботі лише одного-двох агрегатів).

3.3.2. Комплекс утилізації високопотенційної теплоти (утилізаційні котли)

Комплекс утилізації високопотенційної теплоти включає утилізаційні котли Saacke EGB і Saacke OFB, встановлені у вихлопних трактах двигунів:

Утилізаційні котли на двигунах 8L46DF (Saacke EGB) відбирають теплоту відпрацьованих газів, перетворюючи її на пару з параметрами, достатніми для живлення суднової парової мережі.

					КРМ.6.135.6211.01.03	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		49

Використання системи відновлення відпрацьованого тепла Climeon є ефективним способом підвищення загальної енергетичної ефективності судна. Вона дозволяє утилізувати раніше не використовуване тепло, скоротити витрати палива, знизити шкідливі викиди в атмосферу і забезпечити економічні переваги при експлуатації сучасних суден.



Рис. 3.2. Система відновлення відпрацьованого тепла Climeon

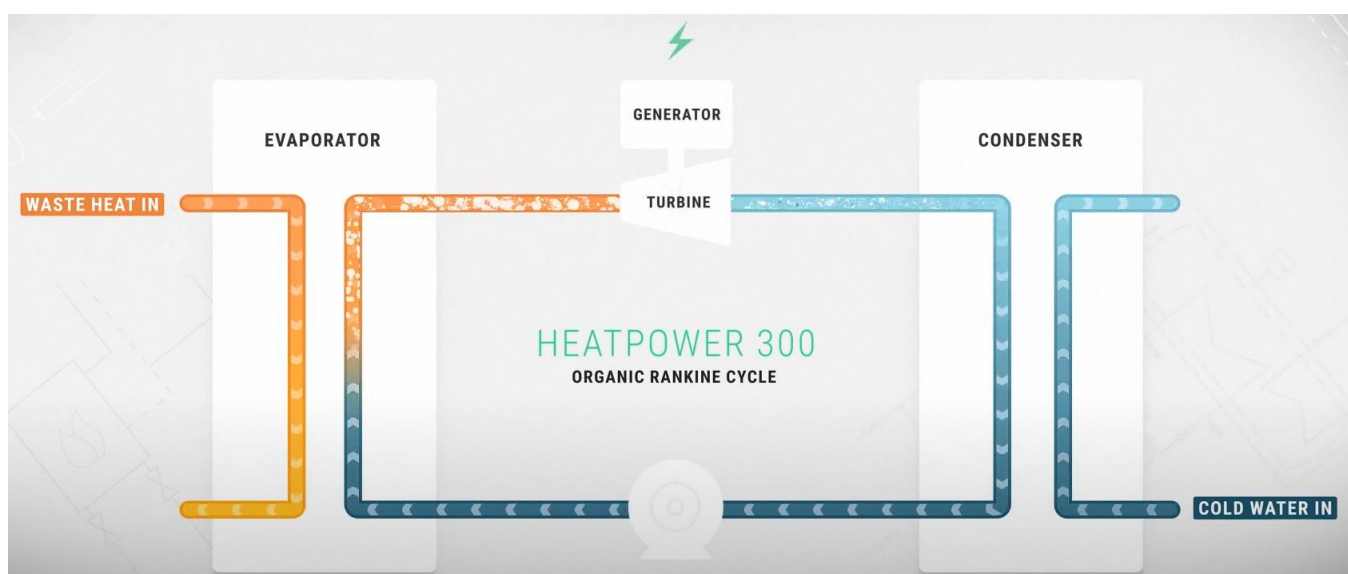


Рис. 3.3. Схема принципу дії системи Climeon

Утилізаційний котел на двигуні 8L46DF:

- кількість $i = 2$ шт
- марка Saacke EGB
- паропроductивність $D_s^{DK} = 2.5$ т/ГОД
- тиск пари $p_s = 0.7$ МПа
- температура живильної води (задано) $t_{ж.в} = 60$ оС
- ККД котла $\eta = 0.88$
- температура газів на вході в УК $T_{\Gamma} = 577$ К
- температура газів на виході з УК $T_{від}^{УК} = 494$ К

Утилізаційний котел на двигуні 12V46DF:

- кількість $i = 2$ шт
- марка Saacke OFB
- паропроductивність $D_s^{DK} = 3.7$ т/ГОД
- тиск пари $p_s = 0.7$ МПа
- температура живильної води (задано) $t_{ж.в} = 60$ оС
- ККД котла $\eta = 0.88$
- температура газів на вході в УК $T_{\Gamma} = 574$ К
- температура газів на виході з УК $T_{від}^{УК} = 494$ К

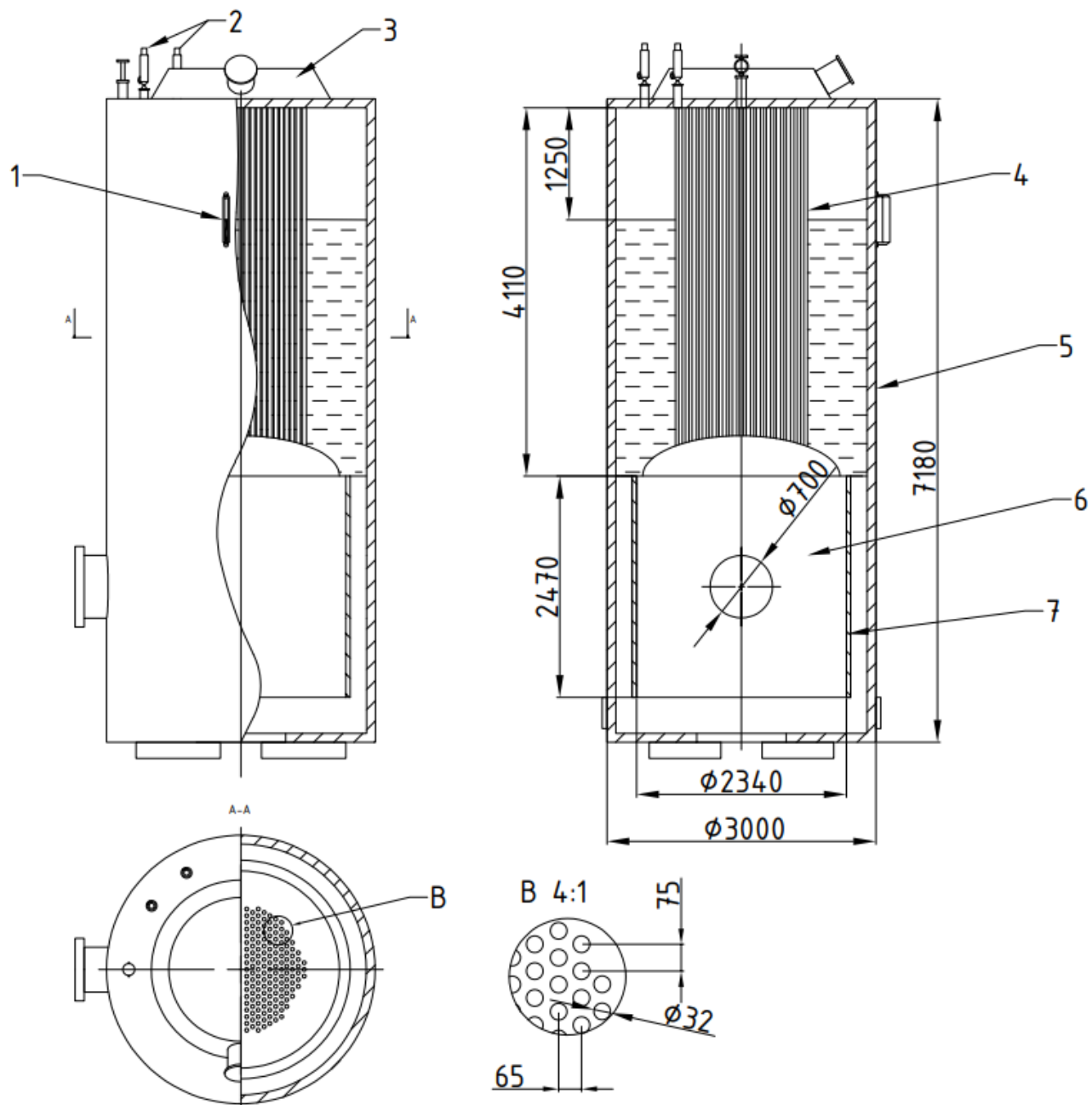


Рис. 3.5. Креслення котла Aalborg SHB

1 – мембранний екран; 2 - топка; 3 - корпус; 4 – димогарні трубки; 5 – димова коробка з патрубком; 6 – запобіжні клапани; 7 – стопорний клапан;
8 – водовказівник.

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

КРМ.6.135.6211.01.03

Лист

55

Опріснювальна установка Wärtsilä AQ-50-EC

Прісна вода на судах використовується для побутових потреб, поповнення витоку води із замкнутих циркуляційних систем охолодження двигунів, конденсато-живильних систем, систем продування парових котлів, системи сажобудування крізь щілини з'єднань парових труб і арматури, а також для постачання до технологічних і спеціальних споживачів.

- кількість $i = 1$
- продуктивність $D_{0y} = 0.579$ кг/с
- температура живильної води $t = 60^{\circ}\text{C}$

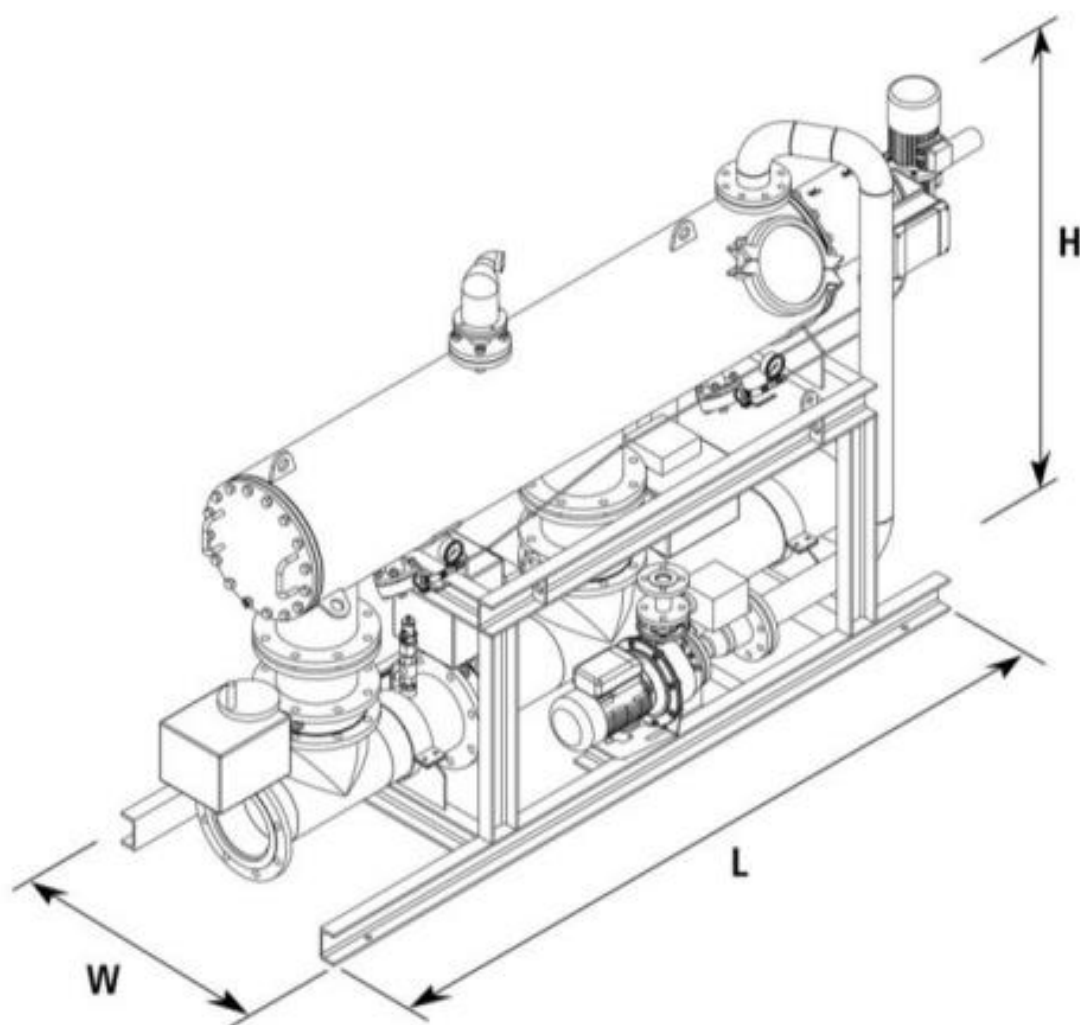


Рис. 3.6. Модуль фільтрації опріснювальної установки типу
Wärtsilä AQ-50-EC

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.03

Лист

56

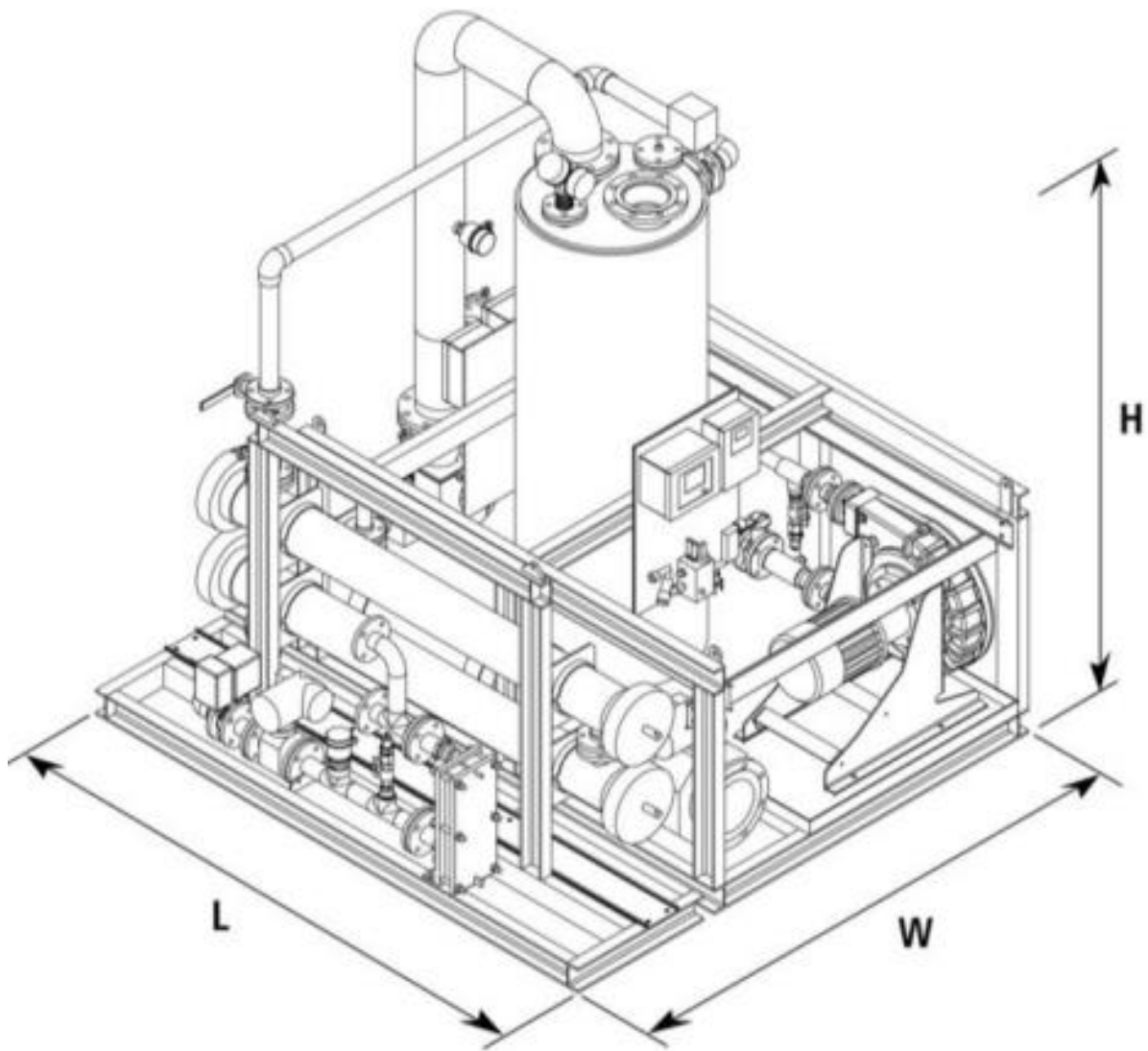


Рис. 3.7. Модуль очистки опреснювальної установки типу
Wärtsilä AQ-50-EC

3.5. Оцінка ефективності допоміжної енергетичної установки та її ролі в підвищенні енергоефективності судна

Оцінка ефективності допоміжної енергетичної установки проводиться з
урахуванням:

									Лист
									57
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	КРМ.6.135.6211.01.03				

- ступеня залучення скидної теплоти двигунів у котельному й утилізаційних комплексах;
- додаткового виробництва електроенергії в комплексі Climeon;
- зменшення навантаження на допоміжні котли, а отже, зниження прямої витрати палива;
- забезпечення теплових та водних потреб судна без залучення зовнішніх ресурсів (у тому числі в автономному плаванні).

