

Міністерство освіти і науки України

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра експлуатації
суднових енергетичних установок
та теплоенергетики

„Допущений до захисту”

Завідувач кафедри

Б.М. Личко

«25» грудня 2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

ОП 135 «Суднові енергетичні установки та устаткування»

Тема роботи Проект гібридної ЕУ балкера «Dietrich Oldendorff»

Project of the hybrid power plant of the bulker «Dietrich Oldendorff»

Розрахунково-пояснювальна записка

Виконав:

Студент групи 6211М

Керівник роботи:

доктор техн. наук, доцент

Дудар О.Ю.

Коробко В.В.

Миколаїв – 2025 р.

**Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕУ та ТЕ,
доцент Б.М. Личко
“25” грудня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Тема: Проект гібридної ЕУ балкера «Dietrich Oldendorff».

Виконавець: студент групи 6211м, Дудар О.Ю.

ЗМІСТ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Анотація.

Вступ.

Розділ 1. Загальна характеристика та призначення судна.

- 1.1 Загальні відомості про судно.
- 1.2 Основні характеристики судна.
- 1.3 Загальна характеристика СЕУ та морехідні якості.
- 1.4 Вимоги SOLAS..
- 1.5 Вимоги MARPOL.

Розділ 2. Проектування головної пропульсивної установки судна.

- 2.1 Аналіз параметрів ЕУ базового судна.
- 2.2 Вибір та обґрунтування технічних заходів модернізації пропульсивного комплексу судна (ESD).
- 2.3 Вибір та обґрунтування типу ГД, розгляд альтернативних варіантів комплектації.
- 2.4 Вибір типу ЕУ, схеми передачі потужності в пропульсивному комплексі, вибір елементів суднової передачі, розрахунок валопроводу.

Розділ 3. Проектування допоміжної ЕУ.

- 3.1 Розробка теплової схеми та схеми утилізації скидної теплоти. Головні споживачі електричної та теплової енергії на судні.
- 3.2 Вибір комплектуючого обладнання СЕС, УК, ДК.
- 3.3 Розробка заходів з обмеження емісії GHG, SOx, NOx та інших забруднень.

Розділ 4. Проектування систем СЕУ.

- 4.1. Розробка принципової схеми гібридної установки.

4.2 Вибір паливних елементів.

4.3 Вибір комплектуючого обладнання.

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 дизель генератора.

Розділ 6. Розміщення енергетичного обладнання в МВ.

6.1 Вимоги до розміщення обладнання в МКВ судна.

6.2 Розробка заходів з моніторингу стану корпусу судна.

Розділ 7. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень.

7.1 Оцінка ефективності впровадження ESD заходів за критерієм EEDI..

7.2 Рекомендації з впровадження результатів роботи.

Висновки.

Список використаних джерел інформації.

Додатки.

До РПЗ додаються один примірник презентації доповіді, формат аркушів А4 (графічний матеріал форматується при друкуванні).

Доповідь здійснюється у вигляді слайд - презентації. Презентація доповіді, містить титульний лист з підписами, анотацію, графічні матеріали з підписами, висновки.

Перелік графічного матеріалу

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (на розсуд керівника ДП)	Аркуші, формат А1 ***.pdf
1	Характеристики судна, вибір та обґрунтування проектних рішень (креслення поздовжнього перерізу)	1
2	Теплова схема СЕУ (принципова схема)	1
3	Системи СЕУ	1
4	Розташування обладнання у МКВ, 2 – 3 види (креслення)	1
5	Технологічна розробка – монтаж/ремонт.	1

Тема ДП та виконавець затверджені наказом НУК від "___" _____ 2025 року №___.

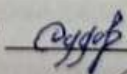
Завдання видано

“ 04” вересня 2025 р.

Дата подання проекту на кафедру

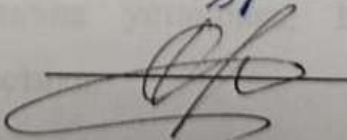
“01” грудня 2025 р.

Завдання прийняв до виконання студент



Дудар О.Ю.

Керівник дипломної роботи



Коробко В.В.

Анотація

Дипломний проект складається з пояснювальної записки обсягом 98 с. на аркушах формату А4 та трьох креслень формату А1.

У першому розділі наведена загальна характеристика судна «Dietrich Oldendorff», клас проекту за IACS, вимоги IMO, SOLAS-74, MARPOL 73/78.

У другому розділі проведено аналіз пропульсивного комплексу. Було проведено аналіз параметрів ЕУ заданого судна. Запропоновано та обґрунтовано вибір нового ГД. Згідно нових даних по ГД були обрані тип передачі потужності, розраховані основні елементи валопроводу.

У третьому розділі проведено аналіз допоміжної енергетичної установки. Проаналізовано головні споживачі електричної та теплової енергії. Виконано розробку та розрахунок теплової схеми. Обрано комплектуюче обладнання СЕС, УК, ДК... Запропоновано заходи з обмеження емісії GHG, SO_x, NO_x та інших забруднень.

У четвертому розділі виконано проектування гібридної силової установки. Розроблено принципову схему системи СЕУ основаної на паливних елементах. Проведено оцінку необхідної потужності. Обрано комплектуюче обладнання.

У п'ятому розділі проаналізовано системи моніторингу та діагностування технічного стану обладнання СЕУ. Запропоновано заходи моніторингу стану корпусу судна. Також розглянуто монтаж одного з елементів СЕУ.

У шостому розділі проведено аналіз розміщення енергетичного обладнання у машинному відділенні. Проаналізовано вимоги розміщення обладнання в МКВ судна. Розроблено креслення розміщення обладнання в МКВ судна. Запропоновано заходи моніторингу стану корпусу судна.

У сьомому розділі виконано розрахунок EEDI для запропонованої модернізації і наведено рекомендації з впровадження модернізації.

Ключові слова: енергетична установка, ESD, гібридна установка, риформінг, валогенератор, діагностика.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

The diploma project consists of an explanatory note of 98 pages. on sheets of A4 format and three drawings of A1 format.

In the first section, the general characteristics of bulker «Dietrich Oldendorff», the class of the project according to IACS, the requirements of IMO, SOLAS-74, MARPOL 73/78 are given.

In the second section, the propulsive complex is analyzed. An analysis of EU parameters of the specified vessel was carried out. The choice of a new DG is proposed and substantiated. According to the new data on the GD, the type of power transmission was selected, the main elements of the shaft line were calculated.

In the third section, an analysis of the auxiliary power plant is carried out. The main consumers of electricity and thermal energy have been analyzed. The development and calculation of the thermal scheme has been completed. Selected equipment for SES, UC, DC. Measures to limit the emission of GHG, SO_x, NO_x and other pollutants were proposed.

In the fourth chapter, the design of the hybrid power plant is performed. A schematic diagram of the SEU system based on fuel cells has been developed. An assessment of the required capacity has been carried out. Selected equipment.

In the fifth chapter, systems for monitoring and diagnosing the technical condition of SEU equipment are analyzed. Measures for monitoring the state of the ship's hull are proposed. The installation of one of the SEU elements is also considered.

In the sixth chapter, an analysis of the placement of power equipment in the engine room is carried out. The requirements for placement of equipment in the ship's IC have been analyzed. A drawing of the placement of the equipment in the vessel's IC has been developed. Measures for monitoring the state of the ship's hull are proposed.

In the seventh chapter, the EEDI calculation for the proposed modernization is performed and recommendations for the implementation of the modernization are given.

Key words: power plant, ESD, hybrid plant, reforming, shaft generator, diagnostics.

					KPM. ОП135. 6211м. 02	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Завдання на дипломну роботу	2
Анотація	4
Зміст	6
Вступ	8
1. Загальна характеристика та призначення судна.	11
1.1. Загальні відомості про судно	11
1.2. Основні характеристики судна	13
1.3. Вимоги SOLAS	15
1.4. Вимоги MARPOL	18
2. Проектування головної пропульсивної установки судна	25
2.1. Аналіз параметрів ЕУ базового судна	25
2.2. Вибір та обґрунтування технічних заходів модернізації пропульсивного комплексу судна (ESD)	27
2.3. Вибір та обґрунтування типу ГД, розгляд альтернативних варіантів комплектації	30
2.4. Вибір типу ЕУ, схеми передачі потужності в пропульсивному комплексі, вибір елементів суднової передачі, розрахунок валопроводу	36
2.5. Визначення складу гібридної енергетичної установки судна	40
3. Проектування допоміжної ЕУ	44
3.1. Розробка теплової схеми та схеми утилізації скидної теплоти. Головні споживачі електричної та теплової енергії на судні	44
3.2. Вибір комплектуючого обладнання СЕС, УК, ДК	46
3.3. Розробка заходів з обмеження емісії GHG, SO _x , NO _x та інших забруднень	56
4. Проектування систем СЕУ	60
4.1. Розробка принципової схеми гібридної установки	60
4.2. Модернізація теплової схеми	65
4.3. Вибір паливних елементів	67
4.4. Вибір комплектуючого обладнання	70
5. Заходи по забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ	73
5.1. Розробка системи моніторингу та діагностування тех. стану обладнання СЕУ	73
5.2. Технологічна розробка. Технологія монтажу дизель генератора.	77
6. Розміщення енергетичного обладнання в МВ	81
6.1 Вимоги до розміщення обладнання в МКВ судна	81

6.2 Розробка заходів з моніторингу стану корпусу судна	84
7. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень	88
7.1 Оцінка ефективності впровадження ESD заходів за критерієм EEDI	88
7.2 Рекомендацій з впровадження результатів роботи	89
Висновок	90
Список використаної літератури	91
Додатки	93

Вступ

Морефлавання є важливою складовою світової економіки, що зумовлює необхідність швидкого реагування на потреби суспільства. Морська галузь має задовільнити зростаючі потреби суспільства в перевезенні вантажів, і при цьому відповідати жорстким вимогам ІМО щодо екологічності суден, в яких значна увага спрямована на обмеження емісії парникових газів, так званих GHG [1]. Можна бачити, що саме ці екологічні вимоги є причиною суттєвих концептуальних змін в суднобудуванні, конструкції суден та судновій енергетиці.

Запровадження ІМО індикативних показників – EEDI, EEXI – ставить задачі пошуку та нових інноваційних рішень, як для суден, що проектуються, так і для тих, що знаходяться в експлуатації.

Прикладом можуть стати сучасні «Retrofit» проекти, які передбачають глибоку модернізацію пропульсивного комплексу існуючих суден та їх енергетичної установки. Вдосконалення пропульсивного комплексу досягається встановленням енергозберігаючих пристроїв-насадок, так званих Energy Saving Devices (ESD) [3]. Зменшення буксирного опору суден досягають за рахунок «Air Lubrication System» [4]. Є чисельні приклади застосування на суднах додаткових рушіїв, таких як «Flettner Rotors» жорсткі паруса та «Kite sail» пристрої.

Великі зміни відбуваються безпосередньо в складі СЕУ. Так, при модернізації суден встановлюються системи очистки скидних газів ДВЗ від GHG, до яких належать CO₂, CO, NO_x, різні за складом VOL. Для нових суден та проектних розробок наявність такого обладнання є обов'язковою.

Дієвим методом зменшення емісії GHG, особливо окислів вуглецю, є використання альтернативних палив – метанолу, LNG та безвуглецевих палив, водню, або аміаку. Характерною рисою суднової енергетики є постійний пошук нових інноваційних рішень, які можуть забезпечити суттєве покращення характеристик СЕУ та суден в цілому. Технічний прогрес, що був досягнутий в енергетиці, хімічних та електрохімічних технологіях, дав можливість в повній мірі реалізувати ідею синергетичного ефекту за рахунок використання в СЕУ різних методів отримання енергії.

					КРМ. ОП135.6211м.02	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Актуальність теми.

Даний дипломний проект (ДП) присвячена модернізації СЕУ існуючого судна «Dietrich Oldendorff» з метою зниження шкідливих викидів в атмосферу і підвищення ефективності судна.

Мета дослідження

Метою кваліфікаційної роботи є модернізація енергетичної установки шляхом дообладнання її валогенератором і гібридною системою на базі паливних елементів.

Задачі дослідження :

- аналіз складу та характеристик СЕУ базового судна;
- визначення доцільних заходів спрямованих на вдосконалення пропульсивної та енергетичної установок судна.
- розробка нових схемних рішень та пропозицій.

Об'єктом дослідження є процеси енергоперетворення в судовій енергетичній установці та пропульсивному комплексі судна.

Предметом дослідження є закономірності та параметри процесів енергоперетворення в елементах енергетичної установки судна.

Методи дослідження. При написанні магістерської роботи були використані наступні загальнонаукові методи: для розкриття сутності понять «пропульсивний комплекс», «модернізація комплексу», формулювання теоретичних висновків і узагальнень – методи порівняння та узагальнення, абстрактна-логічного аналізу; при вивченні нормативно-правового забезпечення застосовувалися історичний і системний підходи, метод якісного аналізу та синтезу; для наочного представлення результатів дослідження застосовано графічний метод.

Важливим для практики є проведення аналізу СЕУ, розробка та розрахунок теплової схеми, аналіз споживачів електричної та теплової енергії, вибір комплектуючого обладнання та систем обмеження емісії шкідливих викидів.

Для інженерної практики, для проектування та модернізації судових енергетичних установок (СЕУ), суттєвою інформацією є зміна та покращення технологій очищення та обмеження шкідливого впливу роботи СЕУ на зовнішнє середовище, тому необхідно ретельно стежити за останніми розробками провідних

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компаній, та бути здатним використати останні технології у своїх проектах. Судно в експлуатації змінює свої пропульсивні параметри внаслідок корозії й обростання зовнішньої підводної поверхні, а потужність ГД та витрати палива для заданої швидкості ходу суттєво залежать від гідрометеорологічних обставин - від інтенсивності хвилювання водної поверхні та сили вітру, а також від їх напрямку стосовно курсу судна. Тому необхідно ретельно стежити за станом корпусу судна, через це у роботі буде запропоновано заходи з моніторингу стану корпусу судна. Також в даній роботі було запропоновано використовувати дизельний двигун, який використовує природний газ в якості основного виду палива.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що технічні розробки, висновки та рекомендації, представлені у роботі, можуть бути використані при модернізації існуючих суден або при проектуванні нових.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Загальна характеристика та призначення судна

1.1. Загальні відомості про судно

«Dietrich Oldendorff» є першим у парі суден класу Post-Panamax дедвейтом 100 000, замовлених німецьким оператором балкерів Oldendorff Carriers у японської верфі Oshima, а також першим такого типу, спроектованим верф'ю. Судно було доставлено у березні 2020 року після спільної церемонії найменування з трьома супер-еко Ultramax на верфі в січні 2020 року, а його сестринський корабель «Diana Oldendorff» був доставлений того ж року в травні. Обидва судна є частиною програми оновлення флоту Oldendorff, в рамках якої компанія отримає близько 30 суден протягом трирічного періоду 2019-2021 років.



Рис. 1.1. Загальний вигляд балкера «Dietrich Oldendorff»

У дизайн судна входить фірмовий морехідний ніс верфі, який не має бульбашки, але використовується для того, щоб судна могли підтримувати оптимальну швидкість під час несприятливих погодних умов. Високоєфективна форма корпусу також включає інші запатентовані Oshima енергозберігаючі пристрої, такі як вдосконалені фліппери та кермо керма. Ця комбінація дозволяє «Dietrich Oldendorff» досягти рейтингу EEDI значно нижчого за еталонну лінію для цього типу судна. Судно з сімома трюмами/люками не має шасі, має типовий восьмикутний поперечний переріз

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

балкера та оптимізоване для перевезення вугілля, зерна та руди. Його довжина становить 234,96 м, ширина -38 м, що забезпечує вантажомісткість близько 115 356 м3, а літня осадка -15 м.

«Dietrich Oldendorff» оснащений наддовгохідним головним двигуном MAN B&W 6G60ME-C9.5, виготовленим компанією Mitsui. Він розроблений для роботи з номіналом L4 для цього типу двигуна, виробляючи 9000 кВт при 72 об/хв. Допоміжне живлення забезпечується трьома генераторними установками Daihatsu.

Відповідність нормам SOx забезпечується завдяки встановленню системи очищення вихлопних газів Yara Marine Technologies, підключеної до головного та допоміжних двигунів. Система очищення баластних вод Techcross також входить до складу екологічного обладнання судна.

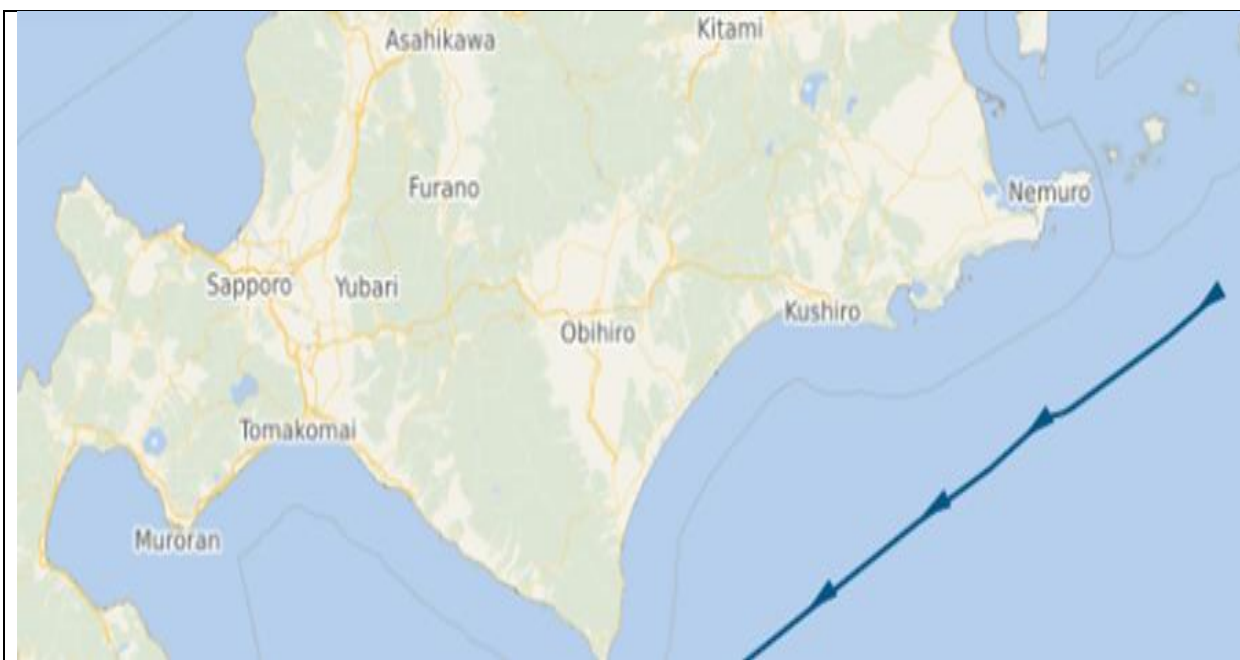


Рис. 1.2. Рейсова лінія балкера «Dietrich Oldendorff»

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.2.Основні характеристики судна

Назва характеристики	Значення примітки
1	2
Найбільша довжина, м	234.96
Максимальна ширина судна, м	38.00
Висота до верхньої палуби, м	20.62
Ширина подвійного борту:	
Осадка повна, м	15.040
Експлуатаційні характеристики	
Вантажомісткість, м3	115,356
Дедвейт, т	100,449
Водяний баласт, м3	46,233
Об'єм паливних цистерн:	
Важке пальне HFO (RMG380), м3	2,364
Дизельне паливо MDO (DMB)	617
Елементи СЕУ	
Рушій	
Матеріал	Ni-Al-Bronze
Виробник	Nakashima Propeller Co., Ltd.
Кількість	1
Тип	Fixed
Частота обертання, об/хв	72
ГД	
Фірма проєктант/виробник	
Модель	Mitsui MAN 6G60ME-C9.5
Кількість	1
Потужність, кВт	9,200
Частота обертання, об/хв	72
Пальне	HFO
ДГ суднової електростанції	
Фірма проєктант/виробник ДВС	Daihatsu Diesel

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Кількість	3
Пальне	HFO
Котел	
Фірма проєктант/виробник ДК	Osaka Boiler Mfg
Кількість	1
Допоміжне обладнання	
Швартовне обладнання	
Кількість	4 x mooring winch, 2 x windlass/ mooring winch
Виробник	Nippon Pusnes
Тип	Electro-hydraulic
Спеціальне рятувальне обладнання	
Кількість кожного та місткість	1 free-fall lifeboat (25 persons)
Виробник	Shigi Shipbuilding
Системи	
Система контролю баласту	
Виробник	Nakakita Seisakusyo
Тип	Multi control panel Ballast water treatment system
Система виявлення пожежі	
Виробник	Consilium Nittan Marine Ltd.
Тип	Smoke, thermal, flame Fire extinguishing systems
Система очистки стічних вод	
Модель	Taiko Kikai Industries
Радари	
Кількість	2
Виробник	Furuno Electric

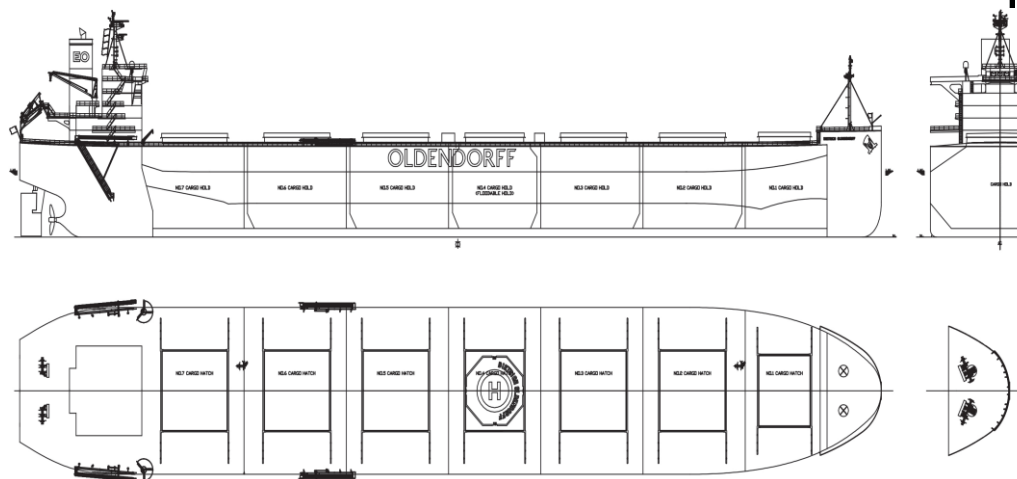


Рис. 1.3. Основні проекції балкера «Dietrich Oldendorff»

1.3.Вимоги SOLAS

Конвенція правил SOLAS являється однією із найважливіших міжнародних конвенцій, що регулюють безпеку торгових судів. Головною метою SOLAS є встановлення мінімальних стандартів, що відповідають вимогам безпеки при будівництві, обладнанні та експлуатації судів.

Технічні рішення, що забезпечують конструктивну безпеку судна, приймаються в процесі його проектування.

Контроль і нагляд за дотриманням вимог безпеки мореплавства здійснюється під егідою ряду міжнародних організацій. Серед основних – Міжнародна морська організація (ІМО), Міжнародна організація праці (МОП), Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) та Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ). У разі потреби до співпраці залучаються також неурядові структури, такі як Міжнародна палата судноплавства, Міжнародна організація зі стандартизації (ІСО), Міжнародна торговельна палата та інші.

Зазначені організації здійснюють контроль за безпекою мореплавства за трьома основними напрямками:

- Технічний контроль - перевіряється дотримання правил технічної експлуатації та норм, які регламентують взаємодію людини з технічними засобами.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- Адміністративно-технічний контроль - оцінюється виконання як технічних, так і юридичних норм.
- Адміністративний контроль - перевіряється дотримання чинного законодавства, підзаконних актів і міжнародних угод.

Проектні технічні рішення, що забезпечують конструктивну безпеку судна, ухвалюються ще на етапі його проектування. Однак для ефективної експлуатації суднових механічних установок машинний екіпаж повинен володіти спеціальною термінологією, знати порядок несення вахти, правила техніки безпеки в машинному відділенні, вміти користуватися як ручним, так і механізованим інструментом та правильно виконувати операції із судновими системами.

