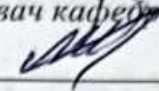


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

*Кафедра експлуатації
суднових енергетичних установок
та теплоенергетики*

„Допущений до захисту”

Завідувач кафедри ЕСЕУ та ТЕ

 *Б.М. Личко*

«__» грудня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
ОПІ 135 «Суднові енергетичні установки та устаткування»

Тема роботи **Розробка пропозицій щодо модернізації ЕУ балкера**
SAO FABIAN

Modernization of the propulsive complex of the
bulk carrier SAO FABIAN

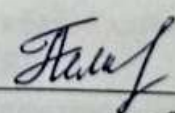
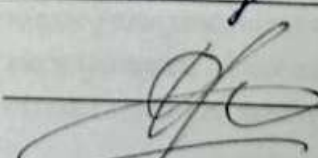
Розрахунково-пояснювальна записка

Виконав:

Студент групи 6211мз

Керівник роботи:

доктор техн. наук, професор

Панасенко А.М.

Коробко В.В.

Миколаїв – 2025 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕУ та ТЕ,

доцент Б.М. Личко

“ ” 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Тема: **Модернізація пропульсивного комплексу рудовозу "Sao FABIAN"**

Виконавець: студент групи 6211МЗ Панасенко Анатолій Миколайович

ЗМІСТ

Анотація – надається (державною та англійською мовами).

Вступ.

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

1.1 Загальна характеристика та відомості про судно.

1.2 Клас проекту за IACS та склад енергетичної установки.

Розділ 2. Вибір і обґрунтування основних проектних рішень.

2.1 Вимоги МАРПОЛ 73/78.

2.2 Вимоги СОЛАС-74.

2.3 Специфічні вимоги ІМО що до пропульсивного комплексу. Аналіз ЕУ базового судна.

2.4 Вибір та обґрунтування технічних заходів модернізації пропульсивного комплексу судна.

Розділ 3. Проектування головної установки судна.

3.1 Вибір головного двигуна та визначення його характеристик.

3.2 Проектування пропульсивної установки.

Розділ 4. Проектування допоміжної ЕУ.

4.1. Аналіз головних споживачів електричної та теплової енергії на судні.

4.2. Розробка теплової схеми та вибір методів утилізації скидної теплоти.

4.3. Проектування енергетичних комплексів. Визначення їх складу та підбір устаткування.

Розділ 5. Проектування систем СЕУ.

5.1. Розробка системних заходів для зменшення емісії компонентів GHG.

5.2. Визначення основних параметрів систем СЕУ.

5.3. Проектування та комплектація системи роторних вітрил.

Розділ 6. Заходи забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ.

6.1 Розробка системи моніторингу та діагностування технічного стану обладнання СЕУ та системи роторних вітрил.

6.2 Розробка заходів с моніторингу стану корпусу судна (Hull stress monitoring system).

6.3 Технологічна розробка. Технологія ремонту кришки циліндра ГД.

					КРМ. ОП 135. 6211МЗ. ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 7. Розробка розташування обладнання енергетичної установки на судні.

7.1. Вимоги до розміщення обладнання в МКВ судна.

7.2. Розробка компоновки обладнання в СЕУ в МКВ.

Розділ 8. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень та розробка рекомендацій з їх подальшого використання.

8.1. Загальна оцінка ефективності впроваджених ESD за критерієм EEDI.

8.2. Розробка рекомендацій з впровадження результатів роботи

Висновки.

Список використаних джерел інформації.

Додатки.

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

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

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

За рішенням керівника допускається доповідь з використанням креслень (плакатів), формат аркушів А1.

Перелік графічного матеріалу

№ з/п	Назви етапів КРМ та їх зміст (узгоджуються з керівником КРМ)	Аркуші, формат А1
1	Характеристики судна, вибір та обґрунтування проектних рішень (креслення поздовжнього перерізу)	1-2
2	Теплова схема СЕУ (принципова схема)	1
3	Системи СЕУ	1-2
4	Розташування обладнання у МКВ, 2-3 види (креслення)	2-3
5	Технологічна розробка – монтаж/ремонт.	1-2
6	Плакати додаються в разі необхідності (кольорові або ч/б)	1-4

Тема КРМ затверджена наказом НУК від "15" 10 2025 року № 1226-ч

Дата подання КРМ на кафедру

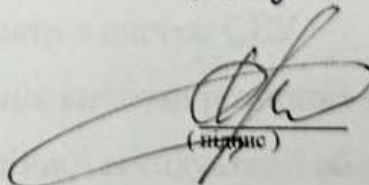
"01" грудня 2025 р.

Завдання прийняв до виконання студент


(підпис)

Панасенко А.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник КРМ
д.т.н, професор


(підпис)

Коробко В.В.
(прізвище та ініціали)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ. ОП 135. 6211М3. ПЗ

Арк.

3

ЗМІСТ

Завдання на виконання ДР	2
Анотація	8
Вступ	11
Розділ 1. Загальні відомості про судно та склад енергетичної установки	13
1.1 Загальна характеристика та відомості про судно	13
1.2 Клас проекту за IACS та склад енергетичної установки	15
Розділ 2. Вибір і обґрунтування основних проектних рішень	18
2.1 Вимоги МАРПОЛ 73/78	18
2.2 Вимоги СОЛАС-74	20
2.3 Специфічні вимоги ІМО що до пропульсивного комплексу	23
Аналіз параметрів ЕУ базового судна	
2.4 Вибір та обґрунтування технічних заходів модернізації	25
пропульсивного комплексу судна	
Розділ 3. Проектування головної установки судна	31
3.1 Вибір головного двигуна та визначення його характеристик	31
3.2 Проектування пропульсивної установки судна	32
Розділ 4. Проектування допоміжної ЕУ	35
4.1 Аналіз головних споживачів електричної та теплової енергії на судні	35
4.2 Розробка теплової схеми та вибір методів утилізації скидної теплоти	35
4.3 Проектування енергетичних комплексів. Визначення їх складу	38
та підбір устаткування	
Розділ 5. Проектування систем СЕУ	44
5.1 Розробка системних заходів для зменшення емісії компонентів GHG	44
5.2 Визначення основних параметрів систем СЕУ	45
5.3 Проектування та комплектація системи роторних вітрил.	46
Розділ 6. Заходи забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ	54
6.1 Розробка системи моніторингу і діагностування стану	54
обладнання СЕУ та системи роторних вітрил	
6.2 Розробка заходів з моніторингу стану корпусу судна	61

(Hull stress monitoring system)	
6.3 Технологічна розробка. Технологія ремонту кришки циліндра ГД	64
Розділ 7. Розробка розташування обладнання ЕУ на судні	67
7.1 Вимоги до розміщення обладнання в МКВ судна	67
7.2 Розробка компоновки обладнання СЕУ в МКВ.	73
Розділ 8. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень та розробка рекомендацій з їх подальшого використання	78
8.1 Загальна оцінка ефективності впроваджених ESD за критерієм EEDI	81
8.2 Розробка рекомендацій з впровадження результатів роботи	84
Висновки	88
Список використаних джерел інформації	89
Додаток 1	91

					КРМ. ОП 135. 6211МЗ. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Перелік умовних позначень

АДГ – аварійний дизель-генератор;
ГД – головний двигун;
ДГ – дизель-генератор;
ДК – допоміжний котел;
ДКУ – допоміжна котельна установка;
ЕУ – енергетична установка;
ЗПГ – зріджений природний газ;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
МВ – машинне відділення;
МКВ – машино-котельне відділення;
СЕУ – суднова енергетична установка;
СЕС – суднова електростанція;
УК – утилізаційний котел;
ЦПУ – центральний пост управління;
СІ – індикатор інтенсивності вуглецю;
ESD – енергозберігаючі пристрої;
EEXI – експлуатаційний індекс ефективності;
EEDI – конструктивний індекс ефективності;
EGR – рециркуляція відхідних газів;
NO_x – окисли азоту;
SO_x – окисли сірки;
CO_x – окисли вуглецю;
GHG – гази що викликають парниковий ефект;

					КРМ. ОП 135. 6211МЗ. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Анотація

Дипломна робота складається з пояснювальної записки обсягом 95 с. на аркушах формату А4 та шести креслень формату А1. До пояснювальної записки входить: вступ, вісім розділів, висновки, список використаних джерел інформації, 41 рисунок та 12 таблиць.

У першому розділі наведена загальна характеристика судна «Sao FABIAN», клас проекту за IACS.

У другому розділі розглянуті основні вимоги IMO, SOLAS-74, MARPOL 73/78. Проведено аналіз пропульсивного комплексу заданого судна. Обґрунтовано і зроблено вибір основних проектних рішень що до підвищення ефективності пропульсивного комплексу.

У третьому розділі запропоновано рішення щодо головної установки судна. Обґрунтовано і зроблено дефорсаж ГД та наведено його основні характеристики. Згідно нових даних по ГД було обрано тип передачі потужності.

У четвертому розділі проведено аналіз допоміжної енергетичної установки. Проаналізовано головні споживачі електричної та теплової енергії. Виконано розробку теплової схеми. Обрано комплектуюче обладнання СЕС, УК, ДК.

У п'ятому розділі запропоновано заходи з обмеження емісії GHG, SO_x, NO_x. Виконано проектування систем СЕУ. Розроблено принципову схему системи роторних вітрил. Проведено аналіз варіантів реалізації системи та її компонування. Обрано комплектуюче обладнання системи.

У шостому розділі розроблені системи та заходи з моніторингу і діагностування стану обладнання СЕУ та системи роторних вітрил, а також заходи з моніторингу стану корпусу судна. Розглянуто питання технічного обслуговування та ремонту кришки циліндра.

У сьомому розділі проведено аналіз розміщення енергетичного обладнання у машинному відділенні. Проаналізовано вимоги розміщення обладнання в МКВ судна. Приведено данні по розміщенню обладнання в МКВ судна.

У восьмому розділі зроблена оцінка ефективності впровадження ESD заходів, розраховано критерій EEDI для базового та модернізованого судна. Приведені рекомендації стосовно впровадження запропонованих заходів підвищення ефективності і екологічності судна.

Ключові слова: пропульсивний комплекс, модернізація, ротор Флеттнера, ефективність, економія, викиди.

					КРМ. ОП 135. 6211МЗ. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Annotation

The graduate work consists of an explanatory note of 99 pages on sheets of A4 format and six drawings of A1 format. The explanatory note includes: an introduction, eight chapters, conclusions, a list of used sources of information, 41 figures and 12 tables.

The first section presents the general characteristics of the ship "Sao FABIAN," the project class according to IACS.

The second section discusses the basic requirements of IMO, SOLAS-74, MARPOL 73/78. An analysis of the propulsive complex of a given vessel was carried out. The choice of the main design solutions to increase efficiency of the propulsion complex has been substantiated and made.

The third section proposes a solution for the main installation of the vessel. The main engine derating is substantiated and made and its main characteristics are given. According to the new data on the ME the type of power transmission was chosen.

In the fourth chapter, an analysis of the auxiliary power plant is carried out. The main consumers of electricity and thermal energy have been analyzed. The components of the electric power plant, exhaust boiler, auxiliary boiler were selected.

The fifth section proposes measures to limit GHG, SO_x, NO_x emissions. Ship power plant systems were designed. A schematic diagram of the rotor sails system has been developed. The variants of the system implementation and its layout were analyzed. System component equipment is selected.

In the sixth chapter, systems and measures for monitoring and diagnosing the condition of the equipment of ship power plant and rotor sails system are developed, as well as measures to monitor the condition of the hull. The issues of maintenance and repair of the cylinder cover are considered.

Section 8 assesses the effectiveness of ESD implementation, the EEDI criterion for the basic and modernized vessel was calculated. Recommendations on implementation of the proposed efficiency improvement measures and environmental friendliness of the vessel are provided.

The seventh section analyzes the location of power equipment in the engine room. The requirements for placing equipment in the engine room of the vessel were analyzed. Given data on the location of equipment in the engine room of the vessel.

Key words: propulsion complex, modernization, Fletner rotor, efficiency, economy, emissions.

					КРМ. ОП 135. 6211МЗ. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Вступ

Актуальність теми.

В даній дипломній роботі запропоновані та розроблені технічні заходи з модернізації СЕУ та пропульсивного комплексу для покращення таких якостей судна, як енергоефективність, економічність та екологічність. Всі ці якості тісно по'язані між собою, та ключову роль відіграє саме екологічність, за якою так пильно слідкують ІМО та МАРПОЛ, висуваючи все жорсткіші вимоги до суден з кожним роком.

Для проектування та модернізації суднових енергетичних установок, важливим аспектом є пошук рішень для покращення технологій очищення та зменшення шкідливого впливу роботи СЕУ на навколишнє середовище. Для цього потрібно постійно проводити моніторинг сучасних розробок провідних компаній, та використати ці технології у нових проектах або при модернізацій.

Мета дослідження.

Головною метою кваліфікаційної роботи є модернізація ЕУ існуючого судна для забезпечення його подальшої тривалої експлуатації відповідно до вимог ІМО та МАРПОЛ.

Задачі дослідження.

- аналіз складу та характеристик СЕУ базового судна;
- пошук технічних заходів та проектних рішень спрямованих на покращення енергоефективності, економічності та екологічності пропульсивної та енергетичної установок судна;
- вибір комплектуючого обладнання та систем, засобів зниження емісії шкідливих викидів.

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

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

					КРМ. ОП 135. 6211МЗ. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

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

					КРМ. ОП 135. 6211МЗ. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СУДНО ТА СКЛАД ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Загальна характеристика та відомості про судно

«Sao FABIAN» є першим з 18 суден у серії рудовозів типу Guaibamax VLOC (Very Large Ore Carriers), дедвейтом 325 тис. т, замовлене Polaris Shipping та побудовано на заводі Hyundai Heavy Industries та зафрахтовано бразильською гірничодобувною компанією-гігантом Vale. Цей тип суден має таку назву на честь терміналу завантаження руди на острові Guaíba в затоці Сепетіба на півдні Бразилії, і має максимально можливі габарити для проходу і можливості завантаження на цьому терміналі.

Рудовоз призначений для перевезення залізної руди на маршруті Бразилія-Китай. Це одногвинтове, однопалубне судно, з кормовим розташуванням машинного відділення та житлової надбудови. Має загальну довжину 333,07 м, ширину 60 м і висоту 29,8 м з проектною осадкою 22,7 м. Має сім вантажних трюмів місткістю 180 000 м³. Специфікаційна швидкість складає 14,5 вузлів, яка забезпечується двигуном MAN B&W 7G80ME-C9.5 виробництва Hyundai потужністю 23 390 кВт, який приводить у рух гвинт діаметром 10,4 м.

Судно працює на важкому паливі, але відповідно до контракту Vale, воно повинно мати можливість переходу на ЗПГ. І це є головною незвичайною особливістю цього судна. Для цього проектантом було конструктивно передбачено простір між трюмами 4 і 5 для майбутньої модернізації, шляхом встановлення танка ЗПГ і додаткової паливної системи. Такі умови контракту були встановлені для перестрахування на рахунок дотримання лімітів по викидам сірки і вуглецю к 2020 року, та вважалося найкращим способом вирішення цього питання. На додаток до можливості використовувати ЗПГ контрактом передбачено встановлення скрубера. [1]

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



Рис. 1.1 Загальний вигляд рудовозу “Sao FABIAN” [1]

Основні характеристики:

Бортовий номер	2947
Номер ІМО	9822255
Власник	Polaris Shipping, Korea
Проектувальник	NHI, Korea
Прапор	Marshall islands
Довжина найбільша	333 м
Довжина між перпендикулярами	323.10 м
Ширина найбільша	60 м
Висота до головної палуби	29,8 м
Вантажомісткість 1 трюму	180 000 м ³
Осадка	22,7 м
Дедвейт	325 000 т
Швидкість руху	14,5 вуз.
Екіпаж: Офіцери	11 чол.
команда	14 чол.

1.2 Клас проекту за IACS та склад енергетичної установки

Клас проекту за IACS:

+KRS1-Ore Carrier ‘ESP’, Sea Trust(DSA1, FSA1, HCM), IWS, ERS, GRAB [40], IHM, CLEAN1, BLU, LNG READY 1(SR, ME-c, AE-c, B-c), LG, LI, +KRM1-UMA, STCM, BWT - судно, необмеженого району плавання, збудоване під наглядом корейського реєстру, призначене насамперед для перевезення рудних вантажів навалом, конструкція якого має одну палубу, дві поздовжні переборки та подвійне дно по всій вантажній довжині. Має періодичний тип несення ваhti в машинному відділенні. Відповідає вимогам щодо охорони навколишнього середовища і енергоефективності фази 1 відповідно до Додатку I-II, IV-V, та VI правил 13,14, 20, 21 MARPOL. Має систему контролю та управління скидом баластних вод, для запобігання руйнуванню екосистеми. Для судна спроектовано та встановлено частини системи ЗПГ відповідно до правил для суден, що використовують як паливо зріджений природний газ. Можливість переходу ГД, ДГ та ДК для роботи на ЗПГ. Судно має системи для вимірювання остійності, вимірювання поздовжньої міцності корпусу, а також систему моніторингу стану дейдвудної труби. [1,2]

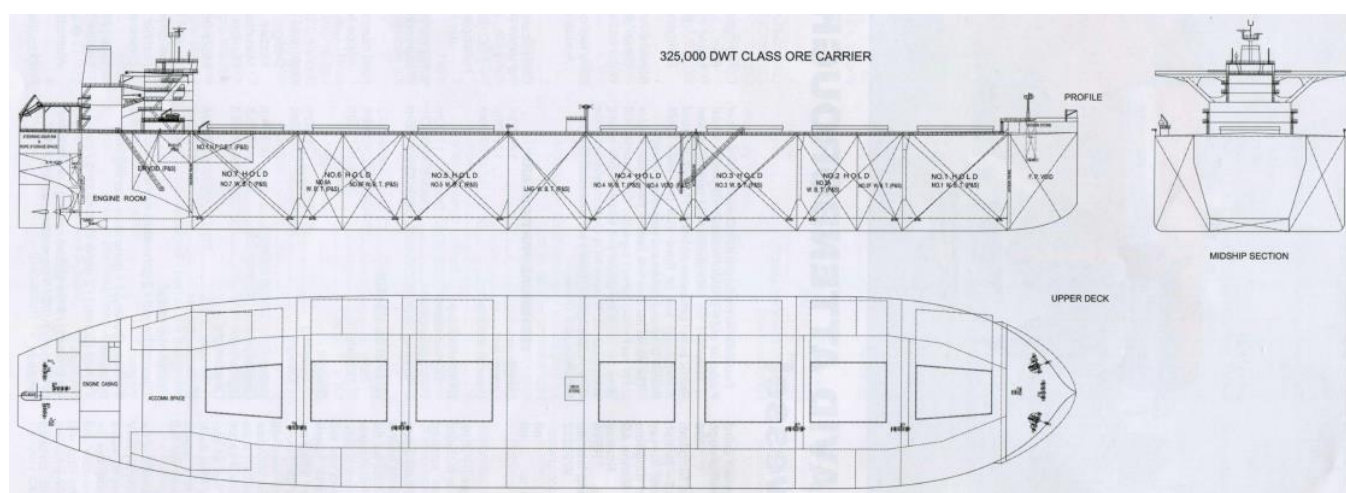


Рис. 1.2 Основні проекції судна “ Sao FABIAN ” [1]

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

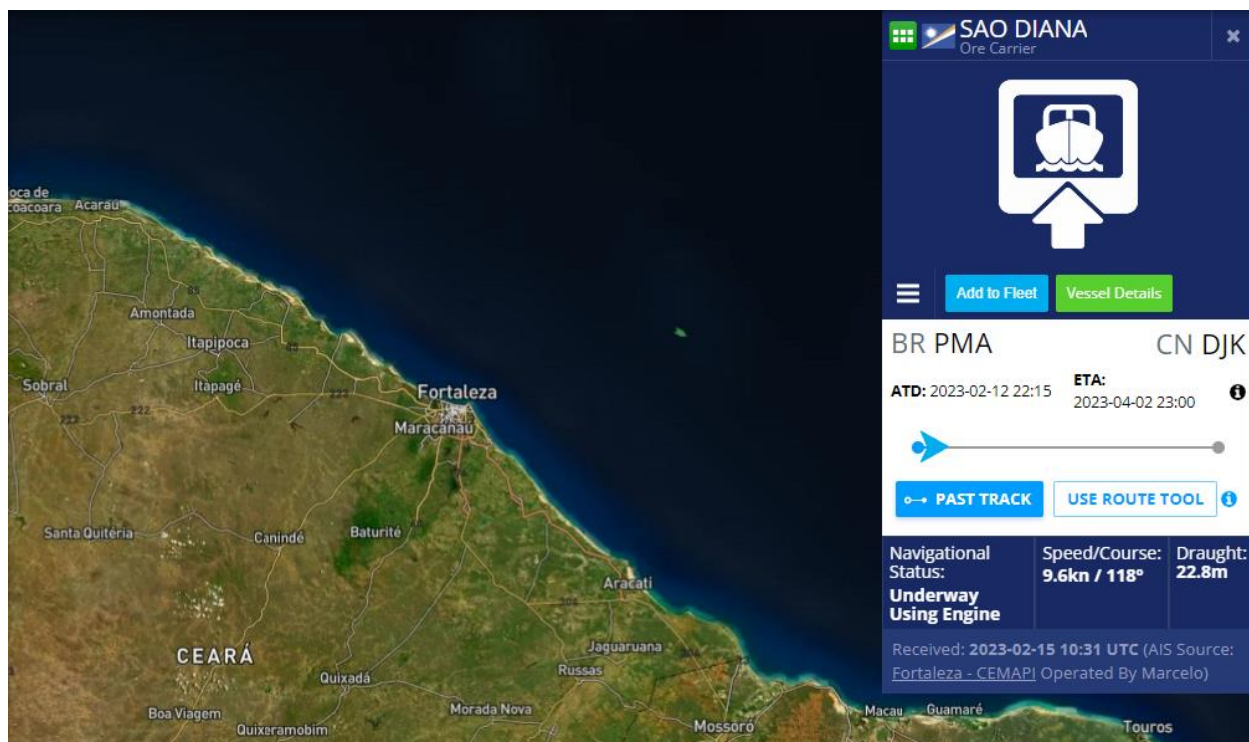


Рис. 1.3 Фактичне розташування судна “Sao FABIAN” [3]

До складу ЕУ входить наступне основне обладнання:

• Головний двигун

Виробник	Hyundai-MAN B&W
Марка	7G80ME-C9.5
Кількість	1
Тип палива	HFO, MGO
Ефективна потужність	23 390 кВт
Частота обертання валу	65,1 об/хв

• Рушій

Виробник	Hyundai
Тип	Фіксованого кроку
Кількість	1
Матеріал	Нікель-алюміній-бронза
Діаметр	10,4 м

- Допоміжні дизель-генератори

Виробник	Hyundai
Марка	HiMSEN 7H21C
Кількість	3
Тип палива	HFO, MGO
Номинальна потужність	1500 кВт
Частота обертання валу	900 об/хв

- одного аварійного дизель-генератора;

- Допоміжний котел

Виробник	KangRim
Тип	Автоматизований, жаротрубний
Кількість	1
Тип палива	HFO, MGO
Паропроductивність	4000 кг/год
Робочий тиск	7 кг/см ²

- однієї водоопріснювальної установки;

- одного інсинератора; [1]

РОЗДІЛ 2. ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

Перед тим як, міркувати над вибором проектних рішень та варіантами модернізації судна, слід ознайомитись з вимогами МАРПОЛ, СОЛАС та ІМО.

2.1 Вимоги МАРПОЛ 73/78

Глава III

Вимоги до контролю за викидами з суден

Правило 13 Окисли азоту

1. 1 Це правило застосовується до:

.1 кожного дизельного двигуна вихідною потужністю більш ніж 130 кВт, що встановлений на судні, побудованому 1 січня 2000 року або після цієї дати, а також

.2 кожного дизельного двигуна вихідною потужністю більш ніж 130 кВт, що значно переобладнане 1 січня 2000 року або після цієї дати.

2. Для цілей цього правила "значне переобладнання" означає модифікацію двигуна, у ході якої:

.1 двигун замінюється новим двигуном, побудованим 1 січня 2000 року чи після цієї дати, або

.2 двигун піддається будь-якій значній модифікації, як вона визначена в Технічному кодексі з NO_x, або

.3) максимальна тривала вихідна потужність двигуна збільшується більш ніж на 10 %.

Ярус III

5.1 За умови дотримання правила 3 цього Додатка експлуатація суднового дизельного двигуна, який встановлений на судні, побудованому 1 січня 2016 року або після цієї дати:

.1 забороняється, за винятком випадків, коли викид оксидів азоту (розрахований як повний виважений викид NO₂) з двигуна знаходиться в таких

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

межах, де n - номінальна частота обертання двигуна (обороти колінчастого валу за хвилину):

.1.1 3,4 г/кВт*год при n менше 130 об/хв;

.1.2 9(-0,2) г/кВт*год при n , рівному або більше 130, але менше 2000 об/хв;

.1.3 2,0 г/кВт*год при n рівному або більше 2000 об/хв;

Правило 14

Окиси сірки (SO_x) та тверді частки

Загальні вимоги

1 Вміст сірки в будь-якому рідкому паливі, що використовується на судах, не повинен перевищувати наступних меж:

.1 4,50% за масою до 1 січня 2012 року;

.2 3,50% за масою 1 січня 2012 року та після цієї дати;

.3 0,50% за масою 1 січня 2020 року та після цієї дати.

