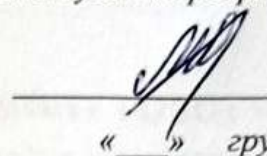


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

*Кафедра експлуатації
суднових енергетичних установок
та теплоенергетики*

„Допущено до захисту”

Завідувач кафедри ЕСЕУ та ТЕ

 *Б.М. Личко*
« » грудня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

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

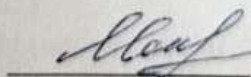
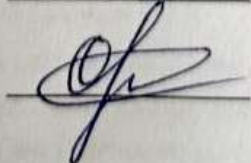
Розробка проекту вітрової пропульсивної установки танкеру
FUJISAN MARU

Design of a Wind-Assisted Propulsion System for the Tanker
FUJISAN MARU

Розрахунково-пояснювальна записка

Виконав:
Студент групи 6211М

Керівник роботи:
доктор техн. наук, проф.

Буяшенко М.Ю.

Коробко В.В.

Миколаїв – 2025 р

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
кафедра Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕУ та ТЕ,

 доцент Б.М. Личко

“ ” 2025 р.

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

Тема: Розробка проекту вітрової пропульсивної установки танкера FUJISAN MARU

ЗМІСТ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Анотація – надається (державною та англійською мовами).

Вступ.

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

1.1 Аналіз характеристик судна та його енергетичної установки.

1.2 Вибір і обґрунтування основних проектних рішень.

1.3 WAPS

Розділ 2. Проектування головної установки судна.

2.1 Вибір головного двигуна та визначення його характеристик.

2.2 Проектування пропульсивної установки.

2.3 Розробка Rotor sail системи СЕУ.

Розділ 3. Проектування допоміжної ЕУ.

3.1 Аналіз головних споживачів електричної та теплової енергії на судні.

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

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

Розділ 4. Проектування систем СЕУ.

4.1 Розробка системних заходів для зменшення емісії компонентів GHG.

4.2 Визначення основних параметрів систем СЕУ.

4.3 Проектування та комплектація системи СЕУ – Система роторних вітрил

Розділ 5. Заходи по забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ.

5.1 Розробка системи моніторингу та діагностування технічного стану обладнання СЕУ.

5.2 Технологічна розробка. Технологія монтажу головного двигуна та ремонту кришки циліндрів.

Розділ 6. Розробка розташування обладнання енергетичної установки на судні.

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

Висновки.

Список використаних джерел інформації.

Додатки.

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

До РПЗ додаються один або більше примірників презентації 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	Назва етапів дипломного проекту (на розсуд керівника КР)	Аркуші, формат А1 ***.pdf
1	Характеристики судна, вибір та обґрунтування проектних рішень (креслення поздовжнього перерізу)	1-2
2	Теплова схема СЕУ (принципова схема)	1
3	Системи СЕУ	1-2
4	Розташування обладнання у МКВ, 2-3 види (креслення)	2-3
5	Технологічна розробка – монтаж/ремонт.	1-2
6	Плакати додаються в разі необхідності (кольорові або ч/б)	1-4

Тема КР затверджені наказом НУК

№ 1226-у2 від "15" 10 2025 року.

Завдання видано

"6" тобтис 2025 р.

Дата подання КР на кафедру

"01" грудня 2025 р.

Завдання прийняв до виконання студент


(підпис)

Буяшенко М.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)

Коробко В.В.
(прізвище та ініціали)

Зміст

	Стор.
Анотація.	4
Annotation.	5
Прийняті скорочення.	6
Вступ.	7
Розділ 1. Загальні відомості про судно та склад енергетичної установки.	8
1.1. Аналіз характеристик судна та його енергетичної установки.	9
1.2. Вибір і обґрунтування основних проектних рішень.	17
1.3. WAPS	19
Розділ 2. Проектування головної установки судна.	26
2.1. Вибір головного двигуна та визначення його характеристик.	27
2.2. Проектування пропульсивної установки.	35
2.3. Розробка Rotor sail системи СЕУ.	41
Розділ 3. Проектування допоміжної ЕУ.	46
3.1. Аналіз головних споживачів електричної та теплової енергії на судні.	47
3.2. Розробка теплової схеми СЕУ, та вибір методів утилізації скидної теплоти.	47
3.3. Проектування енергетичних комплексів. Визначення їх складу та підбір устаткування.	51
Розділ 4. Проектування систем СЕУ.	58
4.1. Розробка системних заходів для зменшення емісії компонентів GHG.	59
4.2. Визначення основних параметрів систем СЕУ.	60
4.3. Проектування та комплектація системи СЕУ – Система роторних вітрил	67
Розділ 5. Заходи по забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ.	73
5.1. Розробка системи моніторингу і діагностування технічного стану ГД.	74
5.2. Розробка системи моніторингу і діагностування технічного стану обладнання системи роторних вітрил.	74
5.3. Технологічна розробка. Ремонт кришки циліндрів.	83
Розділ 6. Розробка розташування обладнання енергетичної установки на судні.	94
Розділ 7. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень та розробка рекомендацій з їх подальшого використання	103
Висновки.	109
Список використаних літературних джерел.	110
Додатки	112

Анотація

Дана магістерська робота присвячена модернізації СЕУ існуючого судна VLCC Fujisan Maru шляхом удосконалення пропульсивного комплексу. Важливими етапами практичної реалізації є аналіз СЕУ та визначення напрямів удосконалення з урахуванням сучасних вимог та перспектив щодо обмеження викидів шкідливих речовин в атмосферу при забезпеченні належного рівня безпеки експлуатації.

У роботі проведено: аналіз характеристик судна та його енергетичної установки на відповідність чинним вимогам IMO, IACS, SOLAS-74, MARPOL 73/78, що дало змогу визначити наявні невідповідності та розробити заходи для їх усунення. Виконано проєктування головної та допоміжної енергетичної установки, а також системи стиснутого повітря для ДВЗ, що належить до систем СЕУ. Для забезпечення надійної експлуатації обладнання передбачено застосування сучасних систем автоматичного контролю — SENSFIB Plus. Окремо розглянуто питання ремонту кришки циліндра ГД із наведенням технологічного процесу виконання робіт. Крім того, розташування обладнання енергетичної установки на судні підтвердило можливість монтажу додаткового обладнання, зокрема роторних вітрил Anemoi. Ефективність запропонованих заходів підтверджено значенням сучасного показника економічності та екологічної безпеки EEDI. Як напрям подальшого удосконалення запропоновано можливість відбору потужності головного двигуна на валогенератор.

Ключові слова: танкер, енергетична установка, пропульсивний комплекс, енергозберігаючі пристрої гребного гвинта, роторні вітрила.

					КРМ.ОП135.6211м.02.А.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Annotation

This master's paper is devoted to the modernization of the main propulsion plant (MEP) of the existing VLCC Fujisan Maru by improving the propulsion complex. Important stages of practical implementation include the analysis of the MEP and the identification of areas for improvement, taking into account modern requirements and prospects for limiting harmful emissions into the atmosphere while ensuring an adequate level of operational safety.

The paper includes: an analysis of the vessel's characteristics and its power plant for compliance with current IMO, IACS, SOLAS-74, and MARPOL 73/78 requirements, which made it possible to identify existing non-conformities and develop measures to eliminate them. The design of the main and auxiliary power plants, as well as the compressed air system for the internal combustion engine (belonging to the MEP systems), has been carried out. To ensure reliable equipment operation, the use of modern automatic control systems — SENSFIB Plus — is provided. The issue of repairing the cylinder cover of the main engine is considered separately, with a description of the technological process of the work. In addition, the arrangement of the power plant equipment on the vessel confirmed the feasibility of installing additional equipment, in particular Anemoi rotor sails. The effectiveness of the proposed measures is confirmed by the current indicator of economic and environmental efficiency — EEDI. As a direction for further improvement, the possibility of taking power from the main engine to a shaft generator is proposed.

Keywords: tanker, power plant, propulsion complex, propeller energy-saving devices, rotor sails.

					<i>KPM.OP135.6211M.02.A.ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

SCR – Selective Catalytic Reduction;
ESD – Energy Saving Devices;
EEDI – Energy Efficiency Design Index;
SFOC – Specific Fuel Oil Consumption;
VLCC – Very Large Crude Carrier;
АПС – аварійно-попереджувальна сигналізація;
ГФК – гвинт фіксованого кроку;
ГД – головний двигун;
ГЕУ – головна енергетична установка;
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;
ДГ – дизель-генератор;
ВГ – валогенератор;
ДД – допоміжний дизель-генератор;
ДК – допоміжний котел;
ЕГ – електрогенератор;
ЕУ – енергетична установка;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
МВ – машинне відділення;
МОД – мало-обертовий двигун;
ОНП – охолоджувач надувочного повітря;
ОУ – опріснювальна установка;
СЕУ – суднова енергетична установка;
УК – утилізаційний котел;

					КРМ.ОП135.6211м.02.СК.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ.

У магістерській роботі враховано майбутні зміни, які можуть відбутися в рамках загальної тенденції до зменшення впливу морського транспорту на довкілля та клімат [1]. Тому підвищення ефективності роботи окремих компонентів пропульсивного комплексу та СЕУ загалом з метою зниження питомої витрати пального для виконання чинних вимог ІМО та з урахуванням прогнозів до 2030 року є актуальним завданням.

Задачі дослідження: аналіз характеристик елементів СЕУ базового судна; розробка та оцінка доцільності модернізації рушійного комплексу та інших елементів енергетичної установки для зменшення питомої витрати пального; розробка нових схемних рішень із використанням поновлюваних джерел — вітру.