Для гарантування безпеки всі вантажні й пасажирські судна зобов'язані мати рятувальні й аварійні шлюпки. На розглядуваному судні встановлено рятувальні засоби групового типу - закриті рятувальні човни на 30 осіб, а також індивідуальні засоби - рятувальні круги та інше обладнання. Ці вимоги охоплюють пристрої для спуску шлюпок, підйому людей з води, вимоги до шлюпок, плотів, мотоботів, жилетів, а також розклад дій у разі тривоги [3]. Серед сучасних рятувальних засобів дедалі більшого поширення набувають рятувальні плоти закритого типу, які виконують функції рятувального відсіку. Такий пліт має низку переваг:

- Забезпечує безпечне укриття екіпажу під час пожежі завдяки вогнестійкій ізоляції та автономній вентиляційній системі;
- Дає можливість евакуювати людей незалежно від погодних умов і стану посадки судна;
- Самостійно спливає при зануренні судна, гарантуючи порятунок усіх осіб на борту.

У разі залишення судна необхідно виконати такі дії:

- Завантажити в шлюпку запасні припаси, ковдри, переносну радіостанцію, аварійний радіобуй і судові документи;

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

- Віддати стопори та всі додаткові кріплення;
- Посадити людей у шлюпку;
- Герметично закрити всі люки;
- Відкрити вентиляційні отвори;
- Відкрити паливний кран;
- Запустити двигун згідно з інструкцією;
- Пристебнути прив'язні ремені.

Відповідно до Розділу II-2 («Конструкція - протипожежний захист, виявлення і гасіння пожеж»), на судні встановлена система оповіщення адресного типу від компанії Consilium Nittan Marine Ltd. У житлових приміщеннях та місцях загального користування функціонує гідрантна система пожежогасіння з використанням як забортної, так і прісної води.

У машинному відділенні передбачено систему гасіння пожеж піною високого тиску.

1.4. Вимоги MARPOL

Проблеми захисту навколишнього середовища від шкідливих забруднень актуальні для всієї енергетики, в тому числі й суднової. Викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами судових дизелів щорічно складають мільйони тон. Основним міжнародним документом, що регламентує екологічні параметри роботи судових енергетичних установок, є Міжнародна конвенція MARPOL.

У конвенції МАРПОЛ 73/78 передбачено заходи, щодо скорочення і запобігання забруднення морського середовища, як нафтою і нафтопродуктами, так і іншими речовинами, шкідливими для мешканців моря, що перевозяться на судах або утворюються в процесі їх експлуатації.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Правові норми, тобто інструкції, щодо запобігання забруднення атмосфери з суден містяться в Додатку VI до Конвенції МАРПОЛ 73/78.

В Додатку встановлені межі емісії оксидів сірки та азоту від енергетичної установки судна і забороняють неконтрольовану емісію речовин, що руйнують озоновий шар атмосфери.

Провідні лідери дизелебудування MAM B&W, Wartsila, Hyundai, Mitsubishi, CAT та інші оснащують свої двигуни дорогими системами організації та контролю запалення палива, новітнім високотехнологічним обладнанням, що знижує кількість шкідливих викидів.

В останні роки це призвело до збільшення застосування дизелів з безпосереднім уприскуванням палива і електронним управлінням, що дозволяє отримати точне і виключно гнучке визначення параметрів упорскування палива, значно поліпшити експлуатаційні якості, підвищити надійність, знайти резерви щодо підвищення технічного рівня: тільки такий шлях дозволяє виконувати широкий ряд технічних вимог, що пред'являються сучасним дизелям.

Сучасні методи зниження шкідливих викидів судових дизелів, являють сьогодні наукомісткі технології передових світових інститутів.

Так фірма MAM B&W інтенсивно працює у напрямку використання технології рециркуляції відпрацьованих газів EGR 2020. Суднові енергетичні установки (Exhaust Gas Recirculation) стосовно великих малообертових двигунів, отримані багатонадійні результати в зниженні викидів

NO_x дизельних двигунів, як стверджує фірма, на десятиріччя. Наприклад, при ступені рециркуляції 15-20 % відбувається зменшення викидів NO_x до 60-80 %.

Першим кроком до зниження викидів NO_x, на думку фірми Wartsila, є застосування «внутрішніх заходів» по двигуну, щоб відповідати чинним обмеженням. Ці заходи включають застосування більш високого ступеня стиснення, «пізнього» впорскування палива одночасно з використанням

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

зміненої конструкції розпилювача й адаптованих фаз газообміну. Вони є простими й ефективними, та не впливають на надійність двигуна [4-5].

Іншою технологією зниження емісії NO_x, на думку фірми Wartsila, є введення води в камеру згоряння. Емульгування палива (водопаливних емульсій) піддавалося тривалому вивченню. Гнучкість у налаштуванні двигунів RT-flex з системою Common Rail полегшує їх адаптацію до введення емульсованого палива. Використовувані в даний час насоси та їх виробники роблять можливим зниження емісії NO_x на 20 % щодо існуючих обмежень Рівень 1. Як альтернатива, вода може бути безпосередньо впорснута в камеру згоряння окремо від палива.

Фірма MAN Diesel здійснила дослідну експлуатацію своїх середньообертових двигунів з селективним каталітичним відновленням (SCR - SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION) відпрацьованих газів і технологією подачі вологого повітря в циліндри двигуна (HAM – Humid Air Motor). Впровадження цих заходів дозволило отримати значне зниження викидів окисів азоту (NO_x) до меж рівня Tier III вимог Міжнародної морської організації (IMO – International Maritime Organization), які набирають чинності після 2016 для прибережних районів плавання морських суден.

Згідно з дослідженнями, проведеними університетом Мічігану (США) достатнього підвищення (10 %) вихідних характеристик ДВС можна досягти в результаті відносно невеликого підвищення концентрації кисню до 23 %, в той час як 90 % поліпшень можна досягти при 35 %. При концентрації кисню в надувочному повітрі від 23 % до 35 % циліндрова ефективна потужність збільшується від 10 до 90 % при різних навантаженнях. При зниженій подачі палива потужність збільшується навіть більш, приблизно на 12 % і 110 % при тих же концентраціях відповідно. Таке підвищення потужності супроводжується підвищенням середноефективного тиску і зниженням питомої ефективної витрати палива. Очікуване збільшення термічного ККД викликано більш високою швидкістю горіння, особливо під час фази дифузії.

					КРМ. ОП135.6211м.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Однак, незважаючи на переваги використання збагаченого повітря максимальний тиск згоряння підвищувався від 3 % до 35 %, хоча таке підвищення P_z було менше підвищення циліндрової потужності.

Результати дослідження впливу збагаченого надувного повітря на робочі характеристики ДВС:

На повному навантаженні при збільшенні вмісту кисню в повітрі від 21% до 35 % і при збереженні постійного співвідношення кисень - паливо, середньоефективний тиск зріс до 90 %, а питома витрата палива знизилася на 15%.

Пізнє уприскування палива справив позитивний вплив, надавши значний вплив на максимальний тиск згоряння, при цьому не сильно погіршивши значення потужності й витрати.

Викиди NO_x , пораховані на основі адіабатичної температури полум'я, збільшилися майже в 4 рази при вмісті кисню в повітрі від 21 % до 35%. Також регулювання кута випередження упорскування може сприяти невеликого зниження викидів, проте необхідні інші способи боротьби з NO_x для відповідності стандартам викидів.

Рідкі речовини поділяються на чотири категорії:

а) Категорія А - шкідливі рідкі речовини, які, будучи скинуті в море в процесі очищення танків або зливу баласту, становлять велику небезпеку або для морських ресурсів, або для здоров'я людини або завдають значної шкоди природній привабливості моря як місце відпочинку або інші види правомірного використання моря, через що виправдовують застосування суворих заходів щодо недопущення забруднення.

б) Категорія В - шкідливі рідкі речовини, які, будучи скинуті в море в процесі очищення танків або зливу баласту, становлять небезпеку або для морських ресурсів, або для здоров'я людини або завдають шкоди природній привабливості моря як місце відпочинку або інші види правомірного

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

використання моря. , Через що виправдовують застосування особливих заходів щодо недопущення забруднення.

с) Категорія С - шкідливі рідкі речовини, які, будучи скинуті в море в процесі очищення танків або зливу баласту, становлять невелику небезпеку або для морських ресурсів, або для здоров'я людини або завдають незначної шкоди природній привабливості моря як місце відпочинку або інші види правомірного. використання моря, через що вимагають дотримання особливих умов експлуатації.

д) Категорія D - шкідливі рідкі речовини, які, будучи скинуті в море в процесі очищення танків або зливу баласту, становлять деяку небезпеку або для морських ресурсів, або для здоров'я людини або завдають мінімальної шкоди природній привабливості моря як місце відпочинку або інші види правомірного. використання моря, через що вимагають деякої уваги при експлуатації.

Речовини категорій А, В і С за межами особливих районів та речовини категорії D у всіх районах з урахуванням винятків, передбачених положеннями п.14 цього правила та правила 6 цього Додатка:

1. Забороняється скидання в море речовин категорії А, або речовин, тимчасово оцінених як такі, що належать до неї, або баластових вод, промивних вод або інших залишків або сумішей, що містять такі речовини. Якщо танки, що містять такі речовини або суміші, підлягають мийці, то залишки, що утворилися, скидаються в приймальну споруду до тих пір, поки концентрація речовини в зливається в таку споруду стоку не буде дорівнює або нижче 0,1% за вагою, а танк не буде випорожнений, крім фосфору (жовтого чи білого) залишок концентрату якого становить 0,01% за вагою. Вода, додана після того в танк, може бути скинута в море за дотримання одночасно всіх наступних умов:

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

а) судно знаходиться у дорозі, маючи швидкість не менше 7 вузлів, якщо воно самохідне, або швидкість не менше 4 вузлів, якщо воно несамохідне;

б) скидання проводиться нижче ватерлінії з урахуванням розташування отворів для прийому забортної води; і

с) скидання провадиться на відстані не менше 12 морських миль від найближчого берега на глибині не менше 25 метрів.

2. Забороняється скидання в море речовин категорії В, або речовин, тимчасово оцінених як такі, що відносяться до неї, або баластових вод, промивних вод, або інших залишків або сумішей, що містять такі речовини, за винятком випадків, коли дотримуються одночасно всі такі умови:

а) судно знаходиться у дорозі, маючи швидкість не менше 7 вузлів, якщо воно самохідне, або швидкість не менше 4 вузлів, якщо воно несамохідне;

б) методи та пристрої для скидання схвалені Адміністрацією. Ці методи та пристрої ґрунтуються на стандартах, розроблених Організацією, та забезпечують таку концентрацію та інтенсивність скидання стоку, що концентрація речовини у кільватерному струмені судна не перевищує 1 мільйонної частки;

с) максимальна кількість вантажу, скинутого в море з кожного танка та пов'язаної з ним системи трубопроводів, не перевищує максимальної кількості, встановленої відповідно до методів, яка в жодному разі не повинна перевищувати 1 м³ або 1 /3000 місткості танка у кубічних метрах, залежно від того, що більше;

д) скидання проводиться нижче ватерлінії з урахуванням розташування отворів прийому забортної води;

е) скидання здійснюється на відстані не менше 12 морських миль від найближчого берега на глибині не менше 25 метрів.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Забороняється скидання в море речовин категорії С, або речовин, тимчасово оцінених як такі, що відносяться до неї, або баластових вод, вод для промивання, або інших залишків або сумішей, що містять такі речовини, за винятком випадків, коли дотримуються одночасно всі такі умови:

а) судно знаходиться у дорозі, маючи швидкість не менше 7 вузлів, якщо воно самохідне, або швидкість не менше 4 вузлів, якщо воно несамохідне;

б) методи та пристрої для скидання схвалені Адміністрацією. Ці методи та пристрої ґрунтуються на стандартах, розроблених Організацією, та забезпечують таку концентрацію та інтенсивність скидання стоку, що концентрація речовини у кільватерному струмені судна не перевищує 10 мільйонних часток;

в) максимальна кількість вантажу, скинутого в море з кожного танка та пов'язаної з ним системи трубопроводів, не перевищує максимальної кількості, встановленої відповідно до методів, яка в жодному разі не повинна перевищувати 3 м³ або 1 /1000 місткості танка у кубічних метрах, залежно від того, що більше;

г) скидання проводиться нижче за ватерлінію з урахуванням розташування отворів для прийому забортної води;

е) скидання здійснюється на відстані не менше 12 морських миль від найближчого берега на глибині не менше 25 метрів.

4. Забороняється скидання в море речовин категорії D, або речовин, тимчасово оцінених як такі, що відносяться до неї, або баластових вод, промивних вод, або інших залишків або сумішей, що містять такі речовини, за винятком випадків, коли дотримуються одночасно всі такі умови:

а) судно знаходиться у дорозі, маючи швидкість не менше 7 вузлів, якщо воно самохідне, або швидкість не менше 4 вузлів, якщо воно несамохідне;

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) концентрація таких сумішей не перевищує однієї частини речовини в десяти частках води;

с) скидання провадиться на відстані не менше 12 морських миль від найближчого берега.

5. Для видалення залишків вантажу з танків можна використовувати методи вентиляції, схвалені Адміністрацією. Ці методи мають ґрунтуватися на стандартах, розроблених Організацією. Вода, введена після того танк, розглядається як чиста і не підпадає під вимоги правил.

6. Забороняється скидання в море речовин некласифікованих, не підданих тимчасовій оцінці, або баластових вод, промивних вод або інших залишків або сумішей, що містять такі речовини.

Стандарти скидання.

Якщо положення правил допускають скидання в морі залишків речовин категорій А, В або С або речовин, тимчасово оцінених як таких, що відносяться до них, або баластових вод, вод для промивання або інших сумішей, що містять такі речовини, застосовуються такі стандарти скидання:

судно знаходиться у дорозі, маючи швидкість не менше 7 вузлів, якщо воно самохідне, або швидкість не менше 4 вузлів, якщо воно несамохідне;

скидання проводиться нижче ватерлінії через підводний зливний отвір зі швидкістю, що не перевищує максимальну швидкість, для якої призначений підводний зливний отвір;

скидання виробляється з відривом щонайменше 12 морських миль від найближчого берега на глибині щонайменше 25 метрів.

Вентиляція залишків вантажу.

Для видалення залишків вантажу з танків можна використовувати методи вентиляції, схвалені Адміністрацією. Ці методи повинні застосовуватись відповідно до додатка 7 до цього Додатка. Вода, введена після того в танк, розглядається як чиста і не підпадає під вимоги цього Додатка щодо скидання.

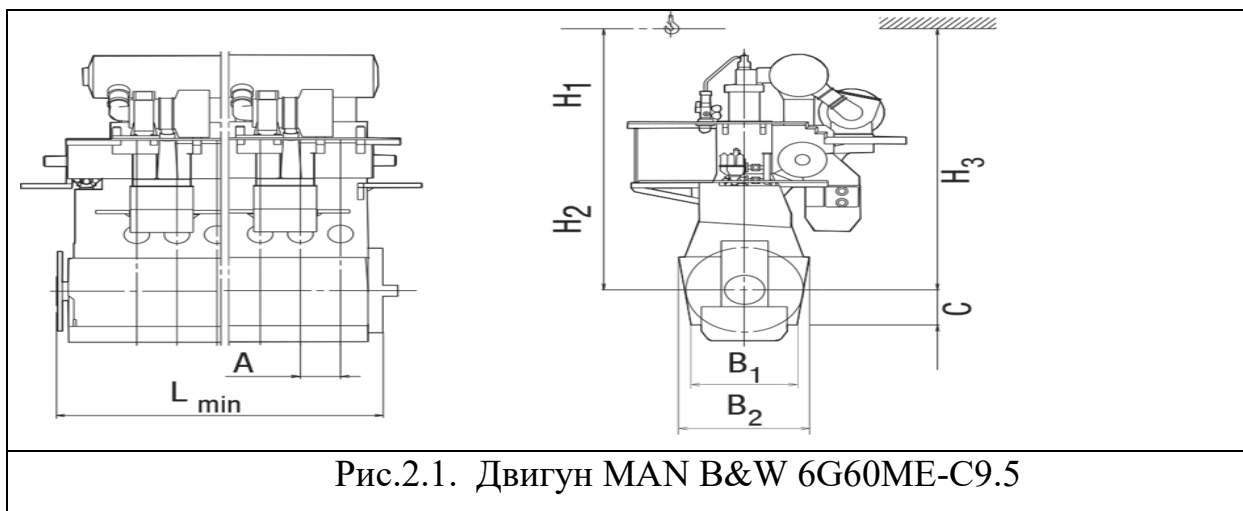
					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. Проектування головної пропульсивної установки

2.1. Аналіз шляхів модернізації пропульсивної установки базового судна

Оскільки судно побудовано після 2016-го року (2020 р.) воно відповідає поточним вимогам, щодо EEDI.

MAN B&W 6G60ME-C9.5 - судновий двотактний низькообертовий дизельний двигун. Це сучасний двигун, розроблений компанією MAN Energy Solutions, який може працювати на традиційному важкому паливі (HFO). На двигуні MAN B&W 6G60ME-C9.5 має встановлений скруббер для зниження параметру SOX систему вихідних газів , і на дизель генераторах теж встановлені скрубера.



Кількість циліндрів: 6

- Діаметр циліндра: 500 мм
- Хід поршня: 2,500 мм
- Номінальна потужність: 9200 кВт

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

- Швидкість обертання: 72 об/хв
- Габарити: 7,132 мм (довжина) × 3,776 мм (ширина) × 10,750 мм (висота)
- Маса: близько 245 тонн
- Відповідність стандартам: IMO Tier III (зниження викидів NO_x)
- Типи пального: важке суднове паливо (HFO).

Характеристики цього двигуна можуть бути покращені шляхом реалізації програми «Retrofits and upgrades - ME/ME-B/ME-C retrofit solutions» яка розроблена Everlance (<https://www.everlance.com/services/offerings/marine-power/retrofit-upgrade/regulations#Two-Stroke>).

Компанія Oldendorff планує встановити на судно Dietrich Oldendorff три ротори розміром 24 х 4 м, що забезпечить економію палива та скоротить викиди за рахунок використання енергії вітру.



Рис.2.2. Dietrich Oldendorff з роторами.

2.2. Аналіз концептуального проекту ‘Super-Efficient Bulker’ від Kongsberg Maritime

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Фахівцями компанії Kongsberg Maritime було проаналізовано можливість інтеграції традиційної суднової енергетичної установки з низкою додаткових енергозберігаючих технологій з метою забезпечення відповідності перспективним екологічним вимогам. У рамках дослідження розглянуто два варіанти експлуатаційних профілів, для яких прогнозована економія палива становить орієнтовно 44% та 56% відповідно.

Базова мета -спроектувати судно, здатне протягом життєвого циклу відповідати прогнозованим вимогам СІІ. Як репрезентативний об'єкт обрано балкер Kamsarmax дедвейтом 82 000 DWT із глобальною географією рейсів, для якого перехід на альтернативне паливо може бути обмежений доступністю низьковуглецевих бункерних палив.

Досліджувалися два операційні профілі: (1) глобальна експлуатація без фіксованого маршруту (усереднені вітрові умови) та (2) регулярні трансатлантичні рейси Роттердам - Септ-Іль (Квебек). У другому випадку, за сприятливіших вітрів, розрахункова економія перевищила 50%.

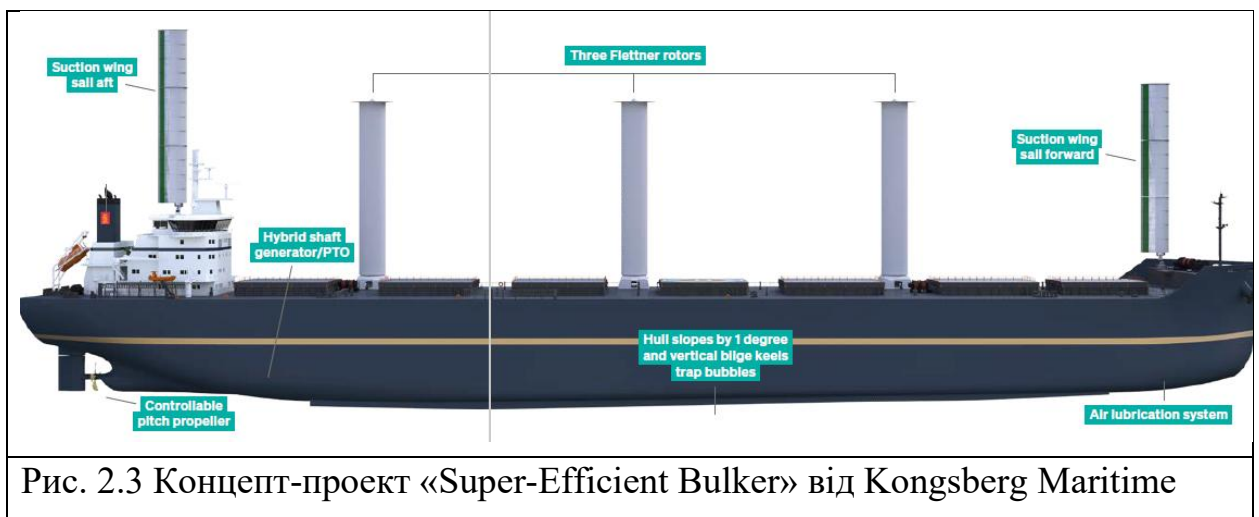


Рис. 2.3 Концепт-проект «Super-Efficient Bulker» від Kongsberg Maritime

Ключові технічні заходи та їх внесок:

- Операційний режим: прийнято зниження швидкості на ~1 вузол (slow steaming), що зменшує витрати палива, викиди та навантаження на обслуговування без суттєвої втрати дохідності.

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

- Вітрова підтримка (WAPS): застосовано комбіновану конфігурацію -три ротори Флеттнера (центральні -відкидні для спрощення вантажних операцій) та два всмоктувальні крилові вітрила. Комбінування технологій покриває ширший діапазон кутів і швидкостей вітру та забезпечує більший сукупний ефект, ніж кожна технологія окремо.

- Повітряне змащення (ALS): передбачено подачу повітря в носовій частині з розподілом уздовж днища для зниження тертявого опору. Враховано недоліки традиційних «бульбашкових» систем (швидкий вихід бульбашок у корму/борти та високі витрати повітря).

- Інноваційна форма корпусу: для утримання повітря під днищем запропоновано похилу посадку корпусу (ніс дещо вище за корму на $\sim 1^\circ$) і вертикально орієнтовані кільові бруси як «стіни» для бульбашок. Корпус розширено: збільшено площу днища, де ALS ефективна, та зменшено площу борту, де ефект мінімальний. Хоч «голий» опір дещо зростає, сумарний виграш від ALS є вищим; дедвейт збережено за рахунок меншої осадки носом. Оціночно, чистий ефект ALS для цієї форми корпусу вдвічі вищий, ніж для стандартного корпусу з ALS.

- Енергетична архітектура: застосовано гібридний валогенератор (РТО) з частотним керуванням для живлення підвищеного «hotel load» (електроприводи WAPS, компресори ALS), що особливо доцільно на знижених русійних потужностях. Встановлено гвинт змінного кроку для кращої гнучкості з вітровою підтримкою та збільшеним потенціалом РТО.

- Системна оптимізація: інтелектуальна система енергоменеджменту (iEMS) у поєднанні з програмами оптимізації енергоспоживання й маршруту забезпечує погодну оптимізацію використання вітру та русійної установки.

- Керування станом поверхні: Hull Skater (бортовий робот) для превентивного очищення корпусу неабразивними щітками на ранніх стадіях обростання, що стабілізує тертеві втрати протягом циклу між докуваннями.