Вимоги, які застосовуються в межах районів контролю викидів

4 Коли судна експлуатуються в районах контролю викидів, вміст сірки в рідкому паливі, що використовується на судах, не повинен перевищувати наступних меж:

.1 1,50% за масою до 1 липня 2010 року;

.2 1,00% за масою 1 липня 2010 року та після цієї дати;

.3 0,10% за масою 1 січня 2015 року та після цієї дати;

Глава IV

«Вимоги з енергоефективності суден» Додатка VI до МАРПОЛ 73/78, введена до цього Додатка резолюцією ІМО МЕРС.203(62) з поправками, внесеними резолюцією ІМО МЕРС.251(66), застосовується до всіх суден валовою місткістю 400 за винятком суден, рух яких забезпечується немеханічними засобами, а також платформ, включаючи плавучі нафтогазовидобувні комплекси (FPSO та FSO), ПБУ (незалежно від засобів їх руху) та МСП. 2.6.2 Відповідно до правил 20 та 21 Додатка VI до МАРПОЛ 73/78 для наступних судів повинні бути визначені досягнутий (розрахунковий)

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

EEDI та необхідний (граничний) EEDI: для нових суден; для нових суден, які зазнали значного переобладнання; для нових суден або існуючих суден, які зазнали значного переобладнання, яке, на думку Адміністрації, є настільки суттєвим, що до них необхідно застосовувати вимоги як до нових судів.

Відповідно до правила 21 Додатка VI до МАРПОЛ 73/78 для суден, зазначених у цьому правилі типів, досягнутий EEDI повинен бути меншим за необхідний EEDI або дорівнює йому: Досягнутий EEDI $\leq$ Необхідний EEDI = $(1 - X/100) \times$ величина Базової лінії. Необхідний EEDI повинен визначатися добутком величини базової лінії для конкретного типу судна на множник « $(1 - X/100)$ », в якому враховується величина понижуючого коефіцієнта X, що залежить від типу судна, його розмірів та чотирьох тимчасових фаз застосування цього коефіцієнта. [4]

2.2 Вимоги СОЛАС 74

Глава VI

Частина В - Спеціальні положення для навалочних вантажів

Правило 6. Прийнятність для перевезення

До завантаження навалочного вантажу капітан судна повинен мати вичерпну інформацію про остійність судна і про розподіл вантажу згідно з типовими випадками завантаження. Спосіб підготовки такої інформації має відповідати вимогам Адміністрації.

Правило 7. Завантаження, розміщення та розвантаження навалочних вантажів.

1. Для цілей цього правила представник терміналу означає особу, призначену терміналом або іншою установою, де завантажуються або розвантажуються судно, яке є відповідальним за операції, що проводяться цим терміналом або установою щодо конкретного судна.

2. Для того, щоб капітан міг запобігти надмірній напрузі в корпусі, судно має бути забезпечене буклетом мовою, яку знає командний склад, відповідальний за вантажні операції на судні. Якщо ця мова не є англійською,

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

судно має бути забезпечене буклетом також англійською мовою. Буклет, як мінімум, повинен включати:

- .1 дані про остійність, необхідні правилом II-1/5-1;
- .2 дані про місткість баластних танків та продуктивність засобів заповнення та відкачування цих танків;
- .3 максимально допустиме навантаження на одиницю поверхні другого дна;
- .4 максимально допустиме навантаження на трюм;
- .5 інструкції загального характеру щодо завантаження та розвантаження щодо міцності корпусу, включаючи будь-які обмеження щодо найгірших умов експлуатації протягом завантаження, розвантаження, операцій з водяним баластом під час рейсу;
- .6 будь - які спеціальні обмеження щодо найгірших умов експлуатації , накладені Адміністрацією або визнаною нею організацією , якщо може бути застосовано;
- .7 де потрібні розрахунки на міцність - максимально дозволені зусилля та моменти, що впливають на корпус судна під час завантаження, розвантаження та під час рейсу.

3. Перед завантаженням або розвантаженням навалочного вантажу капітан і представник терміналу повинні скласти узгоджений між ними план, який забезпечує, щоб дозволені зусилля і моменти, що впливають на судно, не перевищувалися при завантаженні або розвантаженні; план повинен включати послідовність, кількість і необхідний час на завантаження або розвантаження, беручи до уваги продуктивність засобів завантаження або розвантаження, кількість живильників/конвеєрів/грейферів та можливостей судна з прийому/відкачування водяного баласту. План та будь-які подальші зміни в ньому мають передаватися на зберігання відповідної влади держави порту.

4. Завантажувальні вантажі вантажаться, і їх поверхня розрівнюється, наскільки це необхідно, до меж вантажного приміщення, щоб звести до

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

мінімуму ризик зміщення вантажу та забезпечити достатню остійність протягом усього рейсу.

5. Якщо завантажувальні вантажі перевозяться у твіндеках, люки таких твіндеків повинні закриватися в тих випадках, коли інформація про навантаження вказує на неприпустимий рівень напруги в наборі днища при відкритих люках твіндеків. Поверхня вантажу достатньо розрівнюється і має або простягатися на одному рівні від борту до борту, або ділитися додатковими поздовжніми переборками достатньої міцності. Щоб уникнути перенапруження у наборі палуби твіндека, повинна дотримуватися безпечна величина вантажомісткості твіндеків.

6. Капітан і представник терміналу повинні забезпечити проведення операцій з завантаження та розвантаження відповідно до узгодженого плану.

7. Якщо в ході завантаження або розвантаження будь-який з показників судна, посилення на які робиться в пункті 2, перевищено або може стати таким, якщо завантаження або розвантаження буде продовжено, капітан має право призупинити вантажні операції і зобов'язаний сповістити про це відповідну владу держави порту, якої передано на зберігання план. Капітан та представник терміналу мають забезпечити вжиття заходів щодо виправлення ситуації. Капітан і представник терміналу повинні забезпечити, щоб метод розвантаження не завдав пошкодження набору корпусу судна.

8. Капітан забезпечує, щоб персонал судна постійно відстежував вантажні операції. Де можливо, повинна регулярно замірятися осадка судна при завантаженні або розвантаженні з метою підтвердження зазначеної терміналом кількості обробленого вантажу. Кожний замір осадки та кількості вантажу заноситься до Вантажної книги. Якщо виявлено значні відхилення від узгодженого плану, то вантажні або баластові або обидва ці види операцій повинні бути скориговані з метою виправлення відхилень. [5]

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2.3 Специфічні вимоги ІМО що до пропульсивного комплексу. Аналіз параметрів ЕУ базового судна.

Першими специфічними вимогами до пропульсивного комплексу є обмеження викиду SO_x і NO_x які описані вище, нижче наведено графічне відображення впровадження етапів відповідно МАРПОЛ 73/78.

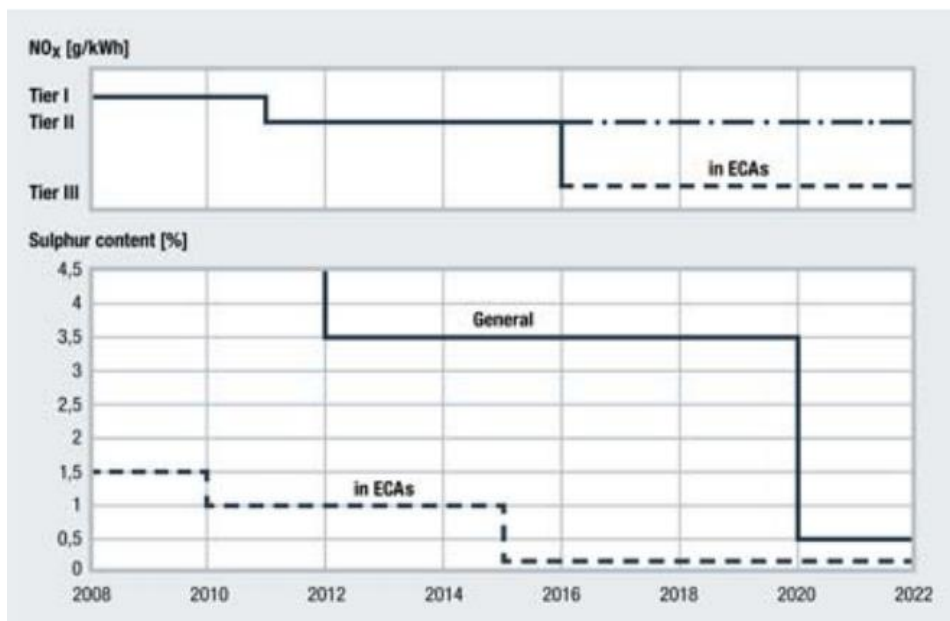


Рис. 2.1 Етапи впровадження граничних значень викидів SO_x і NO_x [6]

Наступні вимоги висуває ІМО. На початку 2023р, ІМО запровадило індекс ЕЕХІ який націлений на підвищення енергоефективності суден і зменшення використання вуглецевих палив, для мінімізації викидів вуглецю суднами.

Цей індекс є основою для оцінки енергоефективності суден, що знаходяться в експлуатації, як вони спроектовані та побудовані шляхом врахування потужності головного та допоміжних двигунів, транспортну здатність і задану базову швидкість.

Викиди розраховуються з використанням встановленої потужності ГД та допоміжних двигунів, питомої витрати палива двигуном і коефіцієнта перерахунку маси палива в масу CO_2 .

Отриманий EEXI буде порівнюватися з необхідним EEXI, рівнем продуктивності, встановленим правилами ІМО. Необхідні значення EEXI визначаються на основі статистики флоту за типом судна, вантажопідйомністю та методом руху.

Індикатор інтенсивності вуглецю (CII) – це рейтингова система для суден, розроблена Міжнародною морською організацією (ІМО). Це є обов’язковий захід згідно з Додатком VI MARPOL, який набуває чинності в 2023 році. Досягнутий CII розраховується як відношення загальної маси CO₂, що викидається судном, до загальної транспортної роботи, яку воно виконує за календарний рік.

Конструктивний індекс ефективності (EEDI) - вимірює ефективність конструкції, на відміну від ефективності експлуатації, і є найважливішим технічним показником для нових суден.

Щоб відповідати EEDI, судно має відповідати необхідному стандарту для свого типу та розміру, вираженому в грамах CO₂ на мильну місткість. [8]

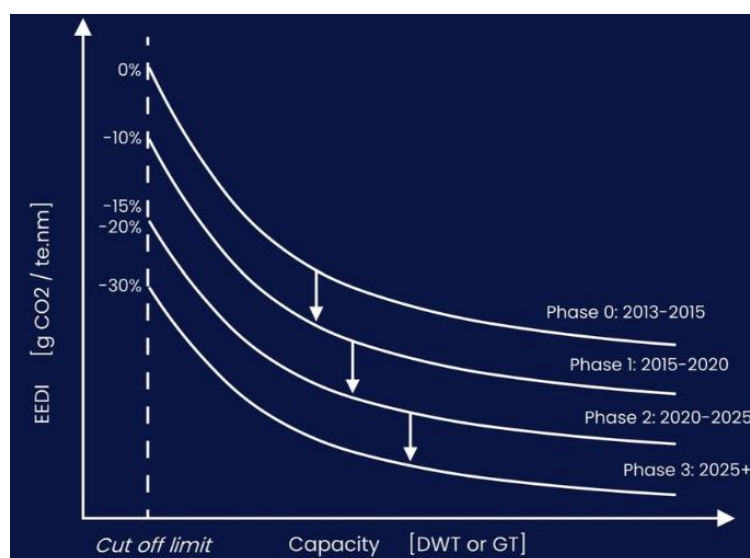


Рис. 2.2 Графічне відображення етапів та їх відсоткове значення щодо зменшення викидів суднових двигунів [7]

Проаналізувавши загальні відомості, та клас проекту судна “Sao FABIAN” можна зробити висновок, що судно відповідає вимогам по викиду

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

SO_x і NO_x та рівню ефективності фази 1, але для забезпечення подальшої тривалої експлуатації судно потребує підвищення рівня ефективності та екологічності відповідно до фази 3. Це приблизно 15-20%.

Для досягнення такої ефективності вже існує велика кількість різноманітних варіантів і шляхів, які пропонують різні компанії. Якщо узагальнити їх, то це можуть бути наступні рішення:

- 1) Обмеження потужності двигуна
- 2) Зміна типу палива з рідкого (MDO, HFO) на скраплений природний газ (LNG)
- 3) Модернізація гвинта
- 4) Встановлення валогенератора
- 5) Встановлення енергозберігаючих пристроїв (ESD)
- 6) Установка роторних вітрил
- 7) збільшення транспортної потужності (дедвейту).

2.4 Вибір та обґрунтування технічних заходів модернізації пропульсивного комплексу судна.

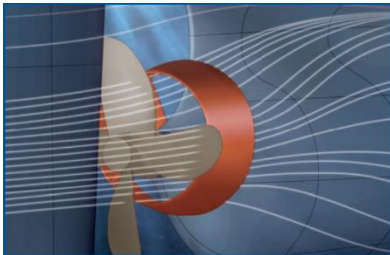
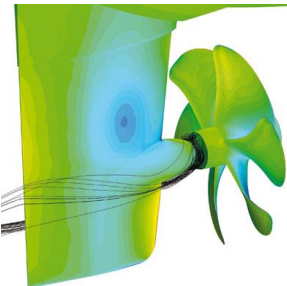
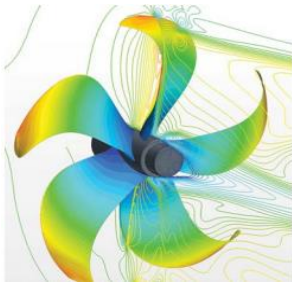
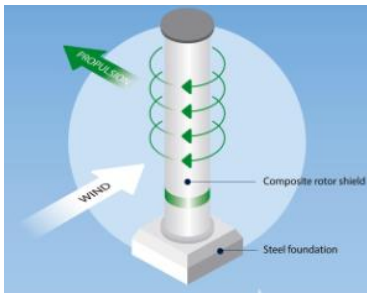
На судні є можливість переходу на ЗПГ через переобладнання головного та допоміжних двигунів, та встановлення нової паливної системи з танками запасу ЗПГ у зарезервованому для цього трюмі по міделю. Але, є інша пропозиція - це використання сумісних ESD та установка роторних вітрил, а зарезервований трюм під систему ЗПГ використати як вантажний, тим самим збільшуючи кількість перевезеного вантажу.

Спираючись на фірму виробника головних та допоміжних двигунів, найкращим варіантом вибору фірми для реалізації модернізації з використанням ESD буде фірма MAN B&W.

Дивлячись на кормову частину судна видно, що вже встановлено спрямовуючий канал та ефективне **кермо з бульбом**. Для доповнення цієї комбінації пропонується встановити гвинт Каппеля.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 Технічні заходи модернізації пропульсивного комплексу судна.

Номер	Було встановлено	Додано
1	Спрямовуючий канал 	
2	Кермо з бульбом 	
3		Гвинт Капеля 
4		Роторні вітрила 
Очікуваний результат: 5% підвищення ефективності пропульсивного комплексу. 10-20% зменшення витрати палива та викидів CO ₂ .		

У відповідності рекомендаціям MAN всі ці енергозберігаючі девайси сумісні у комбінованому поєднанні і змінюючи гребний гвинт можна отримати від 3 до 6% підвищення ефективності пропульсивного комплексу.

	Before the propeller		At the propeller			After the propeller		
	Pre-swirl fins	Wake equal. duct	Kappel design	EcoCap Hub cap fins	AHT nozzle	EcoBulb Rudder bulb	Post-swirl fins	Efficiency rudder
								
Pre-swirl fins	3-5 %	●	↓	●	●	●	●	↓
Wake equal. duct	●	3-8 %	●	●	●	●	●	●
Kappel design	●	●	3-6 %	●	●	●	●	●
EcoCap Hub cap fins	●	●	●	2-5 %	●	●	●	●
AHT nozzle	●	●	●	●	5-8 %	●	●	●
EcoBulb Rudder bulb	●	●	●	●	●	2-5 %	●	●
Post-swirl fins	●	●	●	●	●	●	2-3 %	●
Efficiency rudder	●	●	●	●	●	●	●	2-4 %
MAN Energy Solutions Propeller & Aft Ship solutions								
● Can be combined ● Can sometimes be partially combined ● Should not be combined								

Рис. 2.3 Можливі комбінації ESD відповідно рекомендаціям MAN [9]

Спрямовуючий канал

Пристрій для поліпшення рушійної сили. Він складається з двох соплоподібних півкільцевих каналів, встановлених по обидва боки корми перед гвинтом. Канали прискорюють потік на верхню частину площини гвинта і трохи сповільнює його в нижній частині, таким чином досягаючи більш однорідного набігаючого потоку.

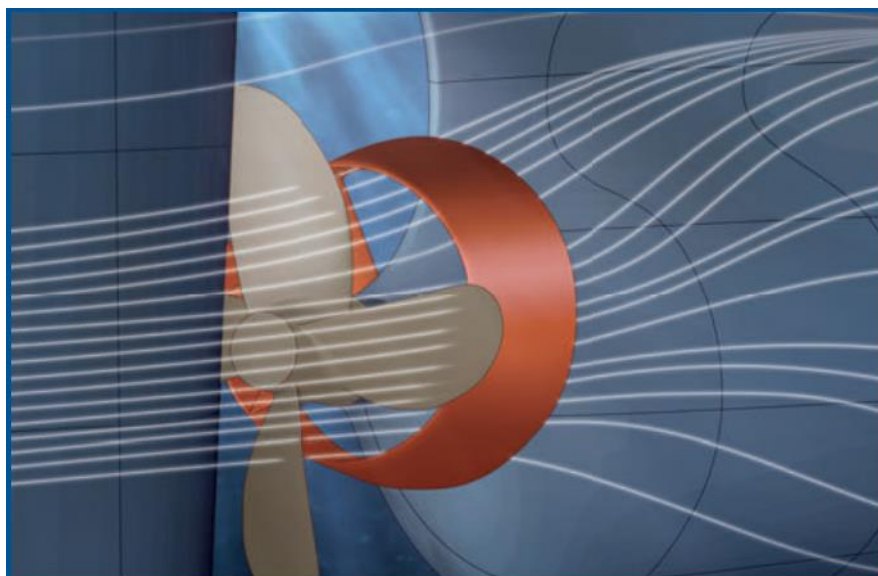


Рис. 2.4 Наглядне відображення зміни потоку у спрямовуючому каналі [10]

Гвинт Каппеля

Такі гвинти можуть виглядати дуже схожими на звичайні гвинти, але особливість в тому, що крило повністю інтегровано в лопаті гвинта. Гвинти Каппеля характеризуються наступним:

- Крило вбудоване в лопаті гвинта.
- Крило вигнуте в бік всмоктування.
- Крило сприймає навантаження.
- Ухил від низького до помірного.

Переваги

- Високоєфективний гідродинамічний дизайн
- Зниження імпульсів тиску, викликаних гвинтом
- Зменшення ризику кавітації

Експлуатаційні переваги

Підвищений ККД гвинта означає економію через меншу витрату палива, зменшення викидів вихлопних газів, або може бути використаний як більша тяга для збільшення швидкості судна при заданій потужності двигуна.

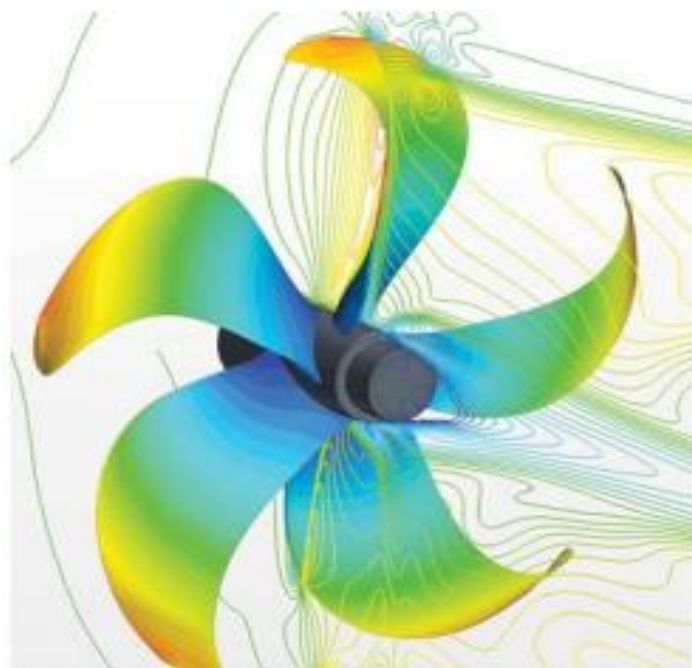


Рис. 2.5 Гвинт Каппеля і відображення розподілу потоку [11]

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Роторні вітрила (Rotor Sails)

Роторні вітрила - це вітрила, які створюють тягову силу за допомогою швидкого обертання навколо своєї осі, використовуючи ефект Магнуса для створення потужної тяги судна. Це циліндричне вітрило створює різницю тиску, змінюючи напрямок потоку вітру навколо циліндру через тертя. Такі вітрила можуть ефективно створювати велику тягову силу завдяки швидкості вітру, який атакує вітрило під різними кутами, тим самим зменшуючи витрату палива та необхідну потужність для руху судна.

Ці роторні вітрила недорогі в установці та обслуговуванні порівняно з іншими варіантами рушіїв великих суден. Це паливоефективний і легко застосовний метод для багатьох суден, і його можна використовувати практично на будь-якому маршруті.



Рис. 2.6 Приклад розташування роторних вітрил [12]

Потужність згенерованої підйомної сили залежить від геометричних пропорцій і розмірів вітрила, а також може регулюватись одним параметром: швидкістю обертання. Швидкість обертання роторного вітрила має суттєвий вплив на кількість генерованої підйомної сили. Ситуаційні фактори, такі як швидкість вітру, погода та кут вітру, впливають на використання роторних вітрил, однак зазвичай це не контрольований фактор. Роторні вітрила добре працюють за низки цих ситуаційних факторів, що робить їх додатковим варіантом підвищення енергоефективності.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Ідеальний напрямок вітру - з правого або лівого борт судна. Сторона, з якої дме вітер, має значення і може впливати на напрямок сили в межах 180 градусів. На щастя, є просте рішення для контролю сили направленої вперед: воно залежить від напрямку обертання циліндра. Якщо вітер дме з лівого борту, вітрила повинні обертатися за годинниковою стрілкою, щоб підтримувати силу для руху вперед. Так само, якщо вітер дме з правого борту, вітрила повинні обертатися проти годинникової стрілки. [13]

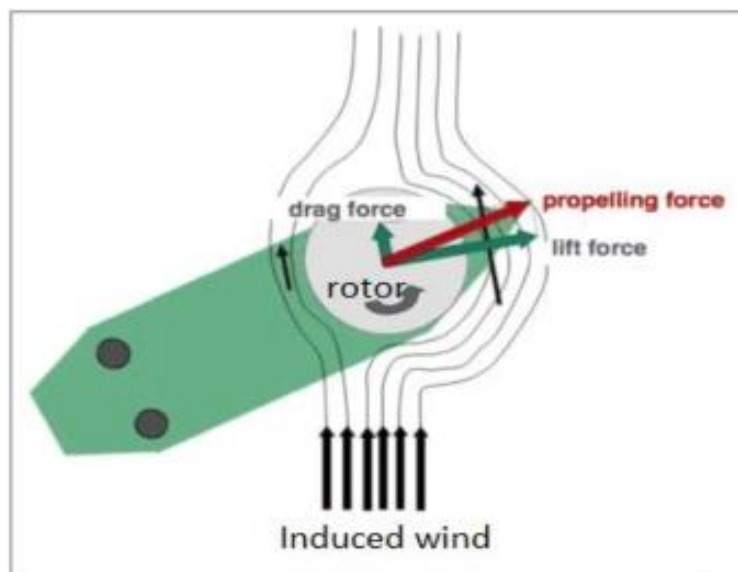


Рис. 2.7 Напрямок вітру і виникаюча підйомна сила [13]

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ГОЛОВНОЇ УСТАНОВКИ СУДНА

3.1 Вибір головного двигуна та визначення його характеристик.

Так як це модернізація вже існуючого судна, то логічним і найпростішим варіантом, з точки зору трудо-ресурсозатрат, є залишити вже встановлений ГД та зменшити його ефективну потужність на 5%. Зменшення потужності можливе, за рахунок того, що підвищиться пропульсивна ефективність завдяки встановленим ESD. Дефорсаж двигуна зроблено у on-line сервісі фірми MAN – CEAS engine calculation. Результати розрахунків та навантажувальна діаграма двигуна наведено у Додатку 1. Характеристики модернізованого двигуна наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Характеристики модернізованого двигуна [14]

Тип	дизельний двигун
Кількість	1
Фірма-будівник	MAN B&W
Марка двигуна	7G80ME-C9.5
Діаметр циліндра	800 мм
Хід поршня	3720 мм
Тип палива	HFO
Специфікаційна потужність	26 141 кВт
Ефективна потужність	22 220 кВт
Частота обертання валу	60 об/ хв
Витрата палива	163,2 г/кВт*год
Середній ефективний тиск	1,71 МПа
Турбокомпресори	1 x MAN TCA77-21 1 x MAN TCT40-ML
Охолоджувач повітря	1x115 м³/год
Відповідність викидів NOx	IMO Tier III

Спосіб зменшення викидів NOx	EGR
Тип гвинта	Фіксований крок
Температура відхідних газів	222 °C
Потік відхідних газів	34,3 кг/с
Потік повітря у турбокомпресорі	33,6 кг/с
Загальний об'єм пускового повітря	2x14 м³
Кількість пусків	12
Тиск пускового повітря	30 бар

Для наступних суден цієї серії можливі інші варіанти встановлення більш сучасних головних двигунів, пропозиція щодо альтернативних ГД наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Можливі варіанти альтернативних ГД [15,16]

Фірма	Марка	Специфікаційна потужність, кВт	Частота обертання валу об/хв	Витрата палива г/кВт*год
MAN B&W	6G80ME-C10.6	23 000	67	159,5
Wartsila	6X82DF-2.0	24 000	65	173

3.2 Проектування пропульсивної установки.