Якісно ефективність модернізованої допоміжної енергетичної установки можна описати так:

1. Зменшення питомої витрати палива

Утилізація теплоти відпрацьованих газів і охолоджувальної води дозволяє:

- а. зменшити час роботи допоміжних котлів на паливі;
- б. частково компенсувати електричне навантаження за допомогою системи Climeon.

Це прямо веде до зниження витрати палива на одиницю корисної роботи судна.

2. Покращення екологічних показників

Зменшення паливоспоживання призводить до зменшення сумарних викидів CO₂, NO_x та SO_x. Комплексна робота Climeon, утилізаційних котлів і систем очищення вихлопних газів (SCR, скрубери, EGR, розглянуті в розділі 4) сприяє досягненню більш сприятливих значень індексів EEXI та CII без зниження експлуатаційної швидкості судна.

3. Підвищення автономності плавання

Ефективне використання теплових ресурсів і наявність власної опріснювальної установки забезпечують можливість тривалого автономного плавання без обмежень з боку теплового чи водного балансу.

4. Підвищення надійності та живучості СЕУ

Наявність декількох паралельних джерел теплоти (двигуни, утилізаційні котли, допоміжні котли) і можливість перерозподілу теплових потоків

										Лист
										58
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата						

КРМ.6.135.6211.01.03

підвищують живучість енергетичної установки у випадку відмов окремих елементів.

У подальшому (в розділі 7) ефективність допоміжної енергетичної установки може бути врахована при техніко-економічному аналізі, оцінці окупності модернізації та порівнянні «до/після» за паливною економічністю та показниками екологічності.

Висновки до розділу 3

У розділі 3 розроблено структуру та склад допоміжної енергетичної установки круїзного лайнера Scarlet Lady з урахуванням вимог до підвищення енергоефективності та екологічної безпеки судна.

На основі аналізу електричних і теплових навантажень сформовано укрупнений енергобаланс судна, в якому виділено основні групи електричних споживачів (пропульсивне навантаження, «hotel-навантаження», системи безпеки та технологічні споживачі) та основні джерела й споживачі теплоти (двигуни, котли, утилізаційні системи, HVAC, ГВП, паливні системи, опріснювач).

Запропоновано структуроване групування обладнання в енергетичні комплекси: котельний комплекс, комплекс утилізації високопотенційної теплоти (утилізаційні котли), комплекс низькопотенційної утилізації теплоти (Climeon, WHR) та комплекс опріснення й водопідготовки. Для кожного комплексу наведено його функції та взаємодію з іншими елементами СЕУ.

Підібрано й обґрунтовано склад основного обладнання допоміжної енергетичної установки (допоміжні котли Aalborg СНВ, утилізаційні котли Saacke, опріснювальна установка Wärtsilä AQ-50-EC), що забезпечує покриття теплових і водних навантажень судна в розрахункових режимах.

										Лист
										59
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	КРМ.6.135.6211.01.03					

Показано, що модернізована допоміжна енергетична установка в поєднанні з системами утилізації теплоти й Climeon сприяє зниженню питомої витрати палива, покращенню екологічних показників та підвищенню автономності й надійності СЕУ. Отримані рішення є основою для подальшого опрацювання систем СЕУ (розділ 4) та для техніко-економічної оцінки ефективності модернізації (розділ 7).

					КРМ.6.135.6211.01.03	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		60

КРМ.6.135.6211.01.04

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата			
					Проектування систем СЕУ		
Студент	Борисов А.В.						
Викладач	Чередніченко О.К.				Літ	Аркуш	Аркушів
						61	24
					НУК ім. адмірала Макарова		

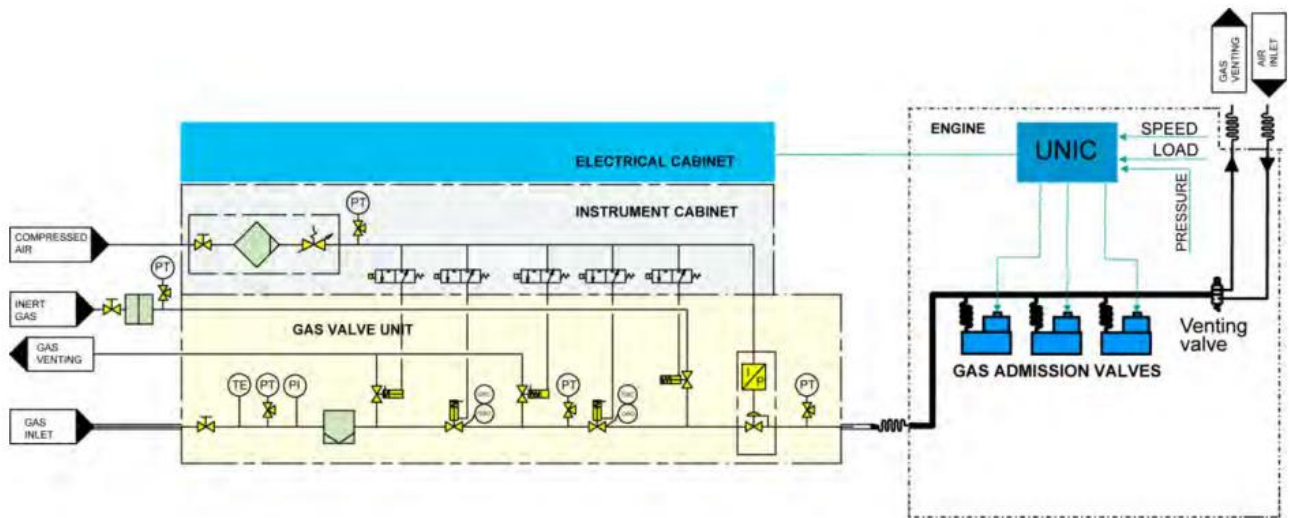


Рис. 4.1. Система газопостачання з газорозподільним пунктом GVU та основними компонентами

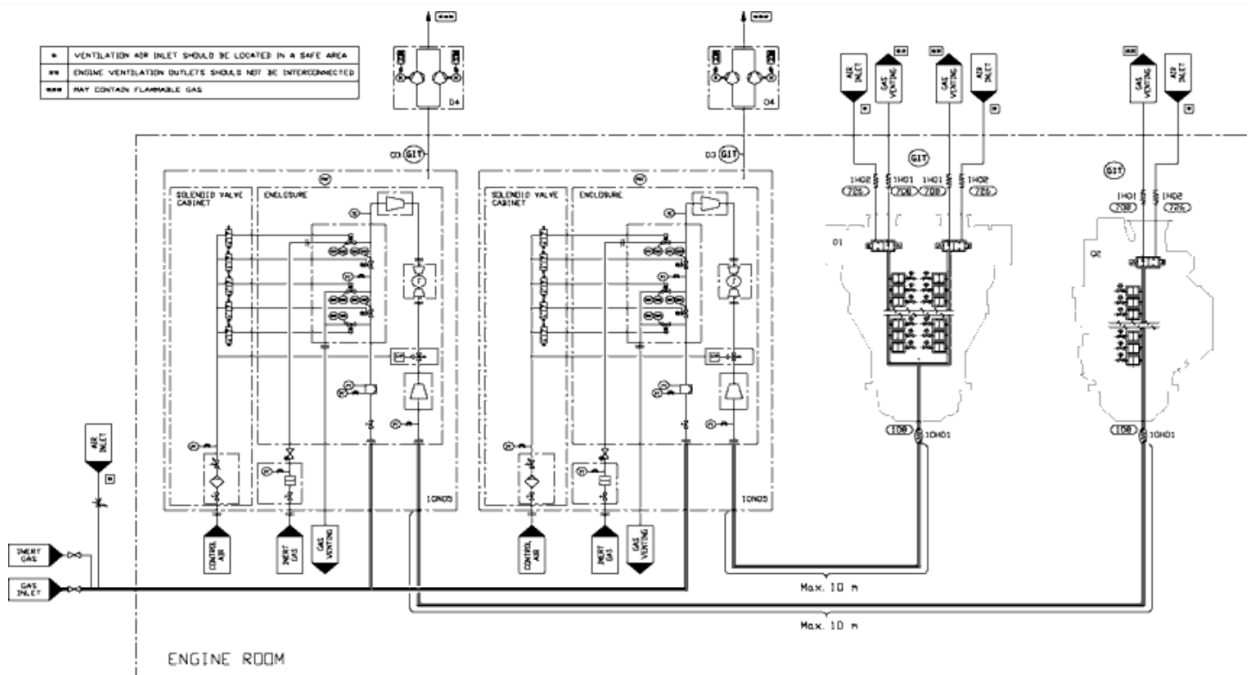


Рис. 4.2. Зовнішня система паливного газу з закритим корпусом GVU

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.04

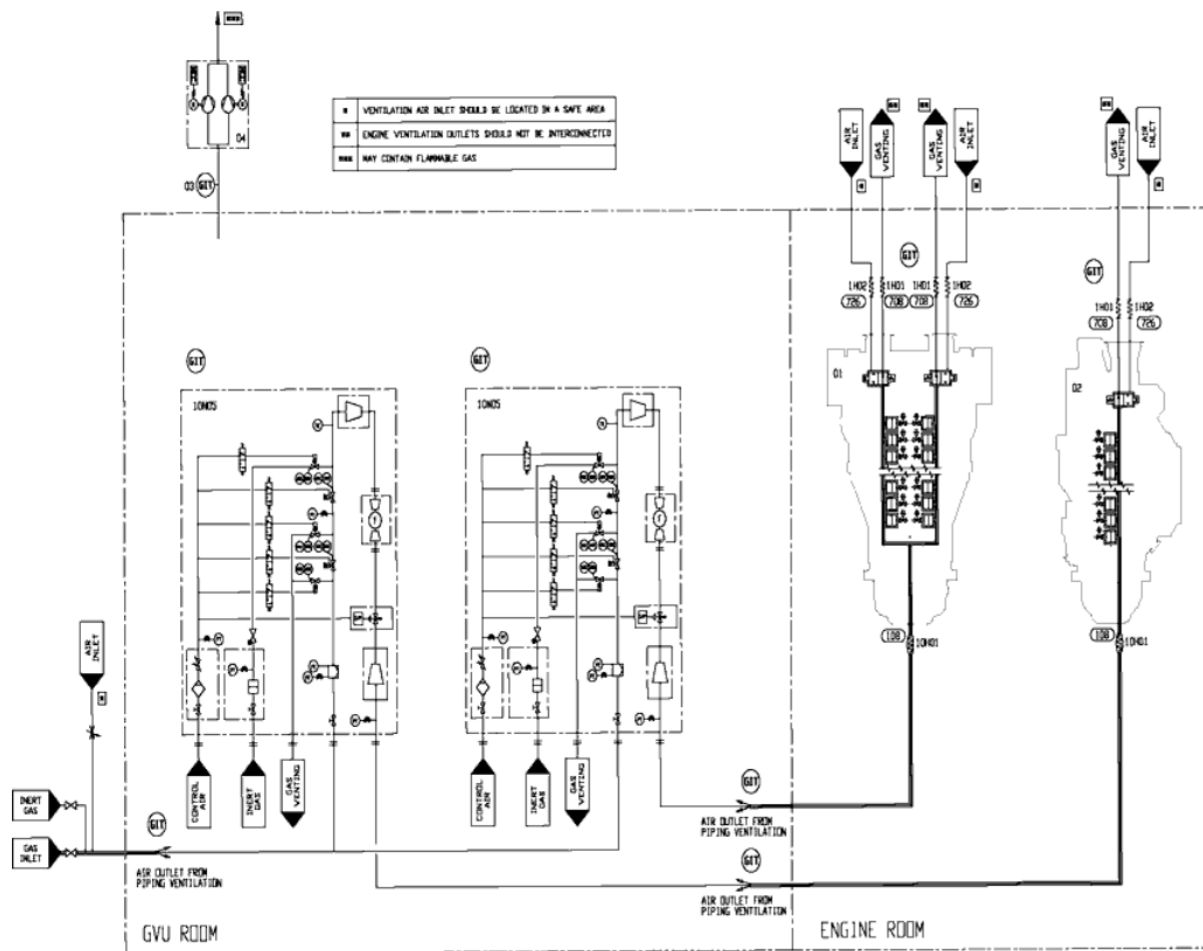


Рис. 4.3. Зовнішня система паливного газу без закритого корпусу GUV

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.04

Лист

67

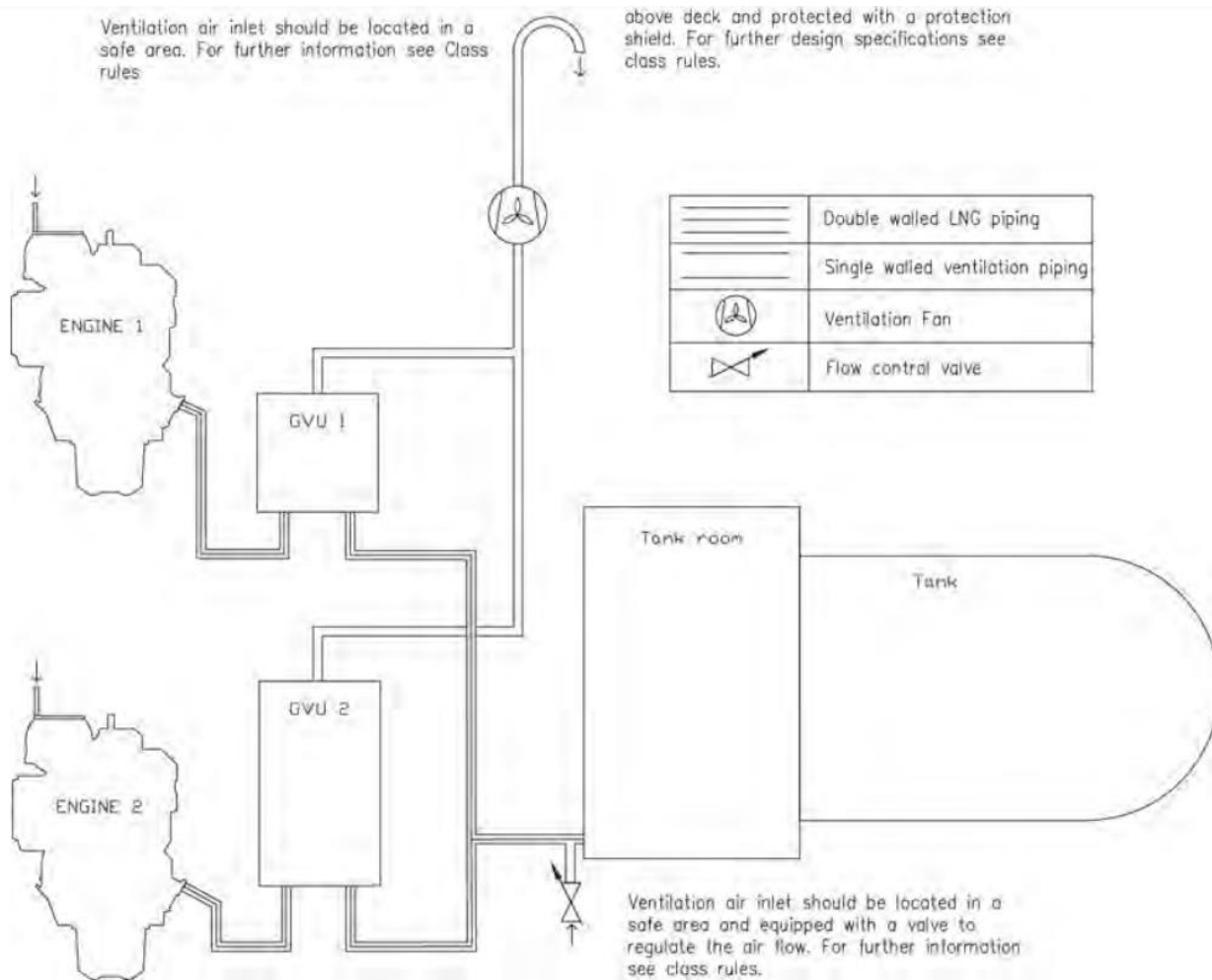


Рис. 4.4. Приклад креслення розташування вентиляції в двостінній системі трубопроводів з закритими GVU