Об'єкт дослідження: процеси енергоперетворення в судновій енергетичній установці та пропульсивному комплексі судна.

Предмет дослідження: закономірності та параметри процесів енергоперетворення в елементах енергетичної установки та пропульсивного комплексу судна.

Методи дослідження: під час підготовки магістерської роботи були застосовані такі загальнонаукові методи: для аналізу — порівняння, узагальнення, абстрактно-логічне обґрунтування; математичні моделі, що описують процеси в елементах та дають змогу визначати необхідні параметри; для наочного представлення результатів дослідження з використанням роторних вітрил Апетої застосовано графічний метод.

Практичне значення отриманих результатів: вони можуть бути використані як під час модернізації подібних суден, так і при проектуванні нових суден цієї серії

					КРМ.ОП135.6211м.02.В.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Буяшенко М.Ю.			Загальні відомості про судно та склад енергетичної установки			Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник		Коробко В.В.								8	18
								НУК			

Розділ 1. Загальна характеристика та призначення судна.

1.1. Аналіз характеристик судна та його енергетичної установки.

Fujisan Maru — це великотоннажний нафтовий танкер типу VLCC (Very Large Crude Carrier). Судно було побудоване на верфі Імарі для судновласника Iino Kaiun Kaisha у березні 2020 року.

Це судно стало четвертим у новій серії VLCC вантажопідйомністю 310 000 тонн від Namura, що відповідає Гармонізованим Загальним Структурним Правилам IACS (CSR-BC&OT), але першим із двох, замовлених цим власником. Друге судно — Shoho Maru — було передане у вересні 2020 року.

Fujisan Maru також має особливе значення: у 1931 році судно з такою ж назвою, яке також належало цій компанії, стало першим японським нафтовим танкером, здатним до міжконтинентальних перевезень.

Fujisan Maru — це танкер четвертого покоління типу Malaccamax, тобто одне з найбільших суден, здатних проходити через Малаккську протоку. Його довжина становить трохи менше ніж 339 метрів, що на 6 метрів більше за попереднє покоління Malaccamax і на 24 метри більше за перше покоління.

На судні встановлено 15 вантажних танків, розміщених у п'яти групах: лівий борт, правий борт і центральні, а також два танки для залишків. Така схема дозволяє одночасно перевозити три типи вантажу. Вантажне обладнання включає три паротурбінні насоси Shinko та два ежектори для зливу залишків.

Збільшена довжина судна дозволяє підвищити ефективність завдяки трохи більшій вантажомісткості — приблизно 351 500 м³. Продуктивність рушійної установки покращена завдяки використанню енергозберігаючих пристроїв, розроблених Namura. До них належать направляючий кіль Namura Flow Control Fin і рульовий кіль Rudder Fin, встановлені на кормі, а також аеродинамічна вузька надбудова, ковпак гребного гвинта зі зменшеним вихровим ефектом і необростаюче покриття з низьким коефіцієнтом тертя.

					КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

На судні встановлено двотактний дизельний головний двигун MAN ES 7G80ME-C9.5 наддовгого ходу, збудований компанією Mitsui, з потужністю 24 700 кВт при 67 об/хв. Вимогам ІМО 2020 щодо викидів сірки відповідає за рахунок встановлення відкритого скрубера Alfa Laval. Це перше судно у флоті власника, обладнане скрубером. [2]



Рис.1.1. Загальний вигляд танкеру FUJISAN MARU.

Основні характеристики танкеру FUJISAN MARU наведені в таблиці 1.1.[2]

Таблиця 1.1 Основні характеристики FUJISAN MARU

Назва характеристики	Значення примітки
1	2
Корпус судна з 50% - високолегована сталь	
Найбільша довжина, м	338,92 м
Максимальна ширина судна, м	60,00 м
Висота до верхньої палуби, м	21,05 м
Ширина подвійного борту:	
Бічний, м	2,94 м
Дно, м	2,5 м
Осадка повна, м	14,28 м
Експлуатаційні характеристики	
Вантажомісткість, м ³	351 500 м ³
Дедвейт, т	312 499 т
Водяний баласт, м ³	101 300 м ³
Об'єм паливних цистерн:	

					KPM.OP135.6211м.02.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Важке пальне HFO (RMG380), м ³	6 400 м ³
Дизельне паливо MDO (DMB) або MGO (DMA,DMZ, м ³	600 м ³
Елементи СЕУ	
Рушій	
Матеріал	Нікель-алюміній-бронза
Виробник	Nakashima Propeller Co., Ltd
Кількість	1
Тип	Фіксованого кроку
Діаметр, мм	7 000
Частота обертання, об/хв	72
ГД	
Фірма проєктант/виробник	MAN ES / Mitsui E&S Machinery Co., Lt
Модель	7G80ME-C9.5
Кількість	1
Потужність, кВт	24700
Частота обертання, об/хв	72
Пальне	HFO, MDO, MGO
ДГ суднової електростанції	
Фірма проєктант/виробник ДВС	Daihatsu diesel Mfg. Co., Ltd
Кількість	3
Пальне	HFO, MDO, MGO
Фірма проєктант/виробник ЕГ	Taiyo Electric
Модель	EF 558A-8
Кількість	3
Потужність, кВт	1400
Частота обертання, об/хв	900
Котел	
Фірма проєктант/виробник ДК	MHI Marine Machinery & Equipment / Osaka boiler Mfg.
Кількість	1
Витрата/тиск пари	80000 кг/год / 1,96 МПа та 1,600 кг/год / 0,59 МПа
Допоміжне обладнання	
Крани	
Кількість	2
Виробник	Manabe Zoki
Тип	Електрогідравлічний привід
Вантажопідйомність	20т
Швартовне обладнання	
Кількість	10
Виробник	Kawasaki Heavy Industries

					КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Тип	Двигун з гідравлічним масляним приводом
-----	--

Спеціальне рятувальне обладнання	
Кількість кожного та місткість	30
Виробник	Shigi Shipbuilding
Тип	Повністю закритого типу
Вантажні танки	
Кількість	17
Сорти перевезених вантажів	3
Вантажні насоси	
Кількість	3
Виробник	Shinko Ind
Тип	Парова турбіна з приводом вертикального відцентрового типу
Системи	
Система контролю вантажу	
Виробник	Nakakita Seisakusho
Тип	Гідравлічна система дистанційного керування
Система контролю баласту	
Виробник	Nakakita Seisakusho
Тип	Гідравлічна система дистанційного керування
Система очищення баластної води	
Виробник	JFE Engineering Corporation
Система виявлення пожежі	
Виробник	Consilium Nittan Marine Ltd.
Тип	Адресний тип
Система очистки стічних вод	
Виробництво	Taiko Kikai Industries
Модель	SBH – 40
Доповнення	
Екіпаж	17
Помічники	13
Одномісні/двомісні/інші номери	6 (Робітники)
Радари	
Кількість	2
Виробник	JRC
Модель	JMR-9272-S, JMR-9225-9X
Сміттєспалювальний завод	
Виробництво	Sunflame Co., Ltd.
Модель	OSV – 900SAI

					КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Форма корпусу судна та співвідношення його головних розмірів забезпечують належні ходові та морехідні якості як при повному завантаженні, так і в баластному стані. За умов спокійної погоди швидкість судна становить 15 вузлів. Ця швидкість повинна досягатися при 90% навантаження двигуна потужністю 24 700 кВт із використанням важкого палива HFO, а також MDO або MGO [2].

До вимог Міжнародної морської організації (ІМО) для танкерів входять численні міжнародні нормативи та правила, спрямовані на гарантування безпеки мореплавства, охорону довкілля та запобігання аварійним ситуаціям. Серед основних міжнародних документів, які регламентують діяльність танкерів, виділяють:

1. МАРПОЛ (Міжнародна конвенція з попередження забруднення з суден).
2. SOLAS (Міжнародна конвенція про безпеку людського життя на морі).
3. ПЗММ-72 (Міжнародні правила попередження зіткнень на морі).
4. IBC-код (Міжнародний кодекс з перевезення небезпечних вантажів у баластних баках).
5. IGC-код (Міжнародний кодекс щодо перевезення зріджених газів у баластних баках).
6. ISGOTT (Міжнародний посібник з експлуатації танкерів, які транспортують нафту, гази та хімічні речовини).

Ці документи встановлюють стандарти проектування, обладнання, експлуатації та заходів безпеки для танкерів, що перевозять різні вантажі.

IACS (Міжнародна асоціація класифікаційних товариств) об'єднує визнані організації, які здійснюють технічний нагляд за будівництвом і функціонуванням морських суден. Кожне товариство має власні стандарти й регламенти, які враховуються під час класифікації суден і забезпечення їхньої безпеки. Розглянуте судно відповідає вимогам IACS і класифіковане організацією Nippon Kaiji Kyokai (NKK – Японія).

					<i>КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Щодо танкерів, IACS встановлює загальні нормативи для всіх морських суден, зокрема танкерів, однак конкретні вимоги можуть змінюватися залежно від конкретного класифікаційного товариства. Ці вимоги охоплюють наступні аспекти:

- Конструкція судна – вимоги до матеріалів, структури корпусу та елементів конструкції.
- Обладнання і системи безпеки – стандарти для обладнання судна, систем виявлення, оповіщення та ліквідації аварійних ситуацій.
- Системи екологічного контролю – вимоги до систем очищення, утилізації та обробки вантажів.
- Управлінські системи – правила, що стосуються навігації та загального керування судном.
- Екіпаж та безпека – вимоги до підготовки екіпажу, а також до впровадження процедур безпеки.