Щодо головного двигуна, рішення було запропоновано вище. Тип передачі потужності залишається не змінним – пряма передача потужності на гвинт. В якості рушія залишається гвинт, але змінено його вид. Замість наявного гвинта пропонується встановити більш ефективний гвинт Капеля.

Через дедалі жорсткіші фази EEDI, спрямовані на зменшення викидів парникових газів (ПГ), пропонується встановити валогенератор, який знижує EEDI допомагаючи досягти відповідності вимогам ІМО. Порівняно з іншими

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

засобами підвищення ефективності всього обладнання на борту, валогенератор часто є найнадійнішим і найдешевшим рішенням.

Встановлення валогенератора на борту судна має кілька переваг - дозволяє виробляти електроенергію ГД з низькою питомою витратою палива. Крім того, менша кількість годин роботи допоміжних генераторів зменшує технічне обслуговування та витрати на запчастини.

Валогенератор пропонується встановити на лінію валу, за принципом відбору потужності – “power take-off (PTO)”. У цьому режимі валогенератор покриває потребу в електроенергії самостійно або паралельно з генераторними установками, це можливо завдяки встановленню перетворювача частоти. Цей режим може запропонувати значне скорочення споживання палива завдяки кращій економії палива ГД порівняно з допоміжними генераторами.

Коли судно маневрує на низьких обертах, наприклад, у порту, валогенератор не задіяний, натомість генератори покривають потреби у електроенергії.

Коли судно вийшло з порту та набрало швидкість у відкритому морі, вмикається валогенератор, а допоміжні генератори зупиняються.

Можливість використання валогенератору і оптимізація його роботи надається фірмою MAN B&W і полягає в тому, яка має бути встановлена вихідна потужність валогенератора, щоб покрити загальне електричне навантаження під час плавання, або електричне навантаження протягом 80% робочого часу, наприклад, або працювати паралельно з генераторними установками під час пікового навантаження.

Передача потужності на гвинт залишається прямою, склад і розрахунок елементів валопроводу надає фірма MAN B&W. [17]

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

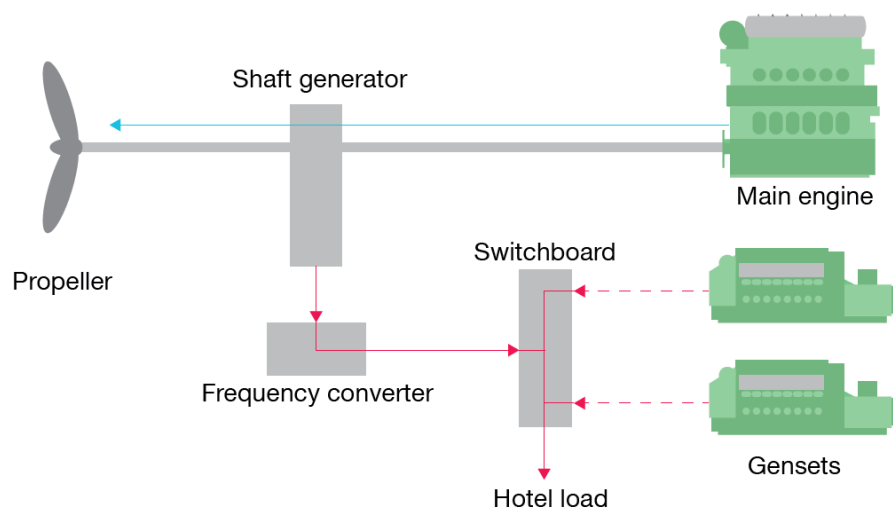


Рис. 3.1 Схема розподілу електричної потужності за принципом РТО [17]

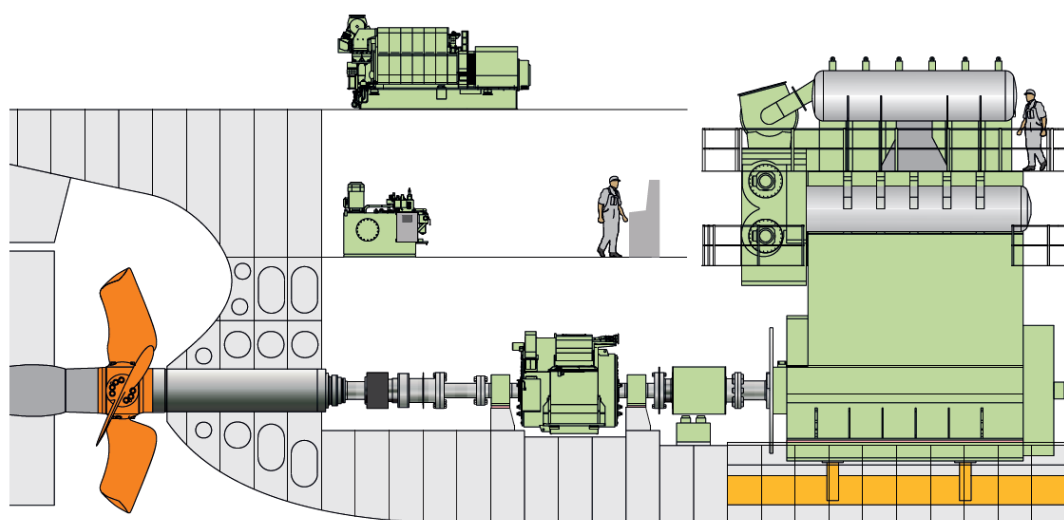


Рис. 3.2 Приклад розташування валогенератору у МВ [17]

РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ ДОПОМІЖНОЇ ЕУ

4.1 Аналіз головних споживачів електричної та теплової енергії на судні.

Модернізація судна не приводить до значних змін споживанні електричної енергії, додалися лише витрати на систему очистки відхідних газів (EGR) та привід двигунів роторних вітрил, але ці зміни не суттєві і наявна кількість генераторів покриває ці потреби. Така ж сама ситуація зі споживачами теплової енергії, вони залишилися без змін.

4.2 Розробка теплової схеми та вибір методів утилізації скидної теплоти.

Опис теплової схеми

Турбокомпресор нагнітає повітря в головний двигун через охолоджувач наддуваного повітря, що охолоджується прісною та забортною водою до необхідної температури. Система охолодження ГД забезпечує автоматичну підтримку заданої температури прісної води на вході в ГД. Опріснювальна установка використовує тепло води системи охолодження ГД. Якщо водоопріснювальна установка не працює, охолодження води здійснюється у водоохолоджувачі, за допомогою забортної води. Змащення і охолодження двигуна здійснюється маслом. Охолодження масла здійснюється прісною водою. Передбачено автоматичне регулювання температури масла. Паливна система обладнана регулятором в'язкості. У системі двигуна автоматизований весь процес паливopідготовки.

Живильна вода з теплового ящика, подається в ДК. З випарної частини пароводяна суміш надходить у сепаратор пари, де здійснюється його відділення від води, і подається до споживачів, де він конденсується. Конденсат надходить через конденсатор до теплового ящика. Системи ДК автоматично підтримують тиск пари, рівень води в теплому ящику та у сепараторі.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Випускні гази ГД відпрацювавши у турбокомпресорі, направляються через систему EGR до утилізаційного котла і за ним в атмосферу.

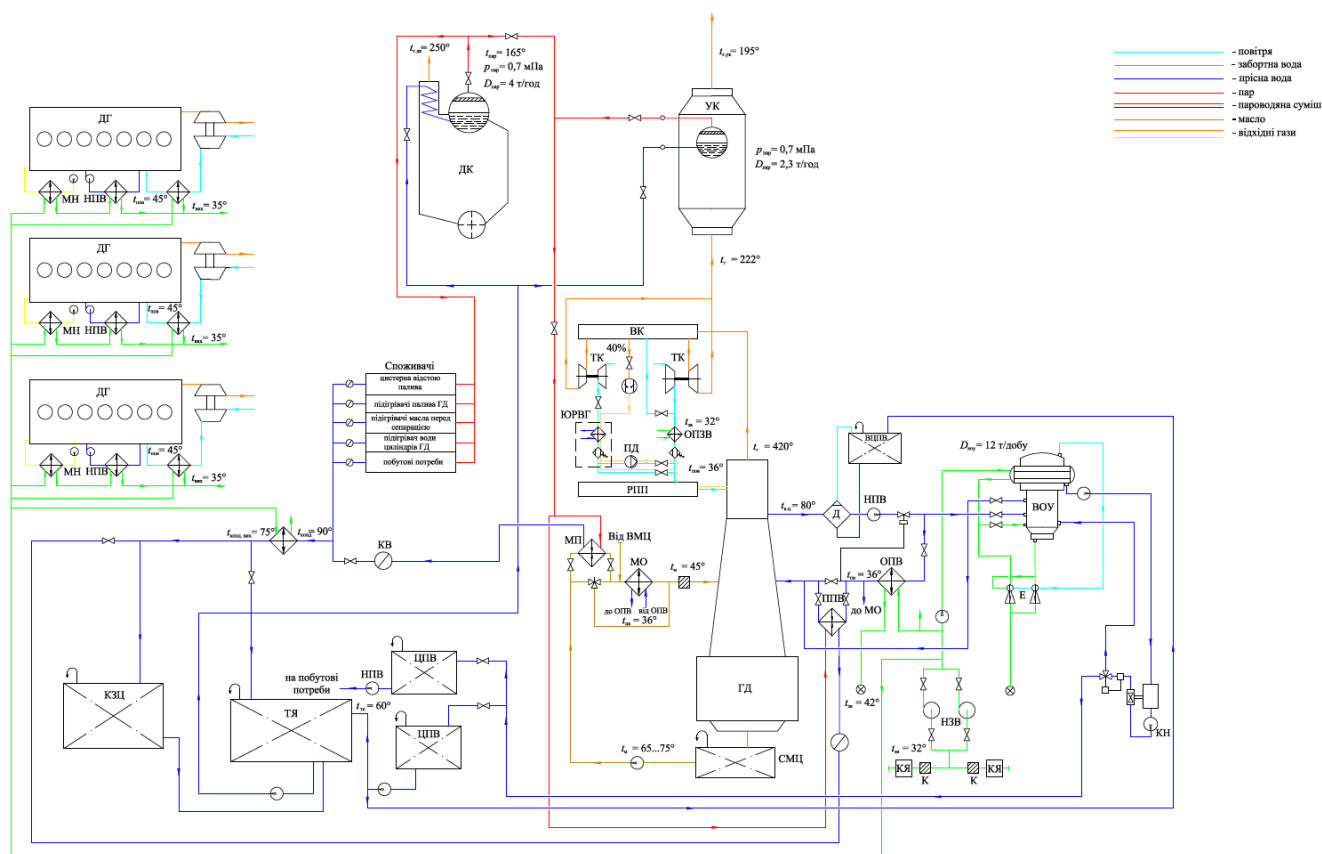


Рис. 4.1 Тепловая схема СЕУ

Таблиця 4.1. Розподіл теплоти в ГД [18]

Report created by Viktor Shemchuk
7G80ME-C9.5-EGRTC
SMCR: 26.141 kW at 63.0 r/min. 1 x MAN TCA77-21 / 1 x MAN TCT40-ML

MAN Energy Solutions 

Tables of Capacities - Tier III

1	Engine load (% SMCR)	4	Scavenge air receiver temp. (°C)	7	Jacket water heat diss. (kW) +10/-15%
2	T/C air consumption (kg/s) +/-5%	5	Scavenge air heat diss. (kW)	8	Lubricating oil heat diss. (kW) +/-10%
3	Scavenge air pressure (bara)	6	EGR/Scavenge air heat diss. (kW)	9	Condensed water (non-EGR) (t/24h)

Loads below 50% are associated with larger tolerances.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ISO ambient conditions (ambient air: 25.0 °C, scavenge air coolant: 25.0 °C)								
100	37.8	4.01	39	6,580	8,200	2,840	2,020	0.0
95	36.5	3.81	38	5,860	7,790	2,740	1,940	0.0
90	35.1	3.62	37	5,190	7,390	2,630	1,860	0.0
85	33.6	3.43	35	4,570	6,980	2,520	1,780	0.0
80	32.2	3.25	34	4,020	6,540	2,420	1,700	0.0
75	30.8	3.07	33	3,510	6,110	2,310	1,620	0.0
70	28.9	2.87	33	3,100	5,640	2,210	1,550	0.0
65	27.1	2.68	33	2,720	5,210	2,100	1,480	0.0
60	25.3	2.50	32	2,360	4,790	2,000	1,410	0.0
55	23.4	2.32	32	2,010	4,370	1,890	1,340	0.0
50	21.4	2.14	31	1,670	3,930	1,790	1,270	0.0
45	19.1	1.95	31	1,300	3,650	1,680	1,200	0.0
40	16.8	1.77	31	960	3,310	1,580	1,130	0.0
35	14.3	1.60	39	720	3,450	1,470	1,050	0.0
30	12.2	1.45	39	470	3,060	1,370	980	0.0
25	10.3	1.33	38	290	2,660	1,260	900	0.0

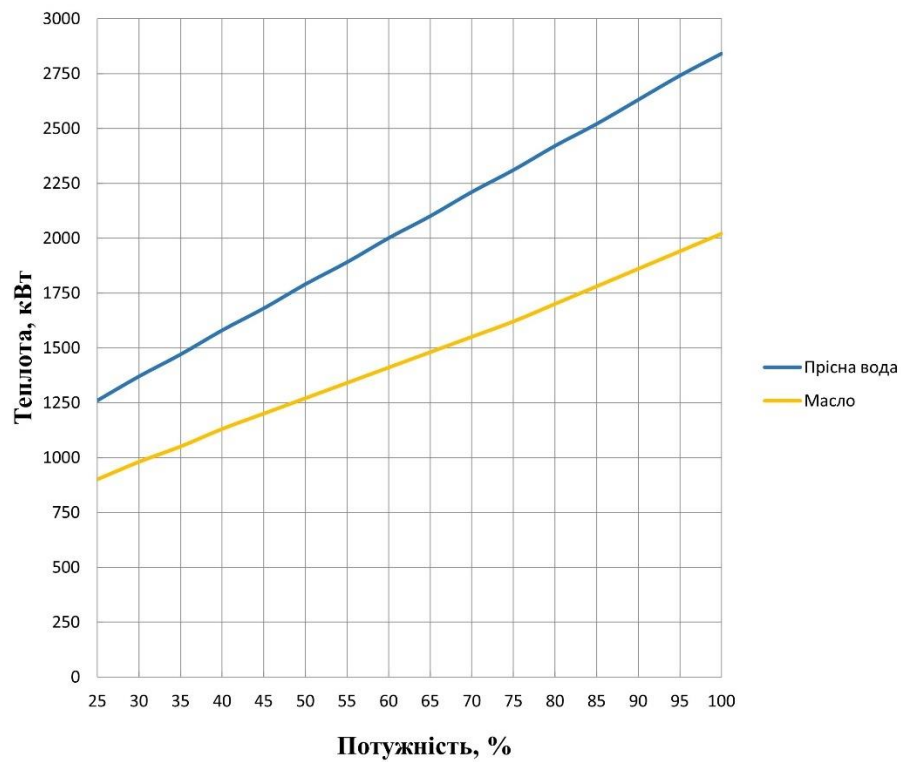
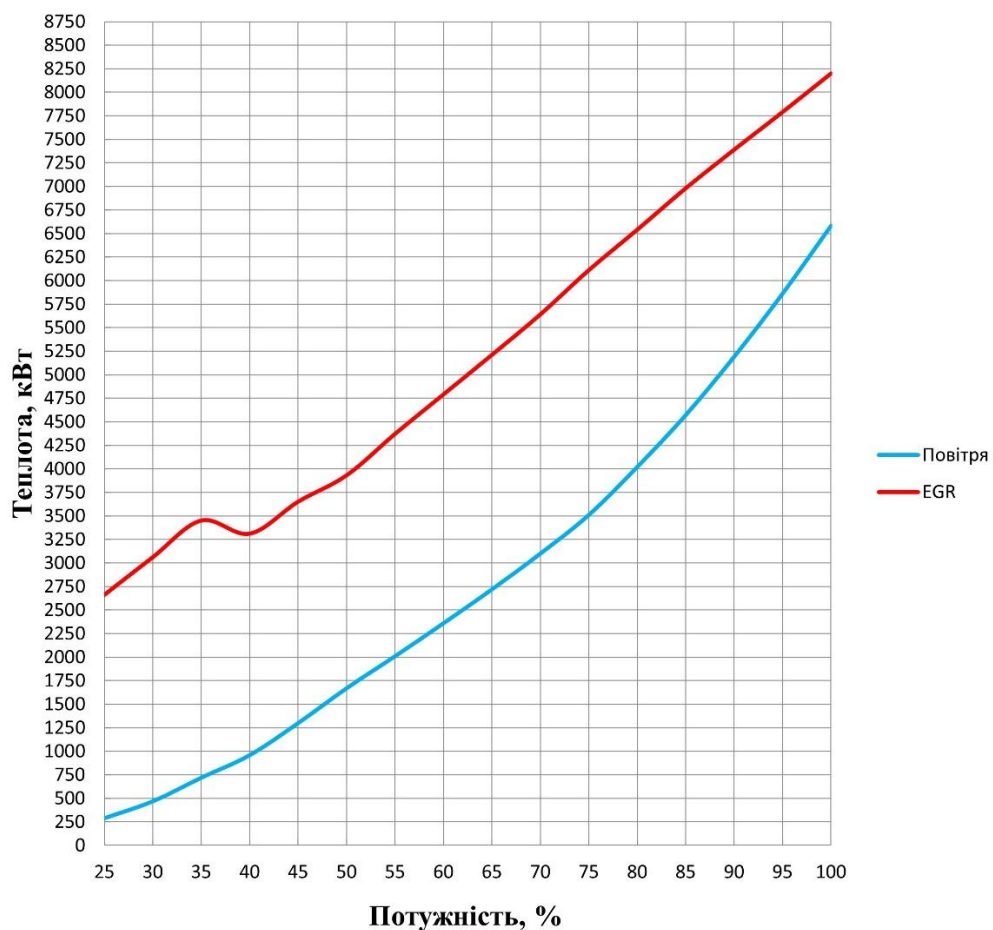


Рис. 4.2. Графік розподілу теплоти, яку виділяє головний двигун в залежності від рівня навантаження.

4.3 Проектування енергетичних комплексів. Визначення їх складу та підбір устаткування.

4.3.1 Суднова електростанція

На базовому судні встановлено три дизель-генератори, за рахунок того, що споживання електроенергії суттєво не змінилося, було прийнято рішення залишити електростанцію в тому ж складі.

Як основні джерела електроенергії залишено три дизель-генератори фірми «Hyundai» марки HiMSEN 7H21C потужністю 3×1500 кВт, які працюють на важкому паливі.

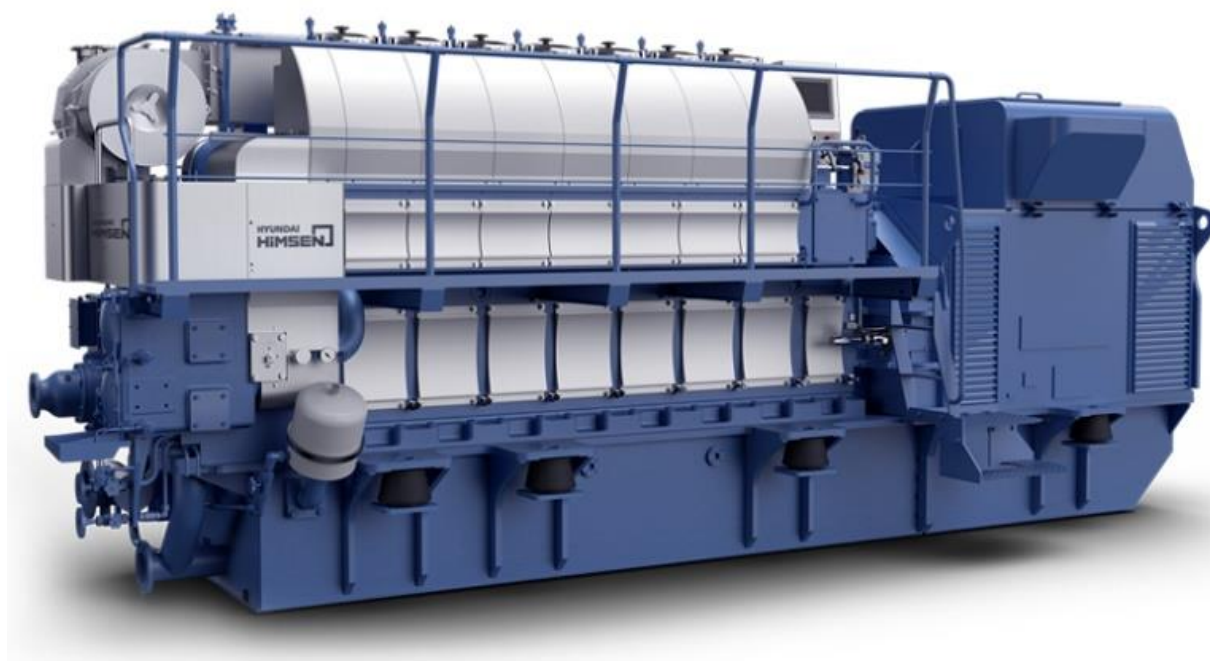


Рис 4.3 - Дизель-генератор HiMSEN 7H21C [19]

Таблиця 4.2 Характеристики дизель-генератора HiMSEN 7H21C [19]

HiMSEN 7H21C	
Кількість	$i = 3$
потужність двигуна	1500 кВт
потужність генератора	1410 кВт
номінальне число обертів	900 об/хв
Питома витрата палива	180 г/кВт·год
Кількість циліндрів	7

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Діаметр циліндру	210 мм
Хід поршня	330 мм
Середній ефективний тиск	26.5 бар
Швидкість поршня	10,5 м/с
Ступінь стиснення	17
Частота струму	60 Гц
ККД	94%

Також, було запропоновано встановити валогенератор, його характеристики наведено нижче.

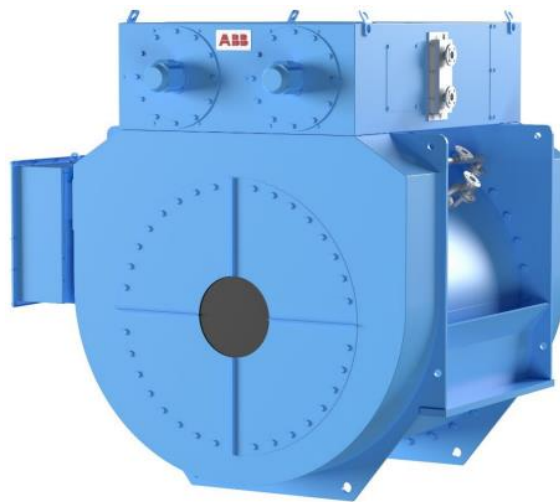


Рис 4.4 - Валогенератор ABB AMZ [20]

Таблиця 4.3 Характеристики валогенератора ABB AMZ [20]

ABB AMZ	
Режим роботи	РТО
потужність генератора	2500 кВт
число обертів	60 об/хв
Крутний момент	400 кНм
Напруга	400-690 В
Клас захисту	IP 44, IP54 за запитом
Охолодження	Прісною водою
Стандарт проектування	IEC 60034

Аварійна генераторна установка розташовується у кормовій надбудові. Дизель запускається електричним стартером автоматично та підключається до своєї електричної шини у випадку, коли не може запуститись головна генераторна установка.

До числа споживачів аварійного ДГ відносяться: аварійне (внутрішнє та зовнішнє) освітлення, радіонавігаційні прилади та зв'язок, рульові машини, пожежний та осушувальний насоси. Аварійний дизель-генератор повністю автономний з запасом палива не менш ніж на 6 годин роботи.

4.3.2 Допоміжна котельна установка

Для забезпечення господарсько-побутових потреб судна (систем опалення, душові, камбуз, пральні та ін.), а також для роботи підігрівачів різного призначення (систем підігріву важкого палива, масла та ін.) потрібен пар низьких параметрів або гаряча вода. Для цього на судах встановлюють паровиробничі установки.

Допоміжна котельна установка залишається у тому ж складі як і була, а саме - допоміжний котлоагрегат KangRim PA-06 продуктивністю 6 т/год., та утилізаційного котла KangRim EA продуктивністю 2,3 т/год який повністю може задовольнити потреби судових споживачів у парі.