Таблиця 2. 2 Порівняння ефективності проекту для різних рейсів

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

The Super-Efficient Bulker in numbers
Total annual fuel consumption (propulsion+hotel load)

SCENARIO 1 Global operation		SCENARIO 2	
Operation/ Design feature	Fuel cost saving (%)	Transatlantic (Rotterdam to Sept-Îles) Operation/ Design feature	Fuel cost saving (%)
Slow steaming	-17%	Slow steaming	-17%
Wind: sails/rotors	-18%	Wind: sails/rotors	-30%
Hybrid Shaft Generator – Power Take Out (PTO)	-2%	Hybrid Shaft Generator – Power Take Out (PTO)	-2%
Air lubrication	-11%	Air lubrication	-10%
Wider, hull	+4%	Wider, hull	+4%
Total saving	-44%	Total saving	-56%

Результати та економіка:

- Порівняння виконувалося з найновішими проєктами балкерів (а не з морально застарілою базою), що підвищує достовірність отриманих оцінок.
- Сумарна економія палива за сценаріями -приблизно 44–56%; для трансатлантичного маршруту з кращими вітрами -понад 50%.
- Термін окупності комплексу заходів оцінюється близько 5 років завдяки суттєвому скороченню експлуатаційних витрат.
- Сукупність рішень (комбіноване WAPS + вдосконалене ALS + slow steaming + iEMS + PTO + CPP + чистий корпус) формує реалістичну альтернативу переходу на низьковуглецеві палива з точки зору досягнення показників ефективності та відповідності EEXI/CII.

Запропонований концепт-проект «Super-Efficient Bulker» є інтегрованим рішенням, у якому окремі технології взаємодоповнюють одна одну,

					КРМ. ОП135.6211м.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

забезпечуючи значний системний ефект у зменшенні опору та споживанні палива.

2.3 Розробка заходів з модернізації пропульсивного комплексу

Зменшення споживання палива та викидів вуглекислого газу є двома головними проблемами судноплавної галузі сьогодні. Уже багато зроблено в плані досліджень і розробок, щоб створити ідеальний екологічний корабель. Від відновлюваних/альтернативних джерел енергії до модифікацій дизайну, промисловість постійно вдосконалює свої технології для покращеної форми сталого судноплавства.

Міжнародна морська організація (ІМО) запроваджує нові нормативні стандарти щодо енергоефективності суден - індекс енергоефективності існуючих суден (ЕЕХІ) та індикатор інтенсивності вуглецю (СІІ), які набудуть чинності в січні 2023 року. Незважаючи на неминучість реалізації за допомогою цих заходів власники суден мають можливість швидко підготувати свої активи до відповідності за допомогою досвіду привідних компаній які займаються проектуванням та вдосконалення суден та широкого спектру рішень, розроблених для виконання всіх операційних, комерційних, бюджетних і часових вимог.

Першим кроком для покращення досягнутого значення ЕЕХІ є заміна консервативної наближеної еталонної швидкості та стандартних значень питомої витрати паливного палива на дані вимірюваних випробувань моделі та цехових випробувань. Згодом дані тестування моделі можуть бути замінені чисельними розрахунками.

Якщо після застосування індивідуальних даних на основі наданих документів розрив між досягнутим значенням ЕЕХІ та необхідним значенням ЕЕХІ все ще залишається, проект не відповідає вимогам ЕЕХІ, і потрібні зміни в проекті. Це може бути встановлення енергоефективних технологій або обмеження встановленої потужності головного двигуна.

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Популярними технологіями енергоефективності є енергозберігаючі пристрої, такі як направляючі насадки перед гвинтом, які збільшують еталонну швидкість для постійної встановленої потужності. Згідно з інструкціями з розрахунку EEXI, ефективність цих пристроїв має визначатися випробуваннями моделі.

Рішення, яке найчастіше обирають для покращення досягнутого EEXI, це обмеження потужності двигуна. При обмеженні доступної пропульсивної потужності значення потужності основного двигуна, що використовується у формулі EEXI, зменшується, але при цьому зменшується еталонна швидкість судна, а також зростає питома витрата мазуту. Необхідний рівень обмеження потужності двигуна повинен бути визначений шляхом ітераційного розрахунку.

Залежно від типу та розміру судна, а також цільової базової швидкості, в принципі можна розглянути численні заходи:

- Переобладнання гребного гвинта.
- Переобладнання пристроїв покращення рушійної сили (PID), напр. кормові канали, канали вирівнювання кільватерного кільватеру (WED), канали попереднього завихрення (PSD), статори попереднього завихрення (PSS), ребра вихрового генератора (VGF), ребра ковпачка гвинта (PBCF), рульові лампи в поєднанні з кришками гвинта, кручені рулі та ін.
- Модернізація систем повітряного змащення (ALS).

СПГ-паливо, двопаливні двигуни та модифікації конструкції активно вивчаються, щоб зменшити експлуатаційні витрати та знайти екологічні способи відповідати суворим екологічним нормам.

Air lubrication (система повітряного змащування) – це метод зменшення опору між корпусом судна та морською водою за допомогою бульбашок повітря. Також відома як «технологія бульбашок», вона працює за принципом подачі повітря до днища судна, щоб створити шар крихтих бульбашок, які допоможуть зменшити тертя між корпусом і морською водою.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Розподіл повітряних бульбашок по поверхні корпусу зменшує опір, що діє на корпус судна, створюючи ефект енергозбереження. Очікується, що завдяки правильній конструкції корпусу судна система повітряного змащування дозволить досягти скорочення викидів CO₂ на 10-15% разом із значною економією палива. Компанія Silverstream Technologies встановила свою систему повітряного змащування Silverstream System на судні Norwegian Cruise Line. Це перша комерційна установка для підвищення ефективності експлуатації та захисту навколишнього середовища як засобу зменшення викидів, витрат на паливо та підвищення стійкості їхньої діяльності. Система Silverstream виробляє тонкий шар мікробульбашок, який створює єдиний «повітряний килим» уздовж корпусу судна. Це зменшує опір тертя між водою та корпусом і покращує експлуатаційну ефективність судна, зменшуючи споживання палива та відповідні викиди. Цю технологію можна додати до нової конструкції або модернізувати на існуючому кораблі всього за 14 днів.

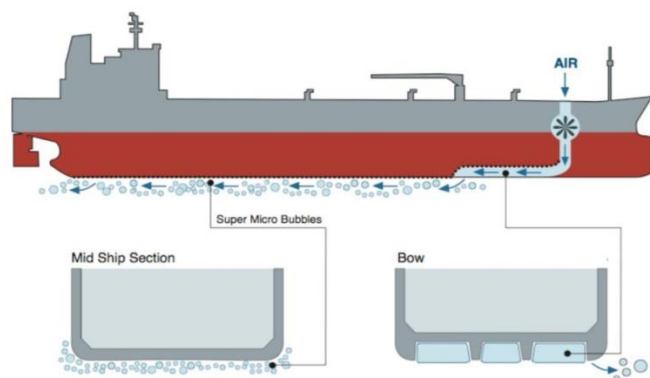


Рис. 2.4. Air lubrication (система повітряного змащування)

<https://www.linkedin.com/pulse/hull-air-lubrication-method-drag-reduction-ocean-going-jaura>

Fuel Saving Propeller Attachment. Енергозберігаючий пристрій, розроблений компанією Mitsui OSK. Воно складається з маточини гвинта, оснащеної короткими лопатями, розташованими під кутом один до одного для перетворення енергії вихрового руху маточини в додатковий крутний момент і тягу, що передаються назад на вал. За підсумками великого досвіду експлуатації заявлено поліпшення тяги на 4–5%. Усунення вихрового руху

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

маточини гвинта призводить до зниження вібрацій корми та зниження шуму гвинта. Крім того, воно вирішує низку проблем, пов'язаних з ерозією керма. До отриманих даних слід ставитися з обережністю, оскільки кермо суттєво знижує вихровий потік навколо маточини і, отже, підвищує ефективність гвинта за рахунок PBCF.



Рис. 2.5. Fuel Saving Propeller Attachment (додаток на гвинт)

<https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/power-saving-devices>

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Propellers (Полімерні гвинти, армовані вуглецевим волокном (CFRP)). Пропелери, виготовлені з використанням полімерів, армованих вуглецевим волокном (CFRP), легші, ніж традиційні гвинти, і можуть підвищити ефективність руху на 3-6%, а також зменшити підводний шум, який випромінює судновий двигун.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2.6. Carbon Fiber Reinforced Polymer Propeller (Полімерний гвинт, армований вуглецевим волокном)

Eco Marine Power також вивчає, як CFRP можна використовувати для інших суднових енергозберігаючих пристроїв і технологій. Інші переваги гвинтів CFRP включають: висока міцність, низький рівень вібрації, легше обслуговування.

Becker Mewis Duct (спрямовуючий канал гвинта). Becker Mewis Duct - економічний спосіб значного скорочення викидів CO₂ і NO_x. Канал Becker Mewis розміщений перед пропелером з метою покращення потоку до нього. Пристрій поєднує в собі статор попереднього завихрення і повітропровід. Нерухомі лопаті статора створюють попереднє завихрення, надаючи пропелеру більш вигідний кут атаки. Повітропровід збільшує швидкість потоку в напрямку гвинта і створює спрямовану вперед силу своєю формою крила. Ці функції забезпечують можливу економію енергії до 8 відсотків для повноформатних повільних суден, таких як танкери та балкери. Підвищення ефективності рушійної установки цих типів суден значною мірою сприятиме зменшенню викидів забруднюючих речовин і економії викопного палива в судноплавстві.

Результати випробувань і відгуки результати ходових випробувань після першої установки Mewis Duct у листопаді 2009 року показали величезний потенціал енергозбереження для судна. Повномасштабні вимірювання потужності відповідали прогнозам випробування моделі, і при легкій баластній тязі та робочій швидкості вже показали приблизно 4,5-відсоткове зниження потреби в електроенергії. Середньорічна економія 430 т мазуту для цього судна відповідає приблизно 200 000 доларів США нижчі витрати на паливо, на 1400 т менше CO₂ і на 50 т викиди NO_x. Наразі встановлено п'ять каналів Becker Mewis, які демонструють значне скорочення викидів вуглекислого газу. Зниження викидів продовжуватиметься завдяки 50 замовленням, які вже розміщено на Becker Mewis Duct для різних типів і розмірів суден. Чотири з них є дуже великими танкерами для перевезення сирої нафти (VLCC), які побудовані в Кореї для доставки в 2011-2013 роках. Кожен VLCC має вантажопідйомність 320 000 тон. Becker Mewis Duct знизив викиди CO₂ на 4500 т для кожного судна на рік. Підвищення ефективності за допомогою каналу Mewis на згаданих вище VLCC становитиме 7 відсотків.



Рис. 2.7. Becker Mewis Duct (спрямовуючий канал гвинта)

<https://www.becker-marine-systems.com/products/product-detail/becker-mewis-duct.html>

2.4. Вибір типу ГД, розгляд альтернативних варіантів комплектації

Так як застосований ну обраному судні двигун MAN 6G60ME-C9.5, спроектований враховуючи сучасні технології і вже являється деформованим і

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

в подальшому зменшувати його потужність не має великого сенсу. За рахунок обраних ESD в перспективі можна буде досягнути тих самих, а може навіть і вищих робочих параметрів. Зниження потужності ГД дозволяє знизити шкідливі викиди в атмосферу і витрати палива, що підвищує загальну ефективність судна. Для обраного судна можна взяти як потенційні для встановлення наступні двигуни. Ми залишимо наш двигун і зробимо його двопаливним. При роботі двигуна на метанолі буде зменшена кількість дизельного палива, що призведе і до зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферу NO_x, SO_x, та CO₂.

Табл. 2.1 Можливі варіанти заміни ГД

Виробник	Двигун	NCR/RPM	SFC/SGC, г/кВт*г
MAN	5S60ME-C10.7	12450/105	166
J-ENG	5UEC60LSE-Eco-A2	11900/105	170

Враховуючи що за допомогою обраних ESD можна отримати збільшення ефективності пропульсивної установки приблизно в 12 відсотків, то ж обраний новий двигун можна розраховувати на меншу потужність. Так як існуючий двигун має потужність 9200 кВт, то новий можна буде експлуатувати на потужності $NCR = 9200 * 0.88 = 8096$ кВт.

Фірма для двигунів серії **S60ME-C** пропонує систему заходів, щодо переходу на альтернативні сорти палив, зокрема – **метанол**. Для цього розроблені програми “**ME/ME-B/ME-C retrofit solutions**” які передбачають поетапний перехід до двопаливної конфігурації ГД. Двигуни серії ME-C дозволяють забезпечити гнучкість паливної стратегії без необхідності повної заміни головного двигуна, що знижує капітальні витрати та скорочує час простою судна, така модернізація сприяє забезпеченню відповідності новим

стандартам ІМО щодо СІІ та ЕЕХІ, а також підвищенню енергоефективності експлуатації судна.

Для ефективного упорскування газу двигуну Everllence B&W ME-GI/GIE потрібно, щоб СПГ/етан випаровувався і подавався під тиском близько 300 бар. На додаток до основної модернізації двигуна, необхідно включити газорозподільний механізм (GVT) до системи подачі паливного газу (FGSS), яка включає нову розроблену Everllence систему PVU.

Завдяки досвіду роботи з новими судами Everllence B&W ME-GI/GIE, ми маємо широкий та повний спектр рішень, які ми застосуємо у вашому проекті модернізації.

Об'єм модернізації головного двигуна

- Кришки циліндрів із газовими форсунками
- Блоки керування газом
- Газопровідні трубопроводи (двостінні труби високого тиску)
- Система ущільнювального масла
- Встановлення системи керування Everllence B&W ME-GI/GIE

Переваги модернізації Everllence B&W ME-GI

- Високі екологічні показники
- Низькі викиди NO_x та CO₂
- Видалення твердих частинок
- Відсутність SO_x – відповідність вимогам 2020 року
- Позитивний вплив на EEDI

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

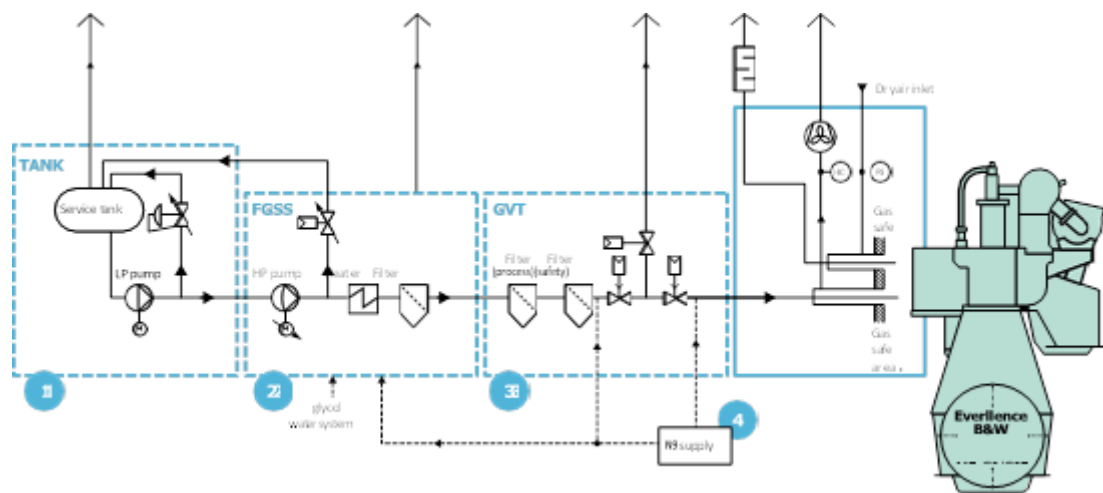


Рис.2.8. Установка системы керування Everllence B&W ME-GI/GIE

Насосно-випарювальний блок

Насосно-випарювальний блок Everllence B&W ME-GI/GIE (PVU) - це стандартизований високоякісний насосний блок для подачі ЗПГ або етану до двотактних двигунів Everllence B&W ME-GI/GIE. Завдяки компактній та інтелектуальній конструкції, PVU забезпечує простоту конструкції та інтеграцію до системи подачі паливного газу (FGSS). Система Everllence PrimeServ Assist є інтегрованою частиною PVU та забезпечує цілодобовий моніторинг, а також можливість віддаленого обслуговування блоку.

Завдяки компактній та інтелектуальній конструкції, PVU забезпечує значну економію всю систему подачі паливного газу (FGSS). Це досягається рахунок спрощення конструкції, що призводить до скорочення кількості підсистем і компонентів. Завдяки індивідуальному управлінню кріогенними насосами забезпечується вбудоване резервування. Це означає, що один циліндр насоса може бути виведений з експлуатації для капітального ремонту, в той час як два повністю працездатні і, як і раніше, здатні забезпечувати до 100% необхідної продуктивності, залежно від PVU і компонування двигуна. Для порівняння, традиційним насосам з приводом від колінчастого валу потрібно два повні блоки для забезпечення резервування системи.



Рис 2.9.Блок випарника насоса (PVU)

З огляду на те, що балкер DIETRICH OLDENDORFF є сучасним судном, побудованим із використанням новітніх енергозберігаючих технологій, доцільним рішенням є поетапна модернізація його енергетичної установки до повнофункціональної гібридної системи з інтеграцією запропонованих ESD-рішень.

Очікувані переваги від впровадження гібридної СЕУ:

1. Зменшення витрат палива → нижчі операційні витрати (OPEX)
2. Менше зношування обладнання → нижчі витрати на техобслуговування
3. Зниження шкідливих викидів → менші екологічні платежі
4. Розширення корисного об'єму судна
5. Краща адаптація до альтернативних палив
6. Зменшення ризику відмов електропостачання (blackout).

2.5 Визначення складу гібридної енергетичної установки судна

Найбільш доцільним рішенням для модернізації балкера «Dietrich Oldendorff» є поетапний перехід до повнокомплектної гібридної енергетичної установки. В складі гібридної СЕУ передбачається наявність ДВЗ,

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

малообертового ГД та трьох ДГ, електрохімічного генератора на базі протонообмінних паливних комірок (PEM FC) та валогенератора та акумуляторних батарей.

На рис.2.12 показана схема СЕУ, в основі який покладена концепція фірми Wärtsilä «Advanced Energy Management» – (АЕМ).

АЕМ передбачає використання на судні різних джерел енергії механічної та електричної, а саме ДВЗ, електродвигунів, валогенераторів, систему утилізації теплових викидів, акумуляторних батарей, та блоку паливних комірок.

Гібридна енергетична установка поєднує систему зберігання енергії (суднову акумуляторну батарею, ESS) із традиційним двигуном. Акумулятор згладжує піки споживання потужності, усуваючи динамічні навантаження на двигун, що зменшує витрати палива.

Крім того, стабільний (сталий) режим навантаження дає змогу безпечно працювати на вищих коефіцієнтах навантаження та знижує зношування. Енергія для батарей може надходити від берегової зарядки або від надлишкової потужності на борту під час роботи двигуна на оптимальному навантаженні.

Перехід судна на гібридну систему -ефективний шлях максимізувати час роботи двигунів в оптимальному режимі без згаданих компромісів.

Багато гібридних суден можуть працювати з нульовими викидами у повністю електричному режимі під час входу/виходу з порту. **Наявність батарей** усуває потребу тримати кілька двигунів на оптимальному навантаженні: батарея виконує роль обертового (гарячого) резерву, готового до миттєвого підхоплення навантаження. Це особливо важливо для суден з динамічним позиціонуванням (DP), наприклад офшорних сервісних суден. Додатковою перевагою батареї є менший час наростання потужності та краща маневреність.

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

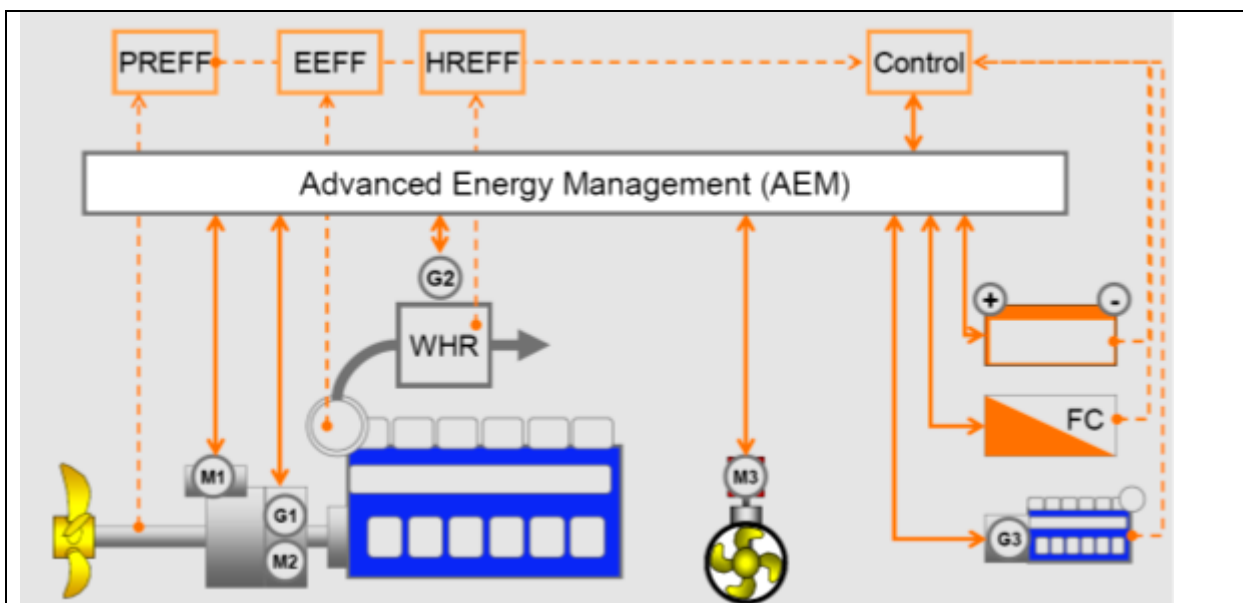


Рис. 2.10 Концепція енергетичного менеджменту в гібридній СЕУ

Система енергоменеджменту (EMS). Найефективніші гібридні рішення оснащуються спеціалізованою EMS, що інтегрує та керує компонентами гібридної пропульсивної установки. Це забезпечує миттєве перемикання між двигуном і батареєю або їх паралельну роботу. EMS є «ядром» гібридної системи: вона оптимізує роботу енергосистеми та подовжує ресурс батарей, запобігаючи їх надмірному заряджанню/розряджанню. Для досягнення найкращих результатів необхідна достатньо «розумна» EMS, здатна оптимізувати потоки енергії між джерелами та споживачами у всіх режимах експлуатації.

На рисунку 2.11 представлено принципову схему сучасної повнокомплектної гібридної установки Wärtsilä HY, яка є еволюційним продовженням попередньої концепції. Wärtsilä HY - це універсальне рішення, придатне як для новобудов, так і для модернізації наявних суден.

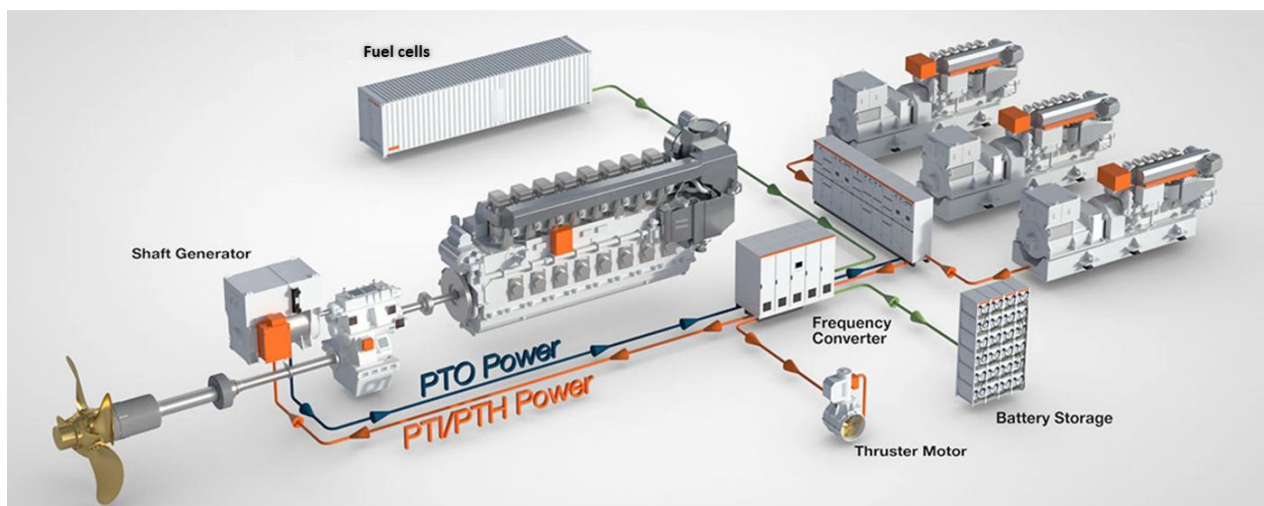


Рис. 2.11 Принципова схема гібридної суднової ЕУ Wärtsilä НУ

Установка Wärtsilä НУ оснащена системою управління енергетикою (EMS), що оптимізує розподіл енергії між усіма джерелами та споживачами. Ключові компоненти - двигун, електроприводи та система накопичення енергії - інтегровані в єдиний функціональний комплекс, що забезпечує вищий рівень керованості та ефективності порівняно з підходами, у яких акумуляторна система лише додається до традиційної енергетичної установки. З урахуванням зростання вартості палива та підвищеного тиску на експлуатаційні витрати, впровадження гібридної енергетичної системи надає можливість суттєво зменшити витрати або навіть підвищити прибутковість суднової експлуатації за рахунок реалізації п'яти основних механізмів:

1. **Оптимізація паливоспоживання.** Гібридне судно може працювати у повністю електричному режимі, зокрема під час швартування або маневрування, що значно знижує витрати палива. Акумуляторна система дозволяє згладжувати піки навантаження, підтримуючи роботу основного двигуна в оптимальному режимі. Для новобудов це дає змогу застосовувати двигун меншої потужності, що також позитивно впливає на загальну витрату палива.