Для отримання детальної інформації щодо вимог до конкретного танкера слід звертатися до класифікаційного товариства, яке здійснює його технічний нагляд і класифікацію.

Вимоги MARPOL 73/78

Окрім Конвенції МАРПОЛ-73/78, існує низка регіональних угод, спрямованих на захист морського середовища окремих акваторій, зокрема Балтійського, Чорного та Середземного морів.

Правила, що регулюють різноманітні джерела забруднення від суден, викладені у шести основних Додатках до МАРПОЛ-73/78:

Додаток I – правила щодо запобігання забрудненню нафтою;

Додаток II – правила запобігання забрудненню шкідливими рідкими речовинами, що транспортуються наливом;

Додаток III – правила щодо попередження забруднення шкідливими речовинами, що перевозяться в упаковці, контейнерах або на палетах;

					КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Додаток IV – норми щодо запобігання забрудненню стічними водами з суден;

Додаток V – вимоги щодо запобігання забрудненню сміттям з борту суден;

Додаток VI – правила зменшення забруднення атмосфери з суден;

Додаток VII – правила щодо контролю скиду баластних вод.

Згідно з інформацією, наведеною в таблиці 1.1, на судні встановлені системи очищення баластних і стічних вод. Крім того, з метою зменшення впливу на атмосферне повітря від роботи елементів енергетичної установки (ЕУ), які працюють на судновій енергетичній установці (СЕУ), встановлено скруббер відкритого циклу очищення виробництва компанії Alfa Laval.

Одна з характерних рейсових ліній цього судна наведено на рис 1.2

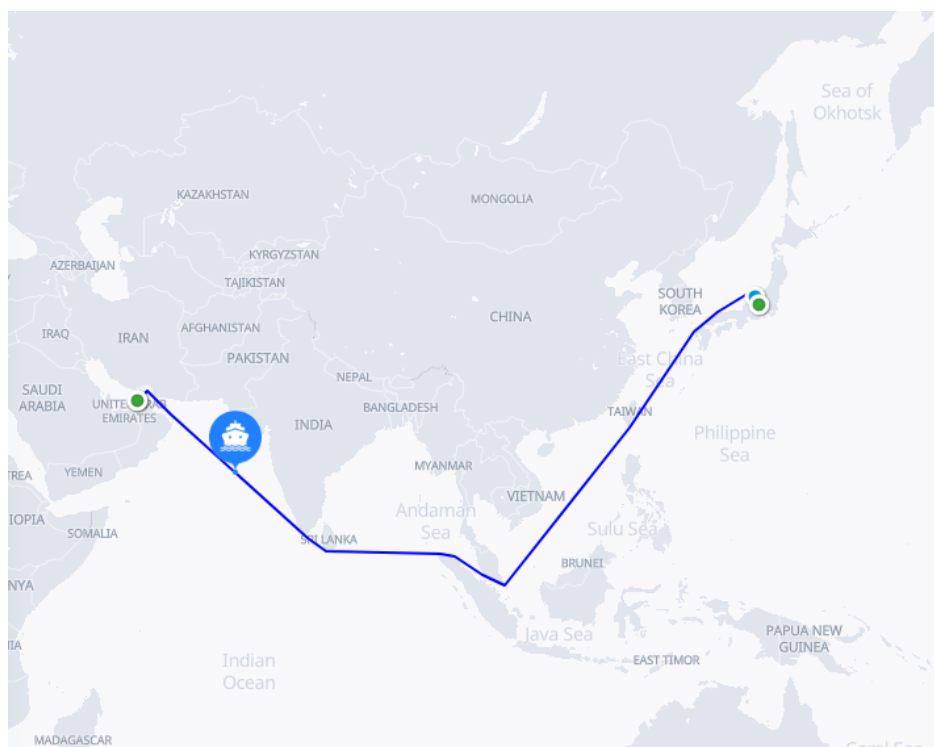


Рис. 1.2. Рейсова лінія Японія - Об'єднані Арабські Емірати.

Вимоги SOLAS-74

Контроль і нагляд за дотриманням вимог безпеки мореплавства здійснюється під егідою ряду міжнародних організацій. Серед основних – Міжнародна морська організація (ІМО), Міжнародна організація праці (МОП), Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) та Всесвітня організація

					<i>КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

охорони здоров'я (ВООЗ). У разі потреби до співпраці залучаються також неурядові структури, такі як Міжнародна палата судноплавства, Міжнародна організація зі стандартизації (ISO), Міжнародна торговельна палата та інші.

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

- Технічний контроль — перевіряється дотримання правил технічної експлуатації та норм, які регламентують взаємодію людини з технічними засобами.
- Адміністративно-технічний контроль — оцінюється виконання як технічних, так і юридичних норм.
- Адміністративний контроль — перевіряється дотримання чинного законодавства, підзаконних актів і міжнародних угод.

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

Для гарантування безпеки всі вантажні й пасажирські судна зобов'язані мати рятувальні й аварійні шлюпки. На розглядуваному судні встановлено рятувальні засоби групового типу — закриті рятувальні човни на 30 осіб, а також індивідуальні засоби — рятувальні круги та інше обладнання. Ці вимоги охоплюють пристрої для спуску шлюпок, підйому людей з води, вимоги до шлюпок, плотів, мотоботів, жилетів, а також розклад дій у разі тривоги [3].

Серед сучасних рятувальних засобів дедалі більшого поширення набувають рятувальні плоти закритого типу, які виконують функції рятувального відсіку. Такий пліт має низку переваг:

1. Забезпечує безпечне укриття екіпажу під час пожежі завдяки

					КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

вогнестійкій ізоляції та автономній вентиляційній системі;

2. Дає можливість евакуювати людей незалежно від погодних умов і стану посадки судна;
3. Самостійно спливає при зануренні судна, гарантуючи порятунок усіх осіб на борту.

У разі залишення судна необхідно виконати такі дії:

1. Завантажити в шлюпку запасні припаси, ковдри, переносну радіостанцію, аварійний радіобуй і судові документи;
2. Віддати стопори та всі додаткові кріплення;
3. Посадити людей у шлюпку;
4. Герметично закрити всі люки;
5. Відкрити вентиляційні отвори;
6. Відкрити паливний кран;
7. Запустити двигун згідно з інструкцією;
8. Пристебнути прив'язні ремені.

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

Таким чином, на момент випуску судна у 2020 році всі основні вимоги міжнародних нормативних актів було дотримано. Однак у зв'язку з наближенням змін до Додатку VI MARPOL, що стосується запобігання забрудненню повітря, суднова енергетична установка потребує модернізації.

1.2. Вибір і обґрунтування основних проектних рішень.

Після встановлення скрубера проблему з викидами SO_x було вирішено, однак питання щодо відповідності викидам NO_x та CO₂ залишаються

					<i>KPM.OP135.6211m.02.01.ПЗ</i>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

актуальними. При використанні зазначених типів палива забезпечується відповідність стандартам Tier II для головного двигуна. Оскільки двигун має маркування G (green), він відповідає екологічним вимогам щодо викидів NO_x, однак лише за нормативами, що діяли у період з 2011 до 2020 року. У 2025 році набрали чинності нові, більш жорсткі вимоги до викидів оксидів азоту, які передбачають обмеження на рівні 2–3,4 г/кВт·год. У зв'язку з цим сучасні двигуни проєктуються згідно зі стандартами Tier III та оснащуються вбудованими селективно-каталітичними фільтрами [2]. Це також продиктовано маршрутною лінією судна та перспективним посиленням норм щодо викидів, як показано на рисунку 1.3. Сірим кольором на ньому позначено зони, в яких запроваджуються жорсткіші вимоги — у межах 2,4–3,4 г/кВт·год. Зокрема, біля Японії передбачене впровадження таких стандартів, і саме через цю зону проходить маршрут судна FUJISAN MARU.

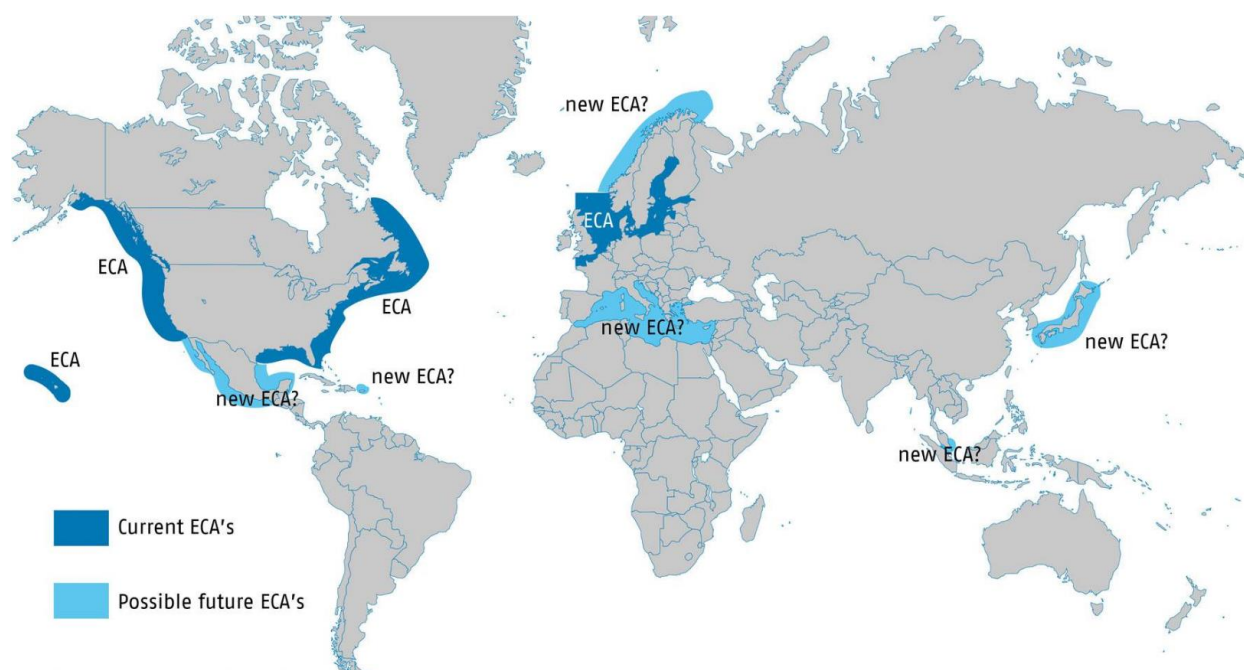


Рис.1.3. Зони обмежень викидів окислів азоту

Тому під час проєктування було запропоновано кілька варіантів вирішення цієї проблеми. Розглянуто альтернативні конфігурації пропульсивної установки:

					КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- Залишити існуючий головний двигун, передбачивши можливість зниження його потужності на рушійну функцію судна завдяки використанню енергозберігаючих пристроїв (Energy Saving Devices, ESDs), а надлишкову потужність спрямувати на вироблення електроенергії;
- Зберегти поточну конфігурацію двигуна, але застосувати його новішу версію — 7G80ME-C10.5 або 7G80ME-C10.6, що відповідає вимогам Tier III завдяки впровадженню систем SCR високого (HPSCR) або низького тиску (LPSCR). Оскільки використання SCR супроводжується збільшенням питомої витрати пального, доцільно зменшити потужність ГД, підвищивши ефективність гвинта за збереження заданої швидкості судна;
- Обрати іншу модель головного двигуна з меншою потужністю у поєднанні з використанням ESD;
- Застосувати роторні вітрила для зменшення навантаження на головний двигун і зниження питомої витрати пального під час руху судна.

Найбільш простим до реалізації є перший варіант. Інші рішення доцільно розглядати при проектуванні нових суден або модернізації наявних.

1.3 WAPS

Додати огляд WAPS 2 – 3 арк.), на основі цього обрати варіант для проекту, розділ 2.3. Це будуть окремі плакати в презентації.

Системи вітрової допоміжної тяги (Wind Assisted Propulsion Systems, WAPS) являють собою комплекс технічних засобів, призначених для використання енергії вітру з метою часткового забезпечення тяги судна. Застосування таких систем дозволяє знижувати навантаження на головний двигун, оптимізувати витрату палива та мінімізувати викиди парникових газів відповідно до міжнародних вимог ІМО.

					<i>KPM.OP135.6211m.02.01.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

У зв'язку з посиленням екологічних нормативів (MARPOL Annex VI, EEDI, CII) судновласники активно впроваджують технології, що підвищують енергоефективність експлуатації флоту. WAPS можуть бути встановлені на новозбудовані або діючі судна без необхідності внесення суттєвих конструктивних змін у корпус.

Ефективність роботи таких систем у середньому забезпечує скорочення витрати палива на рівні 5–25 %, залежно від типу обраної технології, метеорологічних умов та маршруту. Завдяки відносно низьким інвестиційним витратам WAPS є одним з найперспективніших рішень у модернізації комерційного судна.

Різноманіття доступних технологій WAPS дозволяє адаптувати ці системи під різні типи суден, маршрути та експлуатаційні умови. Кожна з систем має свої конструктивні особливості, принципи роботи, технічні переваги та експлуатаційні обмеження. Тому вибір оптимальної системи вітрової допоміжної тяги під час модернізації судна повинен базуватися на комплексному технічному аналізі, що враховує аеродинамічні характеристики, конструктивні можливості палуби, вимоги щодо стійкості та потенційний економічний ефект.

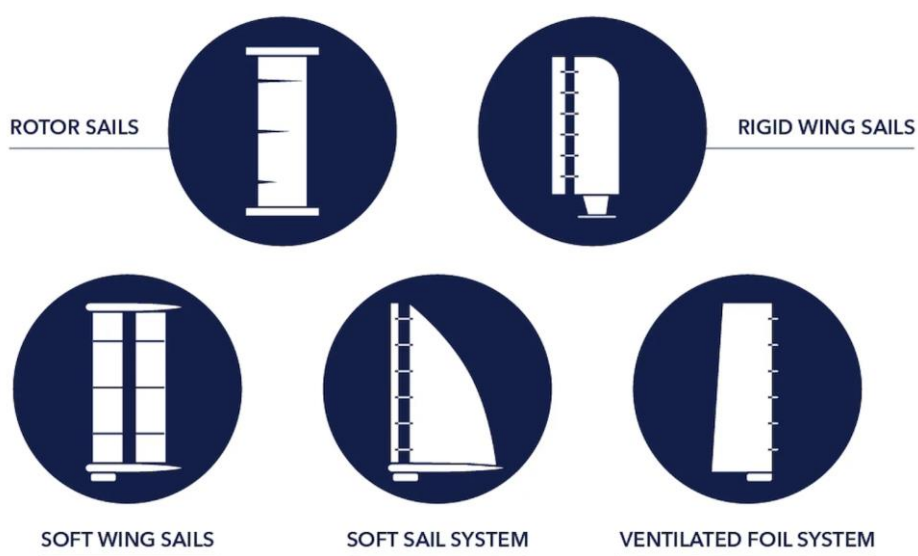


Рис.1.4. Системи включені до WAPS

Найпопулярнішою та найменш ризикованою технологією WAPS, доступною сьогодні для комерційних суден, є роторні вітрила. Ротор Флеттнера працює на основі ефекту Магнуса. Це вертикальний циліндр, який обертається навколо власної осі, створюючи підйомну силу через різницю тиску на протилежних сторонах поверхні. Завдяки цьому генерується горизонтальна тяга, що сприяє руху судна.



Рис.1.5. Роторні вітрила

Конструкція роторів передбачає значну висоту (15–35 м) та діаметр (3–5 м), електричний привід, а також систему автоматичного контролю швидкості обертання. Можливе виконання зі складаними елементами для роботи у портах або при проходженні під мостами.

Основними перевагами роторних вітрил є високий коефіцієнт підйомної сили та стабільна робота при різних кутах атаки. Серед недоліків — потреба у живленні електроприводу та збільшення загальної висоти надбудов.

Тверді аеродинамічні вітрила (Wing Sails) працюють за принципом аеродинамічного крила. Вони складаються з жорстких композитних панелей із профільованою поверхнею, що забезпечує оптимальне формування

					<i>KPM.OP135.6211m.02.01.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

підйомної сили. Конструкція може бути одно- або двосекційною, із можливістю повороту для регулювання кута атаки.



Рис.1.6. Тверді аеродинамічні вітрила

Перевагою Wing Sails є їхня висока енергоефективність, низькі експлуатаційні витрати та тривалий ресурс. Недоліки включають високу вартість встановлення і підвищений аеродинамічний опір при сильному зустрічному вітрі.

Кайт-системи використовують парашутоподібне вітрило, що працює на значній висоті над судном, де швидкість вітру суттєво більша. Вітрило утримується тросом, керування здійснюється автоматизованою системою. Такі системи не потребують великого палубного простору, тому підходять для суден практично всіх типів.

Їх ефективність найвища при курсі від 70° до 160° до напрямку вітру. Основними недоліками є складність автоматизації при поривчастому вітрі і залежність від висоти хвилі.

					КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Додатково варто зазначити, що робота кайта потребує надійної системи натягу троса, оскільки динамічні навантаження можуть істотно змінюватися під впливом морських умов. Для забезпечення безпечної експлуатації кайт-вітрила інтегруються з бортовими метеодатчиками та системами прогнозування вітру, які автоматично визначають оптимальні режими підйому та спуску. Також передбачаються режими аварійного скидання вітрила на випадок раптового штормового посилення вітру або відмови керуючого приводу.