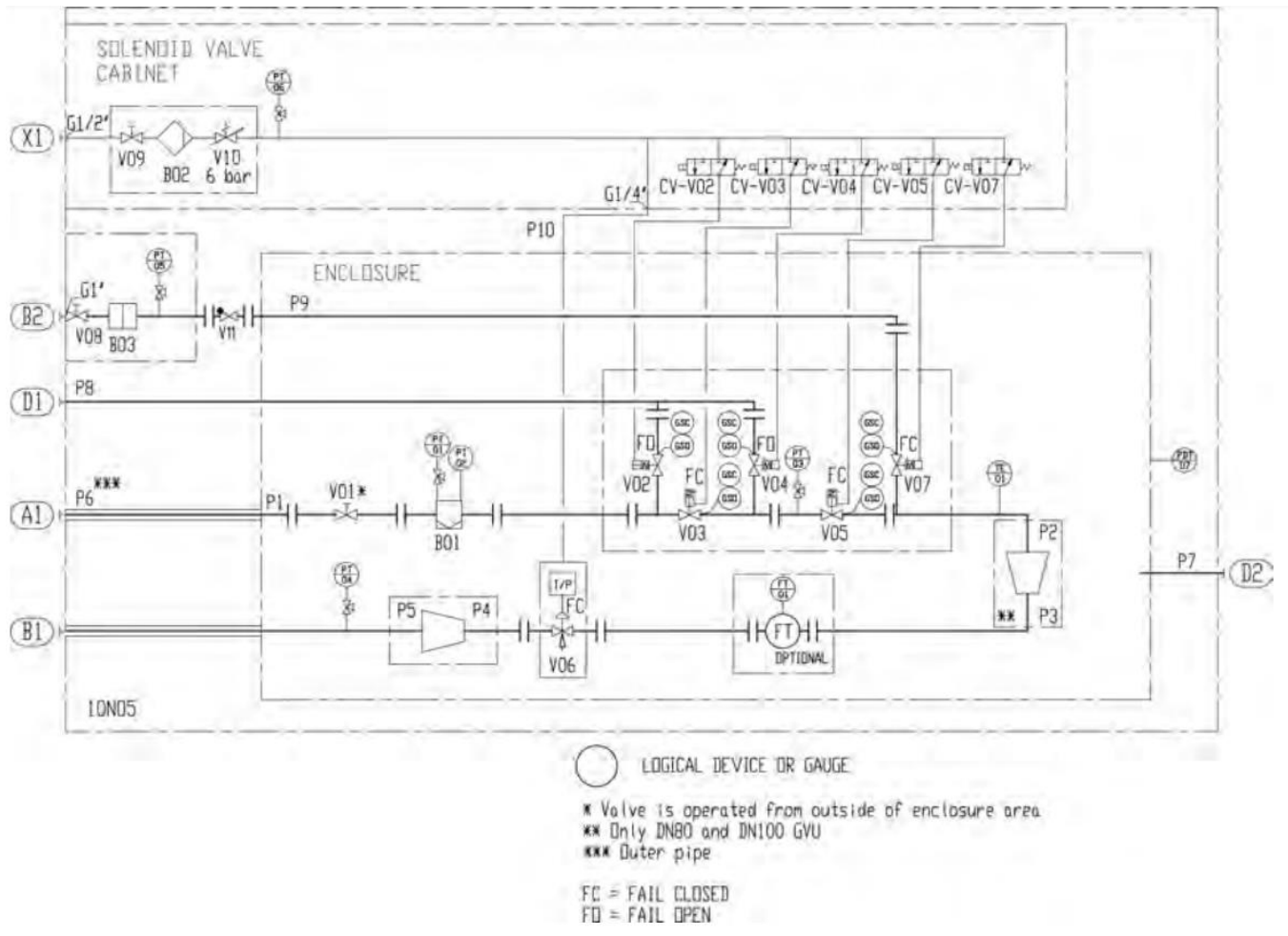


Рис. 4.5. P&I газового клапанного блоку

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.04

Лист

69

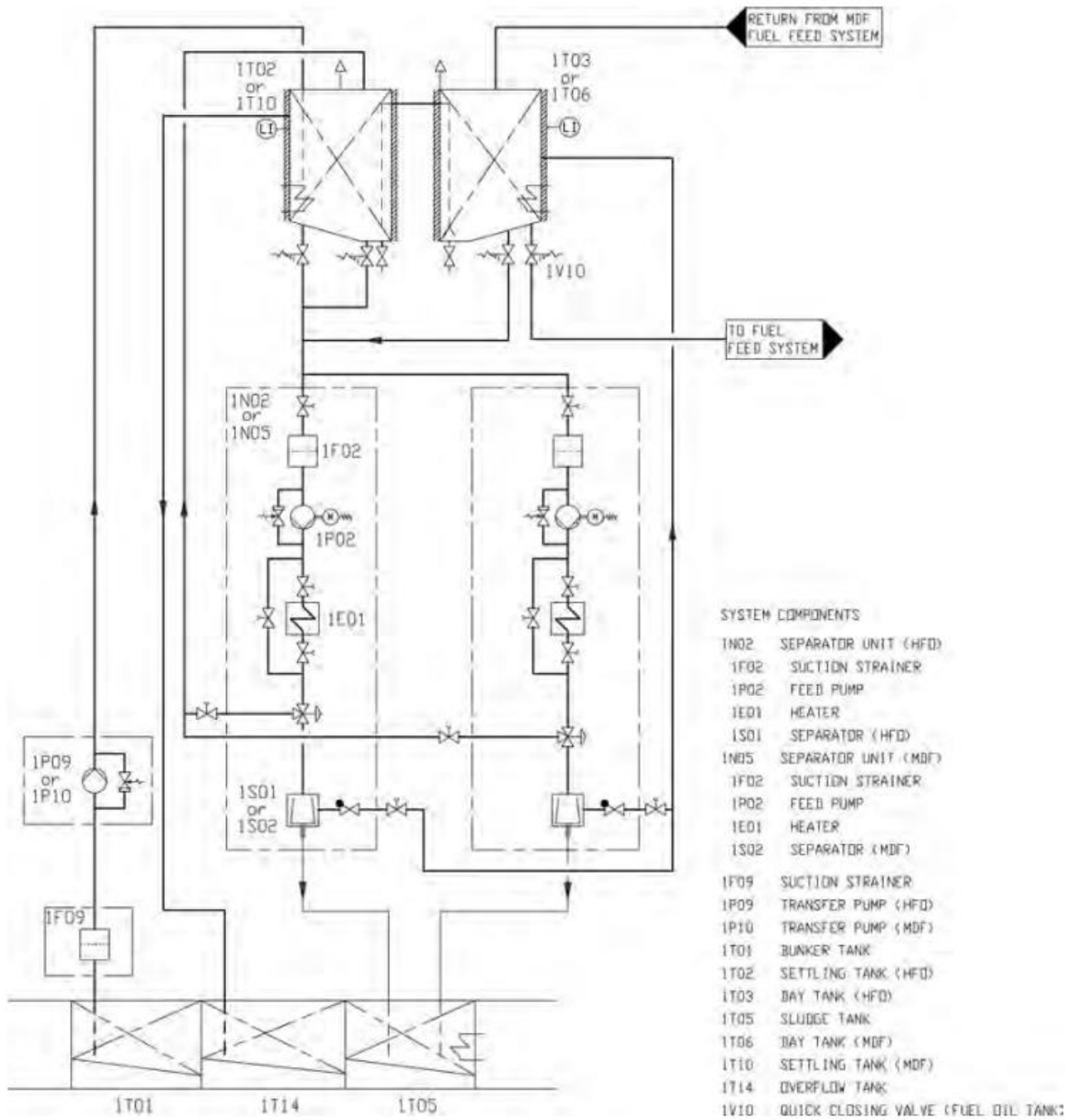


Рис. 4.6. Система подачі та сепарації палива

Табл. 4.2. Норми пального та вимоги до мастил, експлуатація НФО

Категорія	Стандарт палива ¹	Вміст сірки у паливі, % m/m	Рекомендована BN мастильної оливи
С	GRADE No. 4-D, 5, 6 DMC, RMA10 – RMK55 DC, A30 – K700 RMA10 – RMK700 ASTM D 975-17 ASTM D 396-17 BS MA 100:1996 CIMAC 2003 ISO 8217:2017(E)	≤ 3,50 або законодавчі вимоги***	30 ... 55

*** Вміст сірки може бути й вищим за 3,50 % m/m.

Рекомендації:

- За роботи на мазуті (residual fuel) переважно застосовувати оливи BN 50 – 55. Це особливо важливо для двигунів із «мокрим» картером та паливом із вмістом сірки понад 2,0 % маси.
- Оливи BN 40 також допустимі, якщо досвід експлуатації показує, що робочий баланс BN залишається на прийнятному рівні.

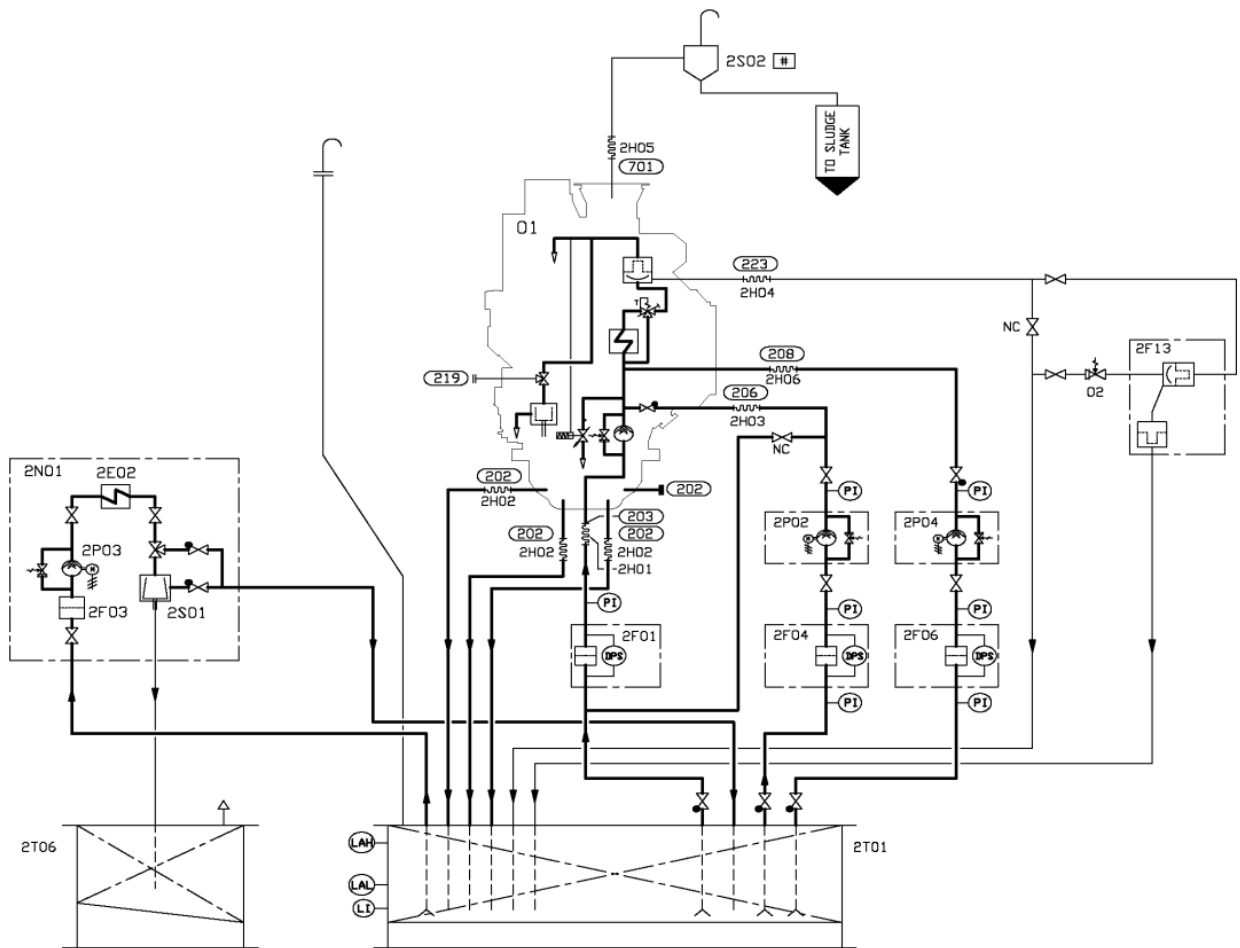


Рис. 4.7. Зовнішня змащувальна система, насоси з приводом від двигуна та автономні насоси