Таблиця 4.4 Характеристики допоміжного котла [21]

Виробник	KangRim
Тип	Автоматизований, жаротрубний
Кількість	1
Тип палива	HFO, MGO
Паропроductивність	6000 кг/год
Робочій тиск	0.7 мПа
Температура живильної води	60°C

Таблиця 4.5 Характеристики утилізаційного котла [21]

Виробник	KangRim
Тип	жаротрубний
Кількість	1
Тип палива	HFO, MGO
Паропроодуктивність	2300 кг/год
Робочій тиск	0.7 мПа
Температура живильної води	60°C



Рис 4.5 – Допоміжний котел KangRim PA-06 [21]



Рис 4.6 – Утилізаційний котел KangRim EA [21]

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

4.3.3 Опріснювальна установка

Опріснювальна установка Wärtsilä SSD 1-1 – вакуумного типу, яка працює на теплі охолоджувальної води головного двигуна. Вакуум у випарнику створюється водяним ежектором.

Кількість	одна (1)
Продуктивність	12 т/добу
Температура живильної води	80°C
Солоність дистилату не більше	3 мг/л

Забортна вода для випарювання, охолодження конденсату та роботи ежектора подається від окремого електропривідного насоса. Конденсат відкачується електропривідним насосом, який навішаний на опріснювальну установку.



Рис 4.7 – Опріснювальна установка Wärtsilä SSD 1-1 [22]

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

4.3.4 Інсинератор

Беручи до уваги фірму постачальника допоміжного котла, вигідним і зручнішим, з точки зору обслуговування і постачання, вибором інсинератора буде та ж сама фірма KangRim, модель інсинератора – KFB-73S.



Рис 4.8 – Інсинератор KangRim KFB-73S [21]

Таблиця 4.6 Характеристики інсинератора KangRim KFB-73S [21]

Потужність згоряння	849 кВт/год
Продуктивність спалювання твердих відходів	110 кг/год макс. 440 кг/24 години
Продуктивність спалювання рідких відходів	90 л/год при 20% вмісту води (стандарт ІМО – 20% вмісту води)

РОЗДІЛ 5. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ СЕУ

5.1 Розробка системних заходів для зменшення емісії компонентів GHG.

Для відповідності вимогам МАРПОЛ 73/78 та IMO Tier III на цьому судні застосована система рециркуляції відхідних газів (EGR – Exhaust Gas Recirculation).

Рециркуляція вихлопних газів (EGR) — це метод значного зменшення утворення NO_x у судових дизельних двигунах. Використовуючи цей метод, можна задовольнити вимоги Tier III.

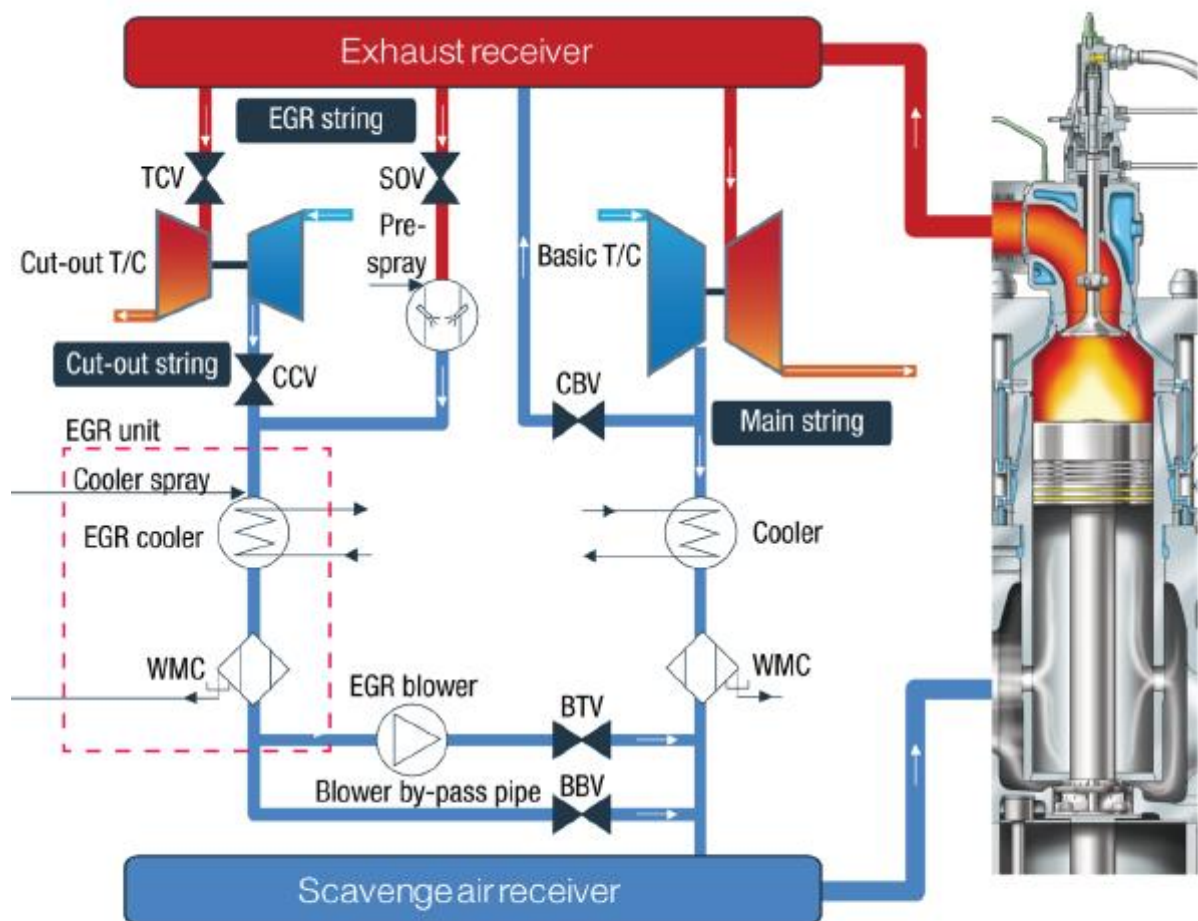
У системі EGR після процесу охолодження та очищення частина вихлопних газів (до 40%) повертається до ресивера продувального повітря. Таким чином, частина кисню в повітрі, що продувається, замінюється CO_2 , що утворюється в процесі згоряння. Ця заміна зменшує вміст O_2 і збільшує теплоємність поглинаючого повітря, таким чином зменшуючи температурний пік згоряння та утворення NO_x . Скорочення викидів NO_x є майже лінійним до співвідношення рециркуляційних вихлопних газів.

Ця система має різні підтипи в залежності від моделі двигуна. Для встановленого ГД застосовується підтип «TC cut-out matching». Цей підтип використовується для двигунів які мають два турбокомпресори.

У режимі Tier III клапани TCV/CCV закриті. Гілка EGR відкривається запірним клапаном EGR і дросельною заслінкою нагнітача (SOV/BTV). Вихлопні гази направляються через систему попереднього розпилення та блок рециркуляції відпрацьованих газів до точки змішування та ресивера продувального повітря, надуваючись повітрорудками рециркуляції відпрацьованих газів.

Коефіцієнт EGR контролюється зміною потоку повітрорудки EGR. Байпасний клапан (CBV) частково активний у цьому режимі, щоб збільшити тиск продувального повітря та, таким чином, зменшити витрату палива.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



SOV – EGR Shut-off Valve
BTV – Blower Throttle Valve

TCV – Turbine Cut/Out Valve
CCV – Compressor Cut/Out Valve

BBV – Blower system Bypass Valve
CBV – Cylinder Bypass Valve

Рис 5.1 – Система EGR - TC cut-out matching [23]

5.2 Визначення основних параметрів систем СЕУ

До основних параметрів систем СЕУ належать основні характеристики допоміжного обладнання для обслуговування головного двигуна таких систем:

- змащувального й охолоджувального масла;
- паливної системи;
- центральної системи водяного охолодження;
- пускового, робочого та керуючого повітря;
- газовипускної системи за турбокомпресором.

До основних розрахункових параметрів допоміжного обладнання, яке обслуговує МОД, відносяться такі величини, як продуктивність насосів і кількість охолоджуючої води, що надходить до охолоджувачів повітря та масла, тепловідвід в охолоджувачах і тепловідвід у паливо-підігрівачі, витрата і температура відхідних газів, витрата надувного повітря, об'єм балонів пускового повітря, продуктивність повітряного компресора. Всі ці параметри систем двигуна визначено у on-line сервісі фірми MAN – CEAS engine calculation. Результати розрахунків та параметри допоміжного обладнання двигуна наведено у Додатку 1.

5.3 Проектування та комплектація системи роторних вітрил.

Опис та розробка принципової схеми системи.

Система роторних вітрил використовує вітер для підвищення паливної ефективності вантажного або пасажирського судна. Коли вітрові умови сприятливі, роторні вітрила дозволяють зменшити потужність головного двигуна, заощаджуючи паливо та зменшуючи викиди, забезпечуючи при цьому сумарну потужність, необхідну для підтримки швидкості судна та тривалості плавання. Ця система особливо підходить для танкерів, Ро-Ро, генеральних вантажів і балкерів, а також круїзів, поромів і RoPax. Технологія вітрил заснована на концепції ротора Flettner'а, який був повністю модернізований за допомогою композитних матеріалів і передових систем управління.

Ротор уявляє собою вертикальний циліндр, що приводиться в обертання невеликим мотором. При обертанні ротори залучають у круговий рух прилеглий до них шар повітря, швидкість якого по одну сторону ротора підсумовується зі швидкістю вітру, а на протилежному боці віднімається від неї. Ця різниця у швидкостях породжує у певному напрямі різницю тисків на поверхні ротора і цим створює рушійну силу.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

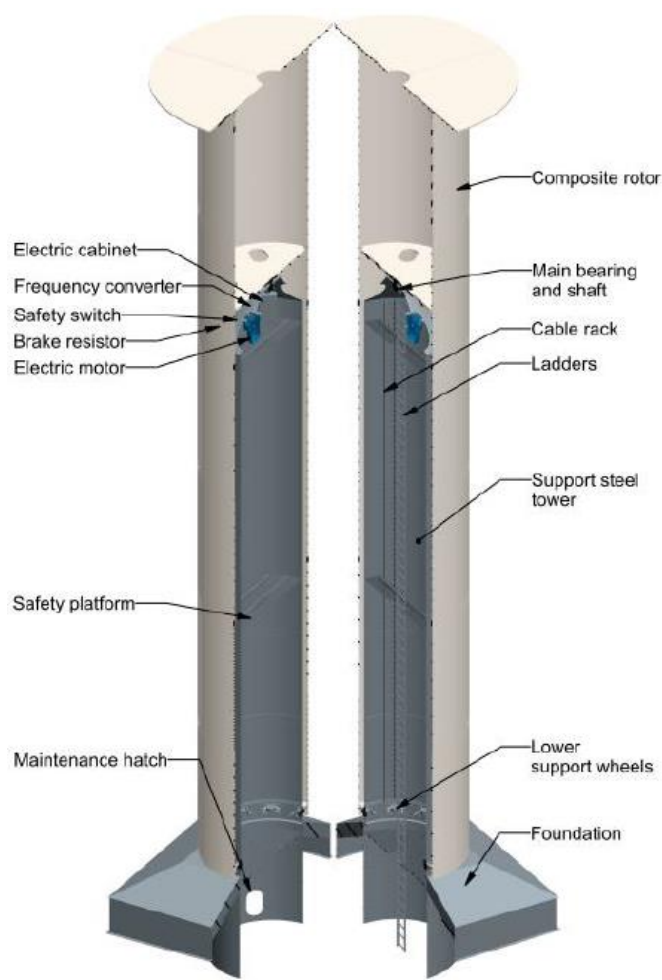


Рис 5.2 – Конструкція ротора та його складові [24]

Конструкція ротора складається з наступних основних елементів:

- циліндр із композитних матеріалів, він же сам ротор;
- внутрішня опорна сталева вежа;
- головний опорний підшипник у верхній частині;
- електродвигун та привід для обертання ротора;
- роликовий підшипник у нижній частині;
- фундамент для закріплення на палубі судна.

Система роторних вітрил найкраще підходить для суден, де:

- На палубі є необхідний простір для встановлення вітрил.
- Крани та обладнання для обробки вантажів – не перешкоджають встановленню роторів.
- Велика частка часу перебування в морі та вітрові умови рейсової лінії, переважно, є сприятливими.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

До складу системи входять: роторні вітрила с привідним електродвигуном, електричні кабелі для передачі ел. енергії від суднової електростанції, блок автоматизації, панель управління, сенсори швидкості і напрямлення вітру. Керування системи здійснюється з містка через панель керування. Після ініціювання кнопкою пуску, контроль та регулювання параметрів системи переходить повністю в автоматизований режим, в якому електронна система управління сама визначає, коли вітер досить сильний, щоб заощадити паливо, у цей момент ротори запускаються автоматично, мінімізуючи час і ресурси екіпажу. Принципова схема системи наведена нижче.

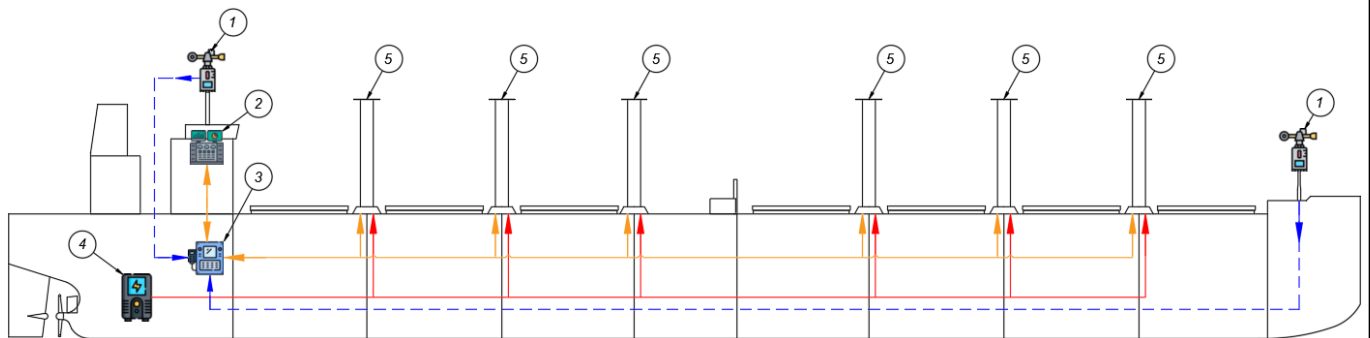


Рис 5.3 – Принципова схема системи роторних вітрил.

1 – датчик напрямку та швидкості вітру; 2 – панель управління; 3 – блок автоматизації; 4 – розподільчий щит; 5 – роторне вітрило.

Аналіз варіантів реалізації системи та її компонування.

Перше, з чого треба почати - це прийняти рішення стосовно розміру, кількості та схеми розташування роторів на палубі судна. Чим більша кількість та більші розміри ротора, тим більшу сумуючу підйомну силу можна отримати, а звідси і більша економія палива та менші викиди CO₂. Але ж все це обмежується розмірами судна, його особливостями обробки вантажу, робочі зони і тп. Нижче приведено можливі варіанти розташування роторів на рудовозі «Sao FABIAN».

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

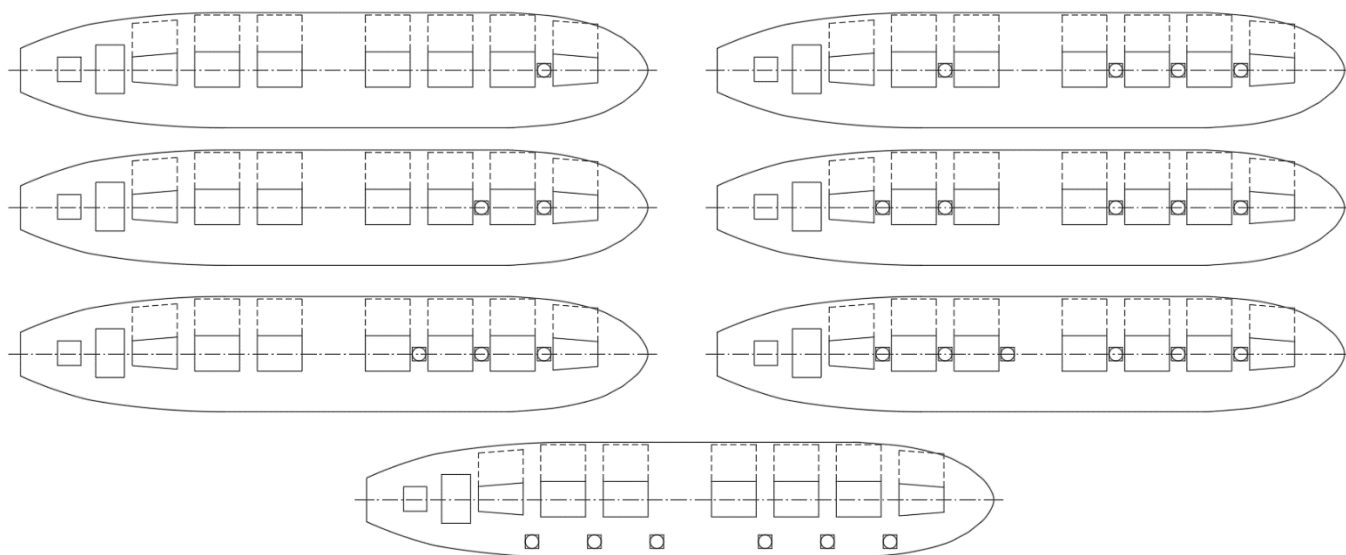


Рис 5.4 – Варіанти розташування роторних вітрил на рудовозі «Sao FABIAN».

Проаналізувавши вже існуючі варіанти розташування роторів на балкерах, та беручи до уваги важливість розподілу ваги на судні, обираємо варіант з 6 роторами розташованими по діаметральній площині між кришками трюмів.

Наступним кроком буде вибір типу монтажу роторів. Існує три варіанти монтажу, які дозволяють реалізувати цю систему на різних типах суден.



а



б



в

Рис 5.5 – Варіанти монтажу роторних вітрил [25]

а) Нерухомий.

Стандартний варіант при якому роторні вітрила встановлюються на фіксований фундамент. Тобто фундамент закріплено на палубі, і положення вітрил неможливо змінити. Такий спосіб монтажу підходить для всіх типів суден, однак фірми рекомендують його для танкерів, поромів і ро-ро, де система не заважатиме вантажним операціям, та не має обмежень по макс. висоті судна.

б) Рухомий або рейковий.

Таке виконання дозволяє переміщати роторні вітрила вздовж або поперек палуби, коли судно знаходиться в порту, забезпечуючи відсутність впливу на операції завантаження та розвантаження вантажу. Рейковою системою легко керують двоє членів екіпажу, і для переміщення роторних вітрил потрібно лише 10 хвилин. Такий варіант розрахований для суден зі складнішими вантажними операціями, таких як балкери.

в) Складний.

Такий спосіб монтажу дозволяє опускати вітрила з вертикального положення на горизонтальне за допомогою гідравлічної системи. Пуск цього процесу здійснюється простим натискання кнопки, опускання або підняття займає менше 10 хвилин. Такий варіант рекомендовано для балкерів або будь-якого судна, що працює на маршрутах з обмеженнями по макс. висоті судна.

Враховуючи тип судна та його особливості вантажних операцій та беручи до уваги рекомендації фірм-виробників роторів, приймаємо складний спосіб монтажу роторів. На рисунку нижче показано приклад обраної компоновки системи та типу монтажу для рудовозу «Sao FABIAN».

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



Рис 5.6 – Наглядний приклад реалізації системи на рудовозі «Sao FABIAN».

[25]

Вибір комплектуючого обладнання системи.

При виборі комплектуючого обладнання системи роторних вітрил, перше що треба обрати це розмір самого ротора. Наразі, існує дві передові фірми, які займаються розробкою та встановленням системи роторних вітрил – «Norsepower» та «Anemoi». Обидві фірми мають каталог з розмірами та характеристиками роторів які можуть бути встановлені. При бажанні встановити систему роторних вітрил, замовник звертається до представників обраної фірми, та заповнює форму. В формі необхідно надати необхідні характеристики та розмірності судна, а також рейсову лінію. На основі цієї форми, фірма робить необхідні розрахунки та надає повний перелік обладнання системи, яке максимально підходить до цього судна. Для даного проекту обрано фірму «Norsepower».

Підбір обладнання виконано самостійно на основі аналізу вже встановлених систем на однотипних суднах та рекомендацій фірми постачальника. Нижче наведено характеристики роторів які ця фірма може постачати.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Model	18m X 4m	24m X 4m	28m X 4m	30m X 5m	35m X 5m
Rotor (=visible cylinder part)					
Material	Composite	Composite	Composite	Composite	Composite
Rotor speed [rpm]	0-225	0-225	0-225	0-180	0-180
Rotor Sail assembly weight (no foundation) [tons]	27	30	37	42	63
Foundation & steel tower					
Material	Welded steel	Welded steel	Welded steel	Welded steel	Welded steel
Foundation height (indicative) [m]	2.5	2.5	2.5	3	3
Weight of typical foundation [tons]	12	13	15	17	24
Drive					
Electric motor nominal power [kW]	60	80	100	115	143
Variable speed drive voltage & input frequency [V/Hz]	380-690V, 50/60 Hz	380-690V, 50/60 Hz	380-690V, 50/60 Hz	380-690V, 50/60 Hz	380-690V, 50/60 Hz
Regenerative braking/Brake resistor	Standard / Optional	Standard / Optional	Standard / Optional	Standard / Optional	Standard / Optional
Control system software	NorseControl™	NorseControl™	NorseControl™	NorseControl™	NorseControl™
Remote control and monitoring System	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Hydraulic tilting mechanism	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
ATEX compliant design	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Ice prevention	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Ambient conditions					
Operational temperature [C°] (basic version)	- 20...+50	- 20...+50	- 20...+50	- 20...+50	- 20...+50
Maximum operational wind speed, [m/s]	35	35	35	35	35
Survival wind speed [m/s]	70	70	70	70	70
Maximum continuous thrust force [kN]	175	175	205	300	350

Рис 5.7 – Характеристики роторів фірми «Norsepower» [26]

Спираючись на досвід і рекомендації цієї фірми обираємо ротори розмірами 24x4 м. Прийнявши розмір роторів зведемо у підсумкову таблицю повний склад та характеристики обладнання системи.

Таблиця 5.1 Хар-ки обладнання системи роторних вітрил судна «Sao FABIAN» [26]

Фірма	«Norsepower»
Кількість роторів	6
Розмір роторів	24x4 м
Швидкість обертання ротора	0-225 об/хв

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Макс. тяга одного ротора	175 кН
Вага одного ротора з фундаментом	43 т
Привідний двигун	80 кВт; 380-690V; 50/60 Hz
Тип монтажу	складний

Також, фірма-виробник, у комплекті до системи постачає частотні регулятори на кожен ротор, два датчики напрямлення та швидкості вітру, які встановлюються на кормовій та носовій щоглі, блок автоматики та панель управління. Тому підбір цього обладнання залишається за фірмою «Norsepower».

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

РОЗДІЛ 6. ЗАХОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ СЕУ

6.1 Розробка системи моніторингу і діагностування технічного стану обладнання СЕУ та системи роторних вітрил.

Система моніторингу і діагностики СЕУ повністю пов'язана з головним двигуном. Фірма-виробник ГД – Everllence (MAN B&W) надає цю систему у повній комплектації з усіма датчиками, сенсорами, електронним обладнанням і тд. Ця система має назву – «Engine Management Services» (EMS), і уся детальна інформація є у документації на головний двигун – [14]. Нижче наведено принципову схему цієї системи у загальному вигляді.

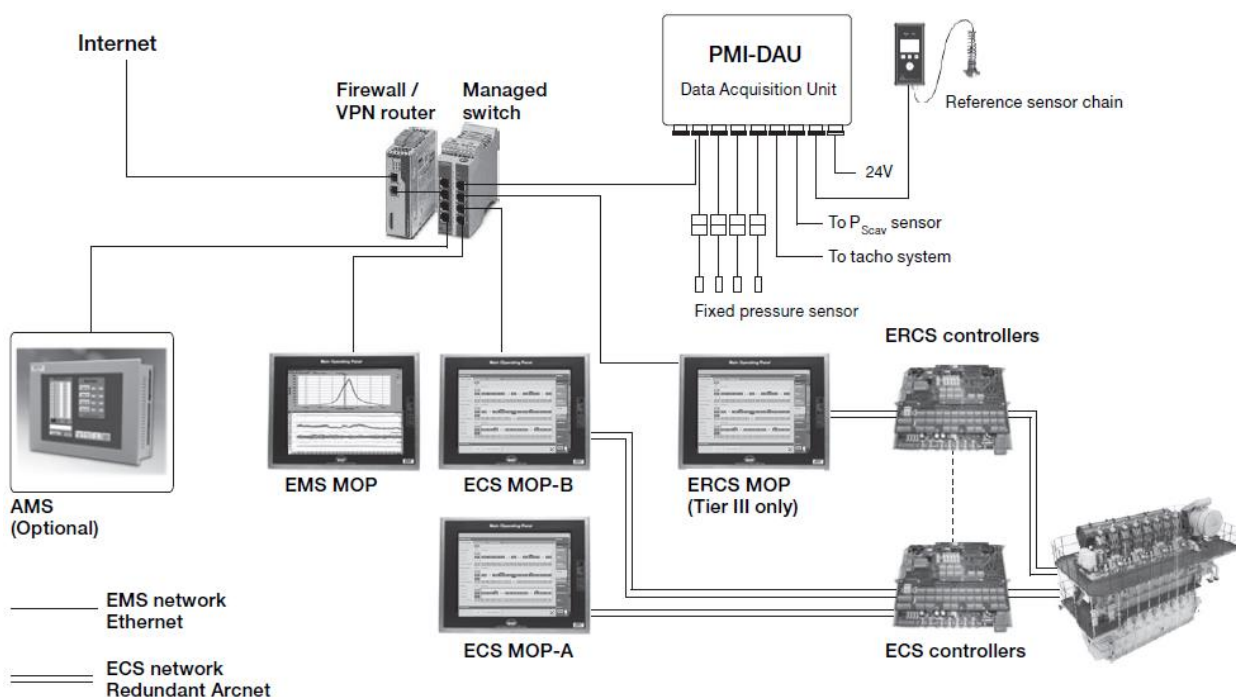


Рис 6.1 – Загальна принципова схема системи діагностики EMS [14]

Що стосується моніторингу системи роторних вітрил, то пропонується застосувати систему моніторингу підшипників та електродвигунів роторів. Існує багато компаній які займаються розробкою таких систем, в даному випадку пропонується обрати компанію «Dewesoft» та їх систему «Machine Condition Monitoring».