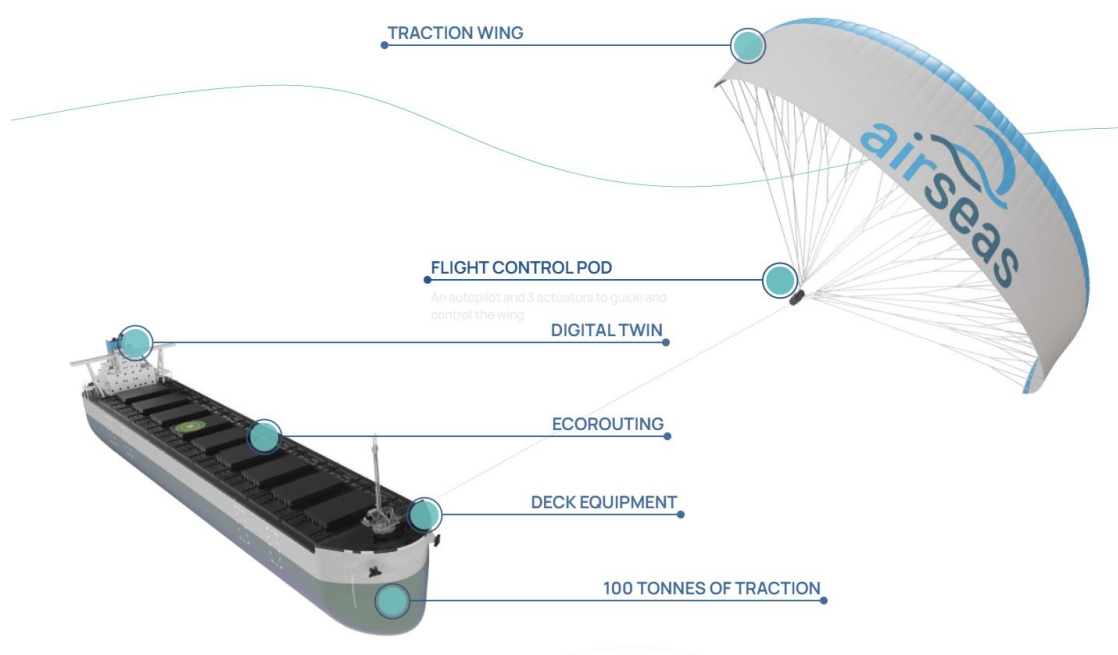


Рис.1.7. Кайт-система

Вітрила з примусовою циркуляцією повітря (Suction sails) — це сучасний тип вітрової допоміжної тяги, який використовує примусову циркуляцію повітря через аеродинамічний профіль вітрила. В основі роботи лежить технологія boundary layer suction, коли вентилятори або вакуумні системи відсмоктують пограничний шар повітря з поверхні профілю, що дозволяє уникати зриву потоку та підтримувати ефективне обтікання навіть при високих кутах атаки. Завдяки цьому коефіцієнт підйомної сили (CL) може зрости в 1,5–2 рази порівняно з традиційними твердими вітрилами.

Конструктивно вітрила виконані у вигляді жорстких профільованих крил із вбудованими каналами для відсмоктування повітря та електричними вентиляторами або турбокомпресорами. Система обладнана датчиками тиску та швидкості потоку, які інтегруються з автоматичною системою керування. Це дозволяє регулювати кут атаки, інтенсивність відсмоктування та оптимізувати роботу в залежності від швидкості та напрямку вітру, забезпечуючи стабільну тягу та ефективну роботу навіть у змінних метеоумовах.

Основними перевагами suction sails є компактність, висока ефективність на одиницю площі та стабільність роботи. Недоліками є підвищене енергоспоживання, складність конструкції та висока вартість. Незважаючи на це, інтеграція таких систем дозволяє знизити витрату палива на **15–25 %**, що робить їх перспективним рішенням для модернізації суден і підвищення енергоефективності флоту.

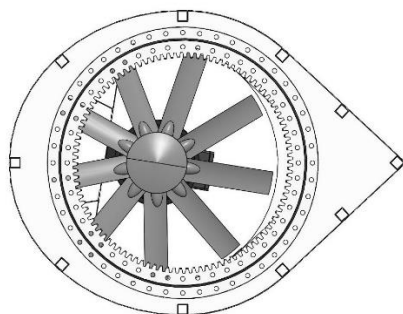


Рис.1.7. Вітрила з примусовою циркуляцією повітря

На основі розглянутих видів вітрових систем можна зробити висновок, що для подальшого детального аналізу та практичної інтеграції на танкер FUJISAN MARU найбільш доцільним є обрання роторних вітрил (Flettner Rotors).

Це пояснюється кількома ключовими факторами: роторні вітрила мають високу ефективність у створенні тяги завдяки ефекту Магнуса, стабільно працюють при різних кутах атаки та відносно прості в автоматизації й

					КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

контролі. Для танкера важливо, що їх інтеграція потребує менших змін конструкції палуби порівняно з твердими аеродинамічними вітрилами або системами кайт-вітрил, що робить їх оптимальним вибором для модернізації комерційного судна цього типу.

Таким чином, подальший аналіз у роботі буде зосереджений на роторних вітрилах, включаючи оцінку їх технічних характеристик, конструктивних особливостей, принципу роботи та потенційного економічного ефекту для танкера.

					КРМ.ОП135.6211м.02.01.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КРМ.8.135.6211м.02.02.ПЗ.						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Буяшенко М.Ю.			Проектування головної установки			Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник		Коробко В.В.								26	26
								НУК			

Розділ 2. Проектування головної установки.

2.1. Вибір головного двигуна та визначення його характеристик.

Оскільки судно побудоване після 2016 року (2020), воно відповідає вимогам EEDI (Індекс енергоефективності проекту). Проте з огляду на трудо- та ресурсозатрати доцільно розглянути зниження ефективної потужності на 5%, оскільки це дозволить підвищити пропульсивну ефективність. Базовий двигун MAN ES 7G80ME-C9.5 здатний працювати на різних видах палива, таких як HFO (до RMG380), MDO (DMB) і MGO (DMA, DMZ). При експлуатації на цих видах палива забезпечується відповідність вимогам Tier II для дизельних двигунів.

У зв'язку з цим пропонується встановити скруббер для зниження викидів SO_x у системі вихідних газів не лише на головному двигуні, але й на допоміжних котлах. Це рішення стане важливим з урахуванням запланованих вимог ІМО щодо скорочення шкідливих викидів в атмосферу.

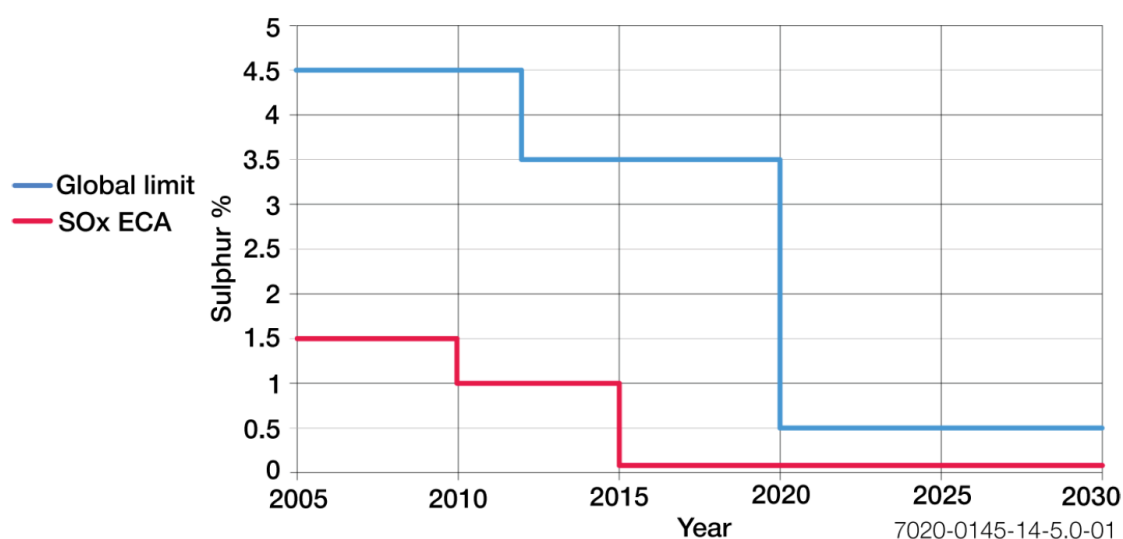


Рис. 2.1. Обмеження викидів SO_x від судових двигунів.

Таким чином, за наявності встановлених скрубберів елементи суднової енергетичної установки (СЕУ) можуть використовувати вищезазначені види пального та відповідати встановленим нормам щодо викидів SO_x (див. рис. 2.1). Оскільки двигун має маркування G (green), це означає, що він відповідає вимогам щодо викидів оксидів азоту (NO_x) лише на рівні Tier II. Водночас

варто зазначити, що наразі вже діють більш суворі стандарти, які відповідають рівню Tier III. (див рис 2.2.) а у подальшому вони будуть тільки зменшуватися так, як проблема парникових газів зараз дуже актуальна.

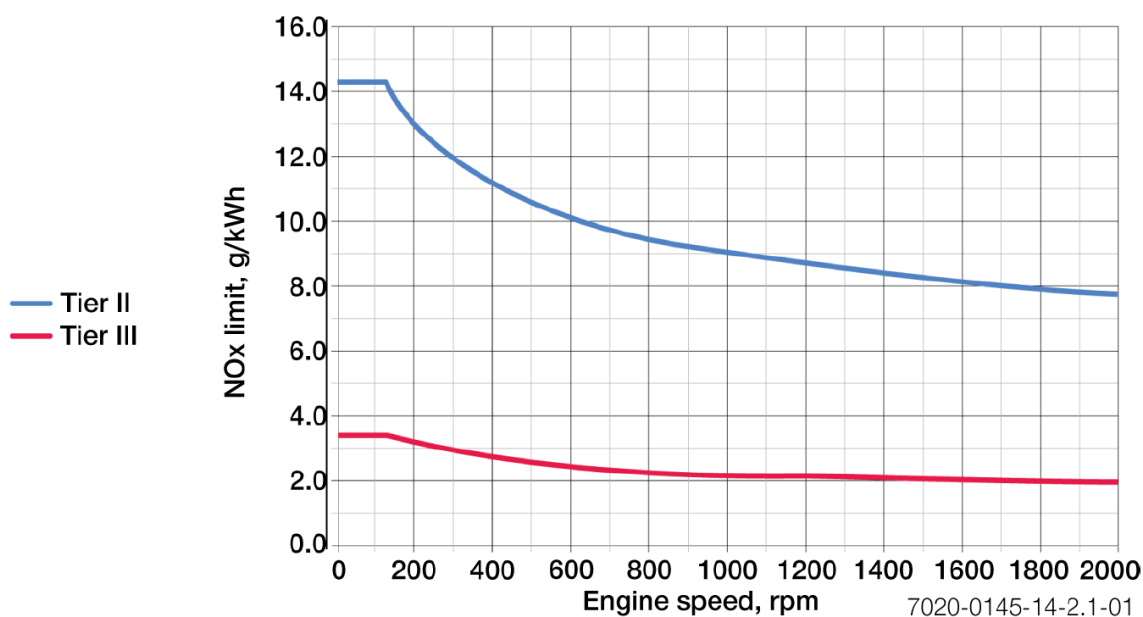


Рис. 2.2. Обмеження викидів оксидів азоту у газах що спрямовуються до атмосфери від суднових двигунів.