2. **Зменшення витрат на технічне обслуговування.** Робота двигунів у більш стабільних і енергоефективних режимах знижує механічні навантаження, подовжує ресурс і зменшує загальний обсяг технічного

обслуговування. Частину навантаження бере на себе батарея, що зменшує кількість годин напрацювання двигуна.

3. Скорочення фінансових ризиків, пов'язаних із регуляторними обмеженнями щодо викидів. Зменшення споживання палива та викидів CO₂, NO_x та інших шкідливих речовин дозволяє судну відповідати сучасним екологічним вимогам (CII, FuelEU Maritime, EU ETS), знижуючи або повністю усуваючи фінансові санкції.

4. Рациональне використання об'єму судна. Завдяки компактності акумуляторних модулів та зменшеним розмірам основних двигунів (у порівнянні з традиційними системами), вивільняється простір, який може бути використаний для перевезення вантажів, пасажирів або розміщення систем альтернативного палива, що зазвичай потребують більше місця.

5. Готовність до переходу на альтернативні види палива. Гібридна система дозволяє підвищити енергоефективність судна, що особливо важливо при переході на дорожчі «зелені» палива (наприклад, аміак чи метанол), дозволяючи зберегти контрольовану величину експлуатаційних витрат. Для гібридного судна типова економія палива становить **15–25%** порівняно з традиційною дизельною установкою.

Так за даними Wärtsilä для балкера 65 000 DWT із гібридною силовою установкою Wärtsilä HY впровадження гібридної пропульсивної системи на балкері дозволяє знизити річні витрати на паливо до 40%. Цей результат досягається за рахунок:

- підтримки оптимального режиму роботи основного двигуна в усьому діапазоні навантажень;
- можливості маневрування та портових операцій у повністю електричному режимі без викидів;
- зменшення навантаження на допоміжні дизель-генератори, що покращує екологічний рейтинг (наприклад, CII);

					КРМ. ОП135.6211м.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- підвищення енергетичної безпеки за рахунок зниження ризику повного знеструмлення (blackout).

Wärtsilä НУ є інтегрованим рішенням гібридної суднової енергетичної установки. рішенням її ключова особливість - інтеграція всіх компонентів (двигун, електроприводи, накопичувачі енергії) в єдиний узгоджений комплекс із централізованим управлінням потоками енергії за допомогою Energy Management System (EMS).

Розділ 3. Проектування допоміжної ЕУ

3.1. Розробка теплової схеми та схеми утилізації скидної теплоти.

Головні споживачі електричної та теплової енергії на судні

В СЕУ теплові потоки від двигунів, головних та допоміжних, ПК, системи WHR об'єднані загальною тепловою схемою (рис. 3.1), що дає можливість більш ефективно утилізувати їх теплові викиди. Згідно рекомендацій виробника головного двигуна фірми MAN, обрано централізовану систему охолодження водою.

Водоопріснювальна установка використовує теплоту з контуру прісної води ГД для генерування якісної питної води. Кожен двигун має комбінований утилізаційний котел, який постійно забезпечує парою всі необхідні споживачі на судні.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

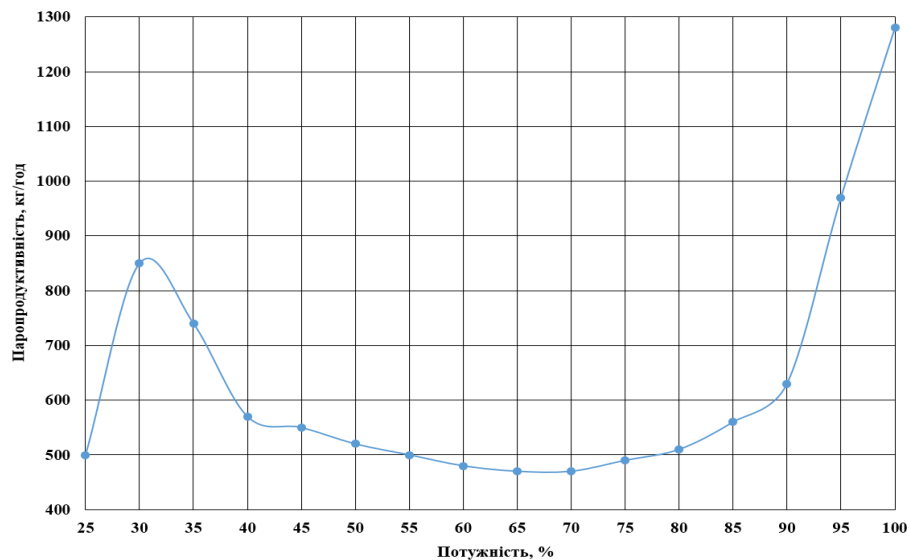


Рис.3.2. Паропродуктивності УК в залежності від потужності ГД

В загальному випадку електрохімічний генератор на основі РЕМ FC можна розглядати, як елемент теплової схеми та джерело додаткових теплових потоків.

3.2. Вибір комплектуючого обладнання СЕС, УК, ДК

На судні можна розділити наступні споживачі електроенергії поділяють такі основні групи:

- засоби судноводіння та зв'язку; механізми, апарати, пристрої ГЕУ (насоси, компресори, вентилятори, нагрівачі та ін.);
- механізми суднових пристроїв (якірного, швартовного, вантажного, шлюпкового тощо);
- механізми загально суднових систем (насоси, компресори, вентилятори);
- споживачі слабого струму (внутрішньо судновий зв'язок, світлова та звукова сигналізація, кермові та машинні телеграфи тощо);
- прилади освітлення;

- побутові споживачі (електрогрівки, камбузне та пральне обладнання, обладнання побутових приміщень тощо);
- спеціальні споживачі (системи автоматики, системи озброєння бойових кораблів тощо).

За ступенем важливості, характером та тривалістю роботи суднові споживачі електроенергії розбиваються на такі категорії:

- I категорія – споживачі, які потребують постійного та безперервного живлення (не допускають перерв у живленні). Живлення таких споживачів забезпечується електромашинними перетворювачами, електродвигуни яких отримують живлення через автоматичні перемикачі мережі – АПС, або через автоматичні перемикачі-пускачі – АПД;
- II категорія – споживачі, які допускають перерви у живленні на час спрацьовування АПС чи АПД; До споживачів I та II категорій зазвичай належать засоби навігації та зв'язку, основні механізми ГЕУ, системи управління та захисту реакторів, засоби, що забезпечують живучість судна та безпеку плавання (пожежні насоси, кермові машини тощо), системи озброєння бойових кораблів тощо .д.;
- III категорія – споживачі, котрим допускаються перерви у живленні на час ручного перемикавання. До цих споживачів, як правило, належать менш важливі споживачі загально суднових систем та ГЕУ;

IV категорія – споживачі, котрим допускаються тривалі перерви у живленні. До них відносяться побутові електроприлади, нагрівачі, камбузне обладнання тощо.

За родом струму розрізняють споживачі постійного та змінного струму. Споживачі постійного струму своєю чергою поділяються на групи залежно від вимог до стабільності напруги (напруга у мережах постійного струму може змінювати значення від 170 до 320В). Одна частина споживачів може

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

працювати тільки при стабілізованій напрузі, інша - при напрузі, що змінюється в певних межах.

Модернізації пропульсивного комплексу шляхом заміни ГД не має вагомого впливу на вироблення електричної енергії, а скоріше навіть навпаки. Впровадження нових допоміжних систем вимагає додаткових енерговитрат. Для компенсації таких додаткових витрат енергії і було запропоновано встановлення валогенератора.

Валогенератор. Валогенераторні установки можна класифікувати за родом струму, характером з'єднання з гребним валом або головним двигуном, частотою обертання головного двигуна або гребного валу та за умовами роботи у складі електростанції.

За родом струму вони поділяються на:

- валогенераторні установки постійного струму;
- валогенераторні установки змінного струму;
- комбіновані валогенераторні установки постійного та змінного струму.

За характером з'єднання з гребним валом або головним двигуном:

- установки з жорстким зв'язком (редукторний, ланцюговий, та ін.);
- установки з гнучким зв'язком (система генератор - двигун, регульована електромагнітна муфта, гідравлічна передача та ін.).

За частотою обертання головного двигуна або гребного валу на:

- установки із постійною частотою обертання;
- установки із змінною частотою обертання.

В якості валогенератора обираємо валогенератор з постійним магнітом фірми АВВ модель АМЗ потужністю 1200 кВт. Основні характеристики валогенераторів серії АВВ АМЗ наведені в таблиці 3.1

Таблиці 3.1 Характеристик валогенераторів

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Main specifications

Operating modes	PTO/PTI/PTH with full converter
Rated power	1000 - 4000 kW
Base speed	30 - 80 rpm (typical)
Torque	175 – 575 kNm
Voltage	400 - 690 V (extendable to high voltage on request)
Enclosure	IP 44, up to IP 54 on request

High efficiency, even at low speed and partial load operation

Small footprint, better power/size and power/weight ratio

Redundant cooling with a water jacket and heat exchanger

Simple and reliable rotor geometry

Designed according to IEC 60034 and relevant major classification society requirements

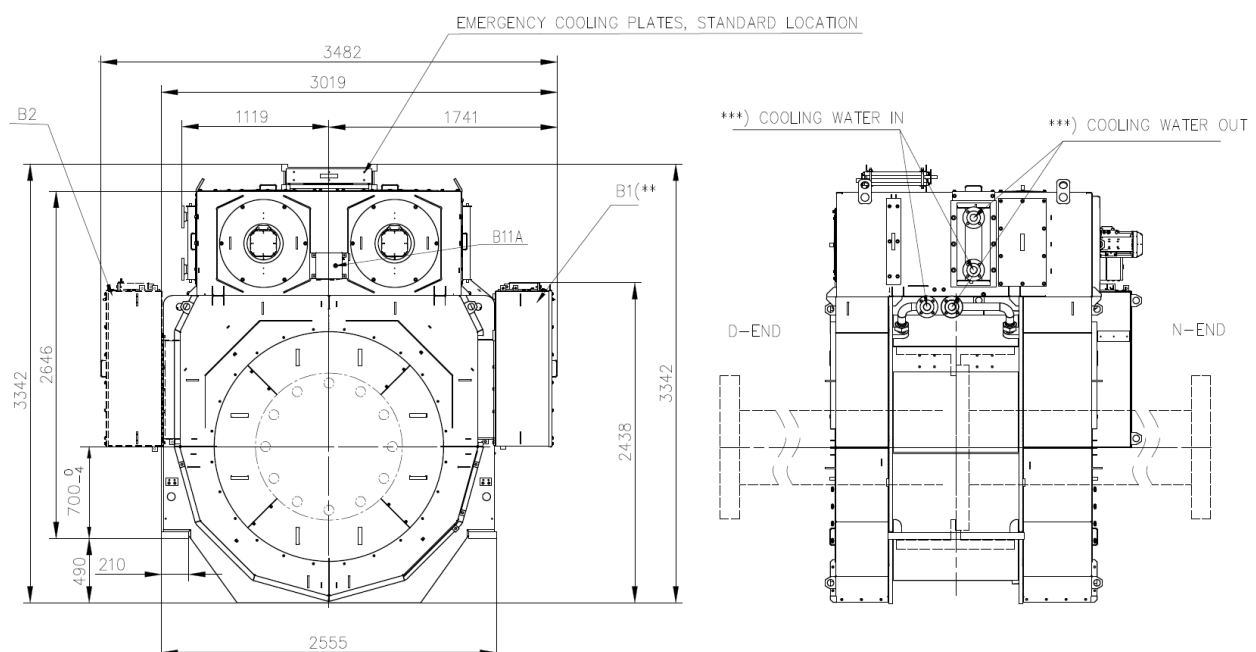


Рис.3.3. Габаритні розміри валогенератору ABB AMZ

Системи берегового живлення. Системи берегового живлення на борту доступні в діапазоні потужностей від 0 до 20 МВт. Менші судна, такі як поромні, зазвичай використовують низьковольтні рішення, тоді як великі судна - круїзні лайнери та контейнеровози - потребують високовольтного

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

живлення. Доцільним буде включення до плану модернізації СЕУ обладнання компанії АВВ, рис. 4.10.

Shore power connection забезпечує енергопідключення як у низьковольтному виконанні (менше ніж 1 кВ змінного струму або менше ніж 1,5 кВт постійного струму) відповідно до вимог IEC/IEEE 80005-3 LVSC, так і у високовольтному виконанні (від 6,6 до 11 кВ) згідно з IEC/IEEE 80005-1 HVSC.

Роз'єми і штекери стандартизовані для різних типів суден: roll-on/roll-off та пасажирські поромы (11 кВ), контейнеровози (6,6 кВ), круїзні судна (6,6 або 11 кВ). Для цих суден також передбачені стандартизовані системи управління кабелями.

До складу берегової системи високовольтного живлення входять:

- Шафа високовольтного підключення до берега
- Інтерфейс автоматизації між берегом і судном
- Ввідний щит головної розподільної системи
- Системи керування та захисту
- Ланцюги безпеки
- Панель підключення.



					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

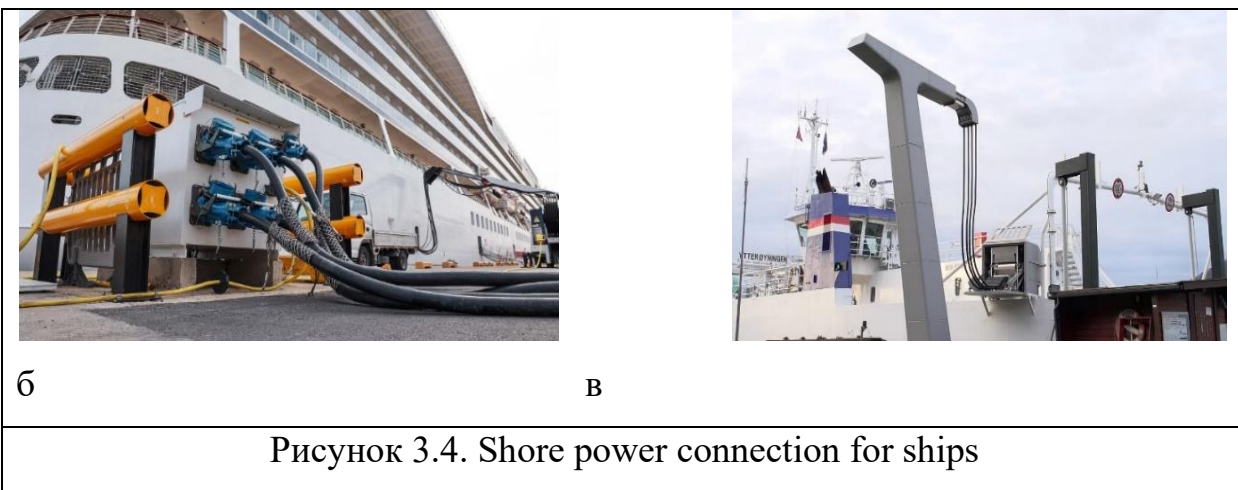


Рисунок 3.4. Shore power connection for ships

Шафа берегового з'єднання розроблена відповідно до вимог провідних класифікаційних товариств. Вона містить силові та керуючі модулі, а також може мати або штекери на передній частині, або отвори внизу для введення кабелів. Інтерфейси автоматизації стандартизовані на базі платформи ABB та відповідають вимогам класифікаційних товариств.

Головний розподільний щит встановлюється залежно від проєктного рішення:

- або як окремий відсік у складі головного розподільного щита судна, із вмонтованим автоматом, пристроями керування і захисту, - або як «панель генератора», яка підключається до головної електричної системи за допомогою кабелів або струмопровідних шин.

Система керування енергоспоживанням з інтегрованим береговим живленням, комплектація:

- Трансформатор для пониження напруги (shore-to-ship)
- Інтерфейс "людина-машина" (HMI) для керування системою
- Система управління кабелем (особливо для контейнеровозів)
- Автоматичний регулятор напруги - Unitrol® 1020
- Система керування двигуном -DEGO IV
- Актуалізація дослідження узгодження захистів (Protection Coordination Study)

Схема підключення до берегової електромережі. NG3 PLUG - це автоматизований з'єднувач берег-корабель, який використовувався для

холодного прасування та заряджання. У типовій системі PLUG, коли судно пришвартоване, човниковий брус, з'єднаний з ланцюгом з боку судна над причалом, опускається донизу, щоб досягти з'єднувача берегової сторони. Потім човниковий брус фіксується на з'єднувачі причалу. Потім ланцюг піднімає розетку живлення до розетки з боку судна. NG3 PLUG використовувався для забезпечення Color Hybrid нічною зарядкою потужністю 2,5 МВт та денною зарядкою потужністю 6,5 МВт.

Для бортової системи управління живленням існує три стани: 1) робота в повністю електричному режимі; 2) робота в гібридному режимі (або аварійному режимі для повністю електричних поромів); 3) зарядка з берега. У першому режимі перетворювач, підключений до бортових акумуляторних батарей, повинен контролювати не тільки вихідну потужність батареї, але й напругу постійного струму, якщо генератори не працюють. У другому та третьому режимах перетворювач контролює лише живлення батареї. Крім того, під час процесу зарядки, в якому бортова шина постійного струму підключена до берегової шини, щоб уникнути нестабільності не повинно бути двох перетворювачів, що керують шиною постійного струму. У випадку безпосередньо підключених бортових батарей повинен бути виділений DCDC-перетворювач для управління потужністю зарядки, що робить берегову систему управління живленням більш складною. Під час процесу заряджання контроль стану заряду та рівня напруги батарей, а також команди запуску та зупинки виконуються за допомогою бортової системи керування живленням.

Утилізаційний котел. В якості допоміжного котла для даного судна обираємо котел фірми Aalborg Alfa Laval OC-TCi із пальником KBM 500 (рис.3.5). Котел показує високу продуктивність і призначений для виробництва пари. Він розроблений для вискоєфективного, зручного для користувача самоочищення та екологічного обслуговування

Aalborg OC-Tci – це високоякісний композитний котел, тобто комбінований котел, що працює на паливі та відпрацьованих газах, з

					КРМ. ОП135.6211м.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

діапазоном потужностей до 6500 кг/год пари з мазутної секції і вище до 5000 кг/год із секції вихлопних газів.

Композитні котли пропонують компактну альтернативу двох котлів разом в одне надійне виробництво пари як під час подорожі, так і перебування в порту. Конвекційна частина масляної частини та пальник є повністю інтегрований, і для цього не можна використовувати стандартні конфорки котел.



Рис. 3.5. Загальний вигляд котла Aalborg Alfa Laval OC-Tci
<https://www.alfalaval.com/uk/products/heat-transfer/boilers/oil-gas-fired-composite-steam-boiler/aalborg-oc-tci/>

Дизайн Aalborg OC-Tci був значно вдосконалений оптимізовано для досягнення кращого ефекту самоочищення в диму трубки та покращений контроль рівня води. Конструкція Aalborg OC-Tci являє собою вертикальний котел з секцією відведення відпрацьованих газів що складається з димових труб.

Табл. 3.2. Основні характеристики котла Aalborg Alfa Laval OC-Tci

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Aalborg Alfa Laval OC-Tci	
Кількість	2
Пара, що вироблюється	насичена
Тиск пари	0.6 Мпа
Температура живленої води	60°C
Паропроодуктивність кг/год	6500 кг/год

Паливна частина котла складається з пальника, парового простору і конвективної секції, яка складається з спіральних трубок з ефектом турбоочищення, в якому проходять відпрацьовані гази.

Інсинератор

В якості інсинератора обираємо виробника фірми Sunflame модель OSV-1200SAI

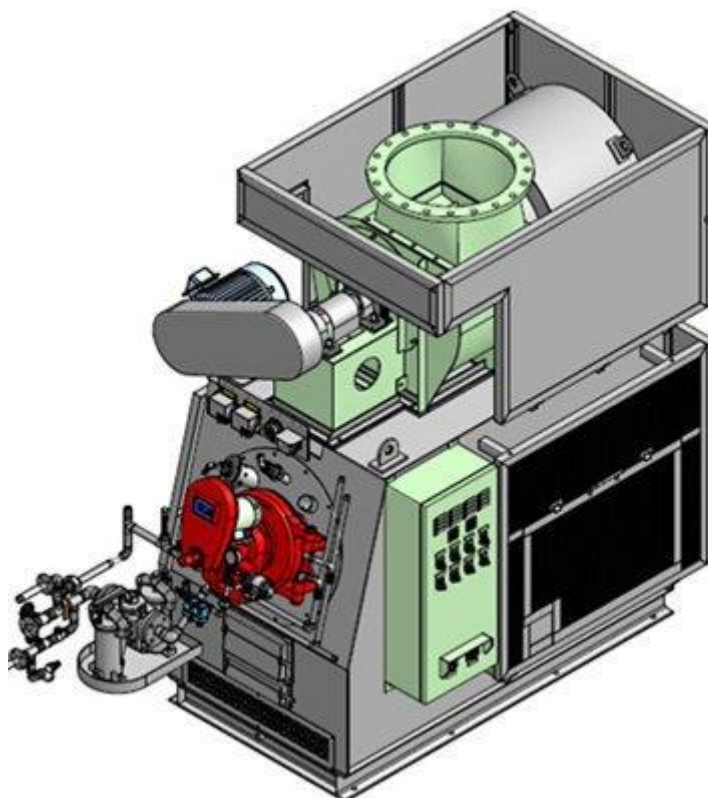


Рис. 3.6. Загальний вигляд Sunflame модель OSV-1200SAI

Табл. 3.3. Основні характеристики Sunflame модель OSV-1200SAI

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Sunflame OSV-1200SAI	
Габарити	2127x2910x2952
Потужність згорання	1200 кВт
Продуктивність спалювання твердих відходів (специфікація відходів ІМО)	100 кг/год макс.
Продуктивність спалювання рідких відходів	129 (кг/час)

Опріснювальна установка. В якості опріснювальної установки обираємо Wartsila SSD 1-1. Генератор прісної води працює за принципом вакуумної дистиляції для видалення солей та інших домішок з морської води та перетворює її у якісну питну воду.



Рис. 3.7. Опріснювальна установка Wartsila SSD 1-1

Використання процесу вакуумної дистиляції дозволяє використовувати низькотемпературне тепло, а саме відпрацьоване тепло головних дизельних двигунів для випаровування морської води. Для роботи установки достатньо теплоносія з температурою від 70 до 95°C, це може бути вода, пара або їх суміш.

Таблиця 3.4. Характеристики опріснювальної установки Wartsila SSD 1-1

					КРМ. ОП135.6211м.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Wartsila SSD 1-1	
Кількість	1
Продуктивність	8-35 т/добу
Питома теплова потужність	740 кВт/т
Питома електрична потужність	8.5 кВт/т
Габарити, L x W x H, мм	970x960x1680
Маса	620 кг

Wärtsilä SSD - це сучасна опріснювальна установка, призначена для далеко магістральних морських суден, бункерування яких прісною водою неможливе. Вона також застосовується у ситуаціях, коли для технологічних процесів потрібна чиста вода. Система використовує вакуумну дистиляцію для видалення солей та інших домішок з морської води та перетворення їх у високоякісну прісну воду (< 4 мкСм/см). Проста конструкція забезпечує безперервну та зручну експлуатацію.