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Моніторинг стану машини (МСМ) — це система профілактичного технічного обслуговування, яка постійно контролює різні параметри стану машини для виконання аналізу даних, таких як вібрація або температура, під час роботи. Постійний контроль — це єдиний спосіб детально зрозуміти стан обертової машини та мати можливість виконувати правильне та своєчасне обслуговування. Нижче наведено опис та структуру цієї системи.

До складу системи входять наступні ланки:

- 1) Об'єкти, що контролюються (двигуни, підшипники);



- 2) На об'єкти встановлюються датчики (вібродатчики (акселерометри, безконтактні датчики), датчики струму і температури, та ін.), а їх виходи підключаються до вимірювальних блоків;



- 3) Пристрої збору даних, які збирають дані з датчиків і доступні в різних форматах, від невеликих одноканальних модулів підрахунку до великих багатоканальних модулів, блоків для монтажу в стійки тощо.



- 4) Промислові комп'ютери, на яких працює пакет DewesoftX Machine Monitoring. Основна роль комп'ютерів полягає в тому, щоб зберігати необроблені дані та виконувати обчислення для надсилання зменшених даних на сервер.



- 5) Програмне забезпечення Dewesoft Machine Condition Monitoring включає в себе всі функції та функції передових рішень моніторингу стану, обмін даними між комп'ютерами та базою даних і стороннім програмним забезпеченням, а також можливості доступу до даних у реальному часі та історичних даних через ПК-клієнт та/або Інтернет-клієнтський інтерфейс.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

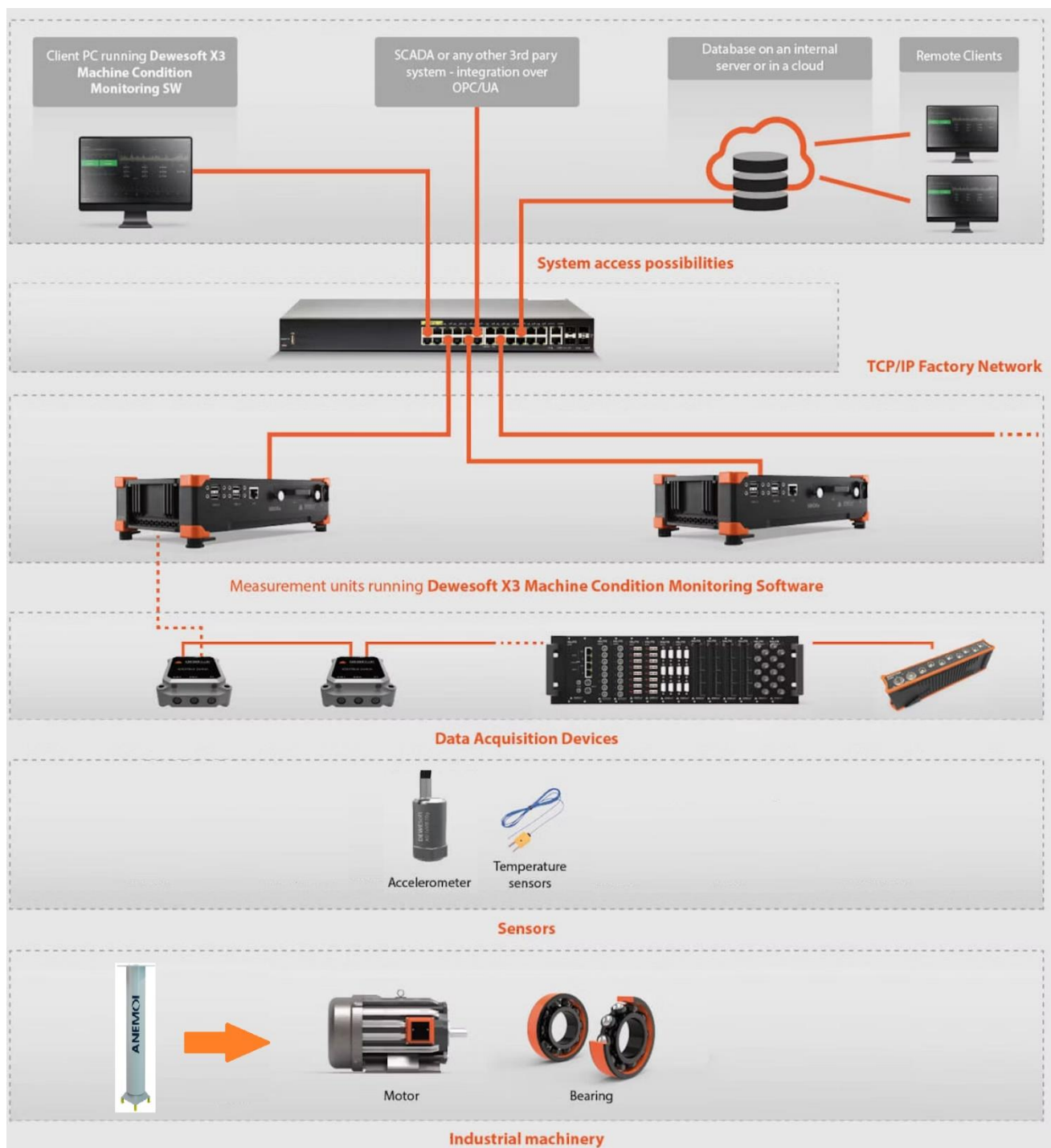


Рис 6.2 – Структурна схема системи діагностики і моніторингу стану підшипників та електродвигунів ротора. [30]

Нижче представлено більше детальне зображення складу системи моніторингу електродвигунів та підшипників ротора.

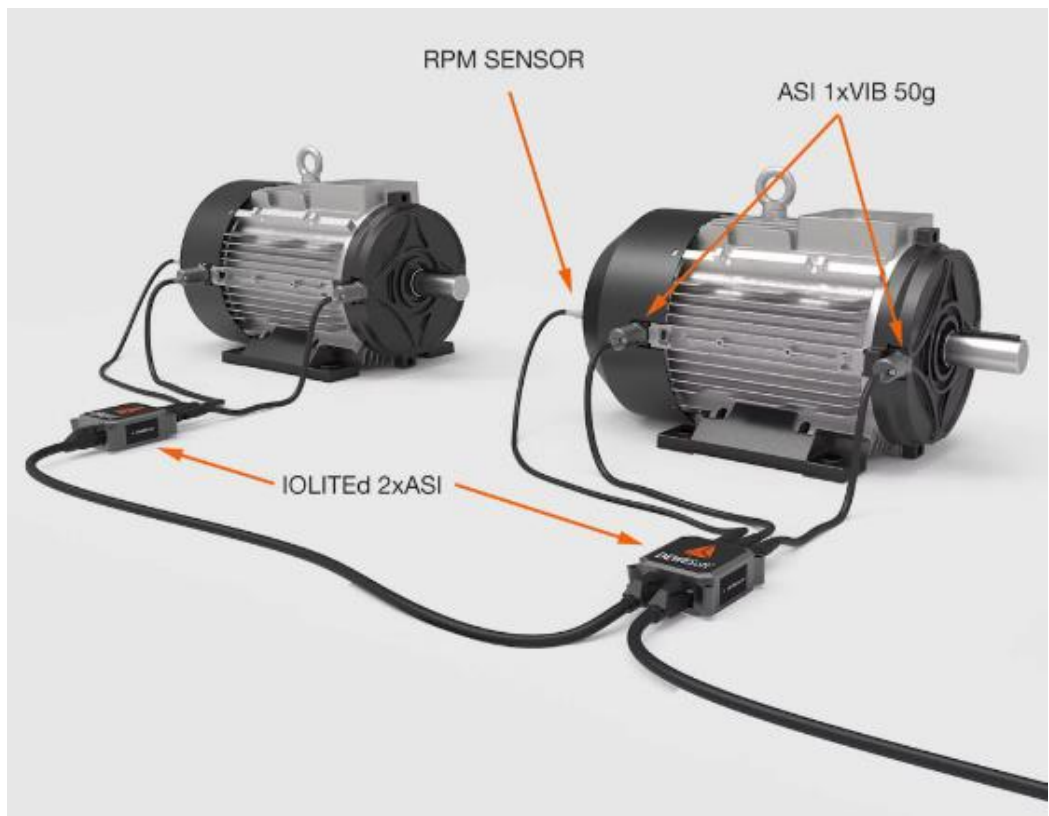


Рис 6.3 – Склад та приклад реалізації системи діагностики і моніторингу електродвигунів ротора. [30]

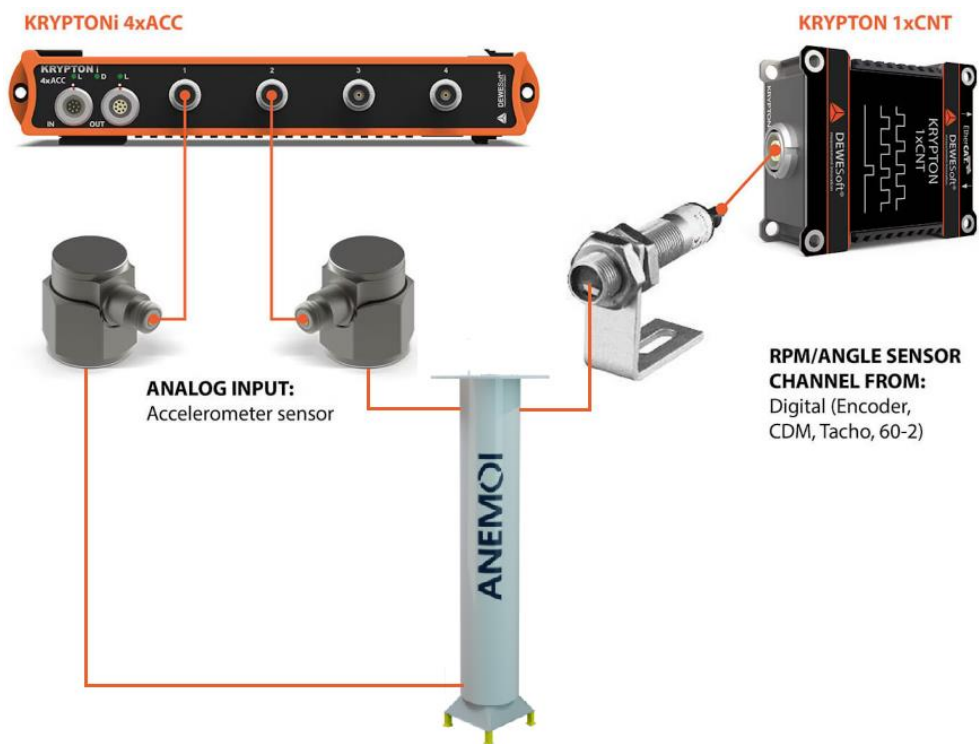


Рис 4.12 – Склад та приклад реалізації системи діагностики і моніторингу підшипників ротора. [30]

					KPM. ОП135. 6211М3. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Характеристики обладнання та датчиків наведено нижче.

Key features:

DEWESoft ASI 1xVIB 50g

- 0-10 kHz bandwidth, 50 g range, 25 $\mu\text{g}/\text{Hz}$ noise density
- Embedded temperature sensor
- Fits to DEWESoft IOLOITEd 2xASI EtherCAT interface

Typical applications:

- Production robot condition monitoring
- Machine condition monitoring
- Bearing fault detection

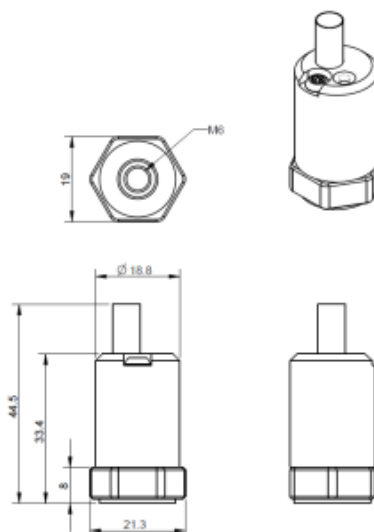
Specifications

General specifications:

Operating temperature	-20 ... 85 degC
IP rating	IP66
Cable length	2 m
Connector	M8, 8 pin, male
Mounting type	Vertical, M6 thread
Housing material	Aluminium, hard anodized



Mechanical drawing



Specifications of the single axis vibration accelerometer inside the sensor probe:

	Min.	Typ.	Max.	Unit
Measurement range		50*		g
Bandwidth (+/-10%)		0-10		kHz
Noise (10-1000 Hz)		1		mg rms
Noise (10-10000 Hz)		3		mg rms
0g Offset error (-40...125 degC)		5		g
Nominal sensitivity		40		mV/g
Sensitivity change due to temperature (0...85 degC)		+/-2		%
Linearity error		0.1		% FS
Crossaxis sensitivity	-1		+1	%
Sensor module weight		40		gram
Supply voltage		5		V

*contact support@dewesoft.com if 100 g range is desired

Рис 6.4 – Характеристики і розміри датчика ASI 1xVIB 50g [30]

DEWESoft IOLITED 2xASI

DEWESoft IOLITED 2xASI is a device with two analog sensor interface channels and one tacho channel. It converts the signal from DEWESoft ASI 1xVIB sensors and sends the data over EtherCAT bus to the master PC. Up to two ASI 1xVIB sensors with M8 connectors can be connected. Maximum sample rate is 40 kS/s per channel. Only a single cable is needed to daisy chain multiple IOLITED 2xASI devices with up to 50 m device-device distance.

Key features:

- 40 kS/s max. sample rate per sensor, two sensors per device
- EtherCAT bus, daisy-chaining with single cable up to 50 m device-to-device
- DEWESoft X3 software support

Typical applications:

- Vibration and temperature monitoring
- Machine condition monitoring
- Bearing fault detection



Specifications of the temperature sensor inside the sensor module (I2C):

	Min.	Typ.	Max.	Unit
Measurement range	-40		125	degC
Accuracy (-40 ... 85 degC)		+3		degC
Resolution		10		bits
Supply voltage		3.3		V

Specifications of the 3-axis MEMS accelerometer inside the sensor module (I2C):

	Min.	Typ.	Max.	Unit
Measurement range*	2		16*	g
Sample rate		1**		Hz
Resolution		10		bits
0g Offset error	-250		250	mg
0g Offset temp. drift		+1.2		mg/°C
Sensitivity variation		+10		%
Linearity error		+0.5		% FS
Crossaxis sensitivity	-1		+1	%
Supply voltage		3.3		V

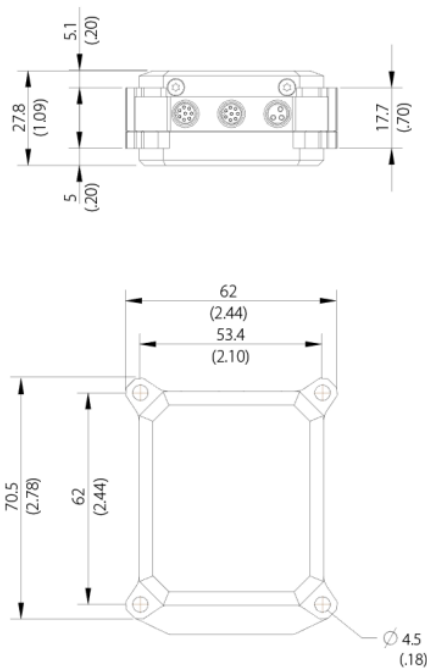


Рис 6.5 – Характеристики і розміри приймача сигналів IOLITED 2xASI [30]

KRYPTON-4xACC

KRYPTON-4xACC module has 4 BNC connectors for voltage and IEPE measurements.



KRYPTON-4xACC

Analog inputs		KRYPTON-4xACC		KRYPTON-8xACC	
Input type		Voltage, IEPE			
Number of channels		4 (4xACC)		8 (8xACC)	
ADC Type		24-bit delta-sigma with anti-aliasing filter			
Sampling Rate		Simultaneous 20 kS/s per channel (software-selectable)			
Voltage Ranges		±10 V	±5 V	±1 V	±200 mV
Input Accuracy		±0.03 % of reading ±0.02 % of range ±0.2 mV			
Typical Dynamic Range @ 10 kS/s		-140 dB	-137 dB	-138 dB	-134 dB
Typical noise floor @ 10 kS/s		-106 dB	-106 dB	-106 dB	-102 dB
Type. THD (20 kS/s, -1 dBFS sine wave @ 1 kHz)		-94 dB	-94 dB	-93 dB	-95 dB
Type. SFDR (10 kS/s, -1 dBFS sine wave @ 1 kHz)		96 dB	96 dB	96 dB	93 dB
Gain Drift		Typical 10 ppm/K, max. 20 ppm/K			
Offset Drift		Typical 0.5 µV/K + 1 ppm of range/K, max 2 µV/K + 3 ppm of range/K			
Input Coupling		DC, AC 0.1 Hz, 1 Hz			
Input Impedance		1 MΩ			
Overvoltage Protection		In+ to In-: 50 V continuous, 200 V peak (10 msec)			
Analog input performance					
Bandwidth (-3 dB)		0.49 fs			
Alias-free Bandwidth		DC to 0.453 fs			
Alias Rejection		-100 dB (all sample rates)			
Delay Through ADC		37 / fs			
Oversampling		32			
IEPE input					
Excitation		4 mA, 8 mA			
Compliance voltage		25 V			
Output Impedance		>100 kΩ			
Sensor detection		Shortcut: <4 V; Open: >19 V			
Additional Specifications					
Input connector		BNC			
TEDs support		IEPE mode only			
Power					
Power Supply		9 - 48 V DC			
Power Consumption		3 W		4.6 W	
Environmental					
IP rating (see 1)		IP67			
Physical					
Weight		700 g		1000 g	
Slice Dimensions		213 x 39 x 56 mm		213 x 54 x 56 mm	
Dimensions with Connectors		213 x 39 x 66.8 mm		213 x 54 x 66.8 mm	
1) Depending on the mating connector types					

Рис 6.6 – Характеристики приймача сигналів Krypton-4xACC [30]

Встановлюючи рішення Dewesoft Machine Condition Monitoring, екіпаж отримує надійне рішення для виявлення проблем із підшипниками та електродвигунами роторних вітрил. Ефективність такої системи полягає у виявленні несправностей підшипників та електродвигунів – задовго до виходу з ладу що значно скорочує витрати та час на технічне обслуговування, а також усуває простой частини роторів через поломки підшипників або електродвигунів. Також численні функції програмного забезпечення дозволяють проводити як чіткий нагляд оператора, так і глибокий аналіз стану об'єктів, що входять до системи діагностики і моніторингу. [30]

6.2 Розробка заходів з моніторингу стану корпусу судна (Hull stress monitoring system).

Система моніторингу стану корпусу судна призначена для вимірювання впливу динамічних сил на корпус і конструкцію судна, щоб надати дані, необхідні для прийняття рішень капітаном та штурманом, для забезпечення безпечної роботи судна практично в будь-яких умовах.

Для даного судна пропонується застосувати таку систему від компанії «HULLMOS». Система HSM включає датчики вимірювання глобальних моментів. У стандартних правилах проектування наведені граничні значення для вертикального згинального моменту, горизонтального згинального моменту і крутного моменту. Напруги від цих моментів є максимальними посередині судна для режиму вібрації найнижчого порядку. Режим другого порядку має найбільші значення на чвертях довжини судина. Таким чином, основні прилади моніторингу стану корпусу, визнані всіма основними класифікаційними товариствами, та включають два датчики на рівні головної палуби по міделю, додаткові датчики на кожній чверті довжини та одного акселерометра у носовій частині судна. Всі датчики пов'язані з центральною панеллю управління розташованої на містку. Система легко інтегрується з іншими системами моніторингу. [32]

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

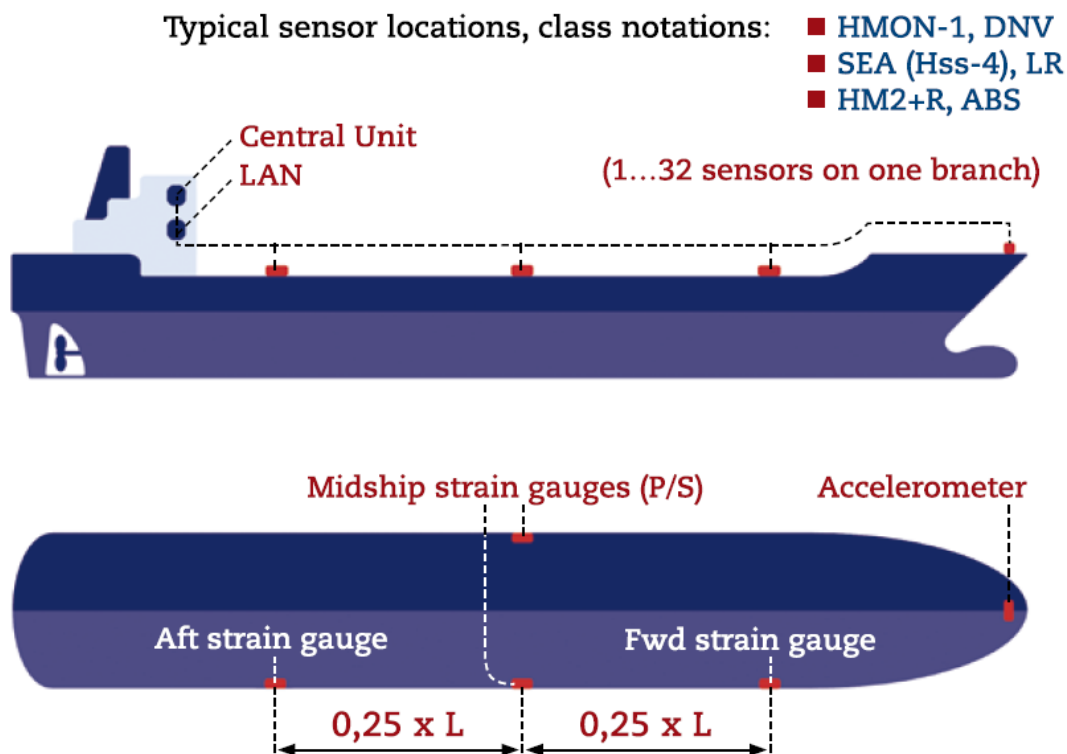


Рис. 6.7 Система моніторингу стану корпусу судна [33]

Нижче наведено характеристики обладнання та датчиків які входять до складу системи. Кількість, точне положення датчиків приймає компанія «HULLMOS».