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.04

Лист

73

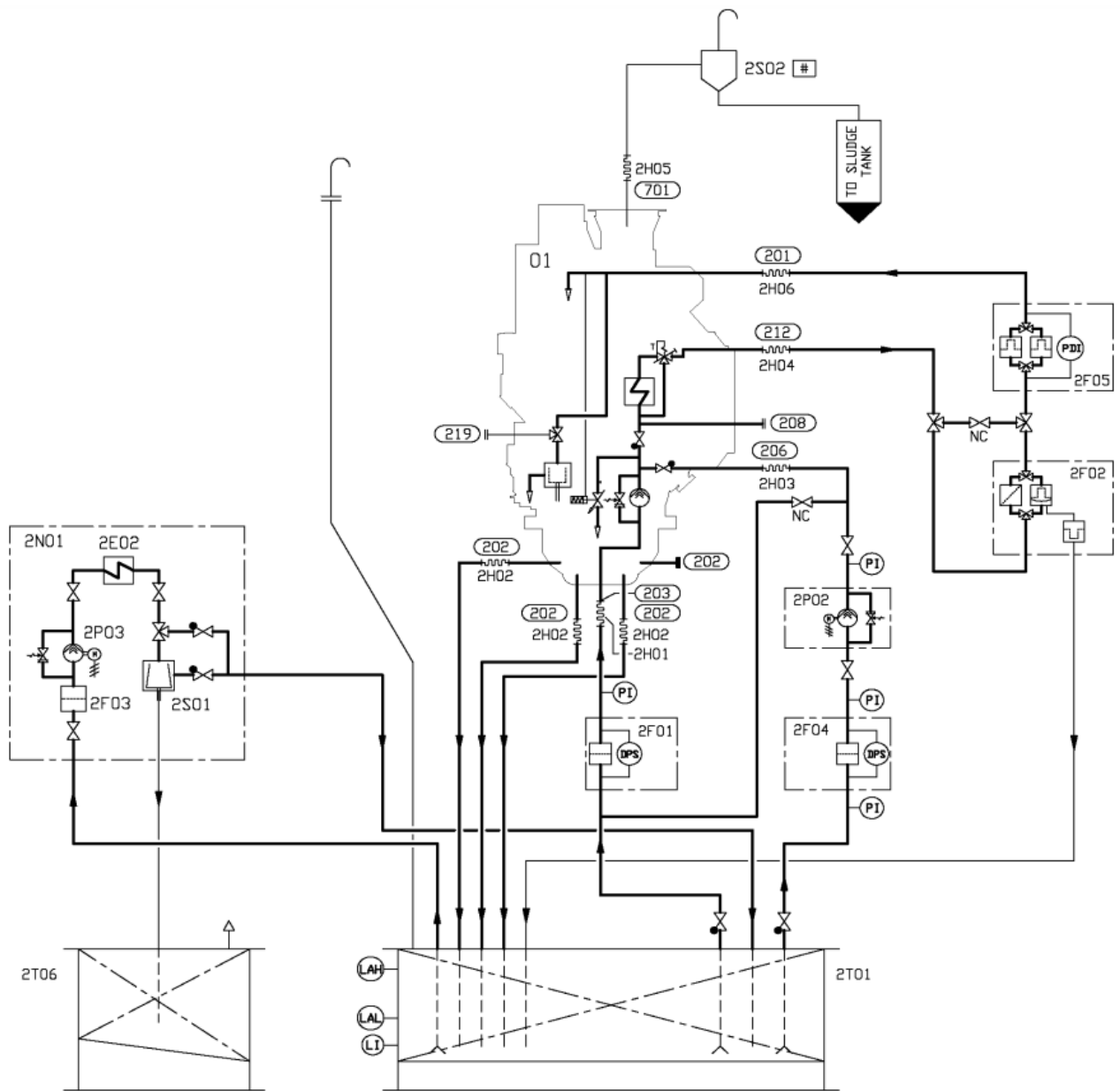


Рис. 4.9. Зовнішня змащувальна система, без вбудованого в двигун автоматичного фільтру

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.04

Лист

75

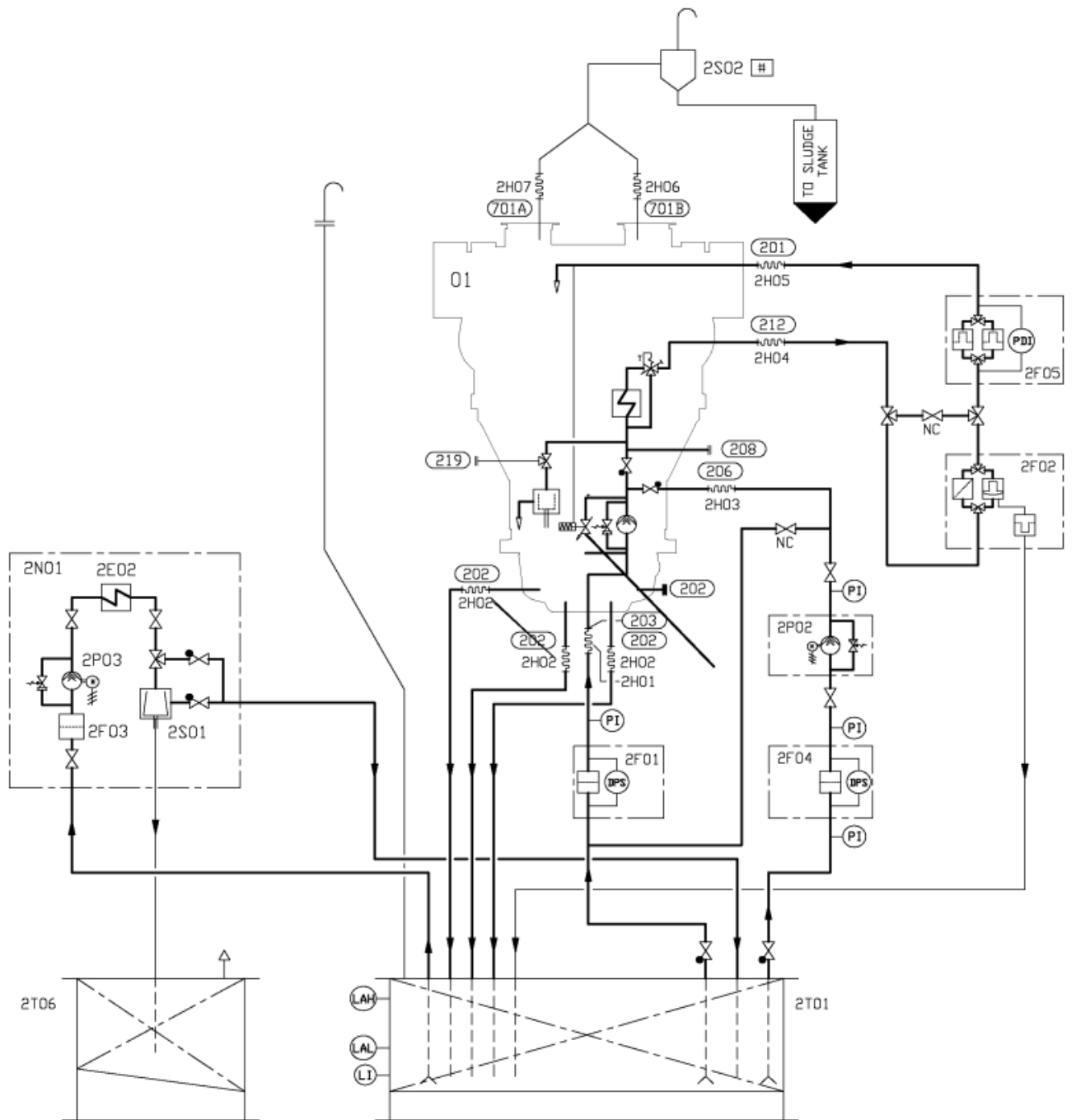


Рис. 4.10. Зовнішня змащувальна система, без вбудованого в двигун автоматичного фільтру

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.04

Лист

76

4.2.3. Система охолодження (НТ/ЛТ контури, вимоги до води, схеми для кількох двигунів)

Система охолодження двигунів Wärtsilä 46DF на Scarlet Lady побудована з розділенням на високотемпературний (НТ) і низькотемпературний (ЛТ) контури. Такий підхід дозволяє підтримувати оптимальні температурні режими для різних елементів двигуна, підвищити загальний ККД установки та забезпечити необхідні параметри для систем утилізації теплоти (утилізаційні котли, Climeon, інші WHR-компоненти).

У багатодвигунних установках доцільно розділяти двигуни на кілька незалежних контурів охолодження. Це підвищує резервування системи, спрощує балансування витрат і температур у кожному контурі, а також обмежує наслідки можливих витоків або потрапляння газів до охолоджувальної води. В окремих випадках контур НТ доцільно розділяти від ЛТ за допомогою теплообмінника, що забезпечує оптимальне використання теплоти на різних рівнях температури.

Зовнішню систему необхідно спроектувати так, щоб витрати, тиски й температури були наближені до номінальних значень, указаних у технічній документації виробника, а охолоджувальна вода була належним чином підготовлена та дегазована. Забороняється використання оцинкованих труб у прісноводній частині системи, оскільки деякі присадки для водопідготовки вступають у реакцію з цинком, утворюючи шкідливі шлами та сприяючи корозії сталевих елементів при підвищених температурах.

Для Scarlet Lady така побудова системи охолодження дозволяє одночасно забезпечити надійну теплову стабільність двигунів у дуал-ф'юел режимі, створити сприятливі умови для роботи систем утилізації теплоти та знизити ризики корозії й відмов обладнання, що особливо важливо для великого пасажирського судна з високими вимогами до живучості та безвідмовності.

					КРМ.6.135.6211.01.04	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		77

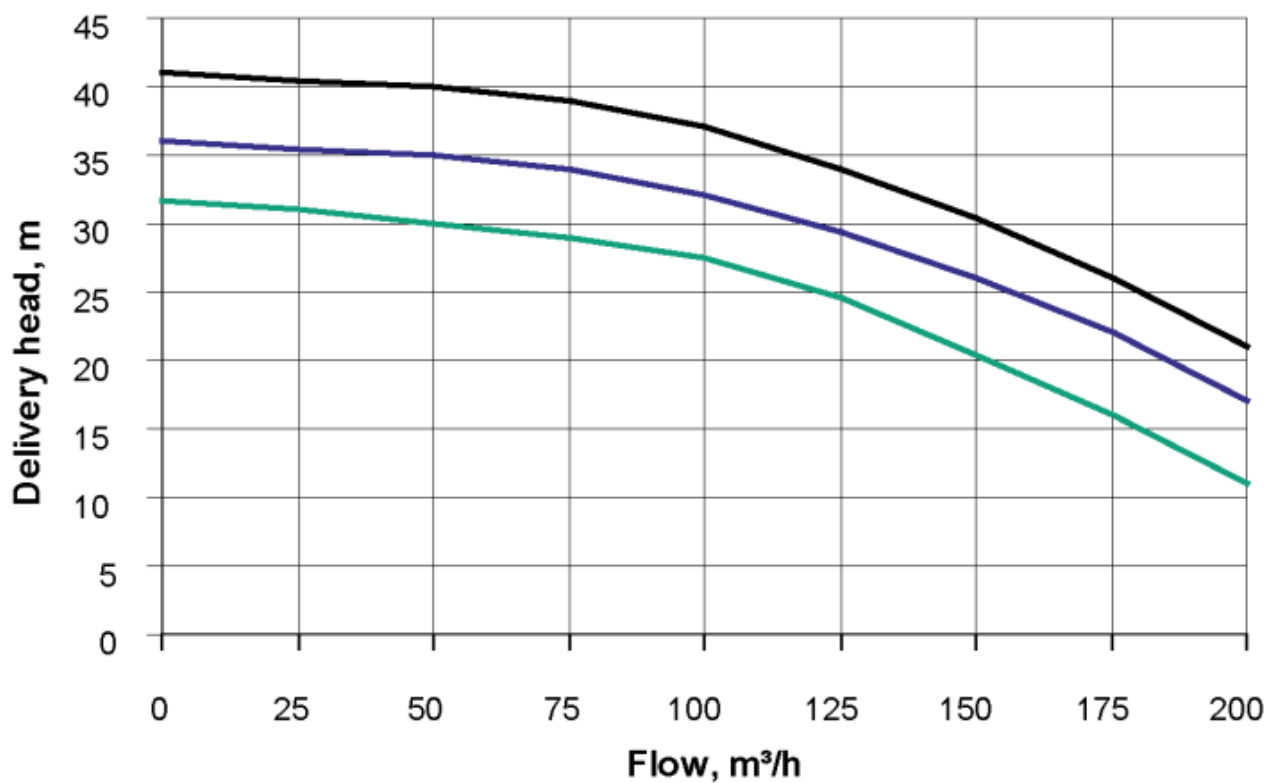


Рис. 4.11. Насоси НТ і ЛТ з приводом від двигуна L46DF

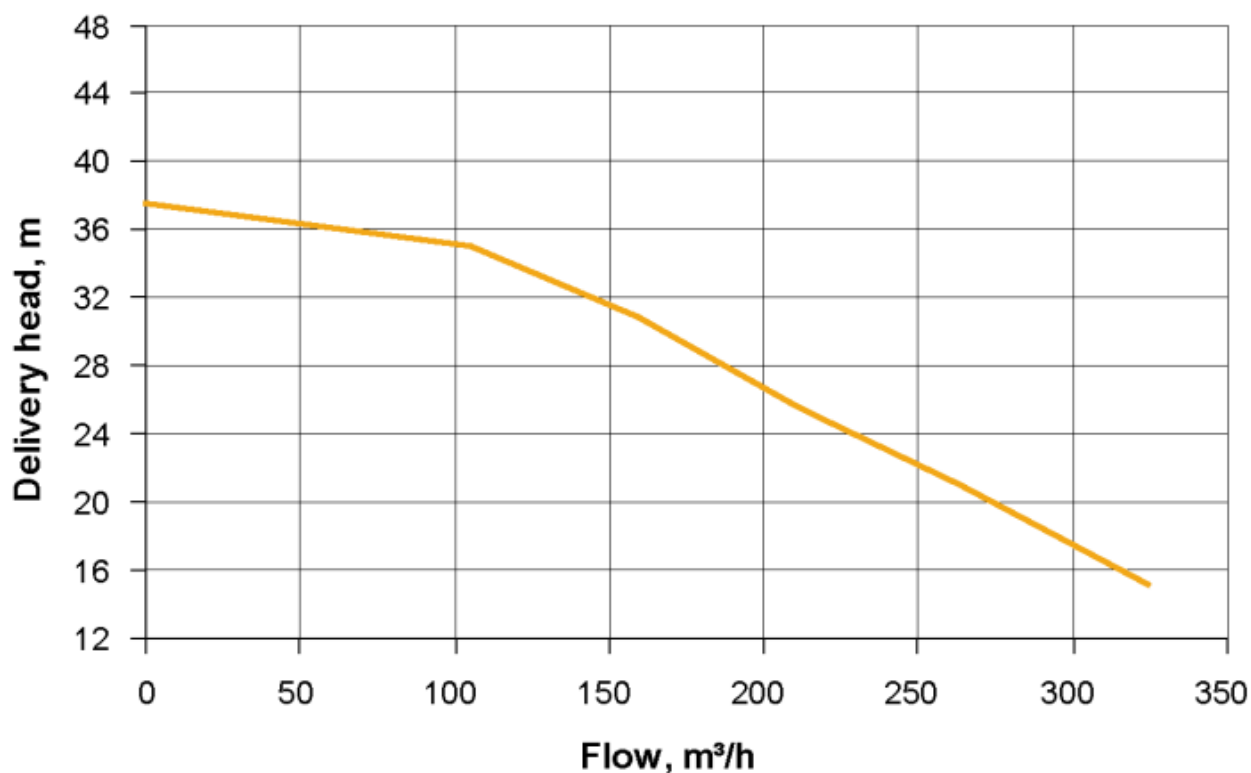


Рис. 4.12. Насоси НТ і ЛТ з приводом від двигуна V46DF

елементи, що забезпечують безпечне відведення газів і відбір теплоти для потреб котельної та допоміжних систем. Утилізаційні котли Saaske, встановлені у вихлопних лініях двигунів, дозволяють перетворювати частину теплоти вихлопних газів на пару, що використовується в судновій паровій мережі. Це знижує навантаження на допоміжні котли та підвищує загальну енергоефективність.