3.3. Розробка заходів з обмеження емісії GHG, SO_x, NO_x та інших забруднень

Система рециркуляції відпрацьованих газів (Exhaust Gas Recirculation, EGR) в двигунах внутрішнього згоряння - клапан, що сполучає на деяких режимах роботи післядросельний простір впускного колектора з випускним колектором.

Клапан EGR, здатний направляти до 40% відпрацьованих газів через попередній розпилювач та блок EGR до точки змішування у впускному колекторі.

Принцип роботи системи наступний (рис.3.8):

Частина відпрацьованих газів із головного випускного колектора вихлопних газів двигуна рециркулює у повітря, що продуває, через спеціальний скруббер із замкнутим циклом, який видаляє шкідливі забруднення (РМ, оксиди сірки тощо). О₂ на впуску в двигун замінюється на СО₂. СО₂ має

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

вищу теплоємність, ніж O_2 , що знижує пікові температури в циліндрі. Знижений вміст O_2 у впускному повітрі зменшує швидкість згоряння, що знижує пікові температури в циліндрі. Нижчі пікові температури зменшують утворення NO і, отже, NO_x для відповідності Tier III.

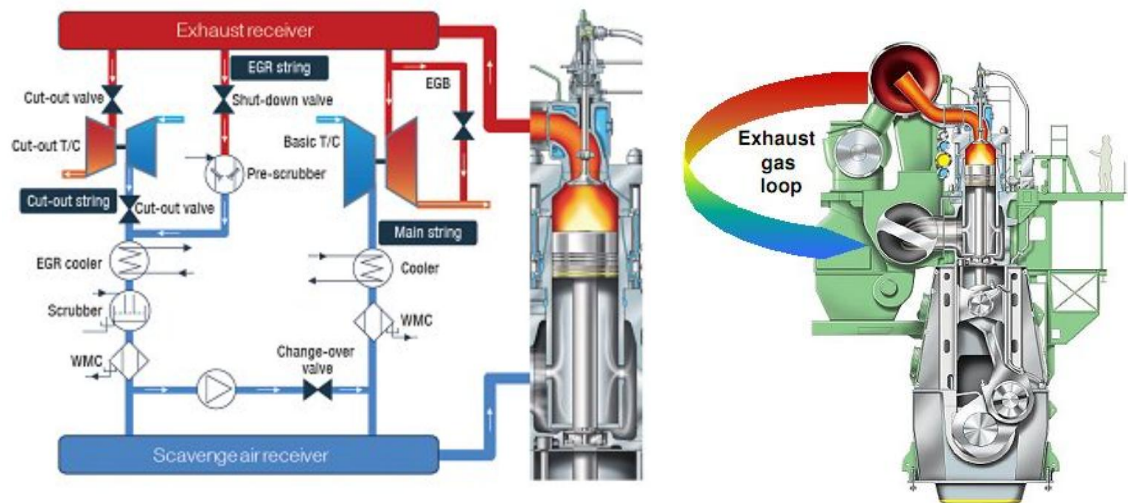


Рис. 3.8. Принцип роботи системи EGR

<https://www.egcsa.com/exhaust-gas-recirculation-explained/>

Схема перепусків може працювати за двома режимами:

- Режим Tier II

Працює лише основний потік. Клапани в ETV та CBV залишаються закритими. При цьому байпас відпрацьованих газів (EGB) повністю відкритий при високих навантаженнях і частково відкритий при низьких навантаженнях для балансування турбокомпресора.

- Режим Tier III

У режимі Tier III потік газів до EGR активується відкриттям запірного клапана ETV. Вихлопні газы попадають через систему попереднього розпилення та блок EGR до точки змішування та очищення в повітряний ресивер, за допомогою повітрودувки EGR. Коефіцієнт EGR контролюється зміною потоку повітрودувки EGR. Клапан (CBV) активний у цьому режимі і збільшити тиск продувального повітря, що тим самим зменшує питому витрату палива. Байпас вихлопних газів (EGB) закритий.

Селективне каталітичне відновлення (Selective catalytic reduction (SCR)) є засобом перетворення оксидів азоту, які також називають NO_x за допомогою каталізатора в двоатомний азот N_2 і воду (H_2O). Для цього в потік газів, що відпрацювали, перед каталізатором впорскується відновник (сечовина).

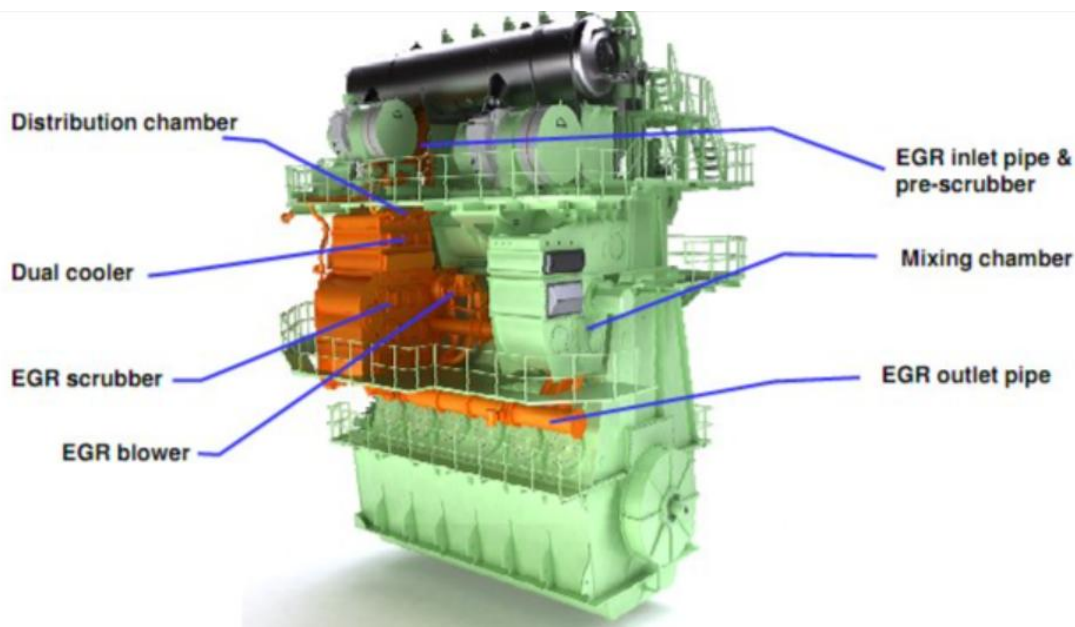


Рис. 3.9. Загальний вигляд двигуна обладнаного системою EGR.

Принцип дії системи нейтралізації SCR.

При нагріванні приблизно до 200°C каталізатор відновлення досягає робочої температури. Блок керування двигуна отримує дані про температуру ОГ.

Розчин сечовини забирається насосом із бака сечовини та під тиском приблизно 5 бар прокачується через обігрівається трубопровід сечовини до форсунки сечовини.

Форсунка сечовини керується блоком керування двигуна та впорскує її у дозований кількості трубопровід системи випуску. Випарована сечовина підхоплюється потоком ОГ і рівномірно розподіляється мікшером у газах, що відпрацювали. На ділянці до відновного каталізатора, так званій гідролізній ділянці, сечовина розпадається на аміак (NH_3) та вуглекислий газ (CO_2).

					КРМ. ОП135.6211м.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

У відновному каталізаторі аміак (NH_3) вступає в реакцію з оксидами азоту (NO_x), утворюючи азот (N_2) і воду (H_2O).

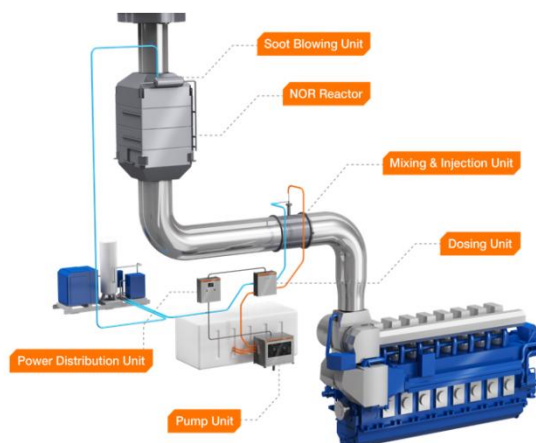


Рис. 3.10. Принцип роботи системи SCR суднових ДГ.

<https://www.egcsa.com/exhaust-gas-recirculation-explained/>

Вибір системи SCR до очищення газів ДГ зумовлений її меншою вартістю, в порівнянні з EGR для двигунів потужністю меншою за 5 МВт

If this is important, you will lean towards:	EGR	SCR
Low First cost	←	→
Low Operating cost	←	
Many ECA hours	←	
Fuel flexibility	←	→
No Sludge production		→
Same technology for ME and Gensets		→
Compact engineroom installation	←	
No overboard compliance		→
WHR possibilities	←	

Рис. 3.11. Порівняння системи EGR і SCR.

При вирішенні питання про те, як дотримуватись норм щодо викидів SO_x і NO_x , EGCSA настійно рекомендує операторам суден тісно співпрацювати з її членами, щоб зрозуміти варіанти. У флоті можна використовувати більше ніж одну опцію. Тому оператори суден повинні

провести техніко-економічне обґрунтування з оцінкою вартості, щоб визначити, які варіанти найкраще відповідають їхнім потребам.

Розділ 4. Проектування гібридної СЕУ

4.1 Розробка принципової схеми гібридної СЕУ.

Судова силова установка на паливних елементах складається з кількох частин. Серцем системи є паливний елемент, який перетворює водень в електрику. Ця потужність подається через бортову систему розподілу електроенергії до великих споживачів, таких як електродвигуни, що приводять у рух гвинти та лебідки, а також до менших «побутових» споживачів. Бортова система розподілу також має накопичувальний пристрій – як правило, літій-іонну батарею – для тимчасового накопичення енергії. Батарея допускає часову затримку між генерацією та споживанням електроенергії, таким чином відкриваючи можливість синхронізувати роботу окремих компонентів для досягнення максимальної ефективності. Це вимагає інтелектуальної системи керування живленням для контролю окремих компонентів, рис. 4.1.

Системи паливних елементів, що працюють на водні, підходять для використання на внутрішніх водних шляхах, таких як озера та фіорди, а також для прибережної навігації та використання на портових порогах. Оскільки судна можна регулярно заправляти паливом на суші, маршрути, які необхідно пройти, є здійсненими за допомогою сучасних найсучасніших технологій.

На відміну від інших генераторів електроенергії, таких як двигуни внутрішнього згоряння або турбіни, що працюють на газі, вугіллі, мазуті та ін., паливні елементи не спалюють паливо. Це означає відсутність гучних роторів високого тиску, гучного шуму при вихлопі, вібрації. Паливні елементи виробляють електроенергію шляхом безшумної електрохімічної реакції. Іншою особливістю паливних елементів є те, що вони перетворюють хімічну енергію палива безпосередньо на електрику, тепло та воду.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

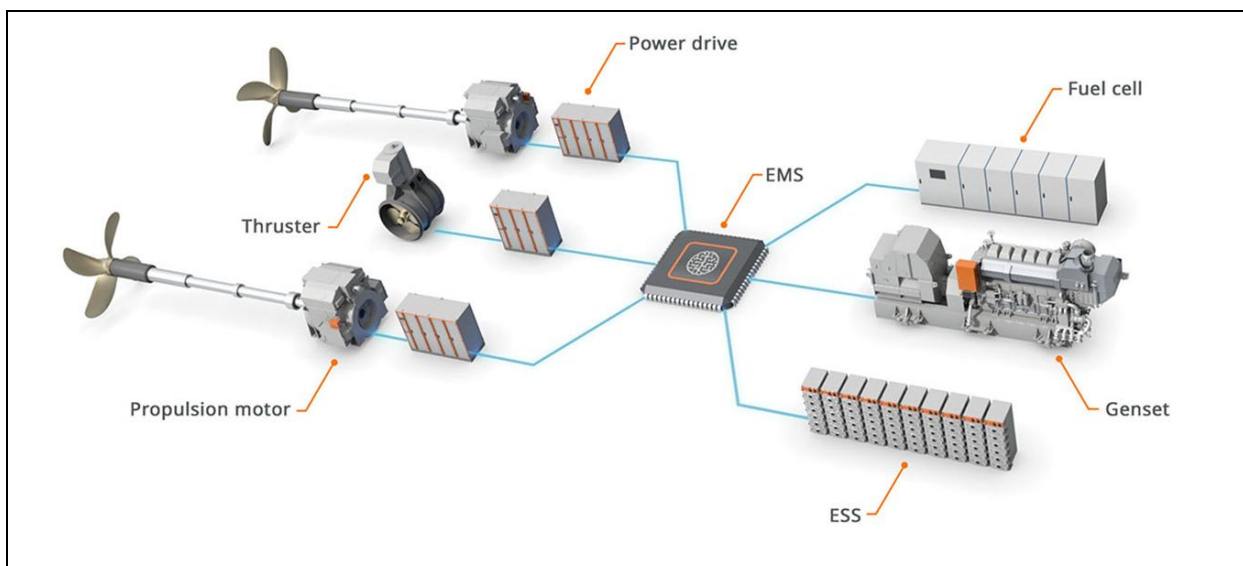


Рис. 4.1. Функціональна схема повнокомплектної гібридної СЕУ

Паливні елементи є високоефективними і не виробляють парникових газів, таких як вуглекислий газ, метан і оксид азоту. Єдиним продуктом викиду при роботі паливних елементів є вода у вигляді пари та невелика кількість вуглекислого газу, який взагалі не виділяється, якщо як паливо використовується чистий водень.

Паливні елементи виробляють електроенергію і тепло внаслідок електрохімічної реакції, що відбувається, використовуючи електроліт, катод і анод.

Анод та катод поділяються електролітом, що проводить протони. Після того, як водень надійде на анод, а кисень на катод, починається хімічна реакція, в результаті якої генеруються електричний струм, тепло і вода. На каталізаторі анода молекулярний водень дисоціює та втрачає електрони. Іони водню (протони) проводяться через електроліт до катода, тоді як електрони пропускаються електролітом і проходять зовнішнім електричним ланцюгом, створюючи постійний струм, який може бути використаний для живлення обладнання. На каталізаторі катода молекула кисню з'єднується з електроном (який підводиться із зовнішніх комунікацій) і протоном, що прийшов, і утворює воду, яка є єдиним продуктом реакції (у вигляді пари і/або рідини).

Паливні елементи поділяються на високотемпературні та низькотемпературні. Низькотемпературні паливні елементи вимагають як паливо відносно чистий водень. Це часто означає, що потрібна обробка палива для перетворення первинного палива (такого як природний газ) у чистий водень. Цей процес споживає додаткову енергію та потребує спеціального обладнання. Високотемпературні паливні елементи не потребують даної додаткової процедури, оскільки вони можуть здійснювати "внутрішнє перетворення" палива за підвищених температур, що означає відсутність необхідності вкладання грошей у водневу інфраструктуру.

Табл. 4.1. Типи паливних елементів.

	AFC (Alkaline)	MCFC (Molten carbonate)	PAFC (phosphoric acid)	PEM FC (proton exchange membrane)	SOFC (Solid oxide)
Електроліт	гідроксид калію	рідкий розплавлений карбонат	рідка розплавлена фосфорна кислота	іонообмінна мембрана	кераміка
Робота температура	60°C- 90°C	650°C	200°C	80°C	1000°C
Ефективність	45-60%	45-60%	35-40%	40-60%	50-65%
Електрична потужність	<20 кВт	>1 МВт	>50 кВт	<450 кВт	>200 кВт

Бортові системи паливних елементів поєднують численні переваги: а також їх стійкість і екологічність на основі паливних елементів морські силові установки набувають популярності завдяки їх високому рівню ефективності і висока модульність.

Ця батарея допускає часову затримку між генерацією та споживанням потужності, що відкриває можливість хронометражу роботи окремі компоненти для максимальної ефективності. Це вимагає розуму система управління живленням для управління окремими компонентами, рис 4.2.

Підвищені вимоги безпеки також вимагають технічних рішень для безпечне поводження з паливом на борту. Інтеграція систем паливних

елементів на борт також повинен бути ретельно спланований, відповідаючи конкретним морським вимоги. Метанол також є потенційним паливом для паливних елементів РЕМ морські програми. Метанол реформується, тобто перетворюється на водень перед використанням у паливних елементах РЕМ. Велика перевага тут що баки з метанолом займають менше місця, ніж еквівалент водню одиниці, таким чином дозволяючи подовжити інтервали заправки та збільшити діапазон.

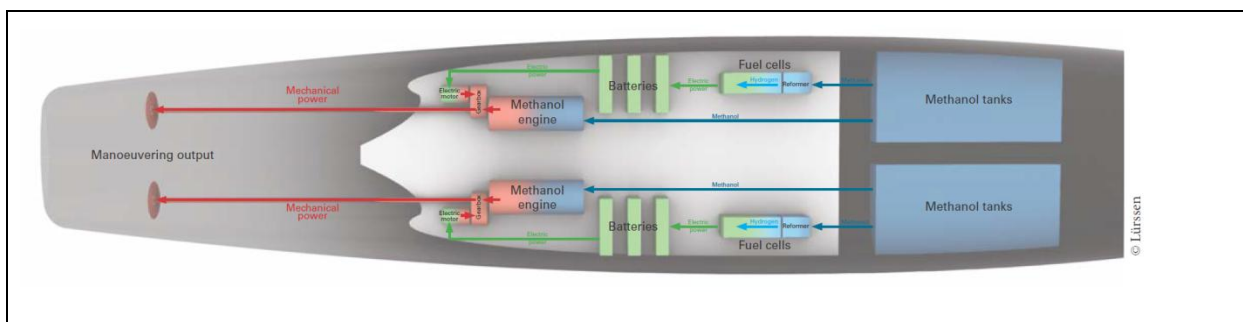


Рис. 4.2. Принципові складові установки із застосування РЕМ паливних елементів (паливо метанол)

Так як зберігання великого запасу водню для паливних елементів потребує балонів великих габаритів, то раціонально буде застосувати установки для генерації водню і невеликий балон для зберігання водню. Враховуючи те що обране судно має великі запаси метану, логічно буде обрати генерацію водню методом парової конверсії.

Парова конверсія - отримання чистого водню з легких вуглеводнів (наприклад, метану, пропан- бутанової фракції) шляхом парового риформінгу (каталітичної конверсії вуглеводнів у присутності водяної пари). Реформування газової пари є найпопулярнішим і найдешевшим способом виробництва водню. Порівняно з, наприклад, електролізом води, кількість водню, отриманого на одиницю споживаної енергії, набагато вища.

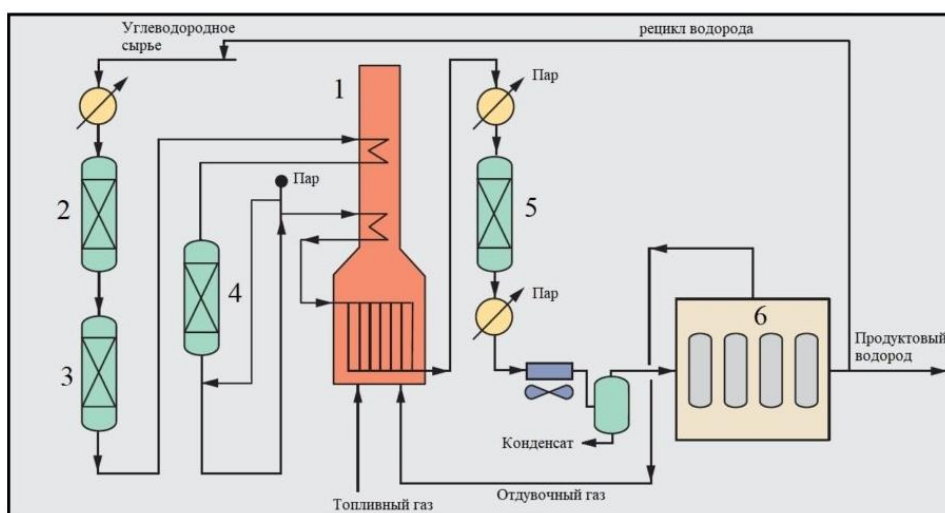


Рис. 4.3. Принципова схема виробництва водню методом парової конверсії
 1 – піч риформінгу; 2 – реактор; 3 – адсорбери; 4 – реактор пре риформінгу;
 5 - реактор конверсії; 6 – блок короткоциклової адсорбції (КЦА)
<https://pronpz.ru/ustanovki/steam-reformer-unit.html>

Реформуваннях парового газу зазвичай відбувається у два етапи. Перший етап називається першим риформінгом та здійснюється в трубах, заповнених нікелевим каталізатором, нанесеним на алюмінієву підкладку. Тепло, необхідне процесу, подається через стінки труб, нагрітих зовні шляхом спалювання іншої частини газу.

4.2 Модернізація теплової схеми.

В гібридній СЕУ PEMFC використовуються в якості електрогенераторів і мають розглядатися, як структурний елемент установки. За своїми параметрами PEM FC може бути інтегрована в теплову схему СЕУ, що забезпечить підвищення загальної ефективності всього енергетичного комплексу (таблиця 4.2).

В загальному випадку електрохімічний генератор на основі PEM FC можна розглядати, як елемент теплової схеми та джерело додаткових теплових потоків (рис. 4.4) . На поточний момент найбільш поширеними на практиці є

ЕУ, в яких використовуються PEM FC – «Proton Exchange Membrane Fuel Cells» [7].

В таблиці 4.2 наведені температури теплоносіїв елементів гібридної СЕУ, які використовуються судновими системами утилізації. Досягнення максимального ефекту від PEM FC генераторів можливо за умов їх включення в теплову схему СЕУ в найбільш раціональний спосіб.

Таблиця 4.2.

Параметри теплоносіїв скидних теплових ресурсів елементів гібридних СЕУ

Теплоносій	МОД	СОД	PEM FC
	Температура, К		
Відхідні гази	490 - 530	500 - 690	
Надувне повітря	400 - 490	380 - 470	
Системи охолодження	355 - 360	360 - 370	(LT PEM) 333 – 363 (HT PEM) 450– 493
LNG паливо	111	111	111
NH ₃ паливо	240	240	240

Відомо, що в судновій енергетиці існує надлишок низькотемпературних теплових викидів, при цьому бракує технологій їх перетворення в механічну роботу.

В зв'язку з цим, доцільним є використання термоакустичних теплових машин в системі енергозбереження, для утилізації таких скидних ресурсів.