Зміни норм викидів CO₂ прослідковуються за показником EEDI (див. рис. 2.3), з урахуванням формули розрахунку:

$$EEDI = \frac{P \cdot SFC \cdot C_F}{Capacity \cdot v}, \text{ г/(т} \cdot \text{миля)}$$

де P – потужність ГД кВт; SFC – питома витрата палива, г/(кВт·ч);

C_F – коефіцієнт викидів CO₂; $Capacity$ – дедвейт для вантажних суден, т;

v – швидкість судна, вузли.

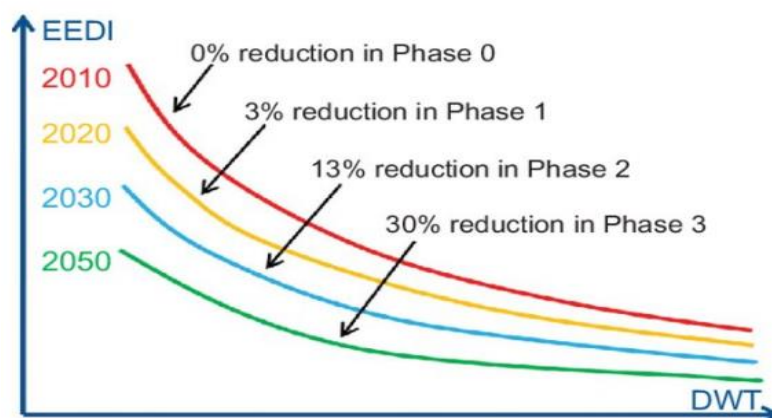


Рис. 2.3 Графік обмеження викидів від суднових двигунів.

Аналіз отриманих даних свідчить про необхідність суттєвого зниження викидів CO₂, що можна досягти шляхом удосконалення процесу згоряння, впровадження рециркуляції або зменшення витрати пального на судні. Під час проведення модернізації слід враховувати характеристики потужності, частоти обертання, питомої витрати пального, масогабаритні показники, а також рівні викидів NO_x та CO₂.

Таблиця 2.1 Можливі варіанти ГД

Фірма виробник	ГД	Ne/RPM	SFC, кг/кВт*час	Маса, т
<u>CEAS</u>	7G80ME-C10.5	32 970/60	163,2	1000
<u>WIN GD</u>	8X82-2.0	30400/58	161,5	1020
<u>MHI J-ENG</u>	8UEC80LSE-Eco-B1	28400/80	159,3	996

Головний двигун G80ME-C має 7 циліндрів, відповідає екологічним технічним вимогам, діаметр циліндрів становить 800 мм, система регулювання клапанів — електрична, модернізований до версії С, двотактний. Основні конструктивні особливості, що представлені на рис. 2.4, характерні як для двигуна 7G80ME-C9.5, встановленого на цьому судні, так і для двох сучасних модифікацій — 7G80ME-C10.5 та 7G80ME-C10.7, які наведені у каталозі компанії MAN ES 2025 року [4].

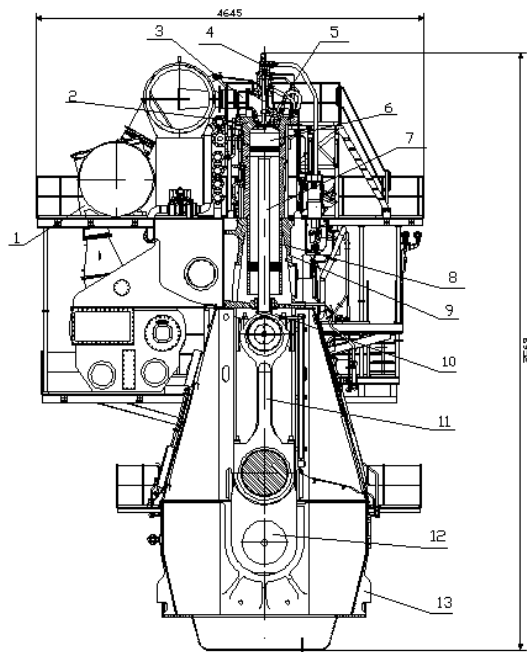


Рис 2.4. Конструкція ГД G80ME-C.

1 – ОНП, 2 – кришка циліндру, 3 – випускний патрубок, 4 – привід випускного клапану, 5 – впускний клапан, 6 – поршень, 7 – шток поршня, 8 – втулка циліндру, 9 – сорочка циліндру, 10 – крейцкопф, 11 – шатун, 12 – колінчатий вал, 13 – фундаментна рама.

Дефорсаж двигуна виконано за допомогою онлайн-сервісу компанії MAN — CEAS engine calculation. Результати проведених розрахунків, а також навантажувальна діаграма двигуна наведені у Додатку 1. Характеристики модернізованого двигуна представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Характеристики модернізованого двигуна

Фірма-Будівник	MAN ES
Марка двигуна	7G80ME-C9.5
Діаметр циліндра	800 мм
Хід поршня	3720 мм
Тип палива	HFO
Специфікаційна потужність	26 442 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
Трубокомпресори	1 x MAN TCA77-26 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 °С
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

Таблиця 2.1 Характеристики G80ME-C9.5 [5]

Кількість циліндрів	6	7	8	9	
L ₁ kW	28 260	32 970	37 680	42 390	
Маса (Tier II) (т)	900	1000	1110	1240	
Tier III (added) EGRTC	14	14	14	15	
Розміри mm					
L	A	B1	B2	C	H
16190	1400	5018	5254	1960	15750
MAN ES G80ME-C9.5 - L ₁ SFOC [g/kWh]					
Opt. load range	50%		75%		100%
High load	162,5		161,5		166,0

					КРМ.ОП135.6211м.02.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Part Load EGB	160,5	160,0	168,5
Low Load EGB	158,5	161,0	168,5
Норма по NO _x	Tier II – 14,4 г/кВт·год / Tier III – 3,4 г/кВт·год		

Таблиця 2.2 Характеристики 7G80ME-C10.5 [4]

Кількість циліндрів		6	7	8	9
L ₁ kW		28 260	32 970	37 680	42 390
Маса (Tier II) (т)		900	1000	1110	1240
Tier III (added) EGRTC		14	14	14	15
Dual fuel (added) за необхідністю					
GI (т)		6	7	8	9
LGIM (т)		7	8	9	10
Розміри GL mm					
L	A	B1	B2	C	H
16190	1400	5018	5254	1960	15750
MAN ES G80ME-C10.5-EGRTC SFOC [g/kWh]					
Opt. load range		50%	75%	100%	
Tier II mode		155,0	159,0	165,5	
Tier III mode		161,0	163,0	169,5	
Норма по NO _x		Tier II – 14,4 г/кВт·год / Tier III – 3,4 г/кВт·год			

Таблиця 2.3 Характеристики 7G80ME-C10.7 [4]

Кількість циліндрів			6	7	8	9
L ₁ kW			28 260	32 970	37 680	42 390
Маса (Tier II) (т)			900	1000	1110	1240
Tier III (added) EGRTC			14	14	14	15
Розміри mm						
L	A	B1	B2	C	H	

					КРМ.ОП135.6211м.02.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

16190	1400	5018	5254	1960	15750
MAN ES G80ME-C10.7-EGRTC L ₁ SFOC [g/kWh]					
Opt. load range		50%	75%		100%
Tier II mode		154,0	158,0		164,5
Tier III mode		160,0	162,0		168,5
Норма по NO _x		Tier II – 14,4 г/кВт·год / Tier III – 3,4 г/кВт·год			

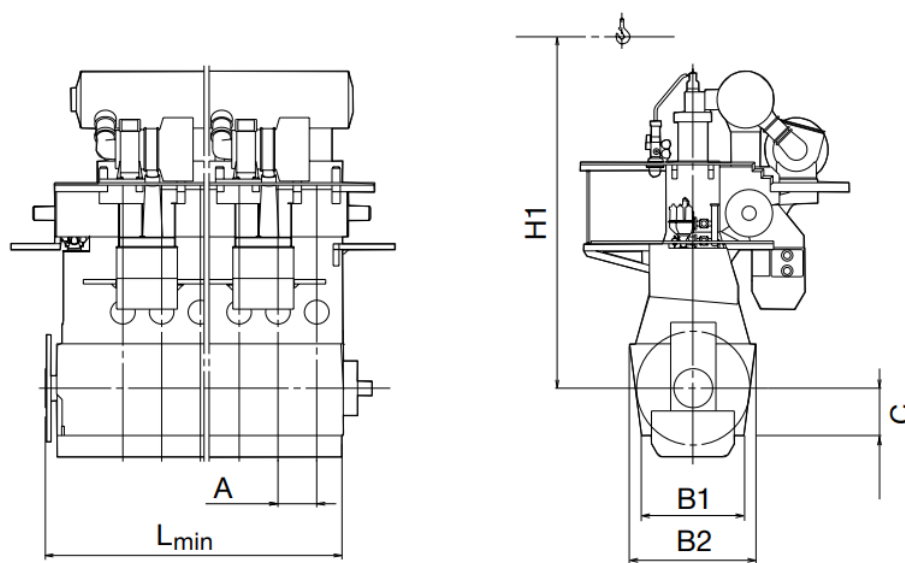


Рис. 2.5. Двигун MAN ES G80ME-C

Аналіз масогабаритних показників цих двигунів свідчить про доцільність встановлення на нових суднах двигунів 7G80ME-C10.5 або 7G80ME-C10.7, оскільки їхні габаритні розміри та маса практично не змінюються, тоді як питома витрата пального зменшується приблизно на 1–2 г/кВт·год. Під час модернізації також пропонується заміна головного двигуна, а у випадку відмови користувача від цього рішення через значні витрати — залишити наявний головний двигун, але передбачити можливість зниження його потужності за рахунок low load deratings та впровадження Energy Saving Devices (ESDs).