Для Scarlet Lady така схема випуску та утилізації тепла забезпечує погодженість роботи з системами SCR і скруберами, дозволяє реалізувати комплексний підхід до очищення й використання енергії вихлопних газів та сприяє зниженню питомої витрати палива без погіршення комфортних умов для пасажирів (за шумом і вібраціями).

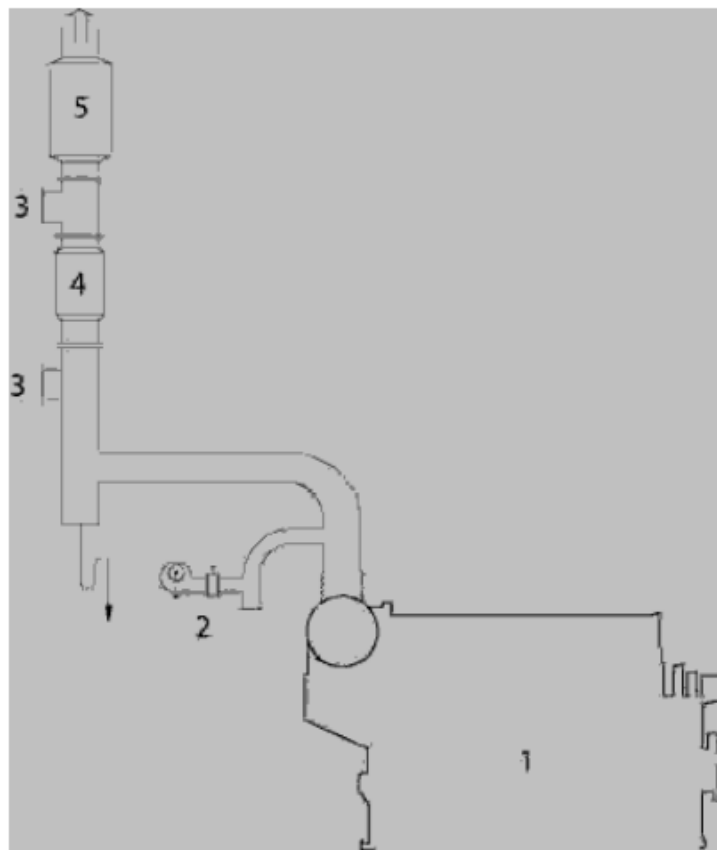


Рис. 4.14. Система вихлопних газів

1 – двигун; 2 - агрегат вентиляції відпрацьованих газів; 3 - розривні диски (запобіжні мембрани); 4 - котел утилізації тепла відпрацьованих газів; 5 – глушник

4.2.5. Система очищення турбокомпресорів

Регулярне водяне очищення турбіни та компресора зменшує утворення відкладень і подовжує інтервали між капітальними ремонтами. Під час роботи в турбокомпресор упорскується прісна вода. Не допускається використання будь-яких добавок, розчинників чи солоної води; необхідно точно дотримуватися інструкцій з очищення, наведених у посібнику з експлуатації.

При роботі двигуна в газовому режимі (на паливному газі) регулярне очищення турбіни, як правило, не потрібне.

Двигуни Wärtsilä 46DF постачаються з автоматичною системою очищення, до складу якої входять:

- клапанний блок, змонтований у машинному відділенні поблизу турбокомпресора;
- загальний блок керування (один на ≤ 6 двигунів).

Запуск очищення здійснюється з панелі керування блоку; далі послідовність виконуються автоматично. Для регулювання витрати води передбачено витратомір і клапан підтримання тиску.

					КРМ.6.135.6211.01.04	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		81

4.2.6. Параметри запасів палива і мастильних матеріалів

Для забезпечення автономності плавання судна Scarlet Lady розраховано необхідні запаси палива і мастильних матеріалів:

- **Запас дизельного палива (MDO):**

$$V_{MDO} = Q_{MDO} \cdot T = 30 \text{ т/добу} \times 14 \text{ діб} = 420 \text{ т}$$

- **Запас LNG (з урахуванням експлуатації на змішаному паливі):**

$$V_{LNG} = Q_{LNG} \cdot T = 20 \text{ т/добу} \times 14 \text{ діб} = 280 \text{ т}$$

- **Запас мастильних матеріалів:**

$$V_{oil} = 1\% \cdot (V_{MDO} + V_{LNG}) \approx 7 \text{ т}$$

Висновки

У четвертому розділі виконано комплексне проектування систем суднової енергетичної установки модернізованого лайнера Scarlet Lady з урахуванням вимог MARPOL Annex VI та індексів енергоефективності ІМО. Показано, що досягнення нормативів щодо викидів GHG, NO_x та SO_x можливе лише за рахунок поєднання первинних (перехід на дуал-ф'юел двигуни з використанням LNG) та вторинних заходів (SCR, скрубери, системи EGR і утилізації теплоти). Обраний комплекс «LNG + SCR + скрубери + WHR» забезпечує зниження питомих викидів, дозволяє відповідати вимогам Tier III у контрольованих зонах та підтримує конкурентоспроможність судна на ринку круїзних перевезень в умовах посилення екологічного регулювання.

На основі аналізу та систематизації вихідних даних обґрунтовано основні параметри та структуру ключових систем СЕУ: паливної (MDO/LNG із застосуванням LNG-сховища, GVU та системи інертизації), змащувальної (вибір

					КРМ.6.135.6211.01.04	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		83

мастильних матеріалів та схем фільтрації з урахуванням роботи на різних сортах палива), системи охолодження (поділ на НТ/ЛТ контури, вимоги до водопідготовки та особливості багатодвигунних схем). Окрему увагу приділено системі вихлопних газів та утилізації теплоти з використанням утилізаційних котлів і інтеграції з установками очищення вихлопу, а також системі очищення турбокомпресорів, що забезпечує стабільність параметрів наддуву й ККД двигунів у тривалій експлуатації.

Розрахунок і якісне обґрунтування запасів палива та мастильних матеріалів підтверджують, що прийняті технічні рішення дозволяють забезпечити необхідну автономність плавання, резервування по енергії та теплоті, а також гнучкість у виборі паливного режиму залежно від ринкових та екологічних умов. У сукупності виконані в розділі 4 рішення формують цілісну, узгоджену між собою структуру систем СЕУ Scarlet Lady, яка поєднує вимоги екологічної безпеки, енергоефективності, надійності та експлуатаційної зручності й слугує основою для подальшої техніко-економічної оцінки ефективності модернізації у наступних розділах роботи.

					КРМ.6.135.6211.01.04	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		84

КРМ.6.135.6211.01.05

<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
					Заходи щодо забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ		
<i>Студент</i>	<i>Борисов А.В.</i>						
<i>Викладач</i>	<i>Чередніченко О.К.</i>				<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
						85	21
					НУК <i>ім. адмірала Макарова</i>		

РОЗДІЛ 5. Заходи щодо забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ. Система моніторингу та діагностування

5.1. Аналіз факторів, що впливають на надійність роботи обладнання СЕУ

Надійність роботи суднової енергетичної установки круїзного лайнера Scarlet Lady визначається поєднанням конструктивних рішень, схемної побудови СЕУ, рівня автоматизації, організації технічного обслуговування та умов експлуатації. У модернізованому варіанті, розглянутому в роботі, до базових факторів надійності належать: дизель-електрична структура енергетичної установки, раціональне компонування машинного відділення, протипожежний і екологічний захист, шумо-віброізоляція, а також розвинена система моніторингу й резервування обладнання.

Дизель-електрична схема з групою середньооберткових дуал-ф'юел двигунів Wärtsilä 46DF і електричними рушіями Azipod забезпечує гнучкий розподіл потужності між пропульсивними та «hotel»-навантаженнями. Така побудова дозволяє варіювати кількість працюючих генераторів, підтримувати їх роботу в економічних режимах і знижувати навантаження на окремі агрегати, що позитивно впливає на їх ресурс і зменшує ймовірність відмов. Резервування по кількості дизель-генераторів, допоміжних котлів, насосних агрегатів і опріснювальної установки також формує «живучість» СЕУ при виході з ладу окремих елементів.

Важливим фактором надійності є компонування машинного відділення. При розміщенні обладнання СЕУ на Scarlet Lady враховано вимоги щодо безпечного й зручного доступу до двигунів, котлів, насосів і апаратури автоматики. Передбачено достатню ширину проходів, робочі майданчики для виконання ремонтних операцій, місця для зберігання інструмента та запасних частин. Це полегшує проведення регламентних і аварійних робіт, скорочує час

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		86

простоїв та зменшує ризик помилок персоналу, пов'язаних зі складністю доступу до агрегатів.

Окремий блок факторів надійності пов'язаний із протипожежним захистом та екологічною безпекою. У машинному відділенні повинні бути інтегровані автоматичні газові системи пожежогасіння, мережа датчиків задимлення і температури в ключових зонах, а також засоби локалізації розливів палива й мастил. Наявність збірників для аварійних витоків, системи моніторингу можливих протікань і сигналізації дозволяє оперативно виявляти небезпечні ситуації, запобігати пошкодженню обладнання та забрудненню моря, а отже — зберігати як технічну, так і екологічну надійність експлуатації СЕУ.

Серйозний вплив на довговічність конструкцій і комфорт пасажирів мають шум і вібрації. Для їх зниження на Scarlet Lady застосовуються антивібраційні опори, гумометалеві елементи, пружні кріплення, а також сучасні багат шарові звукоізолюючі матеріали. Віброізоляція фундаментів двигунів, правильна передача навантажень через литі епоксидні підкладки (ЕПУ) та контроль співвідношення валопроводу зменшують динамічні навантаження на корпус і обладнання. Це не лише покращує акустичний комфорт, а й подовжує ресурс підшипників, з'єднань і кріплень.

Ключову роль у забезпеченні надійності відіграють автоматизовані системи контролю. У машинному відділенні передбачено розвинену систему моніторингу параметрів СЕУ, що включає датчики температури, тиску, вібрацій, витрати палива та мастил, рівнів у резервуарах. Інформація в реальному часі надходить до центрального пункту керування (Engine Control Room), де за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення здійснюється контроль режимів роботи, формування трендів і видача попереджень. Своєчасне виявлення відхилень дає можливість переходити від «реактивного» ремонту до попереджувальних та станових стратегій обслуговування.

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		87

Таким чином, надійність CEY Scarlet Lady забезпечується поєднанням конструктивних, схемних і експлуатаційних заходів: від раціонального компонування та антивібраційного захисту до інтегрованих систем моніторингу, резервування й протипожежного захисту, узгоджених з вимогами SOLAS, MARPOL і класифікаційних правил.

5.2. Організація технічного обслуговування та ремонту (планово-попереджувальна та станова концепція)

Ефективна організація технічного обслуговування і ремонту є другим ключовим елементом надійної експлуатації модернізованої CEY. Для обладнання Scarlet Lady доцільно поєднувати класичну планово-попереджувальну систему, яка базується на напрацюванні та календарному часі, із становою (condition-based) концепцією, що спирається на результати технічної діагностики й аналізу параметрів, які реєструють системи моніторингу.

Планово-попереджувальне обслуговування для головних дуал-ф'юел двигунів Wärtsilä 46DF, допоміжних дизель-генераторів, котлів і опріснювальної установки орієнтується на регламенти виробників. Після монтажу й пусканалагоджувальних робіт проводиться етап введення в експлуатацію з поетапним прогрівом систем, роботою без навантаження та подальшим виходом на робочі режими. Надалі технічне обслуговування організується за встановленим графіком із плановими інспекціями та ревізіями через визначені інтервали напрацювання (для двигунів — після перших 1000, 3000, 6000 годин роботи та далі за регламентом). Під час таких зупинок контролюються стан болтових з'єднань, співвісність валопроводу, герметичність фланців, параметри систем мастила й охолодження, виконуються заміни фільтрувальних елементів і регулювання механізмів.

Для допоміжного обладнання (насосні агрегати, теплообмінники, котли, опріснювач, Climeon, системи очищення вихлопних газів) також формуються планові графіки регламентних робіт. Їх структура узгоджується з загальним

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		88

5.3. Розробка системи моніторингу технічного стану СЕУ (Engine Condition Monitoring, паливна система, допоміжне обладнання)

Система технічної діагностики на судні Scarlet Lady включає:

- Систему моніторингу двигунів (Engine Condition Monitoring System - ECMS), яка контролює параметри роботи двигунів (температура, тиск, вібрації тощо).
- Систему моніторингу стану паливної системи, яка автоматично фіксує витрати палива, стан фільтрів і сепараторів.
- Автоматизовану систему діагностики та прогнозування стану обладнання, що дозволяє своєчасно проводити технічне обслуговування (на базі рішень Kongsberg Maritime або Wärtsilä).



Рис. 4.16. Кімната управління двигуном



Рис. 4.17. Кімната управління двигуном



Рис. 4.18. Кімната управління двигуном

Для моніторингу стану корпусу судна Scarlet Lady встановлена сучасна система моніторингу напруги корпусу (Hull Stress Monitoring System, HSMS):

- Система складається з мережі датчиків деформації корпусу, розміщених на ключових конструкційних елементах (палуби, перебірки, поздовжні балки).

- Додаткові датчики прискорення (акселерометри) для моніторингу вібраційних навантажень.
- Центральний блок управління з можливістю аналізу та прогнозування напружень корпусу в реальному часі.
- Автоматичні попередження та рекомендації екіпажу щодо зменшення навантажень на корпус.

Система HSMS дозволяє підвищити рівень безпеки експлуатації судна, зменшити ризики структурних пошкоджень та оптимізувати експлуатацію.

5.4. Впровадження автоматизованих систем діагностики та дистанційного моніторингу

Розвиток систем моніторингу на Scarlet Lady логічно доповнюється впровадженням автоматизованих платформ діагностики та дистанційного моніторингу, які спираються на промислові рішення типу Kongsberg Maritime Condition Monitoring та цифрові сервіси Wärtsilä. Такі платформи дозволяють перейти від локального контролю окремих параметрів до комплексного аналізу стану СЕУ з використанням засобів довготривалого архівування, трендового аналізу та експертних алгоритмів.

Автоматизована система діагностики й прогнозування стану обладнання, прийнята в роботі як базова концепція, інтегрує дані з ECMS, систем моніторингу паливної, охолоджувальної й змащувальної систем, HSMS та інших підсистем у єдину базу даних. На цьому рівні реалізуються алгоритми виявлення відхилень від «нормальної» поведінки обладнання, що ґрунтуються на аналізі трендів, кореляції між параметрами та порівнянні з еталонними характеристиками. Система формує попереджувальні й аварійні повідомлення, рекомендації щодо переведення агрегатів у щадні режими або планування їх зупинки для обслуговування.

					KPM.6.135.6211.01.05	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		92

Важливою особливістю рішень класу Kongsberg/Wärtsilä є можливість дистанційного доступу до діагностичної інформації. Дані з борту можуть передаватися до берегових центрів технічної підтримки, де фахівці виробника двигунів і обладнання виконують поглиблений аналіз, підтверджують або уточнюють діагнози, пропонують коригувальні дії та оновлення програмного забезпечення систем керування. Для судна типу Scarlet Lady, що працює на інтенсивних круїзних маршрутах, така взаємодія дозволяє скоротити час на прийняття рішень, підвищити якість діагностики та зменшити ризик тривалих простоїв через відмови.

Інтеграція автоматизованих систем діагностики з системою технічного обслуговування дає змогу формувати «цифровий профіль» роботи кожного агрегату: двигунів, котлів, Climeon, опріснювача, насосних агрегатів, систем очищення вихлопних газів. На основі цього профілю коригуються інтервали між регламентними роботами, визначається оптимальний момент для капітального ремонту, а також оцінюється ефективність проведених модернізацій (наприклад, вплив впровадження ESD або зміни профілю навантажень на динаміку вібрацій і температур).