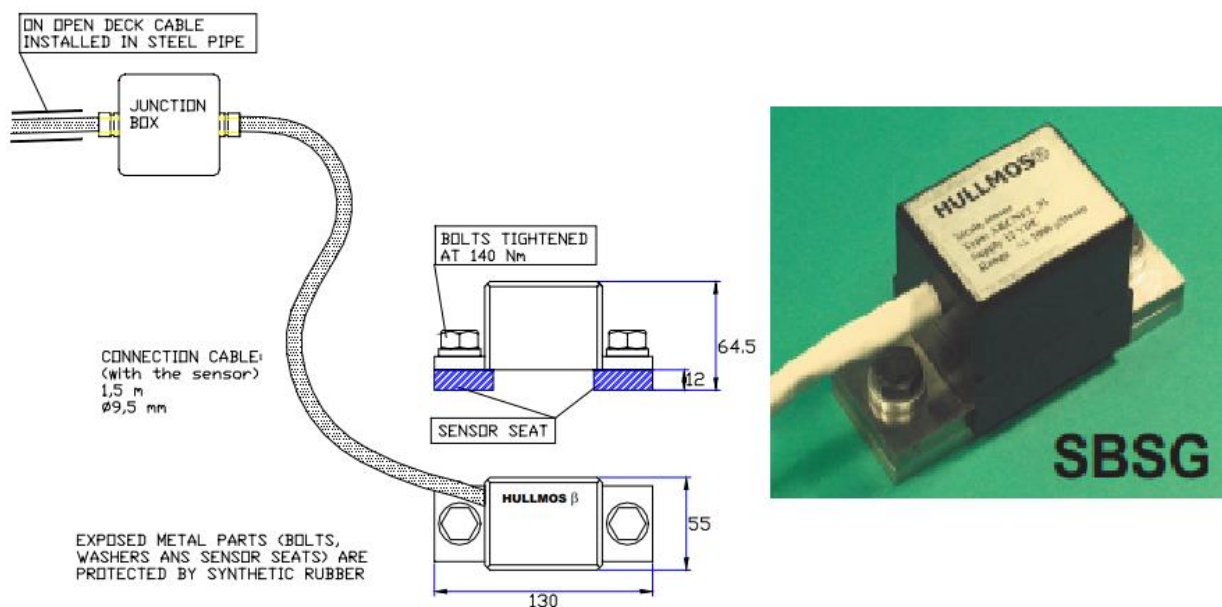


Рис. 6.8 Датчик «SBSG» для вимірювання деформації
вздовж центральної лінії судна [32]

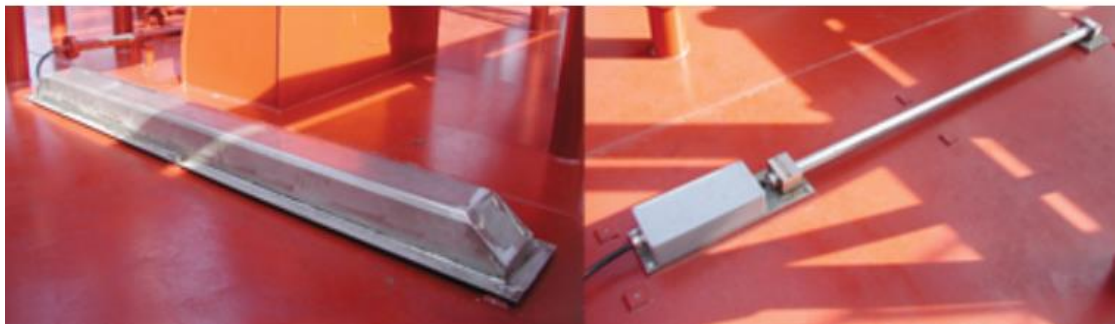
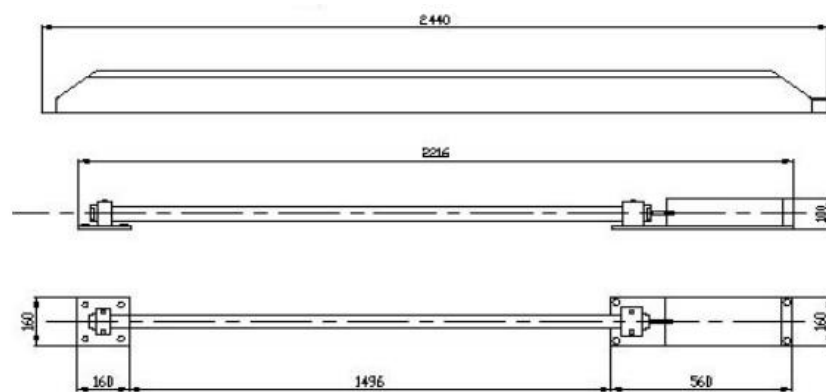


Рис. 6.9 Датчик «LBSG» для вимірювання деформації
вздовж центральної лінії судна [32]

	SBSG (F)	LBSG (F)
Resolution	5 microStrain	
Bandwidth	0 ... 150 Hz	0... 5 Hz
Linear Range	+/-1200 microStrain	+/-2000 microStrain
Max. Dimension	130 mm	2420 mm
Supply	12 ... 24 VDC	
Degree of Protection	fully sealed	IP 56
Cabling	RS 485, shielded cable, twisted pair	
Exi	with Zener Barrier	
Temperature Range	-25°C ... +70°C	
Vibration durability	■ Frequency Range 3 ... 13.2 Hz: Amplitude 1.0 mm (peak value) ■ Frequency Range 13.2 ... 100 Hz: Acceleration Amplitude 0.7g	
Baud Rate	1.25 Mbps or 625 Kbps	
Interface Protocol	ARCNET	
Output	■ Signal Mean Value ■ Signal Standard Deviation ■ Signal Peak Values ■ Average Mean Crossing Period ■ Rainflow count ■ 10 second Signal History in Cyclic Buffer	

Рис. 6.10 Характеристики датчиків «SBSG» та «LBSG» [33]

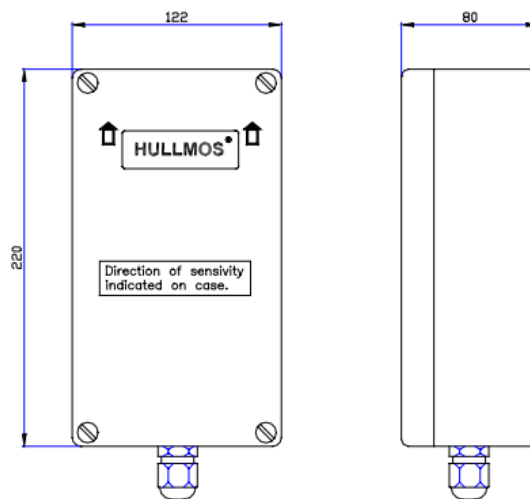


Рис. 6.11 Акселерометр [32]

6.3 Технологічна розробка. Технологія ремонту кришки циліндра ГД.

Кришка сприймає значні теплові потоки, тому при її конструюванні особлива увага приділяється зниженню температури і перепадів температур у вогневому днищі.

У більшості судових двигунів внутрішнього згоряння кришка має коробчасту конструкцію, утворену верхнім і нижнім (вогневим) днищами, з'єднаними вертикальними стінками. Форма кришки визначається типом двигуна, конструкцією камери згоряння, кількістю робочих клапанів, формою каналів до них, розташуванням форсунок.

Кришка має центральне свердління для випускного клапана, який приєднується чотирма болтами та гайками. Крім того, кришка має свердління для паливних форсунок, пускового клапана, впускного каналу пускового повітря, індикаторного клапана. Охолоджуюча сорочка, розташовується на нижній частині кришки циліндра, там де формується простір охолодження водою. Інші місця водяного охолодження утворюються навколо сидла випускного клапана, коли клапан встановлюється. Ці два простори з'єднані великою кількістю отворів у кришці. Вода надходить із засорочкового простору охолодження, що оточує циліндричну втулку, і проходить через з'єднання в засорочковий простір кришки циліндра і далі через отвори

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

охолодження у простір навколо сидла випускного клапана. Звідси вода випускається у головну випускную трубу водяного охолодження.

На деяких типах двигуна певна кількість води надходить безпосередньо від циліндрової кришки корпусу вихлопного клапана через з'єднання. Герметичність між кришкою циліндра та втулкою досягається застосуванням ущільнюючого кільця з м'якої сталі.

Дефектація кришки

З огляду на складність конфігурації і велику масу кришки циліндрів, її одержують методом лиття. Кришки циліндрів виготовлені з легованої сталі (молібденової або хромонікелевої). На двигунах типу 65-108ME для покращення умов роботи кришки циліндрів місця упорскування палива проварені матеріалом з високою теплостійкістю.

Характерними дефектами кришок циліндрів є тріщини з боку вогневої камери і площини охолодження, вигоряння днища, раковини, корозійні руйнування, знос поверхні посадкових пасків. Глибина дефектів досягає 30 мм, а площа поверхні вигоряння – 70-80% загальної площі вогневої камери.

Відновлення кришки циліндра

Відновленню з застосуванням зварювання підлягають кришки з дефектами, доступними по всій площині оброблення зварюванням.

Передбачаються наступні типи відновлення циліндричних кришок за допомогою зварювання:

- заміна днищової частини на кришках із внутрішніми тріщинами, а так само з великими дефектами на днищевій частині, виправлення яких економічно недоцільно;
- заварка тріщин і раковин;
- наплавлення вигорянь і корозійних ушкоджень.

Можливість і обсяг відновлення визначають конкретно для кожної кришки, що надійшла на завод.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

При відновленні кришки необхідно контролювати:

- розміри і якість оброблення тріщин;
- якість підготовленої поверхні для наплавлення;
- розміри і якість зварювальних канавок;
- якість зборки днища під зварювання;
- температуру підігріву перед зварюванням;
- температуру кришки в процесі зварювання;
- температуру печі, у яку міститься кришка після зварювання;
- відсутність тріщин після кожного проходу;
- дотримання вимог технологічного процесу.

На відновлену кришку ВТК оформлює акт і 4 екземпляри паспорта, що разом із кришкою представляють інспектору Регістра. ВТК також представляє сертифікати на зварювальні й інші матеріали, що характеризують якість виконаних робіт. [33]

Технологічний процес відновлення кришки циліндрів представлений в табл. 6.1 [33]

Технологічний процес відновлення кришки циліндрів

Таблиця 6.1

№ операції	Зміст операції	Пристосування, інструмент
1	Очищення кришки від нагару, іржі, шумування.	Хімічний спосіб, застосування хім. розчинів.
2	Дефектування кришки.	Лупа, керосино-крейдова проба.
3	Засвердлення кінців тріщин.	Свердло ПРО 6-10 мм.
4	Оброблення тріщин до повного видалення дефекту.	Свердло ПРО 12-20 мм.
5	Нагрівання кришки.	Термопара, термоолівець.
6	Наплавлення місця оброблення.	Електроди УОНИИ – 13/45А ПРО 3-5 мм.
7	Термічна обробка, відпалювання.	Піч.
8	Контроль наплавлення.	Лупа, ультразвукова і магнітна дефектоскопія.
9	Механічна обробка.	Паста для притирання.
10	Пред'явлення кришки ВТК і Регістру.	

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА РОЗТАШУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА СУДНІ.

7.1. Вимоги до розміщення обладнання в МКВ судна.

Загальні положення

1. Вентиляція машинних приміщень повинна відповідати вимогам 11.4 частини VII Правил Регістру.

В екстреному випадку повинна бути забезпечена можливість вимикання приводних двигунів нагнітальних і усмоктувальних вентиляторів зовні приміщень, в яких вони розташовані, і зовні машинного відділення.

2. Рекомендується обладнання машинних приміщень засобами опалення.

3. Листи днищового настилу (сланей) в машинних приміщеннях повинні бути виготовлені із листового рифленого матеріалу. Вони повинні бути знімними і мати надійні пристосування для запобігання їхнього зрушення.

Товщина листів повинна бути такою, щоб виключалося їх прогинання в експлуатаційних умовах.

Маса і розміри листів повинні забезпечувати можливість підняти їх однією особою (максимальна маса одного листа 25 кг).

В проходах вузли двигунів, агрегатів і арматура не повинні виступати над листами днищового настилу. Доступ до таких вузлів повинний здійснюватися через люки в листах настилу. Люки і пристосування для їх підняття не повинні мати виступаючих частин.

4. Площадки, призначені для обслуговування і ремонту двигунів, обладнання, приладів та інших пристроїв, повинні бути шириною не менше 450 мм і мати міцне поруччя висотою не менше 900 мм.

Якщо площадки порушують правильну циркуляцію повітря в машинному приміщенні, замість них повинні передбачатися жорсткі сталеві решітки.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Зовнішні крайки площадок і решіток повинні бути обнесені комінгсами висотою не менше 40 мм.

5. Всі частини, які рухаються, двигунів, агрегатів, обладнання і приводи, що представляють загрозу для обслуговуючого персоналу, повинні бути обгороджені поруччям чи кожухами.

6. Головні двигуни, допоміжні механізми, парові котли та інші посудини під тиском, та їхнє обладнання, повинні бути оснащені пристроями безпеки.

Примітка: Під «пристроями безпеки» маються на увазі запобіжні клапани, прилади попередження виникнення небезпечної частоти обертання, підвищення тиску робочого середовища до величини, яка може привести до виходу з ладу механізмів і обладнання та становити загрозу для життя людей.

7. Освітлення машинних приміщень повинне бути електричним, відповідати вимогам 6.1, забезпечуючи освітленість відповідних зон і просторів згідно до вимог 6.6 частини IX Правил Регістру. [31]

Розташування механізмів та обладнання

1. Головні механізми, їхні передачі, упорні підшипники валопроводів повинні повністю або частково кріпитися до суднових фундаментів щільно припасованими болтами.

Замість таких болтів можуть застосовуватися спеціальні упори.

Там, де це необхідно, щільно припасовані болти повинні застосовуватися для кріплення допоміжних механізмів до фундаментів.

Болти, які кріплять головні і допоміжні механізми, підшипники валопроводу до судових фундаментів, кінцеві гайки валів, а також болти, що з'єднують частини валопроводу, повинні бути надійно застопорені для запобігання самодовільного ослаблення.

2. Головні і допоміжні механізми повинні розташовуватися в машинних приміщеннях таким чином, щоб з їхніх постів керування і місць обслуговування були забезпечені вільні проходи до вихідних шляхів.

Ширина проходів по всій довжині повинна бути не менше ніж 600 мм, а висота – не менше 1900 мм.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

На суднах валовою місткістю менше 1000 допускається місцеве зменшення ширини проходу в світлі до 500 мм.

Ширина проходів вздовж розподільних щитів повинна відповідати вимогам викладеним в 4.6.7 частини IX Правил.

Ширина проходу зі сторони поста керування головним двигуном, а також між головними двигунами, повинна бути не менше 1000 мм.

При дистанційному керуванні двигунами ширина проходу може бути зменшена до 800 мм.

На високошвидкісних суднах, а також на водотоннажних суднах довжиною $L < 25$ м, в обґрунтованих випадках, допускається зменшення ширини проходів до 400 мм.

3. Розташування механізмів, котлів, обладнання, трубопроводів і арматури повинно забезпечувати вільний доступ до них для обслуговування і ремонту.

4. Котли повинні розташовуватися так, щоб відстань між котлами і цистернами рідкого палива була достатньою для вільної циркуляції повітря, необхідного для підтримання температури палива в цистернах нижче його температури спалаху, крім випадків зазначених в 12.3.8 частини VII Правил.

5. Котли, розташовані в одному приміщенні з ДВЗ, повинні бути в районі топкового пристрою обгороджені металевою вигородкою, або повинні бути вжиті інші заходи для охорони обладнання цього приміщення від впливу полум'я у випадку його викиду із топкового пристрою.

6. Котли, що працюють на рідкому паливі, які розташовані на платформах або проміжних палубах не у водонепроникних вигородах, повинні відгороджуватися нафтонепроникними комінгсами висотою не менше ніж 200 мм.

7. Двигуни, призначені для приводу насосів і вентиляторів приміщень вантажних насосів на нафтоналивних і комбінованих суднах для перевезення нафтопродуктів з температурою спалаху 60°C та нижче, а також на нафтозбиральних суднах, повинні встановлюватися в обладнаних штучною

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вентиляцією приміщень, які не мають виходів в приміщення вантажних насосів.

Двигуни, призначені для приводу заглибних насосів, допускається установлювати на відкритій палубі за умови, що ці двигуни підвищеної надійності проти вибуху (*Exe*), із вибухонепроникною оболонкою (*Exd*) чи з оболонкою під надлишковим тиском (*Exr*).

Парові двигуни, робоча температура яких не перевищує 220 °С, і гідравлічні двигуни можуть встановлюватися в приміщеннях вантажних насосів.

Привідні вали насосів і вентиляторів у місцях проходу через перегородки або палуби повинні обладнуватися газонепроникними ущільнювальними сальниками, які мають ефективне змащування, що підводиться ззовні насосного приміщення.

Наскільки це практично може бути здійснено, конструкція сальника повинна виключати можливість його перегрівання.

Деталі сальника, які можуть стикатися у випадках розцентрування привідного вала або пошкодження підшипників, повинні бути виготовлені з матеріалів, що виключають іскроутворення.

Якщо в сальниках застосовуються сальфони, вони повинні бути випробувані пробним тиском.

Вантажні, баластні і зачищувальні насоси, які установлені у вантажних насосних відділеннях і мають привідний вал, що проходить через перегородки насосного відділення, повинні бути обладнані датчиками температури сальників, підшипників і корпусів насосів.

Сигнали аварійно-попереджувальної сигналізації датчиків температури сальників, підшипників і корпусів насосів повинні виводитися на пост керування вантажними операціями або пост керування насосами.

Сигнали аварійно-попереджувальної сигналізації датчиків температури сальників, підшипників і корпусів насосів повинні виводитися на пост керування вантажними операціями або пост керування насосами.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

8. Компресори повітря повинні встановлюватися в таких місцях, де всмоктуване повітря мінімально забруднене парами горючих рідин.

9. Установки рідкого палива, а також гідравлічні установки, що містять в собі горючі рідини з робочим тиском більшим ніж 1,5 МПа, які не є елементами головних і допоміжних механізмів, котлів тощо, повинні бути розміщені в окремих приміщеннях із сталевими дверима, які самі зачиняються.

Якщо розміщення таких установок в окремих приміщеннях практично неможливо, повинні бути вжиті заходи для екранування їхніх основних елементів і збирання витікань.

10. Вимоги до розміщення аварійних дизель-генераторів:

- приміщення АДГ повинно розташовуватися вище палуби надводного борту поза машинним відділенням до корми від форпикової перегородки, мати вихід безпосередньо на відкриту палубу.

Приміщення АДГ повинне мати:

1. витратну паливну цистерну і трубопровід подачі палива в окремому приміщенні разом з АДГ;

2. вентиляцію відповідно до вимог 11.4 частини VII Правил;

3. опалення, що забезпечує температуру в приміщенні, достатню для безвідмовного пуску аварійного агрегату.

11. Вимоги до розміщення головного розподільного щита.

Якщо аварійним джерелом електричної енергії є дизель-генератор, аварійний розподільний щит повинен встановлюватися в одному приміщенні з дизель-генератором, за винятком того випадку, коли таке розміщення негативно діє на роботу розподільного щита.

У цьому ж приміщенні повинні також знаходитися всі пускові і зарядні пристрої, а також стартерні акумуляторні батареї для пуску аварійного агрегату

Розташування паливних цистерн

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Паливні цистерни, як правило, повинні складати частину корпусних конструкцій судна і розташовуватися за межами машинних приміщень категорії А.

Якщо паливні цистерни, за винятком цистерн подвійного дна, у разі необхідності, розміщуються поруч або всередині машинних приміщень категорії А, їхні поверхні в машинних приміщеннях повинні бути мінімальними і переважно мати спільну межу з цистернами подвійного дна.

Якщо цистерни розміщуються всередині машинних приміщень категорії А, то в них не повинно утримуватися паливо з температурою спалаху нижче 55 °С.

Як правило, потрібно уникати застосування вкладних паливних цистерн.

Витратні паливні цистерни повинні відповідати вимогам 12.7 частини VII Правил.

2. Якщо застосування вкладних паливних цистерн дозволено Регістром, вони повинні встановлюватися на непроникних для палива піддонах, а на пасажирських суднах та суднах спеціального призначення, на борту яких розміщується більше 50 осіб спеціального персоналу, крім того, поза межами машинних приміщень категорії А.

3. Паливні і мастильні цистерни, а також збірні цистерни нафтовмісних вод, не можуть розміщуватися над трапами, двигунами внутрішнього згоряння, котлами, газовипускними трубами, димоходами, електричним обладнанням і постами керування головними механізмами. [31]

7.2 Розробка компоновки обладнання СЕУ в МКВ.

Розташування устаткування у відсіках МВ приведено відповідно до конструктивно-технічної доцільності з урахуванням вимог Міжнародної Конвенції по охороні людського життя на морі (СОЛАС-74). Передбачено заходи щодо запобігання забруднення навколишнього середовища.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Розміри МВ визначені: типом ГД; складом ДКУ; складом СЕС; розташуванням допоміжних механізмів і апаратів, що забезпечують мінімальну довжину комунікацій і можливу високу ремонтно-пригідність устаткування; і відповідають базовому судну.

МВ розташовується в кормовій частині судна. Елементи пропульсивного комплексу розміщені в МВ на фундаментах, зв'язаних із днищевим набором судна. Зверху над дизелем залишений простір для виймання за допомогою піднімальних пристроїв поршнів і інших деталей двигуна з метою заміни чи ремонту.

Розташування і монтаж устаткування забезпечує його надійне і безвідмовне функціонування при крені і диференті судна.

Енергетична установка надійно працює при всіх можливих режимах експлуатації, а так само при тривалому крені судна до 15° і диференті до 5°, а аварійні джерела енергії і механізми - при тривалих кренах судна до 22,5° і диференті до 10°.

Механізми й апарати СЕУ встановлюють і закріплюють на міцних фундаментах. Фундаменти повинні бути легкими, для чого бажано розташовувати устаткування над флорами, стрингерами та у районі шпангоутів. Малогабаритні механізми й устаткування можна безпосередньо встановлювати на платформах чи настилі другого дна.

Агрегати аварійної СЕС розташовані в окремому приміщенні, що знаходяться вище лінії граничного аварійного занурення судна, та мають самостійний вихід на відкриту палубу.

ГД і ДГ розміщені в МВ так, щоб з постів їхнього обслуговування забезпечити вихідні проходи шириною не менше 0,6 м. Ширина трапів і дверей не повинна бути менше 0,6 м.

Допоміжний котлоагрегат розташований на платформі ПБ і максимально наближений до труб газовихлопу, утворює з УК єдину паровиробничу установку.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механізми розташовані так, щоб відстань між ними дозволяла безперешкодно здійснювати їхнє обслуговування.

Паливні цистерни розташовані відповідно до вимог по пожежній безпеці.

Трубопроводи зорієнтовані в трьох взаємно перпендикулярних площинах, причому передбачено досить простору для обслуговування і ремонту труб і арматури.

Механізми, що вимагають постійного спостереження під час роботи, розміщені біля ЦПУ.

Механізми, що є джерелами шуму і вібрації, установлені на елементах корпусу, що мають підвищену пружність.

Головний розподільний щит розташований у ЦПУ.

Система технічного обслуговування енергетичного і виробничого комплексу передбачає ряд майстерень, складу ЗІПу і вантажопідйомних пристроїв.

Настили платформ у МВ виконані з'ємними для простоти обслуговування і ремонту трубопроводів і арматури.

Розташування головних і допоміжних механізмів та іншого устаткування

Розташування обладнання ЕУ може бути одно- і багатоярусним. На даному рудовозі зі значною висотою борту застосовне багатоярусне розташування, що дозволяє зменшити довжину МВ та габарити установки.

Головні двигуни та передачі

Розташовані у нижній частині МВ на фундаментах, зв'язаних з днищевим набором корпусу. Над двигуном залишений достатній простір для витягування поршнів зі штоком або шатунів за допомогою спеціальних підйомних пристроїв.

Допоміжний паровий котел

Розміщені на платформі. У МВ огорожені металевою вигородкою, щоб захистити устаткування від дії полум'я у випадку його викиду з топки.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Утилізаційний паровий котел

Розміщенні у верхній частині машинної шахти на спеціальному фундаменті. Газовідвідний трубопровід між двигуном та УК має компенсатор.

Агрегати СЕС

Розташовують у МВ разом з ГД.

Аварійний дизель-генератор

Разом з розподільним щитом, паливною цистерною та іншим устаткуванням, що забезпечує роботу ДГ, встановлено в одному приміщенні, яке знаходиться вище палуби перебірок і має вихід на відкриту палубу.

Трубопроводи

Прокладені найбільш коротким шляхом. При монтажі додержувалось вимог трасування – прокладання у трьох взаємно перпендикулярних напрямках: паралельно діаметральній площині судна, перпендикулярно їй та перпендикулярно основній площині.

Розташування насосів

Встановлено так, що забезпечується надійне всмоктування за найбільш сприятливих експлуатаційних умов. У зв'язку з цим насоси розташані у нижній частині трюму, однак таким чином, що їх привідні електродвигуни розташовуються над рівнем підлоги біля насосів.