Для більшої економії енергетичних ресурсів та удосконалення СЕУ з урахуванням заміни матеріалу ГФК та зменшення потужності ГД до 924 кВт

					КРМ.ОП135.6211м.02.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

при зростанні сумарної ефективності комплексу до 8,7%. Рекомендовано додати новий кращий валогенератор з новими технологіями і новими системами моніторингу від фірми Taiyo Electric Co., Ltd., що дозволяє накопичувати цю енергію під час ходового режиму, а витратити під час стоянкового та за необхідністю мати змогу підключення до берегових модулів, таким валогенератором є Taiyo S-series.

Для того щоб електрична енергія не витрачалась попусту, я би рекомендував додати у СЕУ нове акумуляторне сховище. Підключені до мережі акумулятори вже давно рекламуються як приваблива перспектива, яка може допомогти збалансувати попит та пропозицію електроенергії зі збільшенням кількості встановлених змінних відновлюваних джерел енергії.

Також є предпосилки для встановлення на судні сонячну електростанцію з новими технологіями від тайванської компанії Arima яка займається виготовленням споживчої електроніки, а також як виробник сонячних батарей та панелей. Так як судно ходить по субекваторіальній кліматичній зоні в якій менше є опадів, є рекомендація для встановлення сонячних електростанцій.

Вищевказані рекомендації я запропонував для економії пального для ДГ які виробляють електроенергію, а також для зменшення викидів від ДГ. Також нові технології передбачають довговічність матеріалу та компонентів.

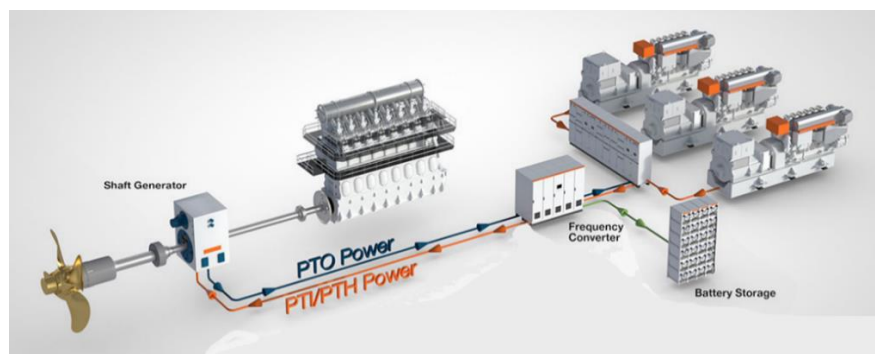


Рис. 2.6. Нове запропонування для СЕУ

2.2. Проектування пропульсивної установки.

Для покращення пропульсивних характеристик судна застосовується спеціальна насадка компанії Nakashima Propeller. Ця компанія першою у світі розробила гребний гвинт з вуглепластику, призначений для використання на комерційних судах. Завдяки таким властивостям, як висока ефективність, низький рівень шуму та невелика вага, цей гвинт демонструє видатну продуктивність, що стала можливою завдяки повному використанню переваг матеріалу. Для розробки своїх продуктів Nakashima Propeller використовує потужні системи обчислювальної гідродинаміки (CFD).

Покращення ефективності судна до 8,7% можливе завдяки використанню комбінації енергозберігаючих пристроїв компанії Namura. Ці пристрої підвищують рухові характеристики судна за рахунок поліпшення обтікання кормової частини потоком води. Комплекс включає ребра управління потоком Namura, кермо, що встановлюється на кормі, а також аеродинамічну вузьку надбудову й спеціальну кришку гвинта, яка зменшує завихрення потоку. Додатково використовуються покриття корпусу з низьким коефіцієнтом тертя, що протидіють обростанню й допомагають знизити опір руху.

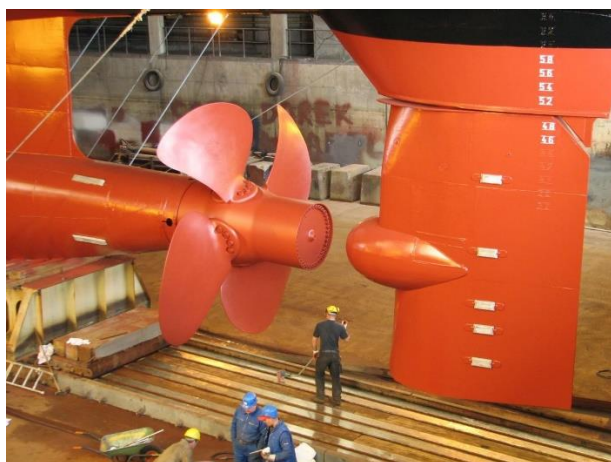
Енергозберігаючі пристрої, розроблені компанією Nakashima Propeller Co., Ltd, враховують усю систему компонентів силової установки судна. Ця компанія є також виробником гребного гвинта фіксованого кроку, встановленого на даному танкері.

Для покращення пропульсивних характеристик судна доцільно застосувати полімерне антифрикційне покриття з гідрофобними властивостями. Один із сучасних варіантів — фторполімерне покриття, наприклад, на основі політетрафторетилену (PTFE) або сополімерів фтору з силіконом. Для великотоннажного комерційного судна оптимальним буде індустриальне фторполімерне покриття з додатковими антиобростаючими властивостями, сертифіковане відповідно до вимог ІМО (наприклад, згідно з

					<i>KPM.OP135.6211m.02.02.ПЗ</i>	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

MEPC.207(62) – "Guidelines for the control and management of ships' biofouling").

Суднових гвинт із полімерним покриттям показано на рис. 2.6 а.



а

ECO-Cap



б

Рис. 2.7. Кормова частина танкера з використанням ГФК :

а – гвинт із полімерним покриттям; б – пристрою ECO-Cap.

Запропоновано використати спеціальні вуглепластикові кришки гвинта, що є частиною енергозберігаючого пристрою ECO-Cap [7]. Ця кришка спроєктована для зменшення вихорів у зоні маточини гвинта, що зазвичай веде до втрат енергії. Звичайна кришка створює підвищений опір через утворення так званого «негативного тиску» позаду неї, тоді як ECO-Cap формує «позитивний тиск», який генерує додаткову рушійну силу, збільшуючи ефективність судна порівняно зі стандартною конструкцією.

Форма кришки з додатковими лопатками показана на рис. 2.6 б. Її форма, розташування та кількість лопаток були визначені під час численних досліджень і перевірені на практиці.

Варто зазначити, що Nakashima Propeller використовує потужні системи обчислювальної гідродинаміки (CFD) для оптимізації своїх рішень. Згідно з модельними випробуваннями, ефективність залежить від конструкції гвинта (кількість лопатей, крок, діаметр маточини), але навіть при використанні звичайних матеріалів досягається приріст ККД близько 1–1,3%. При

					КРМ.ОП135.6211м.02.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

застосуванні CFRP економія пального може зростати до 2,8%. Так само на рульовому пристрої судна використовується ребро контролю потоку.



Рис. 2.8. Ребро контролю потоку

Валопровід призначений для передачі потужності від головного двигуна до рушія судна. Він сприймає упор, створений гребним гвинтом, і передає його через головний упорний підшипник корпусу судна, забезпечуючи його рух. Встановлений гребний гвинт фіксованого кроку, виготовлений зі сплаву нікелю-алюмінію та бронзи, оптимізує передачу потужності.

Частота обертання гребного гвинта становить 72 об/хв, що відповідає частоті обертання головного двигуна. Через це застосовується пряма передача, що дозволяє ефективно передавати потужність без додаткових механічних трансформацій.

На судні змонтований валопровід у складі гребного валу, проміжного валу, дейдвудного пристрою, опорних підшипників.

Вали з'єднуються між собою та з валом двигуна за допомогою фланців і щільно пригнаних болтів. Проміжний вал виготовлений з вуглецевої сталі, гребний вал – зі сталі категорії міцності КМ-25 ($\sigma_b = 480$ МПа), проміжний вал – КМ-23 ($\sigma_b = 440$ МПа).

Початковими даними для визначення діаметрів валів є:

– експлуатаційна потужність ГД, $P = N_e^{ДЕМ} = 24700$ кВт;

					<i>KPM.OP135.6211m.02.02.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

– розрахункова частота обертання валів, $n = 72 \text{ хв}^{-1}$,

Найменший допустимий діаметр проміжного валу

$$d_{\text{пр}} = F \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = 100 \sqrt[3]{\frac{24700}{72}} = 700 \text{ мм}$$

де F – коефіцієнт; для ДУ з прямою передачею потужності $F = 100$.