Застосування таких систем тісно пов'язане з вимогами класифікаційних товариств і ІМО щодо документування технічного стану суден та їх енергоефективності. Архіви даних моніторингу й діагностики можуть використовуватися як джерело об'єктивної інформації при підтвердженні відповідності вимогам EEXI/CII, оцінці режимів експлуатації, обґрунтуванні модернізаційних заходів.

У підсумку автоматизовані системи діагностики й дистанційного моніторингу на базі рішень типу Wärtsilä та Kongsberg перетворюють СЕУ Scarlet Lady на «цифрово керовану» енергетичну установку, де забезпечення надійності, безпеки й екологічних характеристик здійснюється не лише за рахунок конструктивного резервування, але й завдяки постійному аналізу реальних експлуатаційних даних.

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		93

5.5. Технологічна розробка. Технологія монтажу двигуна Wärtsilä 8L46F

Для ефективної роботи та обслуговування суднової енергетичної установки Scarlet Lady пропонується наступне розміщення основних елементів:

- **Головні двигуни (Wärtsilä 46DF)** розташовані симетрично по лівому та правому бортах машинного відділення для кращого балансу судна.
- **Допоміжні дизель-генератори (Wärtsilä 20DF)** розташовані в окремих звукоізольованих приміщеннях для зниження шумового впливу.
- **Утилізаційні котли (Exhaust Gas Boilers)** встановлені безпосередньо за головними двигунами, з доступом до систем вихлопних газів.
- **Системи SCR і скрубери** встановлені над двигунами для зручності виводу очищених газів назовні.
- **Резервуари LNG** розташовані у спеціально обладнаних безпечних відсіках нижче ватерлінії, що забезпечує високий рівень безпеки.
- **Паливні насоси, фільтри та сепаратори** розміщені поблизу резервуарів LNG та дизельного палива для ефективної паливоподачі.
- **Парова турбіна та генератор (STG)** встановлені у центральній частині машинного відділення для зручності обслуговування.

Схема компонування включає:

- План трюму та нижньої палуби (вигляд зверху).
- Поздовжній переріз машинного відділення (вигляд зліва).

5.2.1. Загальний опис двигуна

Wartsila 8L46F — це сучасний чотиритактний судновий дизельний двигун середньої швидкості, що відповідає найвищим екологічним стандартам та забезпечує високу економічність роботи на важкому паливі (HFO) або дизельному паливі (MDO). Двигун ідеально підходить для використання на різних типах морських суден.

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		94

Технічні характеристики двигуна:

- Кількість циліндрів: 8
- Діаметр циліндра: 460 мм
- Хід поршня: 580 мм
- Потужність: до 9600 кВт
- Частота обертання: 600 об/хв
- Маса двигуна: ~160 тонн

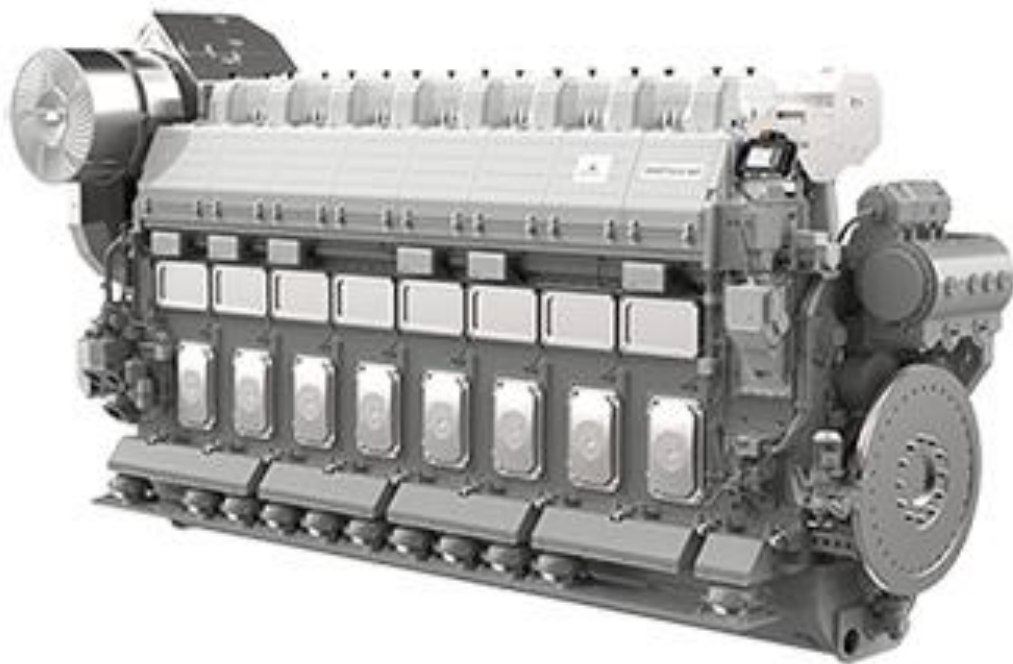


Рис. 1 Загальний вигляд двигуна **Wärtsilä 46F**

5.2.2. Підготовка фундаменту під монтаж

Якісна підготовка фундаменту є одним з ключових етапів монтажу двигуна, що забезпечує його стабільну і безпечну роботу. Фундамент виготовляється зі сталі АН36/ДН36, яка має межу міцності не менше 355 МПа. Поверхні фундаменту повинні бути ретельно вирівняні (шорсткість $Rz=20$) з мінімальними відхиленнями ($\pm 0,1$ мм).

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
						95
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Фундамент двигуна повинен бути жорстким, без деформацій, і достатньо жорстким у всіх напрямках, аби поглинати динамічні сили від двигуна, редуктора та підшипника поштовху. Фундамент допоміжного обладнання повинен бути інтегрований з фундаментом двигуна.

Масляний бак системи не повинен заходити під генератор або редуктор, а також має бути розміщений симетрично в поперечному напрямку.

5.2.3. Процес монтажу

Монтаж можливий у двох варіантах:

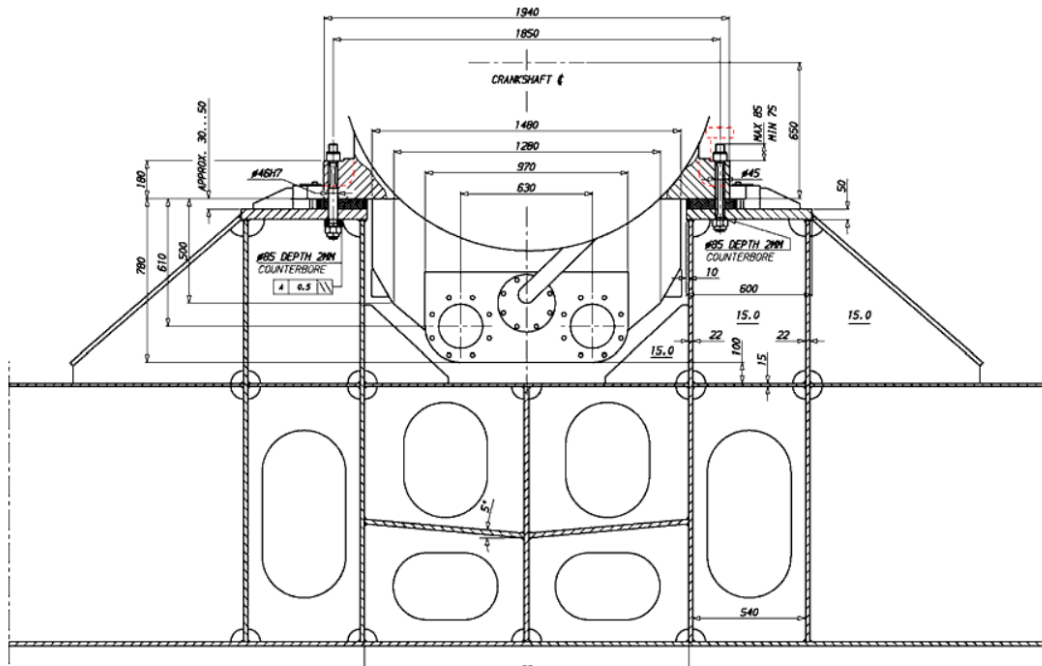
1. Жорстке кріплення (на металевих або епоксидних підкладках)

- Для фіксації використовуються наскрізні болти із гідравлічним затягуванням.
- Два болти з кожного боку (№2 і №3 від маховика) мають бути притертими Ø46 Н7/п6. Інші — з вільною посадкою.
- Потрібно використовувати дистанційні втулки між верхньою плитою і нижньою гайкою, щоб забезпечити направляючу довжину не менше діаметра болта
- Матеріал болтів — високоякісна сталь типу 42CrMo4.

2. Пружне кріплення (на сталевих пружинах із гумовими буферами)

- Дає змогу знизити рівень вібрацій та структурного шуму.
- Після остаточного вирівнювання і свердління отворів для болтів під нижню плиту заливаються епоксидні підкладки (resin chocks).
- Усі трубопроводи повинні мати гнучкі з'єднання; особливо це стосується підключення до турбокомпресора.

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
						96
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.05

Лист

97

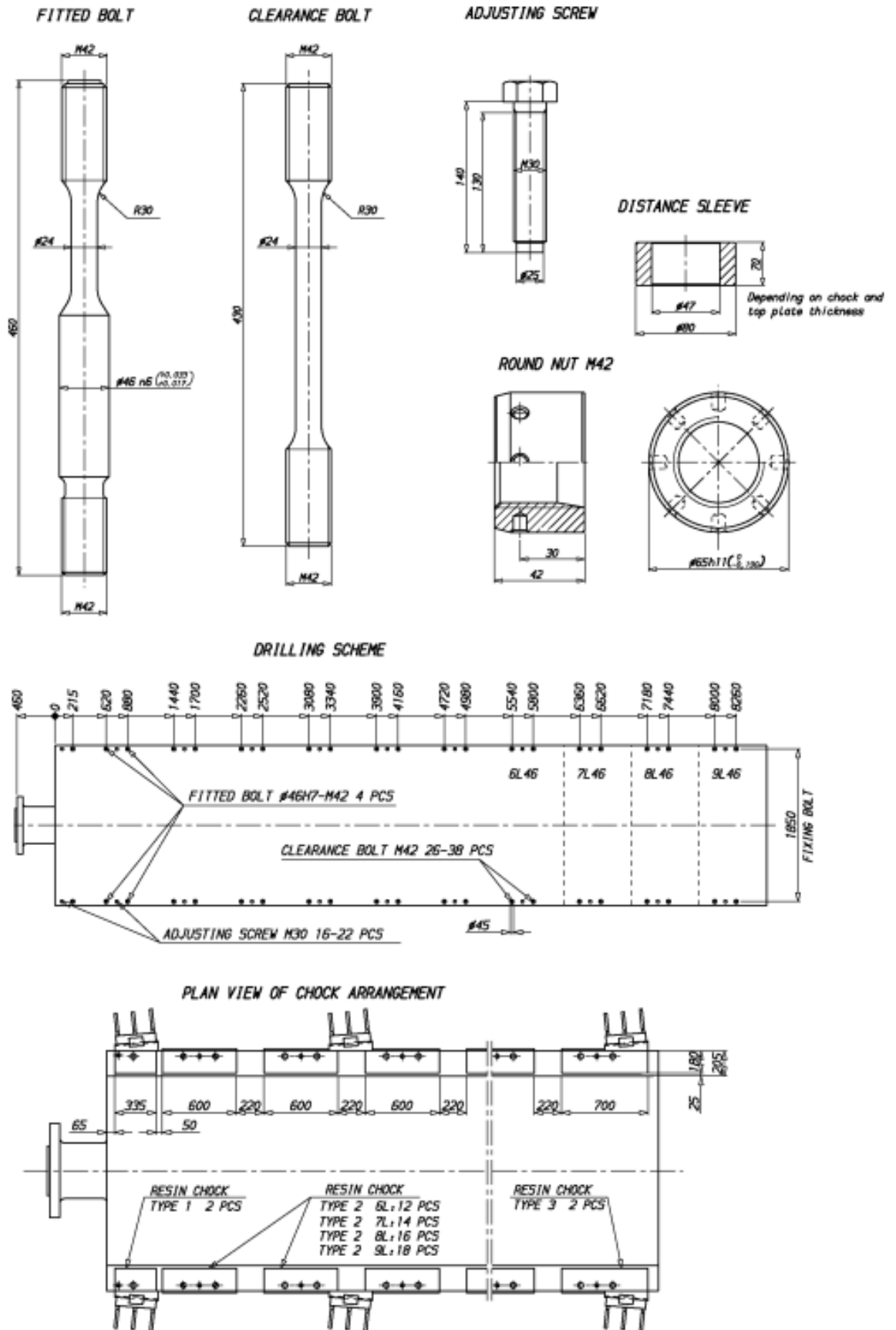


Рис. 2-3 Посадка і кріплення, для жорстко встановленого двигуну

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

KPM.6.135.6211.01.05

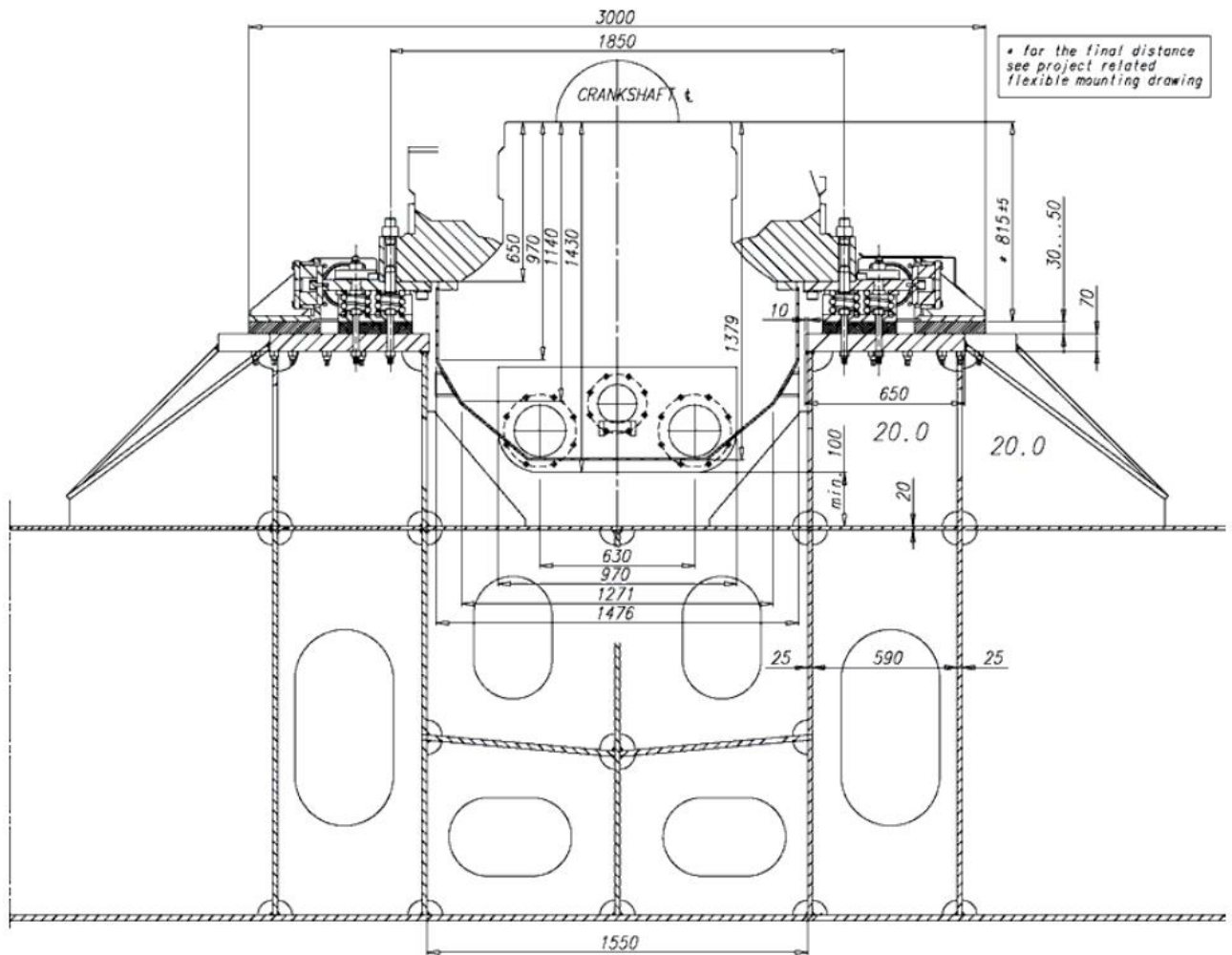


Рис. 4 Посадка і кріплення, для пружного встановленого двигуна

Монтаж двигуна здійснюється в кілька етапів, які включають:

- Підготовка та перевірка базових поверхонь.
- Підйом та точне встановлення двигуна.
- Попереднє центрування двигуна.
- Точне центрування за допомогою лазерних пристроїв.
- Кріплення двигуна до фундаменту.