Насоси, сепаратори, фільтри та інше устаткування паливної системи

Розташовувати у трюмі МВ компактно, в агрегаті та поблизу витратних цистерн очищеного палива. Для перекачування палива встановлено два насоси, один з яких резервний.[31]

Додаткове обладнання модернізованого судна

До складу СЕУ було запропоновано додати валогенератор та систему зменшення викидів CO₂ – EGR «TC cut-out matching». Нижче наведено рисунки розташування цього обладнання в МВ.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

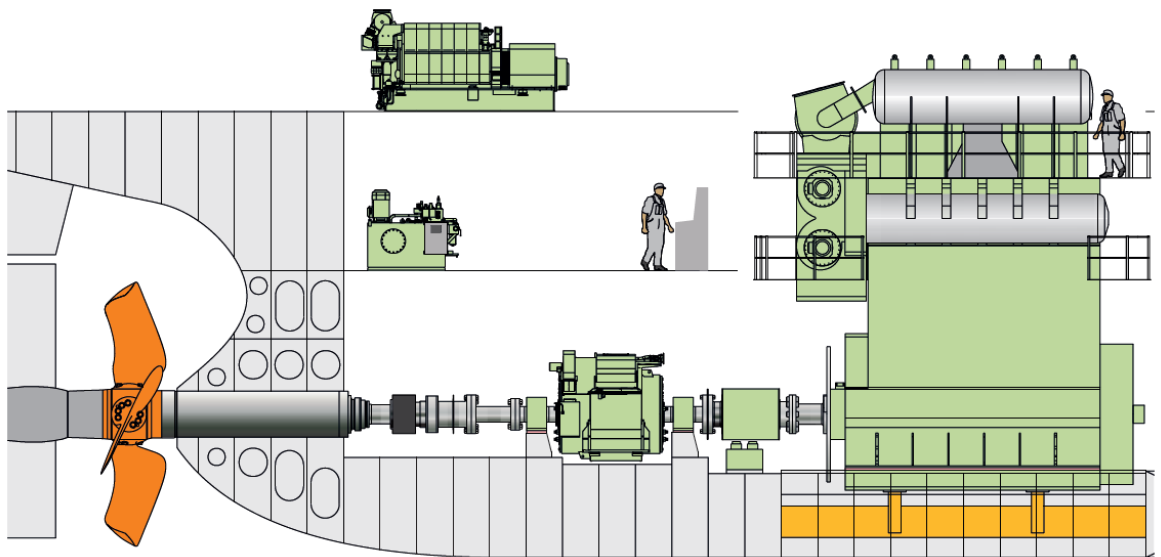


Рис. 7.1 Розташування валогенератору у МВ [17]

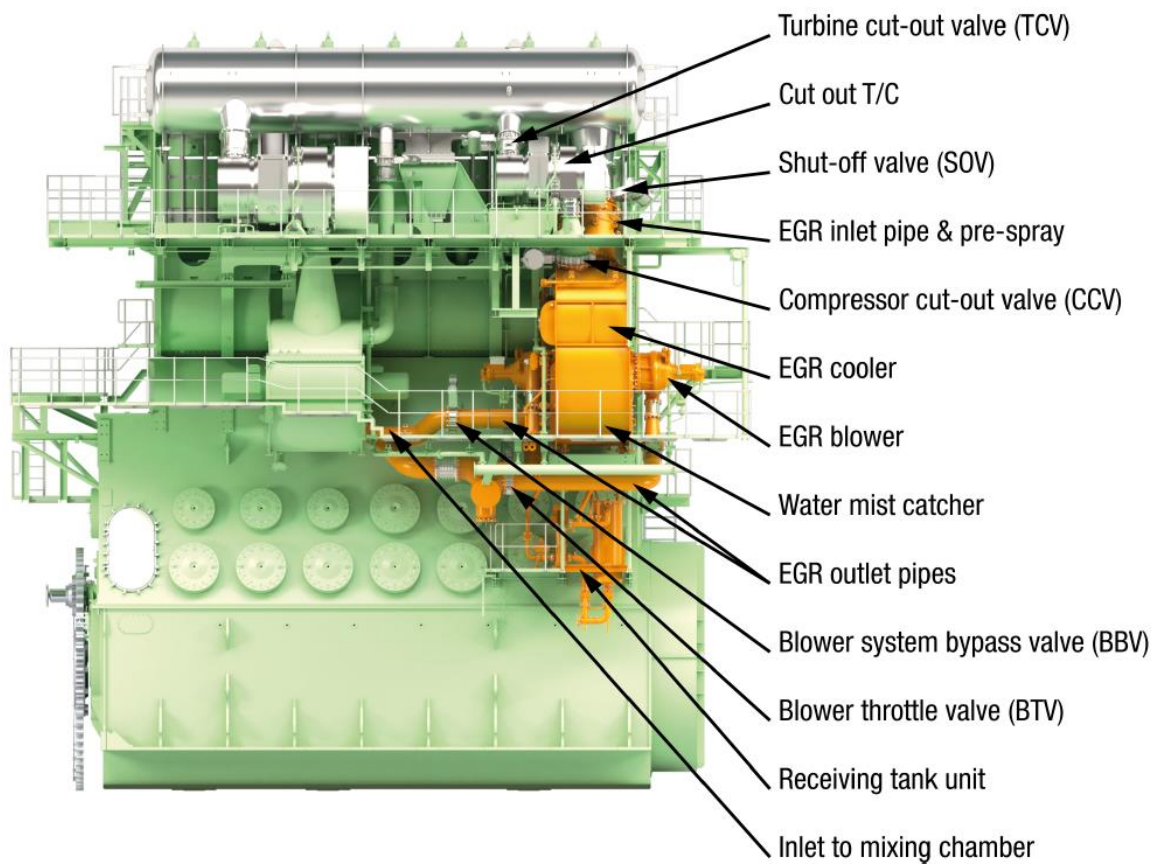


Рис. 7.2 Розташування системи EGR «TC cut-out matching» на ГД [23]

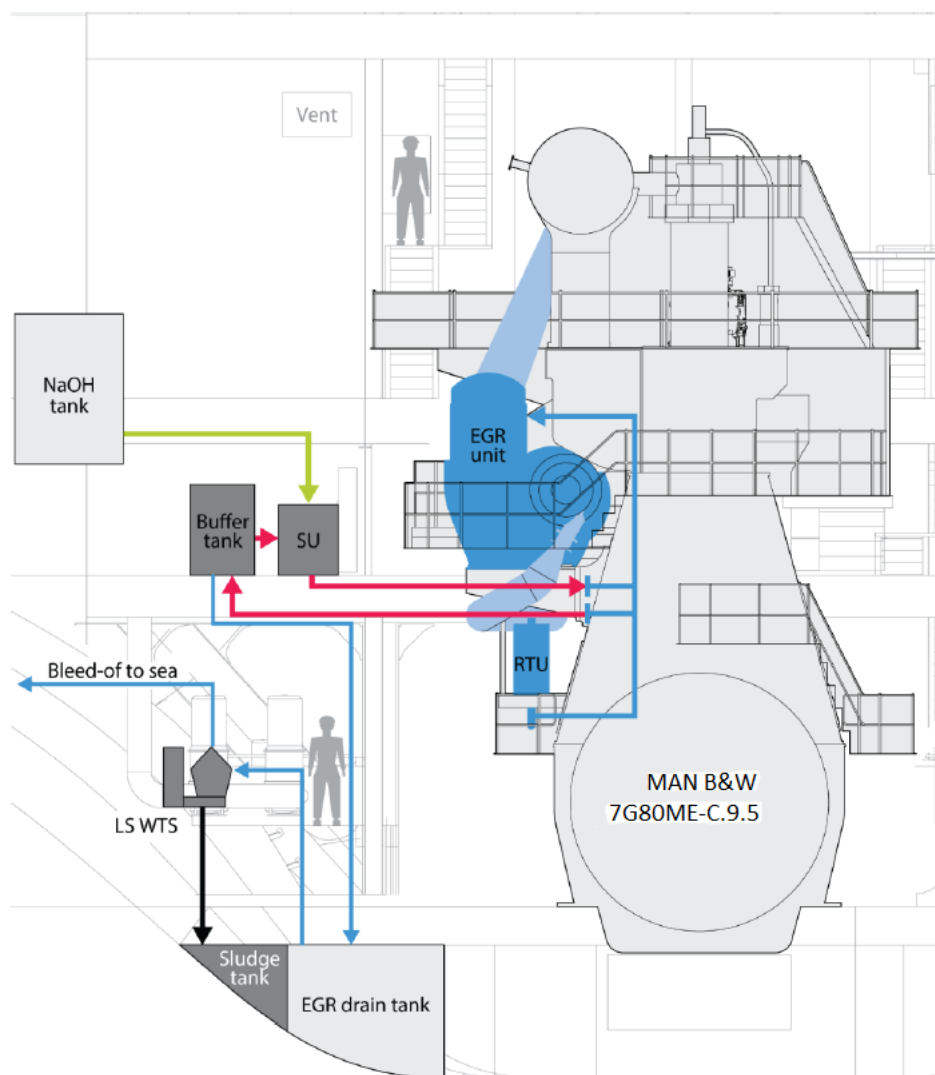


Рис. 7.3 Розташування системи EGR «TC cut-out matching» у МВ [23]

РОЗДІЛ 8. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ З ЇХ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ

Першим запропонованим рішенням було встановлення гвинту Капеля у доповнення до вже застосованих ESD заходів. Ця комбінація гвинта, спрямовуючого каналу та керма з бульбом підвищить ефективність пропульсивного комплексу на 5%, що дає змогу знизити потужність ГД на таку ж кількість. Це і було зроблено шляхом дефорсажу двигуна. Додатково було запропоновано модернізувати ГД шляхом встановлення системи рециркуляції відхідних газів, яка перенаправляє до 40% очищених і охолоджених відхідних газів у ресивер продувального повітря. При цьому скорочення викидів NO_x є майже лінійним до співвідношення рециркуляційних вихлопних газів. Тобто, не втрачаючи швидкість, судно вже має менш потужний двигун, який має відповідно меншу витрату палива та менші викиди. Отже, таке рішення є економічно і екологічно доцільним.

Наступним рішенням було запропоновано встановити валогенератор, який частково або повністю може перекривати потреби судна у електроенергії під час далеких переходів. А так як, валогенератор відбирає потужність від ГД, у якого вища екологічність і економічність у порівнянні з ДГ, таке рішення також є доцільним.

Останнім, найсучаснішим зі всіх запропонованих заходів було встановлення системи роторних вітрил. Оцінити ефективність цієї системи, яка виступає допоміжною, можна за допомогою спеціально розробленого калькулятора заощаджень електронного ресурса - flettner.lr.org/. Також є спрощені прогнози розрахунки які можна одержати на сайтах фірм-виробників таких систем. Такі розрахунки можна виконати на сайтах фірми «Norserpower» та «Anemoi». Для розрахунків потрібно зазначити рейсову лінію, для судна «Sao FABIAN» це перехід між Бразилією та Китаєм. Нижче наведено ці розрахунки. Отримані результати приблизні, більш точні розрахунки виконує фірма, яка встановлює цю систему.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

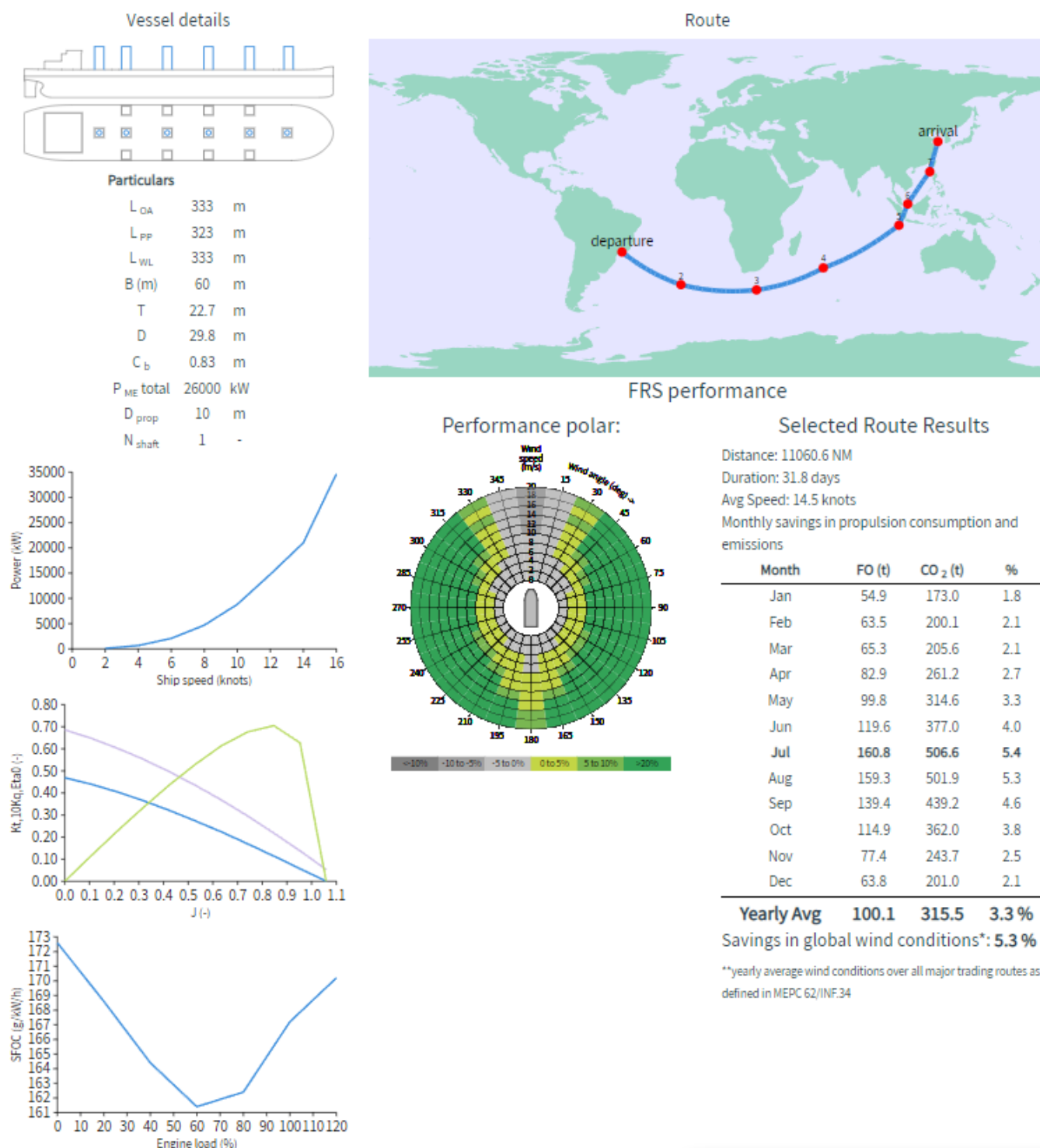


Рис 8.1 – Розрахунок ефективності виконаний у Flettner rotor savings estimator (результати приведені для переходу в одну сторону) [27]



Рис 8.2 – Розрахунок ефективності від «Norsepower» [28]
(результати приведені для переходу в обидві сторони)

Проаналізувавши результати, та усереднивши їх, можна зробити наступний висновок, який зведено у таблицю нижче.

Таблиця 8.1 Підсумкові результати ефективності системи роторних вітрил

Параметр	Результат
Економія палива	196 т
Зменшення викидів CO ₂	614,4 т
Зменшення потужності ГД	1550 кВт
Ефективність	10 %

8.1. Загальна оцінка ефективності впроваджених ESD за критерієм EEDI.

Для оцінки ефективності потрібно визначити EEDI для базового судна та порівняти його з EEDI модернізованого судна. Тож визначимо спершу критерій для базового судна.

Вихідні дані базового судна:

Дедвейт – 325000 т;

Льодовий клас – відсутній;

Швидкість, V_{ref} – 14,5 вузлів;

Номінальна потужність головного двигуна, MCR_{ME} – 23390 кВт;

Кількість головних двигунів, i – 1;

Номінальна потужність допоміжного двигуна, MCR_{AE} – 1500 кВт;

Кількість головних двигунів, i – 3;

Тип палива для головного двигуна – НФО;

Коефіцієнт кореляції між витратою палива і CO₂ для ГД, C_{FME} – 3,114;

Питома ефективна витрата палива на ГД, SFC_{ME} – 162,6 г/(кВт·год);

Тип палива для дизель-генераторів – НФО;

Коефіцієнт кореляції між витратою палива і CO₂ для ДГ, C_{FAE} – 3,114;

Питома ефективна витрата палива на ДГ, SFC_{AE} – 180 г/(кВт·год);

Потужність валогенераторів, P_{BG} – 0 кВт (відсутні);

Потужність привідних електричних двигунів, що працюють на пропульсивний комплекс, P_{PTI} – 0 кВт (відсутні);

Інноваційні технології зниження витрат палива – відсутні;

Всі коефіцієнти зі знаменника формули EEDI для даного судна – 1.

Величина $P_{ME(i)}$ визначається як:

$$\sum_{n=ME}^{i=1} P_{ME(i)} = 0,75 \cdot (\sum MCR_{ME(i)} - \sum P_{PTO(i)}), \text{ де } \sum P_{PTO(i)} = 0,75 \sum_{n=BG}^{i=0} P_{BG(i)}$$

$$P_{ME(i)} = 0,75 \cdot MCR_{ME} = 0,75 \cdot 23390 = 17542 \text{ кВт};$$

Величина P_{AE} визначається за формулою, наведеною нижче:

$$P_{AE} = (0,025 \cdot MCR_{AE}) + 250 = 0,025 \cdot 23390 + 250 = 834,8 \text{ кВт};$$

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Визначимо коефіцієнт енергетичної ефективності за формулою, наведеною нижче:

$$EEDI = \frac{(P_{ME} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

$$= \frac{(17542 \cdot 3,114 \cdot 162,6) + (834,8 \cdot 3,114 \cdot 180)}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 325000 \cdot 14,5 \cdot 1} = 1,98 \text{ г CO}_2/(\text{т} \cdot \text{милю}).$$

Тепер визначимо критерій EEDI для модернізованого судна.

Вихідні дані модернізованого судна:

Дедвейт – 325000 т;

Льодовий клас – відсутній;

Швидкість, V_{ref} – 14,5 вузлів;

Номінальна потужність головного двигуна, MCR_{ME} – 22220 кВт;

Кількість головних двигунів, i – 1;

Номінальна потужність допоміжного двигуна, MCR_{AE} – 1500 кВт;

Кількість головних двигунів, i – 3;

Тип палива для головного двигуна – НФО;

Коефіцієнт кореляції між витратою палива і CO_2 для ГД, C_{FME} – 3,114;

Питома ефективна витрата палива на ГД, SFC_{ME} – 163,2 г/(кВт·год);

Тип палива для дизель-генераторів – НФО;

Коефіцієнт кореляції між витратою палива і CO_2 для ДГ, C_{FAE} – 3,114;

Питома ефективна витрата палива на ДГ, SFC_{AE} – 180 г/(кВт·год);

Потужність валогенераторів, P_{BG} – 2500 кВт;

Потужність привідних електричних двигунів, що працюють на пропульсивний комплекс, P_{PI} – 0 кВт (відсутні);

Інноваційні технології зниження витрат палива – Роторні вітрила;

Потужність згенерована інноваційною технологією, $P_{MEff(i)}$ – 1550 кВт;

Коефіцієнт, що враховує використання роторних вітрил, $f_{eff(i)}$ – 0,95 (протягом всього рейсу окрім виходів з портів);

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зниження потужності ГД у разів використання інноваційних технологій визначаємо як:

$$\sum P_{MEff(i)} = 1550 \text{ кВт}$$

Всі коефіцієнти зі знаменника формули EEDI для даного судна – 1.

Величина $P_{ME(i)}$ визначається як:

$$\sum_{nME}^{i=1} P_{ME(i)} = 0,75 \cdot (\sum MCR_{ME(i)} - \sum P_{PTO(i)}), \text{ де } \sum P_{PTO(i)} = 0,75 \sum_{nBT}^{i=1} P_{BT(i)}$$

$$\sum P_{PTO(i)} = 0,75 \sum_{nBT}^{i=1} P_{BT(i)} = 0,75 \cdot 2500 = 1875 \text{ кВт.}$$

$$\sum_{nME}^{i=1} P_{ME(i)} = 0,75 \cdot (\sum MCR_{ME(i)} - \sum P_{PTO(i)}) = 0,75 \cdot (22220 - 1875) = 15259 \text{ кВт}$$

Величина P_{AE} визначається за формулою, наведеною нижче:

$$P_{AE} = (0,025 \cdot MCR_{AE}) + 250 = 0,025 \cdot 22220 + 250 = 805,5 \text{ кВт};$$

Визначимо коефіцієнт енергетичної ефективності за формулою, наведеною нижче:

$$EEDI = \frac{(P_{ME} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) - \left(\sum_{neff}^{i=1} f_{eff(i)} \cdot \sum P_{MEff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

$$= \frac{(15259 \cdot 3,114 \cdot 163,2) + (805,5 \cdot 3,114 \cdot 180) - (0,95 \cdot 1550 \cdot 3,114 \cdot 163,2)}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 325000 \cdot 14,5 \cdot 1}$$

$$= 1,59 \text{ г CO}_2/(\text{т} \cdot \text{милю}).$$

Базове судно	Модернізоване судно
EEDI_{old} =1,98 г CO ₂ /(т·милю)	EEDI_{new} =1,58 г CO ₂ /(т·милю)

[29]

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

8.2. Розробка рекомендацій з впровадження результатів роботи.

Запропоновані заходи і проектні рішення для підвищення ефективності і екологічності підходять для суден без льодового класу та лінійного типу судноплавства, такі як балкери, танкери, Ро-Ро. Для інших типів суден необхідно проводити аналіз доцільності та можливості застосування кожного окремо розглянутого рішення запропонованого в даній роботі.

Гребний гвинт Капеля ідеально підходить для суден високого класу, де пріоритетом є найвища ефективність, вищий клас енергоспоживання, мінімальне споживання палива та мінімальний вплив на навколишнє середовище. Підвищена пропульсивна ефективність забезпечує зниження потужності, економію за рахунок меншого споживання палива, зменшення викидів вихлопних газів або може бути використаний як більш тяговий рушій, для збільшення швидкості судна при заданій потужності двигуна.

Переваги:

1) нижча витрата палива та рівень викидів серед інших гвинтів;

Максимізований ККД гвинта забезпечує зниження споживання палива та зниження рівня викидів вихлопних газів

2) вища чартерна вартість і ринкова привабливість;

Найнижчий EEDI та вищий «енергетичний клас» можна отримати для самохідних суден з таким гвинтом. Як новозбудовані, так і існуючі судна, що модернізуються, можуть отримати вигоду та бути готовими до майбутнього з меншим споживанням палива та більшою екологічністю.

3) підвищений комфорт;

Більш низькі імпульси тиску, викликані гвинтом що впливають на корпус судна, зменшують бортовий шум і вібрацію.

4) можливість збільшення діаметра гвинта;

Нижчі імпульси тиску дозволяють зменшити зазор між корпусом судна та гвинтом, що дає змогу використати більший та ефективніший гвинт.[9]

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Система рециркуляції відхідних газів ГД.

При проектуванні нових суден або модернізації неодмінно постає питання забезпечення необхідних екологічних параметрів при експлуатації судових дизелів (зокрема, значень викидів NOx у вихлопах), що змушує шукати додаткові технологічні рішення. Одним із доступних варіантів є оснащення судових дизельних двигунів системами EGR, які примусово подають частину вихлопів із вихлопної системи в циліндр двигуна. Система EGR скорочує кількість повітря, призначеного для згоряння палива, тому кількість вихлопних газів, які повертаються в циліндр двигуна, повинна підтримувати надійне самозаймання і подальше згоряння палива. При використанні системи EGR викиди NOx зменшаться на 30...40% залежно від режиму роботи двигуна та ступеня EGR що визначається експериментально. Незважаючи на погіршення економічних та енергетичних показників, застосування методики EGR на морських судах має прекрасні перспективи, оскільки використання цього методу забезпечує відповідність міжнародним вимогам охорони навколишнього середовища та сприяє забезпеченню екологічної безпеки.[23]

Роторні вітрила.

Енергія вітру є безпечним, стійким способом приведення в рух сучасних торгових суден. Роторні вітрила продемонстрували підвищену ефективність судна, зменшивши споживання палива, шкідливі викиди та витрати на бункерування. Порівняно з іншими технологіями вітрової тяги, роторні вітрила пропонують набагато більшу силу тяги для руху судна на квадратний метр площі вітрила. Це означає, що їх можна зробити більш економічно ефективними та з меншим впливом на роботу судна, ніж традиційні вітрила чи крила.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Ключові переваги використання системи роторних вітрил:

- Мала вага

Роторні вітрила виготовляються з високотехнологічних легких композитних матеріалів для досягнення чудових характеристик із мінімізованою додатковою вагою. Серцем роторного вітрила є міцна сталева вежа, яка безпечно перерозподіляє усі навантаження на конструкцію судна.

- Оптимізація для будь-яких погодних умов

Роторні вітрила розроблені таким чином, щоб витримувати найсуворіші погодні умови відповідно до вимог класу. Вони можуть працювати за бурхливого моря та швидкості вітру до 35 м/с (70 вузлів). У екстремальних умовах, що виходять за межі робочих меж роторних вітрил, вони автоматично вимикаються та можуть складатися. На відміну від інших вітрових технологій, не потребують рифлення.

- ЕХ-клас

Для встановлення на судах із небезпечними зонами (наприклад, танкерах і газовозах) фірми виробники пропонують опцію роторного вітрила з класом ЕХ.

- Відповідність судна нормативним вимогам

Зниження шкідливих викидів на 5-30%, включаючи CO₂, SO_x, NO_x, зменшує вплив на навколишнє середовище та допомагає суднам дотримуватися нормативних вимог і цілей. Роторні вітрила позитивно впливають на критерій EEDI новозбудованого судна та можуть забезпечити відповідність майбутнім нормам третьої фази 2025 року та покращити потенційні робочі показники для модернізованих установок (наприклад, EEХІ та СІІ).

- Підтвердження генерованої тяги та звітність

Звіти про продуктивність створюються за допомогою передачі даних у реальному часі та перевіряються на основі даних про тягу з повномасштабного випробувального центру.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Автоматизація і простота в експлуатації

Повністю автоматизовані та оптимізовані операції за допомогою системи керування розташованої на мосту судна.

- Рухомий актив

Роторні вітрила можна переносити між суднами відповідно до бізнес-вимог, щоб власники могли бути впевнені в довговічності інвестицій, забезпечуючи окупність.

- Підходить для більшості типів суден

Роторні вітрила підходять для більшості типів суден, у тому числі нових і модернізованих, балкерів (з редукторами та без редукторів), танкерів, суден для зрідженого газу, поромів і RoRo.

- Безпечність та міцність

Системи роторних вітрил розробляються та сертифікуються відповідно до правил провідних класифікаційних товариств, що забезпечує відповідність найвищим стандартам морської якості. [25]

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В даному курсовому проекті були розроблені пропозиції щодо модернізації пропульсивного комплексу та енергетичної установки судна рудовозу «Sao FABIAN».

Запропоновано встановлення енергозберігаючих девайсів такі як гвинт Капеля та допоміжної пропульсивної системи роторних вітрил з шістьма роторами 4х24 м. До системи роторних вітрил, також, була розроблена система діагностики та моніторингу електродвигунів та підшипників роторів для попередження несправностей та виходу з ладу роторів.

За рахунок підвищення ефективності пропульсивного комплексу шляхом встановлення енергозберігаючих девайсів, було запропоновано зробити дефорсаж головного двигуна, у якого ефективна потужність була зменшена до 22 220 кВт, при якій судно не втратило швидкісні характеристики. Для зменшення викидів CO₂ та NO_x було запропоновано модернізувати ГД шляхом встановлення системи рециркуляції відхідних газів – «EGR - TC cut-out matching».