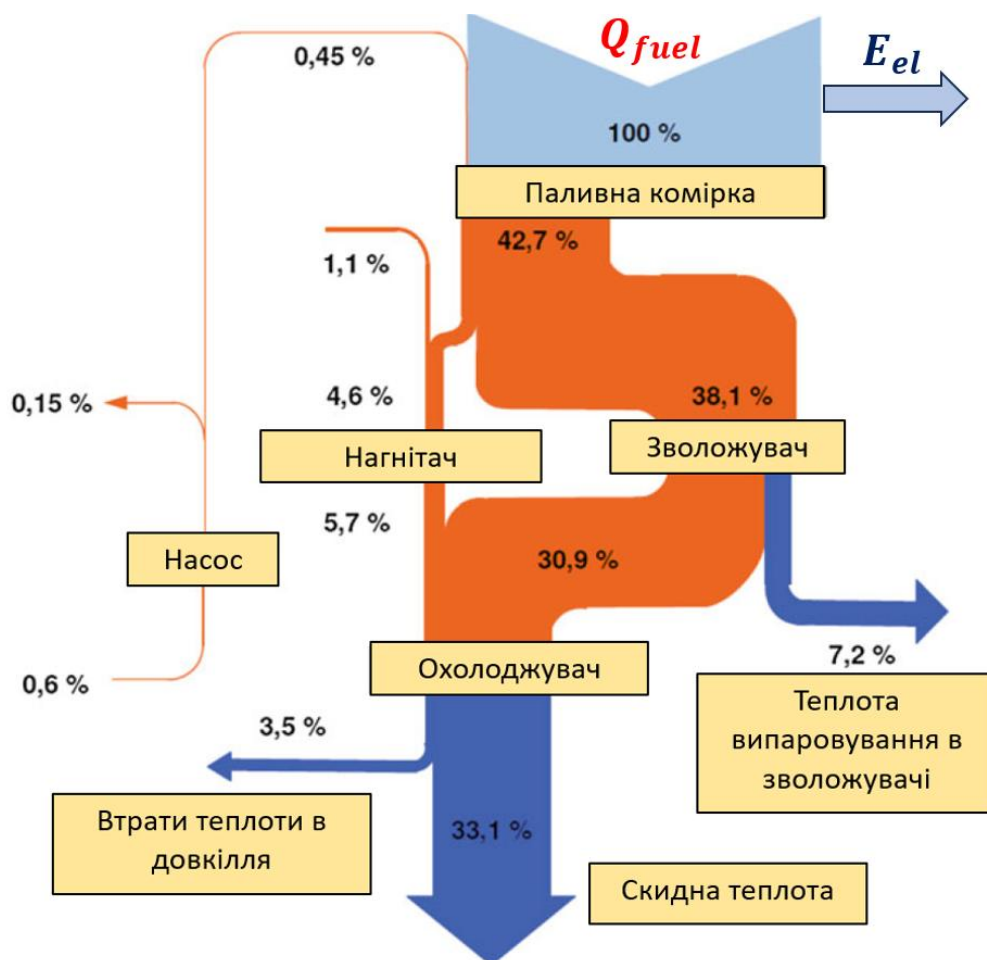


Рис. 4.4 Потоки теплоти в типовій PEM FC

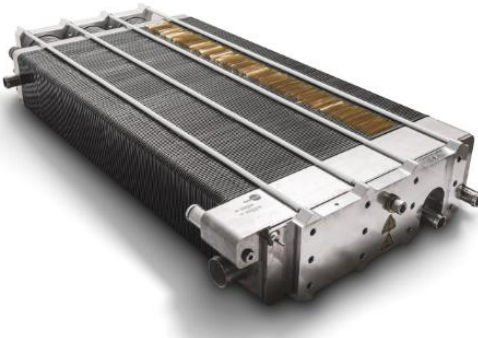
Наявність електрохімічного генератора на основі паливних комірок виводить гібридну СЕУ на принципово вищий якісний рівень, який надає можливість провадження «по combustion» технології, та переходу до екологічних «Carbone Free» технологій.

4.3. Вибір паливних елементів для гібридної СЕУ

Враховуючи те, що судно вже побудоване і із самого початку не було передбачено спеціальних місць у МВ для паливних елементів, доцільно буде взяти вже готове рішення і одному блоці, рис. 4.5.

Водневі паливні елементи на сьогодні є найефективнішим способом зберігання енергії як синтетичного палива та виробництва електроенергії.

Для наявної розробки доцільно обрати готове рішення, яке придатно для використання в суднових умовах. Дане рішення має надмалі габарити в поєднанні з досить високою вихідною потужністю.

Низькотемпературні – 60 - 90 ⁰ С	
	
Високотемпературні – 120 - 200 ⁰ С	
	
Рис. 4.5. Водневі паливні елементи	

З метою впровадження високоефективного джерела електричної енергії на борту судна було проаналізовано технічні характеристики метанольної паливної системи виробництва Blue World Technologies.

Для застосування в даному проекті обираємо паливні елементи компанії World Technologies. Ця компанія пропонує спеціально розроблену модульну систему паливних елементів для важких морських застосувань. Ці установки є прикладом сучасної реалізації високотемпературних паливних елементів типу PEM (HT PEM) з використанням метанолу як основного палива. Паливні елементи серії S доступні у варіантах 9 кВт та 18 кВт, демонструючи високу

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

питому енергетичну щільність, що є визначальним чинником при інтеграції в обмежений машинний простір судна.

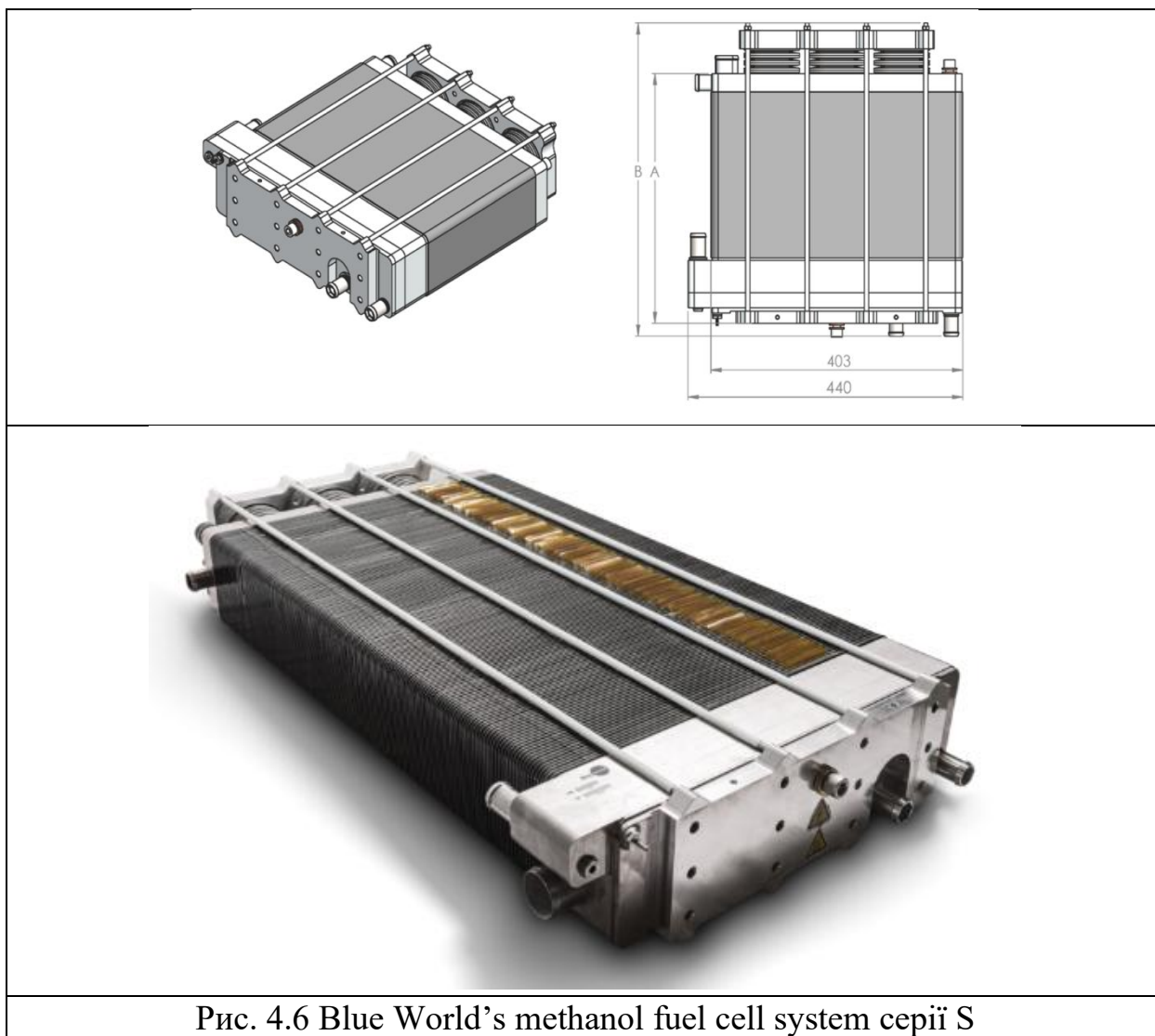


Рис. 4.6 Blue World's methanol fuel cell system серії S

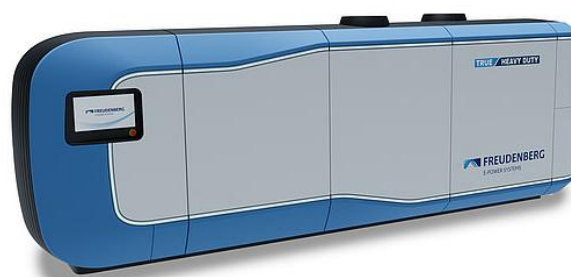
Завдяки ефективним охолоджувальним каналам досягається швидкий температурний перехід, що забезпечує найменший час запуску серед НТРЕМ стеків, доступних на ринку. Матеріали, з яких виготовлено стеки, допускають використання широкого діапазону охолоджувальних рідин. Це дозволяє реалізувати холодний запуск при температурі навколишнього середовища від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, що важливо при експлуатації суден у різних кліматичних зонах.

Важливою перевагою є висока толерантність до оксиду вуглецю у складі реформованого газу (до 1–3%), що забезпечує гнучкість у виборі

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

співвідношення метанол–вода на вході до парореформера. Інтегровані компоненти, зокрема випарник метанолу та попередній нагрівач повітря, дозволяють оптимізувати енергетичне перетворення, підвищуючи загальну ефективність системи.

Установки Blue World працюють у температурному діапазоні 160–180 °С з рідинним охолодженням, що дозволяє реалізувати просту та ефективну систему тепловідведення. Також використання високоякісного утилізованого тепла можливе для побічних потреб - наприклад, попереднього нагрівання палива або обігріву житлових приміщень.



Maritime FC-System – Methanol or LNG – Power Class 500 kW

а

б

Рис.4.7. Blue World's methanol fuel cell system серії S,

а) – діюча експериментальна установка 1мВт; б) – контейнер з паливними модулями.

Зменшення кількості компонентів системи обслуговування (BoP) досягається завдяки відсутності потреби у зволоженні газів та моніторингу напруги окремих елементів, що спрощує експлуатацію та зменшує вагу і габарити системи.

Паливна система базується на модульній архітектурі: блоки потужністю 200 кВт можуть поєднуватися для утворення мегаватної енергетичної установки. Такий підхід дозволяє адаптувати систему до конкретних енергетичних потреб судна. Заявлена електрична ефективність становить 50–60%, що дозволяє компенсувати додаткову вартість зелених палив. Типова економія пального становить 20–30%, що значно знижує операційні витрати (OPEX).

Таким чином, метанольна паливна система Blue World Technologies є перспективним рішенням для використання як допоміжне джерело електроенергії (APU) на сучасних суднах з урахуванням вимог щодо декарбонізації, підвищеної енергоефективності та гнучкості в паливному забезпеченні

4.4. Вибір комплектуючого обладнання гібридної СЕУ

В основу гібридної пропульсивної установки входить наступне обладнання:

Ресивери водню. Будова приймачів водню має відповідати сертифікатам і правилам конструювання повітряних ємностей і ресиверів. Водень зберігається в стисненому стані при надлишковому тиску до 12 МПа. Важкі умови експлуатації зумовили вимоги до вибору матеріалу та конструкції. Основними параметрами конструкції ресиверів водню є: об'єм від 1 до 200 м³ і граничний тиск (до 12 МПа). Додатковими факторами, що впливають на вибір сталі та розрахунок товщини оболонки, є температура навколишнього середовища (вище -60°C) і температура продукту (від -60°C до +300°C). Дуже важливо зберегти герметичність протягом усього терміну служби. Тому необхідний точний розрахунок і вибір сталі, стійкої до хімічного впливу продукту експлуатації. Для безпечного та довговічного зберігання стисненого водню використовуються марки сталі, які здатні витримувати внутрішні навантаження від тиску та вплив газу, що зберігається:

					КРМ. ОП135.6211м.02	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- нержавіюча титановмісна 12X18H10T аустенітного класу;
- корозійностійкий 10X17H13M2T;
- високоміцна сталь 09Г2С.

Ресивери водню являють собою горизонтальну або вертикальну ємність, яка встановлюється на опорах. Ці ресивери працюють під високим тиском, тому зроблені еліптичними. Для виконання основних функцій передбачені люк, патрубки та штуцери, через які здійснюється заливка, відкачування, видалення конденсату, технологічний контроль і очищення поверхні тощо. Важливим елементом ресиверів водню є запобіжний клапан, який запобігає руйнуванню внаслідок підвищення тиску.

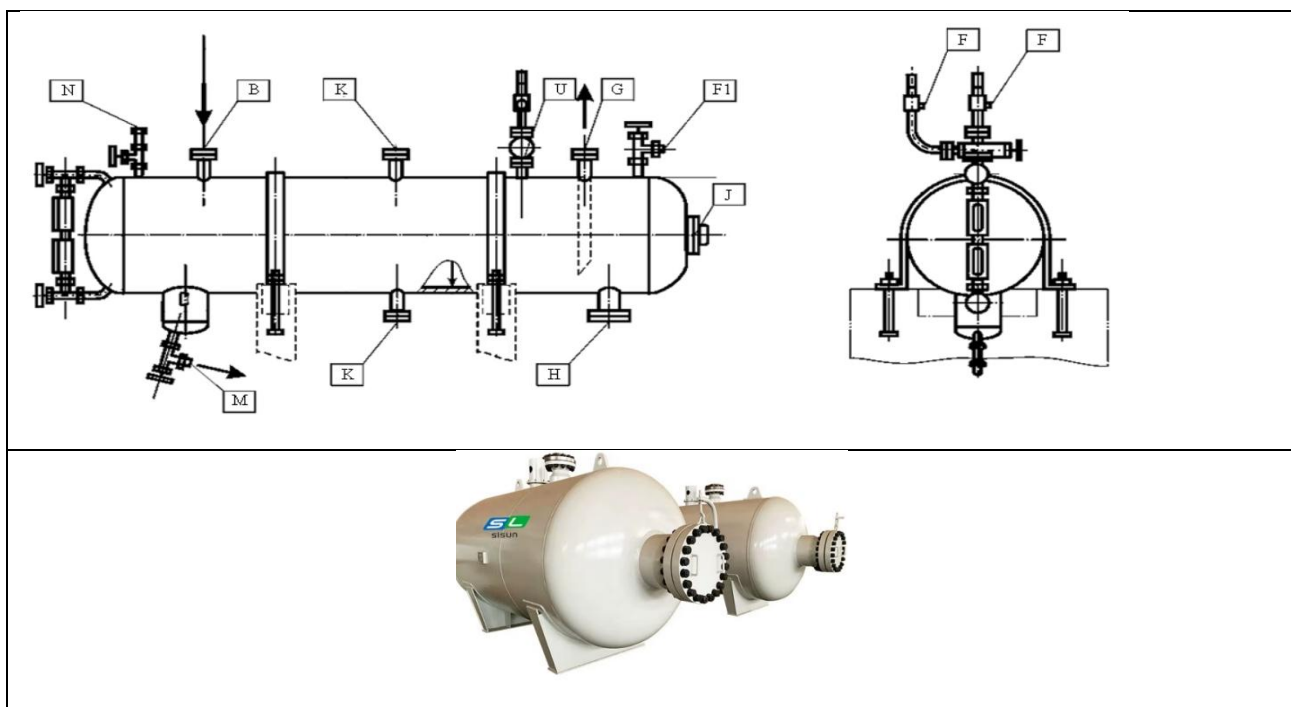


Рис. 4.8. Конструкція ресивера водню. В – вхід, G – вихід, J – горловина, М – дренаж, U – запобіжний клапан, F – забір, Н – до насосу, N – манометр.

Ресивери водню виготовляються з листового металу, якому надають циліндричну форму. У корпусах робляться отвори для люка (люків), штуцерів і ніпелів. Зовнішня і внутрішня поверхні покриті компаундами для додаткового захисту від корозії. Завершальним етапом виробництва є випробування на герметичність, граничний тиск і стійкість до агресивних

середовищ. Володіючи лабораторією, наші фахівці можуть гарантувати якість продукції, що випускається, а високопрофесійні інженери-конструктори забезпечують точність конструкції.

Акумуляторна батарея

Беручи до уваги те що батарея має бути встановлена на вже побудоване судно, і спеціально відведеного приміщення під ці батареї на судні не передбачено, в якості сховища для зберігання енергії обираємо готове рішення від компанії Corvus.

Corvus BOB - це стандартизоване, затверджене класом модульне рішення для акумуляторної кімнати, яке доступне в 10-футових і 20-футових контейнерах. Повна система накопичення енергії (ESS) включає акумулятор, систему моніторингу батареї (BMS), систему опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, вихлопну систему TR, а також систему пожежогасіння та виявлення. Нижче в таб.4.3. наведені характеристики батарейного блоку.

Таблиця 4.3. Corvus BOB

	10ft. Corvus BOB	20ft. Corvus BOB
Max Energy Capacity	744 kWh	1492 kWh
Total Weight Estimate	15 000 kg	26 650 kg
Outside Height	3000 mm	3000 mm
Outside Length	2991 mm	6058 mm
Outside Width	2438 mm	2438 mm
Number of Packs	1-6	7-12
Max Voltage	800 - 1100 VDC	800 - 1100 VDC
Voltage Range Step	50 VDC	50 VDC
Cooling Capacity	14 kW	18 kW
Cooling System	Chilled water fan coil	Chilled water fan coil
Fire Extinguishing	Water mist	Water mist



Акумуляторна кімната «Plug and Play» спрощує інтеграцію в систему керування живленням будь-якого системного інтегратора на борту судна. Перша система Corvus BOB буде включати Corvus Orca ESS, провідну в світі акумуляторну систему, придатну для широкого спектру суден, включаючи офшорні, круїзні та поромні, торговельні, робочі та рибальські судна.

Orca Energy виготовлено з однокомпонентним пасивним тепловим захистом і схвалено відповідно до найсуворіших правил і норм.

Для нашого конкретного випадку доцільно буде застосувати 2 контейнери по 20 футів.

Розділ 5. Заходи по забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ

5.1. Розробка системи моніторингу та діагностування стану ГД

Система моніторингу роботи двигуна LinerSCAN. LinerSCAN запропонувала одною із перших в світі систему моніторингу і сигналізації в реальному часі про знос гільзи двигуна. LinerSCAN є новою ерою захисту циліндрів, що забезпечує раннє попередження про серйозні пошкодження двигуна водночас надаючи інформацію, необхідну для економії витрат на мастило.

Система LinerScan розроблена для усунення невизначеності щодо пошкодження циліндра внаслідок низької якості палива, повільного

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

випаровування, низького рівня сірки, нижчої швидкості подачі масла та зміни складу масла для циліндра.

LinerSCAN вимірює кількість заліза в мастилi циліндрів методом, відомий як магнітометрія, коли зразок перевіряється в магнітному полі. Використовуючи новий метод екранування, система використовує фундаментальний фізичний ефект, а саме зміну індуктивності через наявність магнітного матеріалу. На дуже ранніх стадіях, датчики повідомляють про початок сильного зносу та інші проблеми з двигуном. Система також виділить періоди, коли працюючий двигун піддається підвищеному рівню навантаження та вказує на зміни в рівні заліза.

LinerSCAN дуже просто встановити як на нові судна так і на вже побудовані в якості заходів модернізації. Попередні інсталяції довели що система може бути встановлена навіть командою, хоча Parker також надає послуги з введення в експлуатацію за допомогою досвідчених інженерів.

LinerSCAN відстежує стан головного двигуна в режимі реального часу на борту та дозволяє оптимізувати подачу до оптимального значення без відбору проб. Це дозволяє виявити та усунути неполадки до того, як вони стануть небезпечними або надзвичайно дорогими.

Крім того, ви можете відстежувати та балансувати всі результати, отримані з віддалених або берегових станцій за допомогою офісного програмного забезпечення. Дані експортуються з судна до LinerSCAN View.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

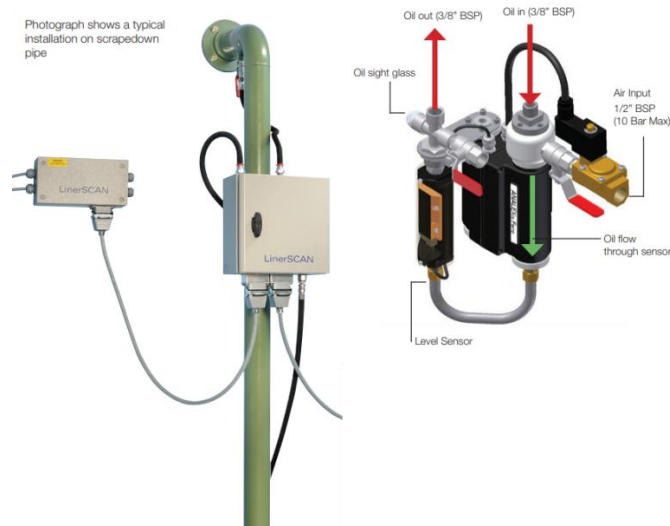


Рис. 5.1. Складові системи LinerSCAN

Система моніторингу підшипників Muller/Beltex. Датчики Muller/Beltex встановлюються на основній несучій балці, при цьому наконечник датчика безпосередньо контактує з корпусом підшипника. Датчик вимірює загальну температуру корпусу підшипника та мастила, що витікає з підшипника.

Датчик температури підшипника видає стандартний аналоговий вихідний сигнал. Сигнал можна реалізувати дуже просто в операційній системі. Якщо аналоговий сигнал переривається, причина цього повинна бути досліджена. Раннє виявлення високої температури може запобігти перегріванню підшипника, тим самим зменшуючи ризик можливого виходу останнього з ладу. Датчик PT100V3C дуже легко встановити в корпус підшипника без необхідності модифікацій. Перевага вимірювання за допомогою PT100 полягає в тому, що він надсилає безперервний аналоговий вихідний сигнал до операційної системи. Принцип вимірювання такий: різниця температур на 1°C призводить до різниці в опорі $0,348\ \text{Ом}$.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

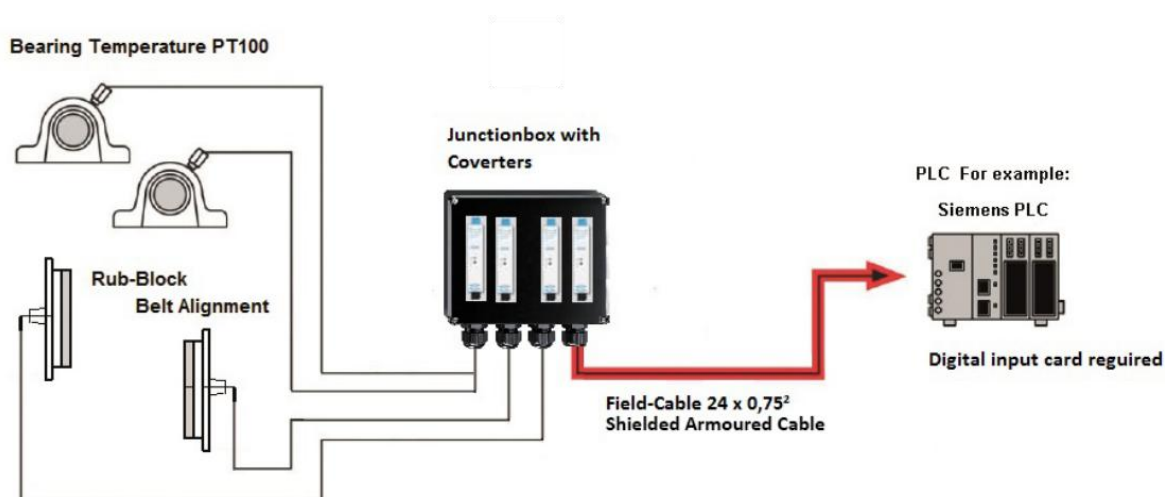


Рис. 5.3. Елементарна схема роботи системи моніторингу підшипників

Bearing temperature monitoring – Muller Beltex

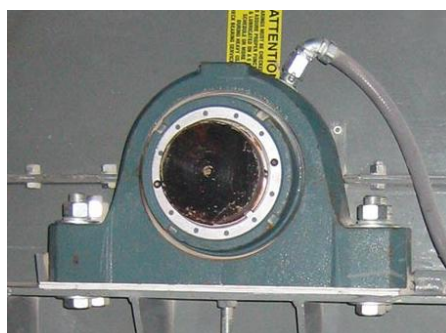


Рис. 5.4. Підшипник із встановленим датчиком температури.

5.2. Технологічна розробка. Технологія монтажу дизель генератора

Розглянемо монтаж дизель-генератора *Daihatsu 6DE-18* зображеного на рис. 5.5.