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

KPM.6.135.6211.01.05

Лист

99

5.2.4. Попереднє та точне центрування двигуна

Центрування двигуна проводиться для забезпечення співвісності з валопроводом, використовуючи лазерні системи (Easy-Laser, Fixturlaser). Це забезпечує мінімальні вібрації та подовжує термін служби двигуна.

Перед фіксацією проводиться вирівнювання за допомогою регульованих прокладок або клинів. Після досягнення точного положення двигуна проводиться свердління отворів під болти та остаточне кріплення.

Центрування вважається завершеним після проходження холодного прокручування валу без опору та биття. Допуск на перекис не повинен перевищувати 0,05 мм/м довжини згідно з нормами ІМО.

5.2.5. Використання компенсуючих підкладок

Компенсуючі підкладки застосовуються з метою усунення геометричних похибок між поверхнею фундаменту та основною площиною двигуна. У практиці суднобудування використовуються прокладки з нержавіючої сталі, латуні або спеціальні литі підкладки на основі полімерних матеріалів. Вони забезпечують рівномірне передавання навантаження від корпусу двигуна до фундаменту і компенсують осідання, термічні деформації або похибки обробки. Підкладки повинні бути встановлені рівномірно під опорними точками і щільно прилягати до контактних поверхонь, що перевіряється індикаторним методом. Застосування литих підкладок дозволяє зменшити об'єм монтажних робіт та покращити віброізоляцію.

5.2.6. Застосування матеріалу ЕРУ

Матеріал ЕРУ® використовується для заповнення зазорів між фундаментом і двигуном, що забезпечує надійну передачу навантажень та

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		100

знижує вібрацію. Підготовка, нанесення та затвердіння матеріалу ЕРУ® здійснюються згідно рекомендацій виробника.

ЕРУ — це епоксидна полімерна маса, призначена для утворення литих підкладок під важке обладнання. Перед нанесенням матеріалу всі поверхні повинні бути очищені від пилу, олії та вологи. Поверхня фундаменту зазвичай обробляється абразивним способом, після чого виконується знежирення. Для запобігання витіканню матеріалу встановлюється опалубка. Заливка виконується безперервно, щоб уникнути утворення повітряних пустот. Температурний режим під час заливання та твердіння повинен підтримуватися в межах $+20...+30^{\circ}\text{C}$. Час початкового затвердіння складає близько 12 годин, а повне отвердіння — до 48 годин. Після завершення процесу виконують перевірку якості підкладки (візуально або методами неруйнівного контролю). ЕРУ має високу міцність на стиск, добру адгезію до металу та фундаменту, стійкий до дії мастильних матеріалів і вібрацій.

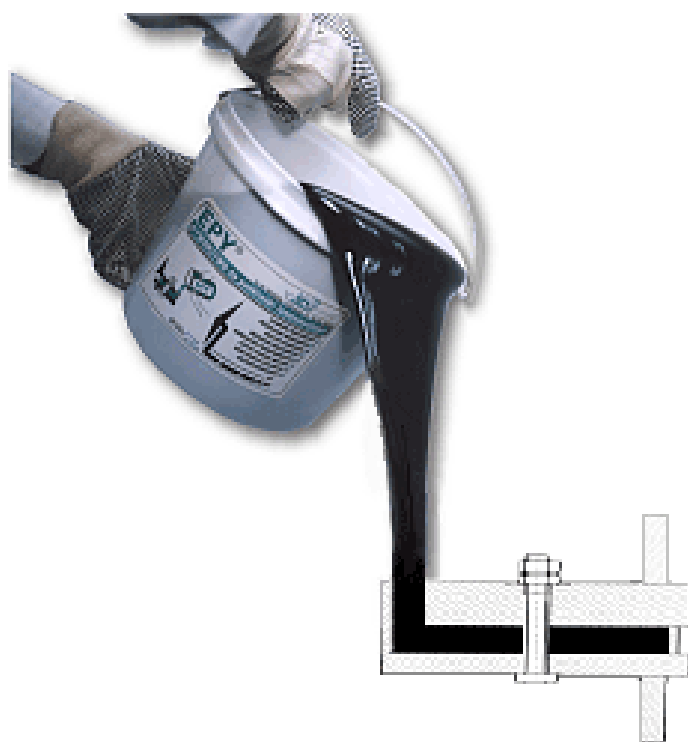


Рис. 5 Візуалізація використання матеріалу ЕРУ®

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		101

5.2.7. Віброізоляція двигуна

Для зменшення вібрацій і шуму двигун може встановлюватись на спеціальні віброізоляційні опори, які являють собою гумометалеві елементи або пружинні блоки з демпфуючими вставками. Такі опори значно зменшують передачу вібрацій від двигуна на корпус судна, що важливо для забезпечення акустичного комфорту та зменшення навантажень на конструкцію. Кріплення двигуна через віброізолятори повинно виконуватись з урахуванням попереднього навантаження, а також рівномірності затягування анкерних болтів. Рекомендується проводити контроль рівня вібрацій після запуску двигуна, що дозволяє підтвердити ефективність амортизації.

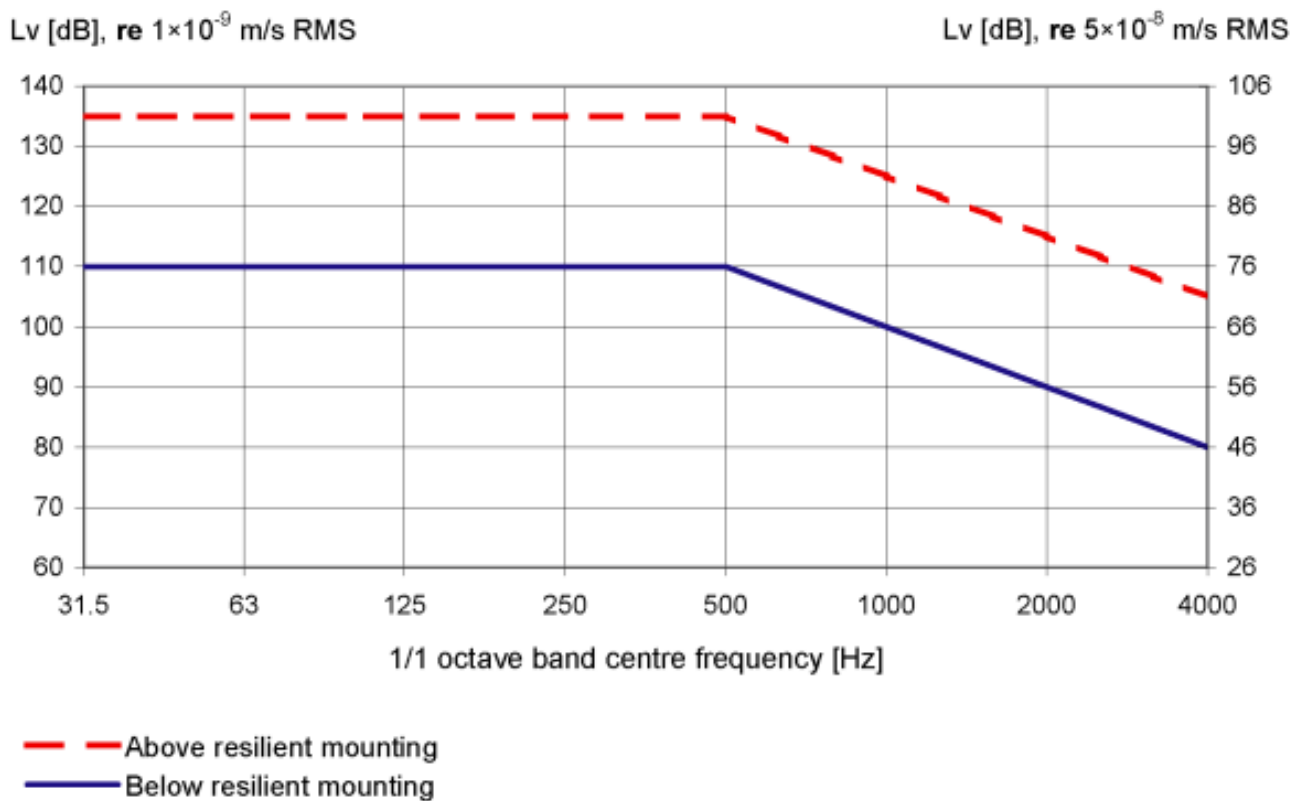


Рис. 6 Типові рівні шуму від конструкції

5.2.8. Контроль якості та технічний нагляд

Регулярний контроль якості монтажу, включаючи перевірку затяжки болтів, співвісності та вібраційних характеристик, гарантує безаварійну роботу двигуна. Обов'язковою умовою є періодичне проведення технічного огляду.

Після завершення монтажу обов'язково проводяться:

- Перевірка герметичності всіх з'єднань.
- Прокачування мастильного масла.
- Попередній прогрів двигуна.
- Пуск без навантаження.
- Перевірка на вібрації, шум, та можливі витіки.

5.2.8. Поради щодо безпеки при монтажі двигуна

Дотримання правил безпеки при виконанні монтажних робіт є обов'язковим. Монтажні роботи повинні виконуватись кваліфікованим персоналом згідно з затвердженим техпроцесом і відповідно до вимог безпеки праці. Під час виконання робіт необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: захисні каски, рукавиці, протиковзне взуття, захист органів слуху та зору. Особливої уваги вимагає етап підйому і встановлення двигуна, оскільки його маса перевищує 150 тонн. Всі операції повинні проводитись з використанням сертифікованого вантажопідйомного обладнання, а місця кріплення стропів — перевірені на міцність і розраховані згідно з інструкціями виробника. Під час заливання полімерних мас необхідно виключити джерела відкритого вогню, а також забезпечити вентиляцію приміщення.

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
						103
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

5.2.10. Експлуатаційні рекомендації

Після завершення монтажу двигун проходить етап введення в експлуатацію. Перший запуск здійснюється без навантаження, з поступовим прогрівом усіх систем. Протягом перших 72 годин проводиться перевірка параметрів роботи: рівня тиску в системі мастила, температури охолоджуючої рідини, відсутності витоків, стійкості роботи на різних режимах. Після завершення обкатки під навантаженням проводиться перша технічна перевірка з оцінкою стану болтових з'єднань, вібрацій, герметичності фланцевих з'єднань і систем живлення. Далі обслуговування двигуна проводиться згідно з регламентом виробника, який передбачає планові інспекції через кожні 1000, 3000 і 6000 годин роботи. Дотримання графіку технічного обслуговування є критично важливим для забезпечення довготривалої і безперебійної роботи двигуна.

Висновки до розділу

У розділі 5 сформовано комплекс заходів із забезпечення надійної експлуатації суднової енергетичної установки Scarlet Lady та розроблено концепцію системи моніторингу й діагностування технічного стану обладнання. Показано, що надійність СЕУ забезпечується поєднанням раціонального компонування машинного відділення, протипожежного та екологічного захисту, шумо- та віброізоляції, резервування основних агрегатів і впровадження розвинених систем автоматичного контролю.

Обґрунтовано організацію технічного обслуговування й ремонту на основі комбінованої стратегії, яка поєднує планово-попереджувальний підхід із становою концепцією, що спирається на дані систем моніторингу. Розроблено структуру інтегрованої системи моніторингу технічного стану СЕУ, що включає контроль головних і допоміжних двигунів, паливної системи, систем утилізації теплоти, допоміжного обладнання та корпусних конструкцій. Показано

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
						104
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

можливості впровадження автоматизованих платформ діагностики й дистанційного моніторингу на базі рішень типу Wärtsilä/Kongsberg, які забезпечують прогнозний характер обслуговування і підвищують загальну ефективність експлуатації.

Сукупність наведених заходів створює основу для надійної, безпечної та екологічно відповідальної експлуатації модернізованої СЕУ Scarlet Lady й логічно пов'язується з технологічним підрозділом, присвяченим монтажу головних двигунів, а також із подальшою техніко-економічною оцінкою ефективності прийнятих рішень у розділі 7.

					КРМ.6.135.6211.01.05	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		105

КРМ.6.135.6211.01.06

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата			
					Розробка розташування обладнання енергетичної установки на судні		
Студент	Борисов А.В.						
Викладач	Чередніченко О.К.				Літ	Аркуш	Аркушів
						106	7
					НУК ім. адмірала Макарова		

РОЗДІЛ 6. Розробка розташування обладнання енергетичної установки на судні

6.1. Вимоги до компоновання машинного відділення (доступність, безпека, шум і вібрація, екологічні обмеження)

Компоновання машинного відділення круїзного лайнера Scarlet Lady визначається сукупністю технічних, експлуатаційних та нормативних вимог. Прийняті в попередніх розділах рішення щодо складу головної та допоміжної енергетичної установки (двигуни Wärtsilä 46DF, допоміжні генератори, утилізаційні котли Saacke, система Climeon, LNG-паливний комплекс, системи очищення вихлопних газів, опріснювачі тощо) мають бути узгоджені з вимогами до безпечної та зручної експлуатації.

Однією з ключових вимог є забезпечення достатнього доступу до всіх основних агрегатів СЕУ. Проходи між двигунами, котлами, насосами, сепараторами й теплообмінниками повинні дозволяти виконання регламентних операцій, заміну вузлів і демонтаж крупних елементів без порушення роботи сусіднього обладнання. Це стосується як головних дуал-ф'юел двигунів, так і допоміжних дизель-генераторів, парової турбіни, Climeon-модулів і елементів систем утилізації теплоти. Раціональне компоновання з мінімізацією перехрещення трубопроводів і кабельних трас безпосередньо впливає на тривалість простоїв при ремонті та зменшує ризик помилок персоналу, пов'язаних зі складністю доступу до агрегатів.

Не менш важливою є відповідність вимогам безпеки та протипожежного захисту. Обладнання, що пов'язане з горючими середовищами (LNG-резервуари, дизельне паливо, мастило), розташовується у відсіках із належною вентиляцією, газоаналізаторами та системами інертизації. У компонованні машинного відділення передбачаються чіткі протипожежні зони, межі яких збігаються з водонепроникними та протипожежними перебірками. Шляхи евакуації, розміщення стаціонарних систем пожежогасіння, пожежних кранів і пожежних

					КРМ.6.135.6211.01.06	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		107

щитів мають бути інтуїтивно зрозумілими для екіпажу та мінімізувати час реагування в аварійній ситуації.