Суднова електростанція також зазнала змін, було запропоновано додати до її складу новітній валогенератор с постійним магнітом потужністю 2500 кВт, який працює в режимі РТО (відбір потужності ГД до суднової електростанції).

На основі виконаних розрахунків та аналізу запропонованих заходів підвищення ефективності судна, зробимо наступний висновок: встановлення гвинту Капеля додасть 5% ефективності пропульсивного комплексу, встановлення системи роторних вітрил, середньо за рік, дасть економію палива у 196 т, та зменшення викидів CO₂ на 614,4 т за повний перехід рейсової лінії з поверненням у порт завантаження. Впровадження решти заходів, у сумі з перерахованими вище, зменшить індекс EEDI до 1,58, що відповідає вимогам ІМО відповідно до фази ІІІ та дає змогу подальшої тривалої експлуатації судна, що є головною метою для судновласника.

					КРМ. ОП135. 6211МЗ. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Список використаних джерел інформації

1. SIGNIFICANT SHIPS OF 2018 © 2018. The Royal Institution of Naval Architects.
2. URL:http://www.krs.co.kr/KRRules/KRRules2021/data/data_part/english/pe010000.pdf
3. URL:<https://www.vesselfinder.com/ru/vessels/details/9822255>
4. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973г., измененная протоколом 1978г. к ней (МАРПОЛ-73/78), Книги I и II.
5. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (SOLAS).
6. URL:<http://www.getscr.co.kr/scr-nox-o2-analyzer-scrubber/why-nox-sox-reduction/?ckattempt=1>
7. URL:<https://www.sustainable-ships.org/rules-regulations/eedi>
8. URL:<https://www.imo.org/>
9. URL:https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/propeller-aft-ship-solutions.pdf?sfvrsn=c38f7e26_12
10. URL:https://baltmarine.eu/wp-content/uploads/2021/04/Becker_Mewis_Duct.pdf
11. URL:https://www.danaosshipping.gr/media/1163/man_alpha.pdf
12. URL:<https://www.moltrkiye.com/news-media/news-single/news-25.html>
13. URL:<https://www.semanticscholar.org/paper/Net-power-generated-by-flettner-rotor-for-different-Lele-Rao/68c86807003458b207ef5f44953b7af41f1525b3>
14. Project Guide MAN B&W G80ME-C9.5-TII
15. URL:<https://www.man-es.com/marine>
16. URL:<https://www.wartsila.com/en/marine>
17. URL:https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/tools/5510-0003-03ppr.pdf?sfvrsn=b570e4e5_8
18. URL:<https://man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/ceas-engine-calculations>
19. URL:<https://www.hyundai-engine.com/en/products/detail/31>
20. URL:https://library.e.abb.com/public/82e9e56372cf485eb8faf49eb0912a58/External%20presentation_ABB_In-Line_PM_Shift_generators.pdf
21. URL:http://www.kangrim.com/_kang/Catalog.pdf

					KPM. ОП135. 6211М3. 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

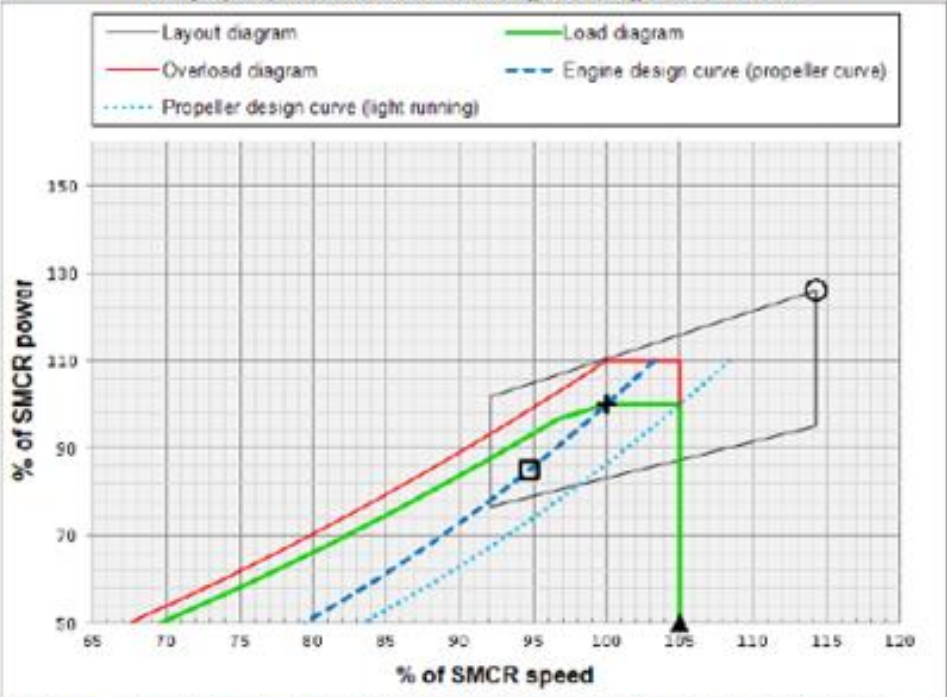
22. URL:https://www.wartsila.com/docs/default-source/marine-documents/waw-documents/freshwater-generators/w%C3%A4rtsil%C3%A4_ssd_marine_lowres.pdf?sfvrsn=d98b5e43_5
23. Emission Project Guide MAN B&W Two-stroke Marine Engines
24. URL:<https://northsearegion.eu/wasp/our-technologies/flettner-rotor-norsepower/how-it-works-flettner-rotor-norsepower/>
25. URL:<https://anemoimarine.com/flettner-rotor-ship/>
26. URL:<https://www.norsepower.com/download/brochure.pdf>
27. URL:<https://flettner.lr.org/ksDBDTfX>
28. URL:<https://www.norsepower.com/simulator>
29. Оцінка енергоефективності морського судна: методичні рекомендації до виконання розділу випускної кваліфікаційної роботи / В.М. Горбов, В.С. Мітенкова, Є.В. Білоусов, В.П. Савчук Херсон: ХДМА, 2019.
30. URL:<https://dewesoft.com/ru/applications/condition-monitoring>
31. Правила класифікації та побудови морських суден [Текст]. – У 4-х томах. – К.: Регістр судноплавства України, 2002.
32. URL:<http://www.hullmos.com/>
33. URL:<http://www.hullmos.com/Brochures/HULLMOSbrochure.pdf>
34. URL:<https://mirmarine.net/dvs/man-b-w/man-b-w-50-108-me-c/1364-man-b-w-50-108-me-c-kryshka-tsilindra>

MAN Energy Solutions



CEAS Engine Data report
7G80ME-C9.5-EGRTC

DISCLAIMER: This engine has been replaced by a newer and more efficient engine. Data from replaced engines should only be used for comparison and processing existing or repeat orders. For new projects, the latest version of the engine catalogue must be used.



The Light Running Margin (LRM) shown is 5%. Recommended value is 4-7%, for special cases up to 10%. The LRM should be evaluated for each ship project depending on for example: In-service increase of vessel resistance, ship manoeuvring requirements, additional engine load due to power take-out (PTO) and possible requirements related to a barred speed range (short passing time).

Point	Power kW	Speed r/min	MEP bar
+ SMCR: Specified Maximum Continuous Rating (79.3% of NMCR)	26,141	63.0	19.0
□ NCR: Normal Continuous Rating (85.00% of SMCR)	22,220	59.7	17.1
Maximum over load (110% of SMCR)	28,755	-	-
▲ Maximum speed limit (105% of SMCR)	-	66.2	-
○ L1, NMCR: Nominal Maximum Continuous Rating	32,970	72.0	21.0

Further reading: [Basic principles of ship propulsion](#)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Specified Main Engine and Other Parameters

Specified parameters	
Type of propeller	Fixed pitch propeller
Cooling system	Central water cooling system
Hydraulic control oil system test	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

Turbocharger specifications	
Turbocharger efficiency	High efficiency
Exhaust gas bypass	Without EGB*)
Number of turbochargers and make/type (Main string)	1 x MAN TCA77-21
Number of turbochargers and make/type (Cut-out string)	1 x MAN TCT40-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

*) This engine can be equipped with Economizer Energy Control (EEC) for increasing exhaust gas temperatures. This requires ordering an EGB valve, because it is not standard on this engine.

Fuel Consumption and Gas Figures

SFOC	Tier II		Tier III	
	SMCR g/kWh	NCR g/kWh	SMCR g/kWh	NCR g/kWh
ISO	165.2	159.4	167.2	163.2
Tropical	166.9	161.1	168.9	164.9
Specified	163.2	157.5	165.2	161.2

SFOC: Specific Fuel Oil Consumption (LCV: 42,700 kJ/kg)

Exhaust gas amount	Tier II		Tier III	
	SMCR kg/s	NCR kg/s	SMCR kg/s	NCR kg/s
ISO	56.4	48.9	38.6	34.3
Tropical	50.6	43.8	36.4	32.2
Specified	58.1	50.3	39.0	34.6

Exhaust gas temperature	Tier II		Tier III	
	SMCR °C	NCR °C	SMCR °C	NCR °C
ISO	241	220	246	222
Tropical	292	268	296	269
Specified	216	195	221	198

Turbocharger air consumption	Tier II		Tier III	
	SMCR kg/s	NCR kg/s	SMCR kg/s	NCR kg/s
ISO	55.2	47.9	37.8	33.6
Tropical	50.5	43.8	36.4	32.2
Specified	57.0	49.3	38.3	34.0

ISO, tropical and specified conditions are listed in the References and tolerances section.

Expected lubricating oil consumption

Fuel sulphur	Cylinder oil consumption	Lubricating oil consumption
0.1%-0.5%	minimum 0.6 g/kWh	from negligible to 0.1 g/kWh

Capacities of Pumps and Coolers

Pump	Flow capacity m ³ /h	Pump head bar
Fuel oil circulation	14.7	6.0
Fuel oil supply	7.2	4.0
Jacket cooling water	170	3.0
Lubricating oil	630	4.5
Central fresh water	780	2.5
Sea water for central cooling	1,010	2.0

The pump heads stated are for guidance only, and depend on the actual pressure drop across coolers, filters, etc. in the systems. The capacities do not account for any components other than the engine itself.

Flow capacities of cooler(s) on engine <i>ISO condition</i>		Central water flow m ³ /h
Scavenge air cooler(s)	No. of coolers x flow per cooler	1 x 240
EGR cooler(s)	No. of coolers x flow per cooler	1 x 290
Total flow capacity to engine		530

Capacities of auxiliary heat exchangers		Central water flow m ³ /h		Heat dissipation kW
Central cooler	Sea water flow	1,010	780	20,620
Jacket water cooler	Jacket water flow	170	250	3,160
Lubricating oil cooler	Oil flow	630	250	2,240

All flows are stated as minimum required flows.

The heat capacity of the central cooler (including 5% safety margin) is calculated as the sum of the 100% SMCR heat dissipation from all coolers in the worst case of each of the engine operational modes (fuel type, emission mode and ambient condition).

The heat capacity of the jacket water cooler and lubricating oil cooler (including 10% safety margin) is based on the highest heat dissipation of each of the engine operational modes (fuel type, emission mode and tropical condition).

Pertaining cooling water flow diagram, temperatures, viscosities and pressures for pumps and coolers, see "Engine Project Guide".

Capacities of Auxiliary Systems

Air cooler cleaning unit	
Air cooler cleaning tank	0.60 m ³
Capacity of pump	2.0 m ³ /h

Cylinder oil system	
Storage tanks, 2 x 90 days ^{*)}	2 x 60 m ³
Service tanks, 2 x 1 day ^{*)}	2 x 0.7 m ³

^{*)} Based on average feed rate of 0.8 g/kWh.

Fuel oil system	
Distillate marine fuel service tank, 12 h	60.4 m ³
Residual marine fuel settling tanks, 2 x 12 h	2 x 56.7 m ³
Residual marine fuel service tank, 12 h/95 °C	57 m ³
Residual marine fuel separator, 98 °C	6,010 l/h
Distillate marine fuel oil circulation cooler	69 kW
Fuel oil pre-heater	207 kW

Lubricating oil system	
Storage tanks, 2 x 90 days	2 x 6.3 m ³
Separator, 90 °C	4,480 l/h
Recommended lubricating oil bottom tank ^{*)}	38 m ³

^{*)} Based on an oil circulation rate between 15 and 18, above calculation is based on 16.5 times per hour.

Miscellaneous	
Jacket water expansion tank ^{*)}	10 %
Recommended engine room ventilation flow ^{**)}	98 m ³ /s
Motor rating, auxiliary blowers	2 x 103 kW
EGR blower max power consumption ^{***)}	251 kW _e

^{*)} Jacket water expansion tank volume given in percent of the total jacket water volume.

^{**)} This air flow is given as 200% of the main engine combustion air flow. Besides the combustion air flow (100%), it includes cooling air for main engine radiation heat (50%), an estimate of combustion air for gensets/boilers and cooling air for their radiation heat (25%) and an estimate of radiated heat from other equipment (25%). Please check with ISO 8881:1998(E) for details.

^{***)} Powered by a variable frequency drive, so no margin for starting current is required. Number of EGR blowers must be informed by maker. Nominal power rating for EGR blower may differ significantly from this value.

Starting air system, 30 bar ^{*)}	
Receiver volume (12 starts)	2 x 14.0 m ³
Compressors (total)	840 m ³ /h

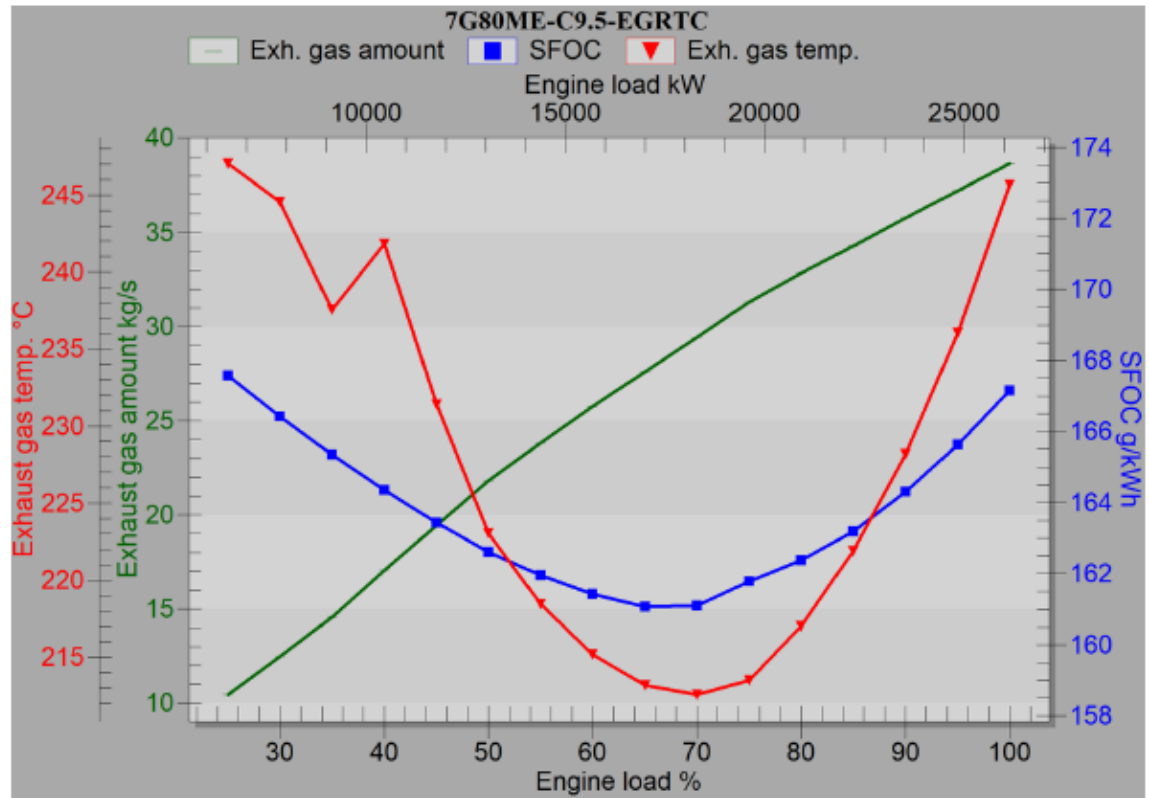
^{*)} Starting air system capacities do not include air consumption for ventilation of double wall pipe or Tier III air consumers. An assessment is to be performed to determine whether the above needs to be increased.

Various drain tanks	
Stuffing box drain tank	0.30 m ³
Scavenge air drain tank	1.10 m ³

EGR Water Handling System (WHS)	
<i>Pump flows</i>	
EGR treated water supply pump	5.2 m ³ /h
NaOH dosing pump	14 l/h
<i>Pump heads</i>	
EGR treated water supply pump	10 bar
NaOH dosing pump	10 bar

Fuel Consumption and Exhaust Gas Data

Fuel Oil, Tier III mode



ISO ambient conditions (ambient air: 25 °C, scavenge air coolant: 25 °C)

Load % SMCR	Power kW	Speed r/min	SFOC g/kWh	Exh. gas kg/s	Exh. gas °C	Steam ^{*)} kg/h
100	26,141	63.0	167.2	38.6	246	3,600
95	24,834	61.9	165.6	37.2	236	3,060
90	23,527	60.8	164.3	35.8	228	2,630
85	22,220	59.7	163.2	34.3	222	2,270
80	20,913	58.5	162.4	32.8	217	2,000
75	19,606	57.2	161.8	31.3	214	1,790
70	18,299	55.9	161.1	29.4	213	1,660
65	16,992	54.6	161.1	27.6	213	1,600
60	15,685	53.1	161.4	25.8	215	1,580
55	14,378	51.6	162.0	23.8	218	1,580
50	13,071	50.0	162.6	21.8	223	1,600
45	11,763	48.3	163.4	19.5	231	1,680
40	10,456	46.4	164.4	17.1	242	1,750
35	9,149	44.4	165.4	14.6	238	1,420
30	7,842	42.2	166.4	12.5	245	1,350
25	6,535	39.7	167.6	10.5	247	1,170

Tables of Capacities - Tier III

1 Engine load (% SMCR)	4 Scavenge air receiver temp. (°C)	7 Jacket water heat diss. (kW) +10/-15%
2 T/C air consumption (kg/s) +/-5%	5 Scavenge air heat diss. (kW)	8 Lubricating oil heat diss. (kW) +/-10%
3 Scavenge air pressure (bara)	6 EGR/Scavenge air heat diss. (kW)	9 Condensed water (non-EGR) (t/24h)

Loads below 50% are associated with larger tolerances.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ISO ambient conditions (ambient air: 25.0 °C, scavenge air coolant: 25.0 °C)								
100	37.8	4.01	39	6,580	8,200	2,840	2,020	0.0
95	36.5	3.81	38	5,860	7,790	2,740	1,940	0.0
90	35.1	3.62	37	5,160	7,390	2,630	1,860	0.0
85	33.6	3.43	35	4,570	6,980	2,520	1,780	0.0
80	32.2	3.25	34	4,020	6,540	2,420	1,700	0.0
75	30.8	3.07	33	3,510	6,110	2,310	1,620	0.0
70	28.9	2.87	33	3,100	5,640	2,210	1,550	0.0
65	27.1	2.68	33	2,720	5,210	2,100	1,480	0.0
60	25.3	2.50	32	2,360	4,790	2,000	1,410	0.0
55	23.4	2.32	32	2,010	4,370	1,890	1,340	0.0
50	21.4	2.14	31	1,670	3,930	1,790	1,270	0.0
45	19.1	1.95	31	1,300	3,650	1,680	1,200	0.0
40	16.8	1.77	31	960	3,310	1,580	1,130	0.0
35	14.3	1.60	39	720	3,450	1,470	1,050	0.0
30	12.2	1.45	39	470	3,060	1,370	980	0.0
25	10.3	1.33	38	290	2,660	1,260	900	0.0

Tropical ambient conditions (ambient air: 45.0 °C, scavenge air coolant: 36.0 °C)								
100	36.4	3.91	48	6,880	7,190	2,870	2,040	91.2
95	35.0	3.72	46	6,140	6,880	2,760	1,960	87.6
90	33.6	3.53	45	5,460	6,560	2,660	1,870	83.4
85	32.2	3.34	44	4,820	6,230	2,550	1,800	78.5
80	30.9	3.16	44	4,260	5,850	2,440	1,720	73.2
75	29.5	2.99	43	3,740	5,480	2,340	1,640	67.5
70	27.7	2.80	42	3,320	5,040	2,230	1,570	62.2
65	26.1	2.62	42	2,940	4,640	2,130	1,490	57.0
60	24.4	2.45	42	2,580	4,250	2,020	1,420	51.8
55	22.6	2.29	41	2,220	3,860	1,910	1,350	46.0
50	20.8	2.12	41	1,880	3,460	1,810	1,280	40.0
45	18.6	1.94	41	1,490	3,220	1,700	1,210	33.5
40	16.4	1.76	40	1,140	2,930	1,590	1,140	26.9
35	14.5	1.62	48	920	3,110	1,490	1,070	25.7
30	12.5	1.47	48	650	2,780	1,380	990	19.1
25	10.6	1.35	47	430	2,440	1,270	910	13.4

Specified ambient conditions (ambient air: 10.0 °C, scavenge air coolant: 10.0 °C)								
100	38.3	3.96	25	6,240	8,530	2,810	1,990	5.1
95	36.9	3.76	23	5,550	8,090	2,700	1,910	5.3
90	35.5	3.57	22	4,910	7,660	2,600	1,830	5.5
85	34.0	3.38	21	4,310	7,230	2,490	1,760	5.4
80	32.6	3.20	20	3,790	6,760	2,390	1,680	5.1
75	31.1	3.02	19	3,300	6,310	2,290	1,610	4.7
70	29.2	2.82	18	2,900	5,830	2,180	1,530	4.0
65	27.4	2.63	18	2,540	5,390	2,080	1,460	3.3
60	25.5	2.46	18	2,200	4,970	1,970	1,390	2.7
55	23.6	2.28	17	1,870	4,540	1,870	1,320	2.0
50	21.6	2.11	17	1,560	4,100	1,770	1,250	1.3
45	19.2	1.92	16	1,200	3,800	1,660	1,180	0.5
40	16.5	1.74	25	930	4,040	1,560	1,110	0.0
35	14.3	1.58	25	650	3,650	1,450	1,040	0.0
30	12.2	1.43	24	430	3,250	1,350	970	0.0
25	10.3	1.31	24	260	2,840	1,240	890	0.0

Tables of EGR consumption - Tier III Fuel Oil

1 Engine load (% SMCR)	3 Freshwater consumption (l/h)	5 Sludge accumulation (l/h)
2 Power, EGR blower (kW _e)	4 Processwater bleed off (l/h)	6 NaOH consumption (l/h)

EGR blower power consumption has a tolerance of 20%.

Based on 0.1% fuel sulphur content. Sludge accumulation based on 7% dry matter. Fresh water consumption accounts for water added to the EGR process. WTS water consumption is not included (to be informed by maker).

NaOH consumption is based on a 50% NaOH solution. Minimum tolerance is +0.5 l/MWh, but generally +10%.

1	2	3	4	5	6
ISO ambient conditions (ambient air: 25.0 °C, scavenge air coolant: 25.0 °C)					
100	188	0	1,660	5.4	9.1
95	184	0	1,610	5.2	8.9
90	178	0	1,550	5.1	8.7
85	171	0	1,480	4.9	8.4
80	160	0	1,410	4.7	8.0
75	148	0	1,330	4.4	7.6
70	146	0	1,230	4.1	7.1
65	144	0	1,130	3.8	6.6
60	139	0	1,040	3.5	6.1
55	132	0	940	3.1	5.6
50	121	0	840	2.7	5.1
45	115	0	770	2.5	4.8
40	103	0	690	2.2	4.3
35	138	0	640	2.1	4.5
30	116	0	550	1.8	4.0
25	93	0	460	1.4	3.4

Tropical ambient conditions (ambient air: 45.0 °C, scavenge air coolant: 36.0 °C)					
100	115	0	1,590	4.5	7.8
95	114	0	1,530	4.5	7.6
90	113	0	1,470	4.4	7.5
85	110	0	1,410	4.2	7.3
80	104	0	1,330	4.0	7.0
75	97	0	1,260	3.8	6.6
70	96	0	1,170	3.6	6.2
65	93	0	1,080	3.3	5.7
60	89	0	1,000	3.0	5.3
55	84	0	910	2.6	4.8
50	77	0	820	2.3	4.4
45	73	0	760	2.1	4.0
40	67	0	690	1.8	3.7
35	71	0	700	1.8	3.8
30	61	0	620	1.5	3.4
25	50	0	540	1.2	3.0

Specified ambient conditions (ambient air: 10.0 °C, scavenge air coolant: 10.0 °C)					
100	209	0	1,810	5.6	9.6
95	204	0	1,750	5.5	9.3
90	197	0	1,680	5.3	9.0
85	187	0	1,610	5.1	8.7
80	174	0	1,530	4.9	8.3
75	160	0	1,450	4.6	7.9
70	158	0	1,350	4.3	7.4
65	155	0	1,260	4.0	6.9
60	149	0	1,170	3.6	6.4
55	141	0	1,080	3.2	5.9
50	129	0	980	2.9	5.3
45	121	0	910	2.6	4.9
40	170	0	930	2.5	5.1
35	150	0	830	2.2	4.6
30	124	0	730	1.8	4.1
25	100	0	630	1.5	3.6