Comparison of the Outside Dimensions with Conventional Models (5DK-20)

Blue 6DE-18 Red 5DK-20e

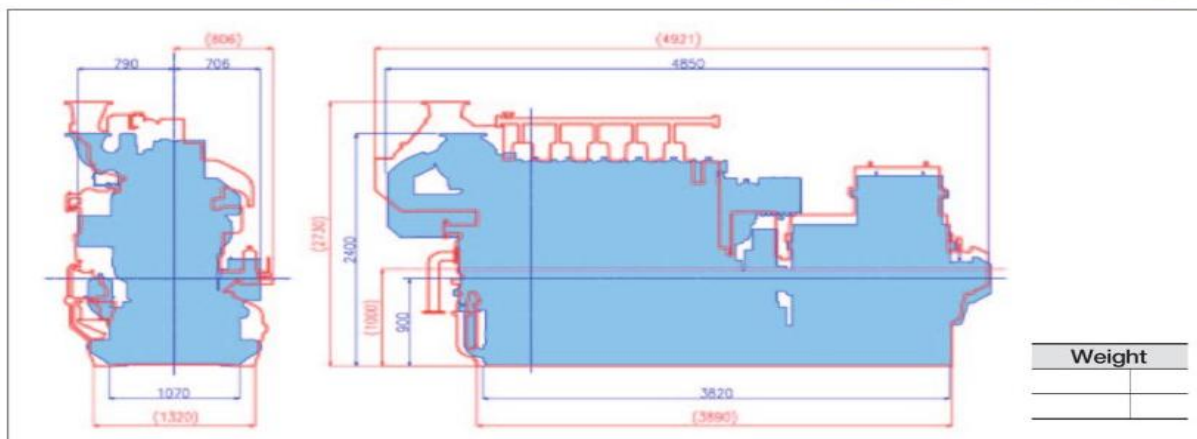


Рис. 5.5 Основні та монтажні розміри Daihatsu 6DE-18

Основні етапи монтажу:

1. *Підготовка монтажних баз.* Монтажна база – сукупність поверхонь або одна поверхня щодо яких визначають положення механізму на судні. Вирізняють два види систем монтажних баз; базова система судна та базова система механізму.

2. *Транспортування і завантаження обладнання на судно.* Основною вимогою при транспортно-вантажних операціях є запобігання деформаціям механізмів. Устаткування має надходити на монтаж із встановленими заглушками на отворах та фланцях патрубків. Зазвичай арматуру та прилади, які можуть бути пошкоджені, знімають

3. *Базування обладнання.* Базуванням називається визначення положення обладнання шляхом поєднання орієнтуючих елементів рухомої базової системи механізмів та нерухомої базової системи судна. У процесі базування, як правило, треба позбавити механізму всіх шести ступенів свободи. Виняток становлять валопроводи та кермові пристрої, у яких необхідно зберегти один ступінь свободи.

4. *Встановлення компенсуючих прокладок.*

5. *Кріплення обладнання на фундаменті.* Кріплення обладнання зазвичай виконується за допомогою болтів, які можуть бути прохідними, із зазором в отворі 0,5-2,0 мм та призонними, з натягом 10-15 мкм. Призонні болти служать додатковим засобом підтримки нерухомості механізму при дії зсувних навантажень у площині кріплення.

6. *Контроль якості монтажу.*

Монтаж двигуна на пружних прокладках

Істотна і наростаюча проблема боротьби з вібрацією і шумом стала приводом для появи нових напрямків в області монтажу судових машин та пристроїв. Як виявилось, що спосіб з'єднання машин з фундаментом, істотно впливає на вібрацію і шум, тому було застосовано прокладки спеціальної конструкції, зроблених з гуми або інших подібних матеріалів (рис. 5.6).

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

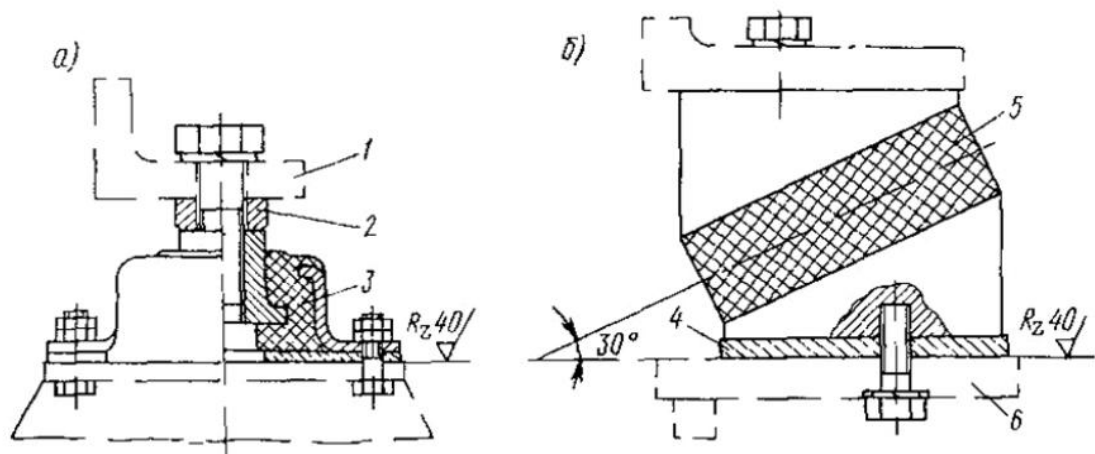


Рис. 5.6. Приклади пружних кріплень суднових машин

Слід зазначити, що використання пружних кріплень дійсно має деякі переваги такі як: значна ізоляція фундаменту від механічної вібрації та шумів; більш рівномірний розподіл навантаження на прокладки; вільна деформація корпусів машин.

Нажаль, проблеми пружного кріплення поки повністю не вирішені. Розвиток еластичних кріплень машин і пристроїв вимагає вдосконалення розрахункових методів, виробництва матеріалів з точно визначеними пружно-демпфуючими властивостями, а також створення фундаментних прокладок і розробки способів їх кріплення, які б оптимально вирішували завдання щодо звукоізоляції. Застосування спеціальних еластичних прокладок складної конструкції значно підвищує вартість кріплення.

Вибір амортизаторів

На розглянутому ДГ підготовлено виробником 14 місць під амортизатори, тоді навантаження на один амортизатор буде складати: $M_1 = M_{ДГ} / n = 13000 / 6 = 2166$ кг.

Обираємо амортизатор , котрий може сприймати осьове навантаження 2166 кг.

Вирівнювальні підкладки потрібно підігнати по місцю з такою умовою, щоб допустимий зазор не перевищував 0,5 мм та при контролі пластинка щупа з товщиною рівною допустимому зазору не була в змозі проходити на 0,66

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

периметра з'єднання.

Розрахунок нерухомості механізму

Кріплення повинне забезпечувати нерухомість головного двигуна в експлуатації на фундаменті від дії експлуатаційних навантажень. Тому умова нерухомості буде мати наступний вигляд:

$$F_{\text{тр}} = P_{\text{сум}}.$$

В суднових умовах вони виникають:

а) при зіткненні судна с перешкодою, тобто у аварійній ситуації з урахуванням коефіцієнту перевантаження kg

$$P_1 = m * k_g * g,$$

де: $m = 13000$ кг – маса механізму;

$g = 9.81$ м/с² прискорення вільного падіння, м/с²;

$kg = 1,3$ (приймаємо).

$$P_1 = 13000 * 1.3 * 9.81 = 165789 \text{ Н},$$

б) при крені судна на кут (α) до 45°

$$P_2 = m * \cos(45^\circ) * g = 13000 * \cos(45^\circ) * 9.81 = 89\,271 \text{ Н},$$

в) при хитавиці судна з періодом « T » в залежності від проекції відстані « l » між центром тяжіння механізму та центром тяжіння судна на площину мідель-шпангоута, см;

$$P_3 = \frac{4 * m}{T^2} * (0.008 * l + 1.75) * g,$$

де: $T = 21$ с – період бортової хитавиці;

$l = 500$ см;

$$P_3 = \frac{4 * 13000}{21^2} * (0.008 * 500 + 1.75) * 9.81 = 6638 \text{ Н},$$

Інші навантаження зважаючи на їх малі значення не враховуються.

Сумарне експлуатаційне навантаження буде мати вигляд:

$$P_{\text{сум}} = \sqrt{P_1^2 + (P_2 + P_3)^2} = \sqrt{165789^2 + (89\,271 + 6638)^2} = 191574 \text{ Н}.$$

Сила тертя визначається за наступним виразом:

					КРМ. ОП135.6211м.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

$$F_{\text{тр}} = (V_{\text{зат}} * z + m * g) * \mu,$$

де: $V_{\text{зат}}$ – осьове зусилля затяжки шпильок, Н

$$V_{\text{зат}} = 0.8 * \sigma_{\text{тек}} * \frac{\pi * d^2}{4}, \text{ Н}$$

де: $\sigma_{\text{тек}}$ – межа текучості матеріалу болта;

$d_{\text{вн}}$ – розмір болта по внутрішньому діаметру різьби (мм).

$$F_{\text{тр}} = \left(0.8 * \sigma_{\text{тек}} * \frac{\pi * d^2}{4} * z + m * g \right) * \mu = \left(0.8 * 500 * \frac{3.14 * 20^2}{4} * 4 + 13000 * 9.81 \right) * 0.4 = 251\,972 \text{ Н}$$

де: $\mu \approx 0,4$ – коефіцієнт тертя в стику,

z – кількість болтів кріплення механізму до фундаменту.

Перевірка на нерухомість: $251\,972 > 191574$, отже умова нерухомості виконується.

Розділ 6. Розміщення енергетичного обладнання в МВ

6.1. Вимоги до розміщення обладнання в МКВ судна

Розміщення обладнання і механізмів в машинному відділенні має відповідати наведеним нижче правилам і рекомендаціям.

Механізми мають стояти в тому місці МВ, де вони можуть показати найкращу ефективність.

ГД і допоміжні механізми розміщуються в машинному відділенні таким чином.

Навколо головного двигуна також повинно бути достатньо місця для розміщення найбільших його деталей при ремонті. Зверху над дизелем повинен бути залишений простір для виймання за допомогою підйомних пристроїв поршнів зі штоками або шатунами. З постів обслуговування ГД повинні забезпечуватись вільні проходи до вихідних шляхів шириною не менше 0.6 м.

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожне МВ повинно мати не менше двох вихідних шляхів, розташованих у протилежних кінцях машинне відділення, на палубу та до рятувальних засобів. Слід дотримуватися відстаней між обладнанням, що дозволяють здійснювати його нормальне планове обслуговування і демонтаж.

Трубопроводи мають бути проведені так щоб дозволити їх демонтаж в приміщеннях де здійснюється регулярний доступ. Всі трубопроводи мають проведені так, щоб виключити наявність напружень і вигинів на злом. Не допускається присутність роз'ємних з'єднань над електрообладнанням, для виключення можливості КЗ або іншого пошкодження обладнання.

Обладнання, що є джерелом вібрації та шуму, необхідно встановлювати в частинах судна, які мають підвищену жорсткість, або підкріплювати місця їх встановлення. Для встановлення механізмів доцільно використати амортизатори. Механізми з горизонтальним розташуванням валу встановлюються паралельно ДП, що унеможливило вплив гіроскопічного ефекту на роботу підшипників при бортовій хитавиці.

Механізми з електроприводом повинні розташовуватися таким чином, щоб електродвигуни знаходилися вище за рівень підлоги.

Обладнання, що є джерелом найбільшого шуму, віддаляються від центрального поста управління (ЦПУ), а також від переборок і палуб, що межують із житловими та загально судновими приміщеннями.

Особлива увага має бути приділена розташуванню насосів, це викликано необхідністю забезпечення надійного всмоктування за різних умов експлуатації судна (осадка, крен, диферент, хитавиця):

- перекачувальні, відкачувальні, підкачувальні, циркуляційні та інші насоси встановлюються поблизу місць забору цих рідин. Вони повинні мати приймальні патрубки мінімальної довжини та великого прохідного перерізу. Висота встановлення насоса відносно рівня рідини повинна бути по можливості мінімальною і забезпечувати безперервний прийом робочої рідини при хитавиці. У зв'язку з цим бажано забезпечити подачу робочої

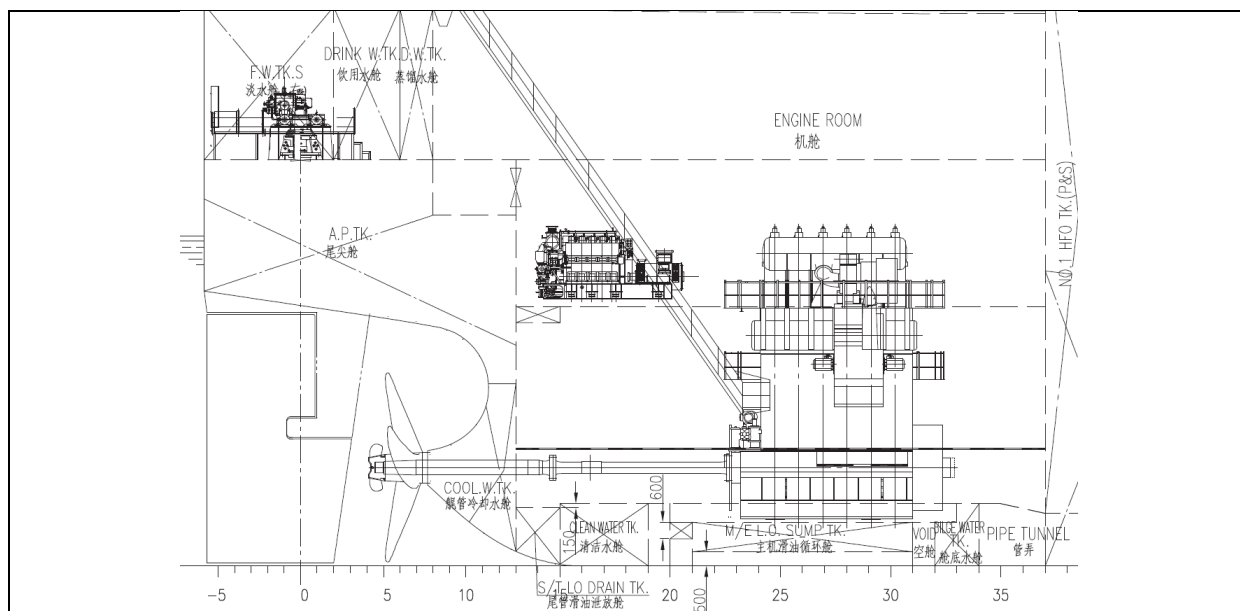
					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

рідини до насоса під тиском. На приймальну магістраль встановлюється незворотний клапан;

- насоси, що подають паливо до двигунів та котлів, повинні працювати від витратної цистерни, які розташовані вище за рівень насоса;
- насоси циркуляційної системи розташовуються в найнижчій частині контуру. При цьому бажано, щоб насос забирав рідину з охолоджувача та нагнітав у порожнину охолодження;
- масляний насос, доцільно встановлювати поблизу сточно-циркуляційних цистерн або навішувати на двигуни.

Модернізація головного двигуна та пропульсивного комплексу вимагає часткового перекомпонування обладнання в МВ, що пов'язано з встановленням нового обладнання. підвищує експлуатаційну ефективність судна в цілому.

Обладнання має бути розташовано відповідно до правил класифікаційного товариства, та згідно рекомендацій та креслень постачальників обладнання що до монтажу, експлуатації, ремонту, обслуговування.



					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

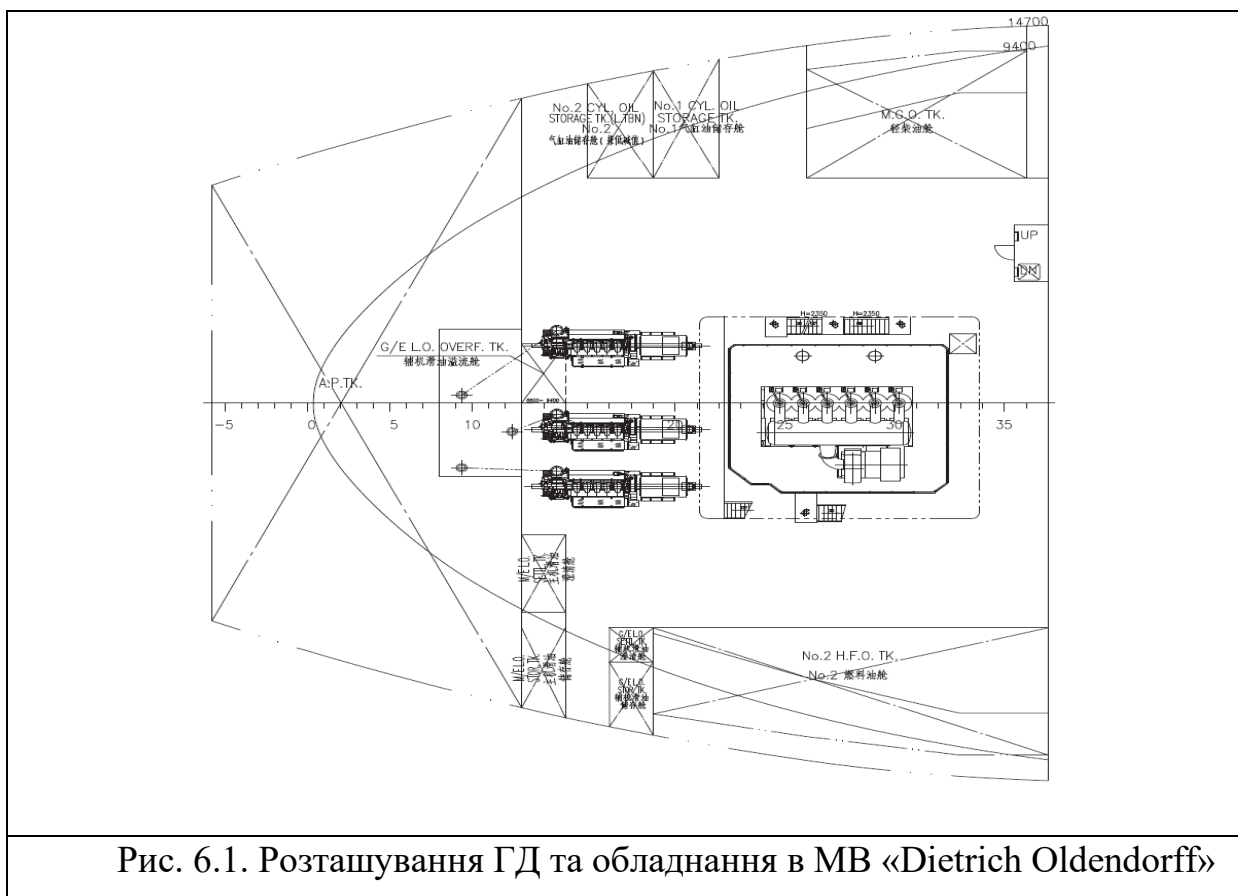


Рис. 6.1. Розташування ГД та обладнання в МВ «Dietrich Oldendorff»

6.2. Розробка заходів з моніторингу стану корпусу судна

На корпус судна, що йде спокійною водою, діють гідростатичні сили тиску, які зростають зі збільшенням глибини. З іншого боку, судно є «вільною балкою», яка при зміні диференту і крену завжди прагне зайняти таке положення, щоб її центр тяжкості та точка застосування сили, що виштовхує, знаходилися на одній вертикалі. Судно піддається поперечним навантаженням внаслідок тиску забортної води, а також навантаженням від власної ваги і сили, що виштовхує, що діє в протилежних напрямках. Величина цих навантажень змінюється зі зміною стану навантаження та положення судна щодо поверхні води. За типом зовнішніх сил, що діють на корпус судна, виділяють різні навантаження, які діють на нього більш-менш одночасно.

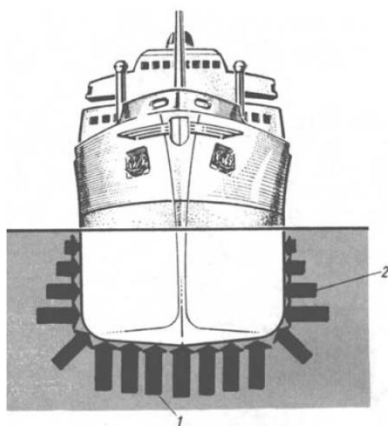


Рис. 6.2. Навантаження на корпус судна від дії гідростатичного тиску води та ваги вантажу. 1 - тиск на корпус судна (сила підтримки); 2 - тиск води на борт судна. <https://www.seaships.ru/load.htm>

Поздовжнє навантаження на судно викликається різним розподілом ваги і сили, що виштовхує, по довжині судна. Якщо порівняти розподіл ваги на навантаженому, готовому до експлуатації судні з розподілом сили, що виштовхує, по осаді і ширині судна, тобто за зануреним поперечним перерізом, то, загалом, в окремих місцях вага не збігається з виштовхувальною силою. У судна, що йде спокійною водою, в кряях, як правило, переважає сила ваги; виштовхувальна сила тут невелика через загострену форму корпусу. Наприклад, в районі середини судна (великі поперечні перерізи) сила виштовхує більше, ніж вага. Внаслідок розбіжності розподілу ваги і виштовхувальної сили по довжині судна воно навантажується як балка, що згинається. Різниця між цими силами має сприйматися поздовжнім набором корпусу судна. У верхніх палубах діють нормальні напруги, що розтягують, при вигині в днищі - згинальні напруги стиснення, а в зовнішній обшивці - дотичні напруги, що компенсують поперечні сили. Але в палубах також можуть виникнути напруження стиснення, а в днищі - розтягування, якщо в районі середини судна діють особливо великі навантаження. Ці напруги розтягування, стискування і зсуву біля судна, що йде по спокійній воді, відносно малі, але вони суттєво збільшуються на хвилюванні.

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

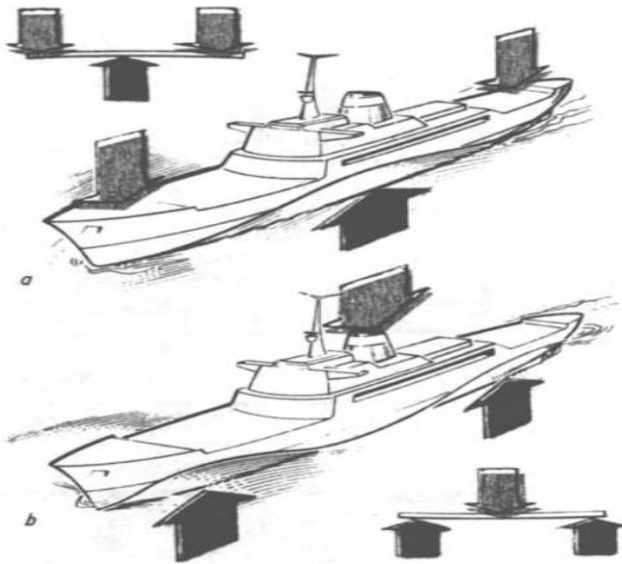


Рис. 6.3. Навантаження на судно на хвилюванні.

а – судно на вершині хвилі, б – судно на підшві хвилі.

<https://www.seaships.ru/load.htm>

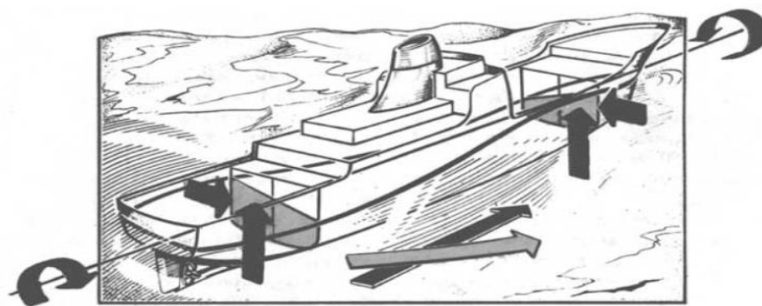


Рис. 6.4. Скручувальні навантаження на судно при косому курсі щодо хвиль

<https://www.seaships.ru/load.htm>

Існують два основних та конкуруючих підходи до моніторингу напруги корпусу: електромеханічні системи або волоконно-оптичною технології. Останній є має вважається більш сучасним тож обираю вимірювальну систему SENSFIB Hull, компанії Light Structures, яка використовує точну багатоточкову техніку моніторингу високого рівня під назвою Fiber Bragg Grating (FBG) для отримання більш точних даних, що охоплюють різноманітні локальні навантаження та глобальні навантаження, такі як прогин, хлюпання, биття та пружинячі.