Окремий блок вимог пов'язаний зі зниженням шуму та вібрацій. Дуал-ф'юел двигуни середньої швидкодії, генератори й допоміжне обладнання створюють значні динамічні навантаження на корпус судна. Тому при компонуванні двигуни встановлюються на фундаментах із антивібраційними елементами, а шумогенеруючі агрегати групуються у спеціальні приміщення із звукоізоляцією. Правильне розташування важких мас (двигуни, котли, резервуари) відносно діаметральної площини судна і центра мас корпусу дозволяє зменшити крени й диференти, покращити умови роботи валопроводів і пропульсивних комплексів Aziprod та підвищити комфорт пасажирів.

Важливу роль відіграють екологічні фактори, пов'язані з використанням LNG як палива та систем очищення вихлопних газів. Компонування має забезпечувати безпечне розміщення LNG-резервуарів у захищених відсіках нижче ватерлінії, розділених від машинного відділення протипожежними перебірками й оснащених засобами виявлення витоків газу. Системи SCR, скрубери, утилізаційні котли та елементи WHR інтегруються так, щоб мінімізувати довжину вихлопних трас, забезпечити зручність обслуговування та виконання вимог MARPOL Annex VI щодо емісій NO_x, SO_x та парникових газів.

Таким чином, вихідними критеріями для подальшої розробки компонування машинного відділення є доступність для обслуговування й ремонту, виконання вимог безпеки та протипожежного захисту, обмеження шуму та вібрацій, а також інтеграція екологічних систем очищення та моніторингу.

					КРМ.6.135.6211.01.06	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		108

6.2. Розробка варіантів компоновання обладнання СЕУ у машинному відділенні

На основі аналізу палубних планів судна Scarlet Lady, наведених у першому розділі, а також прийнятої у розділах 2–4 структури головної та допоміжної енергетичної установки, формується кілька варіантів компоновання машинного відділення. Вони відрізняються глибиною втручання у базову архітектуру корпусу та ступенем перерозподілу обладнання.

Перший варіант передбачає максимально можливе використання існуючої схеми розміщення, характерної для початкової дизель-електричної установки. Головні двигуни та допоміжні генератори зберігають свої місця по відношенню до перебірок і палуб, а модернізація реалізується переважно за рахунок заміни обладнання «у габаритах» існуючих фундаментів. LNG-резервуари та газовий клапанний блок у цьому варіанті розміщуються у вільних відсіках, що суміжні з машинним відділенням, з мінімальними змінами силового набору корпусу. Системи SCR, скрубери та утилізаційні котли інтегруються у наявні вихлопні тракти, а Climeon-модулі й додаткові теплообмінники розміщуються у проміжках між існуючим обладнанням. Перевагою такого підходу є відносно невеликий обсяг корпусних робіт і скорочення часу простою судна під час модернізації, однак виникають обмеження щодо оптимізації трубопроводів, доступності й зонування.

Другий варіант орієнтований на більш глибоку реконфігурацію машинного відділення з урахуванням вимог LNG-паливного комплексу та сучасних систем утилізації теплоти. Головні двигуни Wärtsilä 46DF розміщуються симетрично відносно діаметральної площини судна, уздовж борту, з формуванням між ними центрального проходу для обслуговування, транспортування запчастин та евакуації. Допоміжні дизель-генератори Wärtsilä 20DF виділяються в окремі звукоізольовані машинні приміщення, що примикають до основного машинного відділення, але відділені

					КРМ.6.135.6211.01.06	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		109

протипожежними перебірками. Це дозволяє знизити шум у головному машинному відділенні та підвищити живучість енергетичної установки.

6.3. Вибір раціональної схеми розміщення обладнання та її опис

З урахуванням вимог до безпеки, екологічних обмежень і необхідності забезпечення надійної експлуатації СЕУ раціональною визнається схема компоновання, близька до другого варіанта. Вона узгоджується з прийнятою в розділах 2–4 конфігурацією головної установки, допоміжної енергетичної установки та систем утилізації теплоти, а також дозволяє реалізувати комбіновану стратегію технічного обслуговування, описану в розділі 5.

У вибраному компованні головні дуал-ф'юел двигуни Wärtsilä 46DF розташовані в одному машинному відділенні на двох рівнях палуб або в межах однієї висоти, симетрично відносно ДП судна. Між рядами двигунів формується центральний технологічний коридор, що забезпечує доступ до всіх бортів агрегатів, монтажних люків та точок підключення допоміжних систем. По бортах і в торцевих частинах машинного відділення розміщуються насоси систем охолодження, паливопідготовки, мастила, а також фільтри, сепаратори та теплообмінники, згруповані за функціональним призначенням.

Допоміжні дизель-генератори розташовуються в суміжних машинних приміщеннях, відокремлених від основного машинного відділення протипожежними перебірками. Така схема дозволяє у випадку пожежі чи аварії локалізувати ушкодження в одному з відсіків, зберігши працездатність частини генераторів і, відповідно, електроживлення критичних суднових систем. Фундаменти під головні й допоміжні двигуни спроектовані з урахуванням антивібраційних елементів і можливості монтажу із застосуванням матеріалів типу ERY®, розглянутих у технологічному розділі, що забезпечує точність центрування й зниження передачі вібрацій на корпус.

					КРМ.6.135.6211.01.06	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		110

6.4. Інтеграція систем моніторингу, протипожежного захисту та екологічного контролю в компонування машинного відділення

Система моніторингу двигунів (Engine Condition Monitoring System) інтегрується в компонування таким чином, щоб датчики температури, тиску, вібрацій та витрат були доступні для огляду й заміни, але при цьому не заважали виконанню ремонтних робіт. Біля кожного головного й допоміжного двигуна передбачаються зони для монтажу кабельних коробок, захищених від механічних ушкоджень та високих температур. Трасування кабелів виконується по лотках, прокладених уздовж перебірок і над проходами, з мінімальним перехрещенням із трубопроводами гарячих середовищ.

Системи моніторингу паливної та газової апаратури розміщуються з урахуванням концентрації обладнання у відповідних функціональних зонах. У відсіках LNG-резервуарів, GVU та паливопідготовки передбачаються газоаналізатори, датчики тиску, температури й витрати, а також локальні шафи керування, пов'язані з центральною системою автоматизації. Компонування забезпечує можливість безпечного доступу до цих елементів без порушення герметичності газонепроникних коридорів і перебірок.

Протипожежний захист машинного відділення реалізується через поєднання стаціонарних систем пожежогасіння (наприклад, газових або дрібнодисперсних водяних систем), локальних установок гасіння у відсіках генераторів і LNG-обладнання, а також розгалуженої мережі пожежних кранів і сповіщувачів. При компонуванні особлива увага приділяється розміщенню пожежних клапанів, відсічних пристроїв вентиляції та клапанів відключення подачі палива, які мають бути доступні з основних маршрутів евакуації та з поста управління. Це дозволяє екіпажу швидко локалізувати осередок пожежі, не заходячи у найбільш небезпечні зони.

					КРМ.6.135.6211.01.06	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		111

Висновки до розділу

У цьому розділі на основі прийнятої конфігурації головної та допоміжної енергетичної установки, а також вимог міжнародних нормативних документів, виконано розробку компонування машинного відділення круїзного лайнера Scarlet Lady. Сформульовано ключові вимоги до розміщення обладнання за критеріями доступності, безпеки, протипожежного захисту, шуму й вібрацій, а також екологічних обмежень, пов'язаних із застосуванням LNG та систем очищення вихлопних газів.

Розглянуто кілька варіантів компонування й обґрунтовано вибір раціональної схеми, що забезпечує чітке функціональне зонування машинного відділення, скорочення довжини трубопроводів, покращення умов технічного обслуговування та підвищення живучості енергетичної установки. Показано, як у вибране компонування інтегруються системи моніторингу, автоматизованої діагностики, HSMS, протипожежного захисту та екологічного контролю.

Отримані рішення щодо розташування обладнання СЕУ створюють просторову основу для реалізації заходів із забезпечення надійної експлуатації, розглянутих у розділі 5, та є вихідною позицією для техніко-економічної оцінки ефективності модернізації в розділі 7.

					КРМ.6.135.6211.01.06	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		112

КРМ.6.135.6211.01.07

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	Лім	Аркуш	Аркушів
						113	4
Студент		Борисов А.В.			НУК <i>ім. адмірала Макарова</i>		
Викладач		Чередніченко О.К.					

Техніко-економічне
обґрунтування прийнятих
рішень та рекомендації

РОЗДІЛ 7. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень та рекомендації щодо їх подальшого використання

7.1. Вхідні дані та припущення

Техніко-економічна оцінка модернізації суднової енергетичної установки круїзного лайнера *Scarlet Lady* виконується шляхом порівняння базового варіанта СЕУ та модернізованого, розробленого у розділах 2–4. Базова конфігурація передбачає дизель-електричну схему з середньообертovими дизель-генераторами, що працюють на дизельному паливі (MDO), з обмеженим застосуванням енергозберігаючих пристроїв та систем утилізації теплоти. Модернізований варіант включає перехід на дуал-ф'юел головні двигуни сімейства Wärtsilä 46DF, інтеграцію енергозберігаючих пристроїв (ESD), системи Air Lubrication System, PBCF та розвиток комплексів утилізації теплоти й Climeon.

У розрахунках приймається, що загальна встановлена потужність головної установки зберігається на рівні не нижче базових 57 600 кВт, що забезпечує вимоги до ходової швидкості та «hotel-навантаження» судна. Вихідними даними для економічного аналізу є:

- питомі витрати палива головних двигунів у базовому та модернізованому варіантах (для режимів роботи на MDO та LNG);
- орієнтовні річні напрацювання за основними режимами (рух повним ходом, маневрування, стоянка в порту);
- середні ціни на MDO та LNG, прийняті на момент виконання роботи;
- питомі витрати палива допоміжних котлів і частка теплових навантажень, що покривалися за рахунок прямого спалювання палива в базовому варіанті;
- орієнтовні капітальні витрати на заміну головних двигунів, впровадження ESD, систем LNG-постачання, утилізаційних котлів, системи Climeon, SCR, скрубєрів та іншого допоміжного обладнання.

					КРМ.6.135.6211.01.07	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		114

ВИСНОВКИ

У результаті виконання курсового проєкту було здійснено комплексний аналіз суднової енергетичної установки круїзного лайнера Scarlet Lady та запропоновано низку технічних заходів щодо її модернізації з урахуванням сучасних екологічних вимог ІМО.

На основі аналізу існуючої енергетичної установки визначено, що для ефективного зменшення викидів парникових газів та підвищення загальної енергоефективності доцільно модернізувати пропульсивний комплекс судна. Було запропоновано встановити енергозберігаючі пристрої, зокрема систему повітряного мастила корпусу (Air Lubrication System) та спеціальні насадки на гребні гвинти типу Propeller Boss Cap Fins (PBCF). Обґрунтовано вибір сучасного високоефективного головного двигуна Wärtsilä 46DF, що працює на двох видах палива (дизельному та LNG), завдяки чому суттєво знижуються викиди NO_x, SO_x та CO₂ відповідно до вимог ІМО Tier III.

У проєкті виконано розрахунок основних елементів валопроводу, який показав достатню надійність та експлуатаційну безпеку запропонованого рішення. Проведено детальний аналіз допоміжної енергетичної установки, розроблено схему утилізації скидної теплоти з використанням системи Climeon, яка дозволяє ефективно перетворювати вторинні енергетичні потоки на додаткову електроенергію.

Запропоновано комплекс заходів для зниження емісії забруднюючих речовин шляхом впровадження системи селективного каталітичного відновлення (SCR) та скрубєрів, що забезпечує повну відповідність судна сучасним екологічним стандартам. Також були надані рекомендації щодо вибору комплектуючого обладнання допоміжної енергетичної установки, паливної системи та систем моніторингу стану обладнання.

Особлива увага приділена питанням ергономіки, безпеки та ефективності роботи обладнання в машинному відділенні. Розроблені рекомендації щодо організації простору, антивібраційного та звукоізоляційного захисту,

					КРМ.6.135.6211.01.П	Лист
						117
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

автоматизації контролю параметрів роботи обладнання та резервування критично важливих систем.

Реалізація запропонованих у проєкті технічних рішень дозволить досягнути зниження значення індексу енергоефективності EEDI приблизно на 25% (з 14,5 до 10,1 г CO₂/т·миля), що відповідає сучасним вимогам ІМО і значно підвищить екологічну безпеку та економічність експлуатації судна.

Запропоновані рішення можуть бути рекомендовані для впровадження на круїзних судах аналогічного класу, а також можуть бути використані при подальшому вдосконаленні судових енергетичних установок. Перспективним напрямом подальших досліджень може бути поглиблене вивчення використання інших альтернативних видів палива, таких як метанол чи аміак, та додаткових систем відновлення скидної теплоти.

					КРМ.6.135.6211.01.П	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		118

Джерела інформації

1. Virgin Voyages Scarlet Lady, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.virginvoyages.com>
2. Wärtsilä. *Product Guide Wärtsilä 46F*. – Wärtsilä Corporation, 2022. – 144 с.
3. Wärtsilä. *Project Guide Wärtsilä 46F*. – Wärtsilä Corporation, 2022. – 222 с.
4. Wärtsilä. *Wärtsilä 46F – Product Datasheet*. – Wärtsilä Marine Power, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/dual-fuel-engines/wartsila-46f>
5. Marine Traffic Scarlet Lady, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:6016257/mmsi:311000807/imo:9804801/vessel:SCARLET_LADY#overview
6. Marine Vessel Traffic Scarlet Lady, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.marinevesseltraffic.com/book-a-cruise/SCARLET-LADY/9804801/311000807>
7. Wärtsilä 46F Engine Specifications, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/diesel-engines/wartsila-46f>
8. IMO regulations and compliance guidelines, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.imo.org/en/About/Conventions>
9. Becker Marine Systems – ESD Devices. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.becker-marine-systems.com/products/energy-saving-devices.html>
10. Silverstream Technologies - Air Lubrication System. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.silverstream-tech.com/the-silverstream-system/>
11. ClassNK - Propeller Boss Cap Fins (PBCF). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pbcf.jp/>
12. Wärtsilä Engines – Wärtsilä 46DF. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/dual-fuel-engines/wartsila-46df>

13. MAN Energy Solutions – Marine Engines. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.man-es.com/marine/products>
14. WinGD X-DF Engine. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wingd.com/en/engines/>
15. Правила Морського Регістра Судноплавства. Том 3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules&d=E417E63C-9B49-46B7-B4A6-87E66D89F363&f=3-2-1>
16. Wärtsilä 20DF Engines, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wartsila.com>
17. Alfa Laval Marine Equipment, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.alfalaval.com>
18. IMO MARPOL Annex VI, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.imo.org>
19. Wärtsilä LNGPac™, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wartsila.com>
20. Cryostar Pumps, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cryostar.com>
21. Alfa Laval Fuel Systems, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.alfalaval.com>
22. Kongsberg Maritime Condition Monitoring, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kongsberg.com>
23. Wärtsilä Marine Solutions, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wartsila.com>
24. Alfa Laval Marine Solutions, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.alfalaval.com>
25. Lloyd’s Register, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lr.org>
26. Hull Stress Monitoring Systems (Global Maritime Engineering), [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.hullmos.com>

27. Climeon Solutions, [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://climeon.com/maritime/>
- 28.ISO 10816-6:1995. Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW.
- 29.ISO 8528-9:2017. Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets – Part 9: Measurement and evaluation of mechanical vibrations.
- 30.MARPOL Consolidated Edition 2022 : International Convention for the Prevention of Pollution from Ships. — London : IMO Publishing, 2022. — 834 p.

					КРМ.6.135.6211.01.ДІ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		121