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Безпечна та економічно ефективна експлуатація судна вимагає точного знання конструкції судна та усвідомлення експлуатаційних ризиків та їх наслідків. Газовози піддаються особливому ризику пошкодження корпусу від втоми, спричиненого напругами, які можуть виникнути в корпусі внаслідок баласту, вантажного навантаження та стану моря.

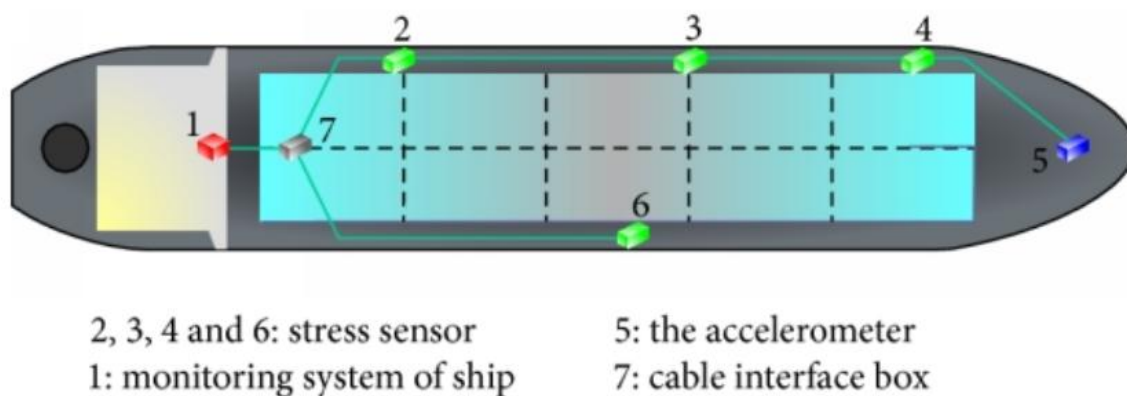


Рис. 6.5. Загальний вигляд системи моніторингу навантажень корпусу судна.

https://www.researchgate.net/figure/The-schematic-of-hull-stress-monitoring-sensor-network_fig2_283951487

Технологія оптичного зондування Fiber Bragg Grating (FBG) має перевагу порівняно зі звичайними тензодатчиками, оскільки волоконно-оптична технологія забезпечує більш точний моніторинг та більшу економічну ефективність у порівнянні зі звичайними системами. Вона більш легка для установки та не вимагає щорічного повторного калібрування. Також слід зазначити що здійснюється економія завдяки подовженню терміну служби судна і це є вигідною пропозицією для власника.

Базова система включає тензодатчики, зазвичай зварні тензодатчики або тензодатчики з довгою базовою лінією вимірювачів, але також може бути розширений, щоб включити акселерометри, дані про рух і датчики навколишнього середовища. Моніторинг стресу також можна інтегрувати або поєднувати з іншими системами моніторингу та довго доступні записи термінових даних для майбутнього аналізу. Системи можуть бути виготовлені

на замовлення відповідно до специфікацій конкретного судна, щоб відповідати новим вимогам, правилам і нормам.



Рис. 6.6. Типові приклади встановлення сенсорів на корпусі судна

<https://wisegrouppsystems.com/wp-content/uploads/2021/06/Hull-Stress-Monitoring-Systems>

Розділ 7. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень

7.1. Оцінка ефективності впровадження ESD заходів за критерієм EEDI

Визначимо коефіцієнт EEDI до модернізації

$$\begin{aligned}
 EEDI &= \frac{(P_{ME} * (C_{FPilotfuel} * SFC_{MEPilotfuel} + C_{FGas} * SFC_{ME}))}{f_i * f_c * f_l * Capacity * V_{ref} * f_w} + \\
 &+ \frac{(P_{AE} * (C_{FPilotfuel} * SFC_{AEPilotfuel} + C_{FGas} * SFC_{AE}))}{f_i * f_c * f_l * Capacity * V_{ref} * f_w} = \\
 &= \frac{(9000 * (2.75 * 162 + 3.3 * 6.2)) + (1590 * (2.75 * 185 + 3.3 * 6.2))}{1 * 1.5 * 1 * 100000 * 10,5 * 1}
 \end{aligned}$$

$$EEDI = 3,19 \text{ г CO}_2/(\text{т} \cdot \text{милію})$$

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

7.2. Рекомендацій з впровадження результатів роботи

Розглянуті в даному дипломному проєкті модернізаційні заходи можуть бути запроваджені на багатьох типів сучасний суден торгового флоту. За останні два десятиліття у морському секторі спостерігається підвищений інтерес до технології паливних елементів. За цей період було виконано щонайменше 23 проєкти. Більшість цих проєктів використовують технологію PEMFC, тоді як деякі проєкти використовують технології SOFC і MCFC, але в набагато меншому обсязі. Можна зробити висновок, що типи паливних елементів, які використовуються в морському секторі, демонструють приблизно ту саму тенденцію, що й на світовому ринку паливних елементів.

Запропонована гібридна установка базується на використанні паливних елементів працюючих на водні і це має свої плюси. Зберігання водню в чистому вигляді не є дуже енергоємним рішенням щодо об'єму, навіть якщо воно зберігається при високому тиску або криогенній температурі. Вуглеводневе паливо забезпечує більш щільну альтернативу, яку можна використовувати як паливо або безпосередньо в деяких типах паливних елементів, або в більшості випадків шляхом впровадження процесу реформування палива перед паливним елементом для очищення палива до газу, багатого воднем. Можна використовувати різні палива, що містять водень, наприклад: метанол, етанол, DME, LNG і дизельне паливо.

Гібридна установка в купі із валогенератором дає дуже велику перевагу в плані відповідності екологічним нормам, особливо актуально це стає у портах де висувуються вищі вимоги по шкідливим викидам. На таких режимах роботи можна повністю вимикати головний двигун і використовувати гібридну установку яка передає енергію на валогенератор а далі гвинт і повністю виключити шкідливі викиди.

Менш затратним, але не менш корисним є використання насадки перед гвинтом, що зменшує витрату палива до 3-4%, в рамках великих торгових

					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

суден це приносить вже відчутні дивіденди в перші ж роки використання. Сам процес встановлення насадки займає відносно мало часу і є досить дешевим. Судновласник може легко встановити насадку в момент коли робиться планове обслуговування судна (чистка корпусу, фарбування, заміна анодів).

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У виконаній дипломній роботі було запропоновано заходи для підвищення ефективності пропульсивного комплексу судна та модернізація ГД. Наш головний двигун Mitsui MAN 6G60ME-C9.5 ми залишаємо і робимо додаткову систему подачі метанолу в циліндри двигуна. Встановлення насадки перед гвинтом і на нього також покращує ефективність пропульсивної установки, що в кінцевому результаті також дозволяє економити паливо в межах 5–8%.

Система повітряного змащування компанії Silverstream Technologies дозволить досягти скорочення викидів CO₂ на 10-15% разом із значною економією палива.

Полімерні гвинти, армовані вуглецевим волокном (CFRP), виготовлені з використанням полімерів, армованих вуглецевим волокном (CFRP), легші, ніж традиційні гвинти, і можуть підвищити ефективність руху на 3-6%.

Енергозберігаючий пристрій, розроблений компанією Mitsui OSK. маточина гвинта, оснащеної короткими лопатями, розташованими під кутом один до одного для перетворення енергії вихрового руху маточини в додатковий крутний момент і тягу. За підсумками великого досвіду експлуатації заявлено поліпшення тяги на 4–5%.

Найвагомішим вдосконаленням запропонованим для застосування на даному судні є впровадження системи гібридної установки в купі із застосуванням валогенератора, що дозволяє виключити застосування ГД в портах і місцях, де діють жорсткі вимоги щодо шкідливих викидів.

Впровадження всіх заходів забезпечить відповідність судна та енергетичної установки діючим вимогам ІМО. EEDI = 3.19 г CO₂/(т·милю).

Загальний ефект від впровадження вищезгаданих заходів очікується на рівні 13-17% в порівнянні із поточним судном.

Як ми бачимо, навіть досить нове судно можна зробити більш ефективним і зменшити собівартість перевезення тони вантажу.

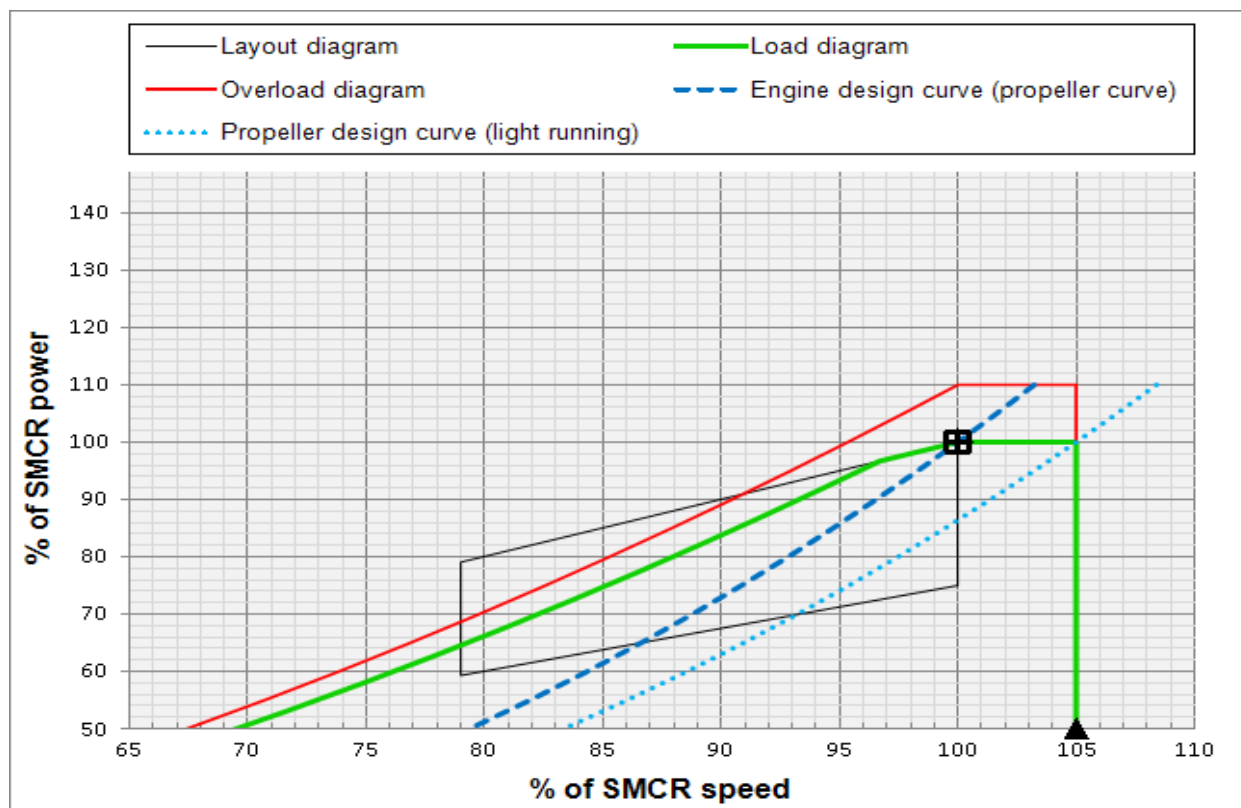
					КРМ. ОП135.6211м. 02	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Ветер и волны в океанах и морях [Текст]: справочные данные. Регистр СССР. - М.: Транспорт. 1974 -359 с.
2. SIGNIFICANT SHIPS OF 2018 © 2018. The Royal Institution of Naval Architects.
3. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (SOLAS)
4. Международный кодекс по управлению безопасности (МКУБ)
5. Горбов В.М. Основи суднової енергетики: збірник практичних завдань /В.М. Горбов, І.П. Єсін, В.С. Мітєнкова. – Миколаїв: НУК, 2018.–244 с
6. Артемов Г.А., Волошин В.П. и др., «Судовые энергетические установки», 1987
7. Шостак В.П. Проектирование пропульсивной установки судов с прямой передачей мощности на винт/ Под ред. Шостака В.П. - Николаев: НКИ, 2003.–500 с
8. IMO (2016). Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines.
9. Gorbov V. M., Mitienkova V. S., Serbin S. I. Alternative Fuels in Ship Power Plants: Monograph. – Mykolaiv: publisher Torubara V. V., 2017. – 120 p.
10. Global Maritime Engineering Co.,Ltd.; HULL STRESS MONITORING SYSTEM; Global Maritime Engineering; Global Maritime Engineering; Sandan 7-ro, Jeongwan-eup, Gijang-gun, Busan, Korea
11. https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:5474167/mmsi:232006301/imo:9766530/vessel:BRITISH_PARTNER
12. <https://www.man-es.com/marine/products/megi-mega/me-gi>
13. <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/eexi/advisory-service-improvement-attained-eexi-value.html>.
14. <https://www.linkedin.com/pulse/hull-air-lubrication-method-drag-reduction-ocean-going-jaura>
15. <https://www.marineinsight.com/shipping-news/hhis-new-fuel-saving-propeller-attachment-can-save-up-to-2-5-of-fuel/>
16. <https://www.ideaconnection.com/new-inventions/rotor-sail-solution-adds-wind-power-to-ship-engines-09641.html>
17. <https://www.nyk.com/english/news/2015/003829.html>
18. <https://www.alt-enviro-tech.com/fuel-oil-emulsions/>

					КРМ. ОП135. 6211м. 02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

19. <https://www.marinelog.com/news/classnk-releases-guidelines-for-cfrp-propellers/>
20. <https://www.becker-marine-systems.com/products/product-detail/becker-mewis-duct.html>
21. https://tech-expo.ru/upload/iblock/8a2/Instruktsiya-po-ekspluatatsii-W_rtsil_-W34DF.pdf
22. <https://www.alfalaval.com/uk/products/heat-transfer/boilers/oil-gas-fired-composite-steam-boiler/aalborg-oc-tci/>
23. <https://www.energy-xprt.com/products/atlas-model-1200-sl-p-large-incinerator-for-burning-solid-and-liquid-waste-632111>
24. <https://www.wartsila.com/waw/freshwater/single-stage-desalination-systems>
25. <https://www.egcsa.com/exhaust-gas-recirculation-explained/>
26. <https://teco2030.no/solutions/teco-marine-fuel-cell/>
27. <https://www.mtu-solutions.com/au/en/technical-articles/2020/moving-towards-climate-neutrality-fuel-cell-technology-for-future-energy-and-propulsion-systems.html>
28. <https://www.insatechmarine.com/products/condition-monitoring/lube-oil/linerscan/#product-info>
29. <https://www.seaships.ru/load.htm>
30. https://www.researchgate.net/figure/The-schematic-of-hull-stress-monitoring-sensor-network_fig2_283951487



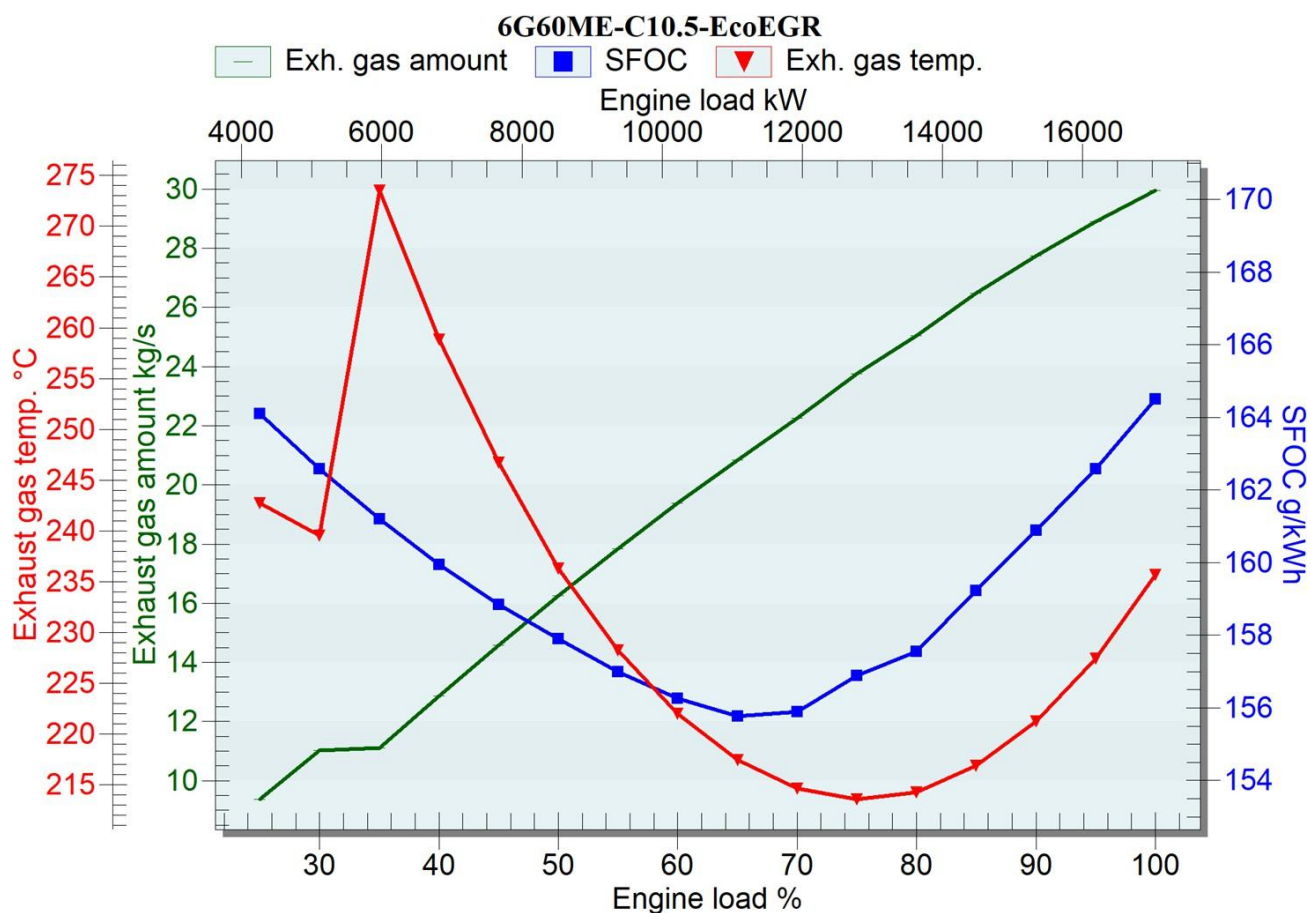
Specified parameters

Type of propeller	Fixed pitch propeller
Cooling system	Central water cooling system
Hydraulic control oil system	Common (system oil)
Hydraulic power supply	Mechanical
Cylinder oil lubricator type	Alpha lubricator
Fuel sulphur content for engine design	Low sulphur
Sulphur in fuel (Tier II)	max 0.5% sulphur
Sulphur in fuel (Tier III)	max 0.1% sulphur
NOx emission compliance	Tier II / Tier III
Pilot oil energy fraction	Nominal 5.0%

Turbocharger specifications

Turbocharger efficiency	High efficiency
Exhaust gas bypass	With EGB*)
Number of turbochargers and make/type	1 x MAN TCT50-ML
Turbocharger lubricating	Common (system oil)
Exhaust gas scrubber for high sulphur	Not installed
Exhaust back pressure (Tier II)	30 mbar
Exhaust back pressure (Tier III)	30 mbar

Fuel Consumption and Exhaust Gas Data Fuel Oil, Tier II mode

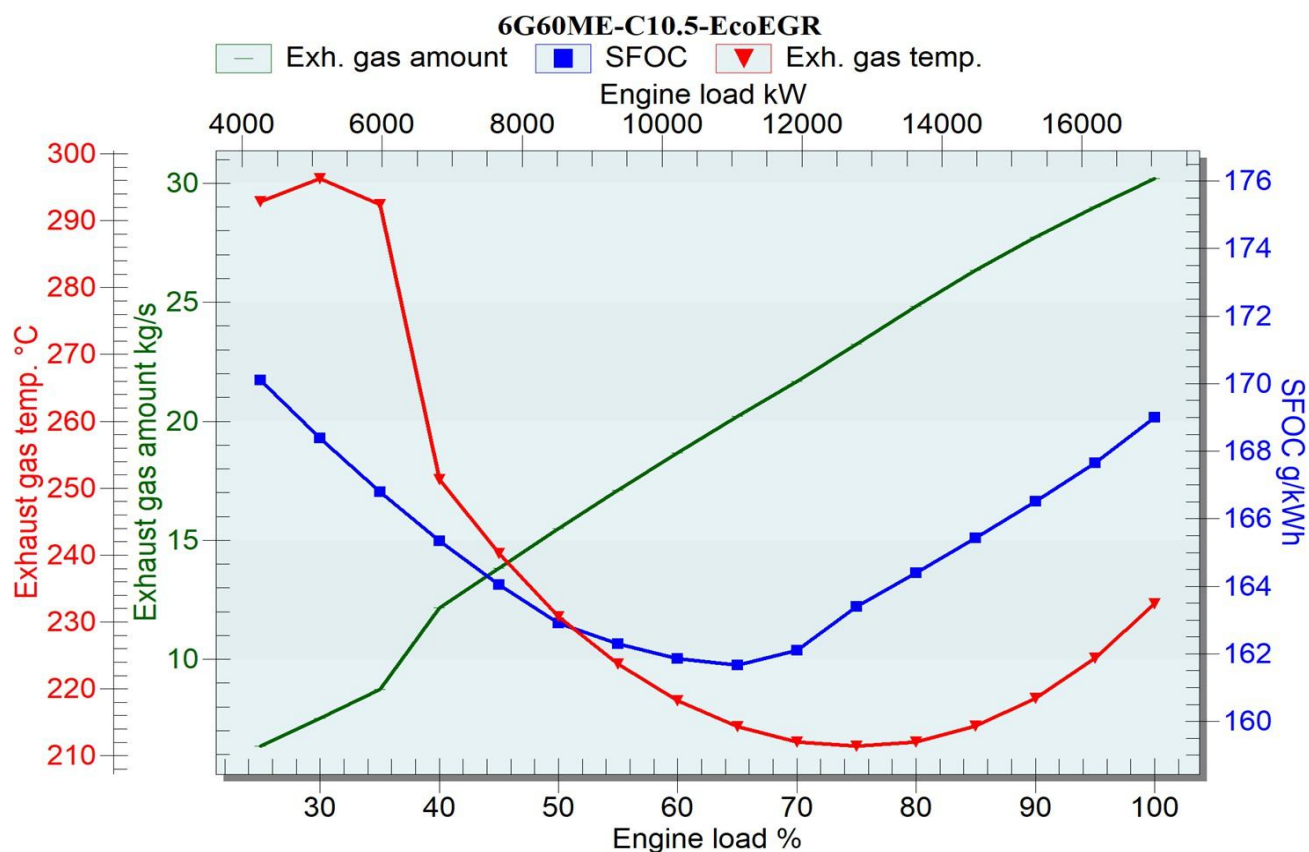


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ. ОП135. 6211м. 02

Арк.

94



Fuel Consumption and Exhaust Gas Data Fuel Oil, Tier III mode

ДОДАТОК Б

Parameter	Units	Blue S9	Blue S18
Rated power [1]	Watts	9,000	18,000
Stack dimensions	L*W*H mm	See drawing	See drawing
Stack weight	kg	39	57
Stack voltage @rated power	V DC	43	77
Stack voltage @OCV [2]	V DC	111	197
Current at rated power	Amp	238	
Stack operating temperature	°C	120-180	
Stack storage temperature	°C	> -30	
Minimum stack air inlet pressure with listed flow rate	bar(g)	0.4	

Maximum stack air inlet pressure	bar(g)	0.8
Air flow requirement	-	Stoichiometry 2-3
Normal air consumption at rated current density (at stoichiometry of 2.5 and oxygen concentration of 21 vol.%)	SLPM	898 1589
Max fuel supply pressure	bar(g)	0.8
Feed gas specification	Hydrogen rich gas [3]	
Fuel flow requirement	-	Stoichiometry 1.15-1.3
Normal hydrogen consumption at rated current density (at stoichiometry of 1.25)	SLPM	189 334
Minimum stack fuel inlet pressure with above listed flow rate	bar(g)	0.15
Coolant type	MultiTherm 503®	
Pressure drop	bar(g)	0.3
Supply pressure range	bar(g)	0.3 to 0.5
Flow-rate range	kg/s	0.3