З урахуванням категорії льодового підсилення найменший допустимий діаметр проміжного вала:

$$d_{\text{пр}}^* = 1,08 \cdot d_{\text{пр}} = 1,08 \cdot 700 = 756 \text{ мм}$$

Мінімальний розрахунковий діаметр гребного вала:

$$d_{\text{гр}} = 100 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{p}{n}} = 100 \cdot 1,22 \cdot \sqrt[3]{\frac{9480}{125}} = 854 \text{ мм}$$

де $k = 1,22$ – коефіцієнт для безпечної роботи з гребним гвинтом.

З урахуванням категорії льодового підсилення цей діаметр визначається як:

$$d_{\text{гр}}^* = 1,15 d_{\text{гр}} = 1,15 \cdot 854 = 982 \text{ мм.}$$

За результатами розрахунків прийняті такі значення діаметрів валів:

проміжних – 756 мм;

гребного – 982 мм.

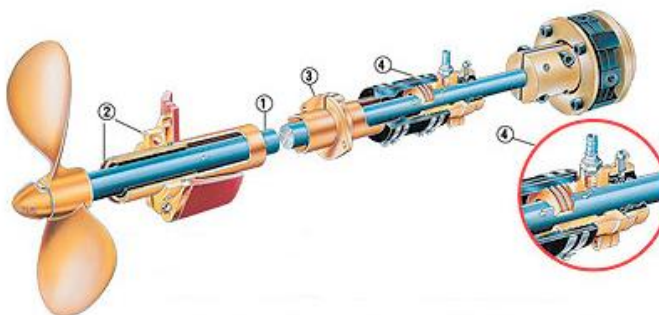


Рис. 2.9. Судновий валопровід

1 - Дейдвудна труба; 2 - Зовнішній фланець; 3 - Внутрішній фланець;

4 - Внутрішній підшипник з подвійним сальником та подачею води.

					КРМ.ОП135.6211м.02.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38



Рис. 2.10. Еластичні муфти

Муфта спеціально сконструйована для оптимального гасіння вібрації. Вібрація від крутильних коливань, що виникає через нерівномірність роботи двигуна, особливо на низьких обертах, усувається ефективно завдяки гнучкій гумовій вставці. Цей попередньо підібраний гумовий елемент гарантує низький шум, відсутність люфту та вібрації при передачі крутного моменту від двигуна гребному гвинту. Іншими словами – це відповідь на похибку комфортного перебування на борту судна.

Пряма передача:

Даний тип передачі не забезпечує трансформацію крутного моменту і частоти обертання ГД, а також не дозволяє пристосувати ГЕУ до мінливих умов плавання (в разі застосування ВФШ). Ці особливості зумовлюють недоліки СДУ з прямою передачею:

- відхилення частоти обертання ГД від оптимальної для гвинта знижує пропульсивний ККД $\eta_{пр}$; так, наприклад, на великотоннажних судах з прямою передачею частота обертання МОД може на 20 ... 30 хв-1 перевищувати оптимальне значення частоти обертання гвинта ($n_{гд} = 105 \dots 110$ при $n_{ворт} = 80 \dots 85$ хв-1), що знижує $\eta_{пр}$ на 5 ... 8%;
- при використанні МОД ГЕУ з прямою передачею мають місце несприятливі малогабаритні показники;
- складність приводу допоміжних механізмів - валогенератора, насосів та ін. від ГД.

					КРМ.ОП135.6211м.02.02.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевагою ГЕУ з прямою передачею є:

- конструктивна простота і висока надійність передачі;
- високий ККД передачі (0,98 ... 0,99), частково компенсує можливе зниження пропульсивного ККД;
- можливість роботи ГД на високов'язких сортах палива;
- невелика витрата масла ГД;
- великий ресурс ГД.

До складу прямої передачі входять муфти, підшипники і валопровод. За конструктивним виконанням муфти можуть бути жорсткими і пружними. За призначенням розрізняють наступні муфти: з'єднувальні, сполучно-роз'єднувальні, вмикати і вимикати під час роботи і на стоянці; комбіновані, що мають пружні з'єднувальні елементи і сполучно-роз'єднувальний ланка.

Потужні крейцкопфні дизелі зазвичай з'єднуються з валопроводи за допомогою жорстких фланцевих муфт. Установка пружних муфт в прямих передачах визначається наступними причинами - це:

- з'єднання валопроводу з ГД, встановленим на амортизаторах;
- зменшення навантажень на елементи валопроводу і колінчастий вал при деформаціях корпусу судна;
- полегшення центрівці двигуна і валопроводу;
- часткове демпфірування крутильних колива.

Крім підвищення ефективності самих елементів класичного складу пропульсивного комплексу двигун – пряма передача – валопровід – гвинт фіксованого кроку – корпус судна можна запропонувати використання інших елементів, що також будуть спрямовані на рух судна. Так наприклад використання вітру у парусах дозволить зменшити витрати пального на судову енергетичну установку у цілому. Розглянемо цю можливість більш розширено.

2.3 Розробка Rotor sail системи СЕУ.

					<i>КРМ.ОП135.6211м.02.02.ПЗ</i>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Роторне вітрило Anemoi

Технологія Rotor Sail від Anemoi використовує потужність вітру для підвищення паливної ефективності судна та зменшення споживання пального. Завдяки цій системі вітрові умови дозволяють значно знизити навантаження на головний двигун, що веде до економії пального та зменшення викидів шкідливих речовин, одночасно забезпечуючи необхідну потужність для підтримки швидкості та тривалості плавання.

Гвинтові вітрила Rotor Sail ефективно використовують принцип магнітної підйомної сили для генерації руху, при цьому зменшують необхідну потужність двигунів. Система змінного електроприводу, що живиться від низьковольтної мережі судна, забезпечує обертання роторного вітрила (рис. 2.10).

Технологія Anemoi Rotor Sail виявляється приблизно в десять разів ефективнішою, ніж традиційні вітрила, оскільки створюється більша підйомна сила за допомогою набагато меншої площі вітрила. Ця система є надзвичайно простішою в експлуатації, оскільки не потребує постійного уваги екіпажу, працюючи без необхідності ручного управління, за допомогою "кнопкової" системи управління з моста судна.

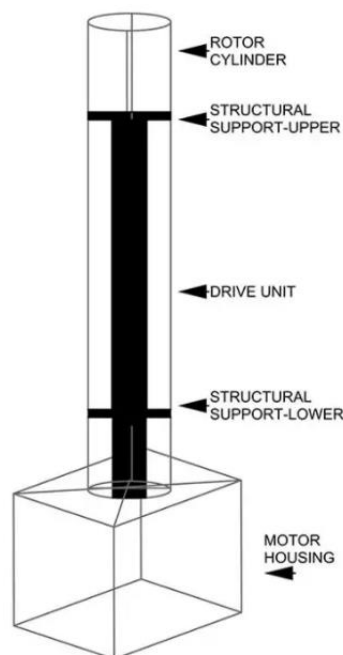


Рис. 2.11. Система Rotor Sail.

					КРМ.ОП135.6211м.02.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Ефект Магнуса

Технологія Rotor Sail базується на ефекті Магнуса. Коли вітер настигає обертове вітрило ротора, повітряний потік з одного боку вітрила прискорюється, а з іншого — сповільнюється. Це змінення швидкості потоку призводить до виникнення різниці в тиску, що генерує підйомну силу, перпендикулярну напрямку вітру. Цей ефект діє для всіх обертових тіл, таких як кулі чи циліндри (див. рис. 2.11). Подібний принцип можна побачити в таких спортивних дисциплінах, як гольф, теніс чи футбол, де обертові м'ячі змінюють траєкторію в польоті.

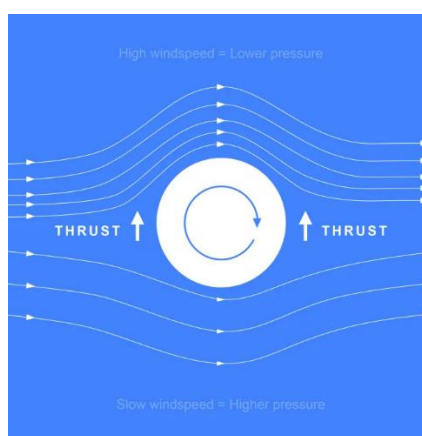


Рис.2.12. Ефект Магнуса.

Основні переваги роторних вітрил:

- Скорочує споживання палива та пов'язані з ним викиди до 30%.
- Підтримує досягнення нормативної відповідності для EEDI, EEXI та СІІ.
- Вітер готовий концепції. Попередньо встановлена інфраструктура, що дозволяє додавати вітрила для досягнення поточного скорочення викидів СІІ.
- Гнучкі системи, які підходять для судна (фіксована, залізнична система та складна система).
- Можливість регулювання під різні погодні умови.
- Може бути передислокований між суднами відповідно до вимог бізнесу.
- Екс-рейтинг (танкери/газовози).
- Інтегроване обслуговування протягом життєвого циклу та підтримка протягом усього терміну експлуатації судна.

					КРМ.ОП135.6211м.02.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Як турбопарус використовується вітрило від компанії Anemoi (рис. 2.13). Потреби в електричній потужності для роботи роторних вітрил залежать від швидкості обертання ротора, що, в свою чергу, визначається швидкістю вітру. В середньому споживана потужність одного роторного вітрила становить близько 40% від номінальної потужності двигуна під час його роботи.



Рис. 2.13. Парусне вітрило фірми Anemoi.

Розрахунок економії при застосуванні систем роторів Флеттнера.

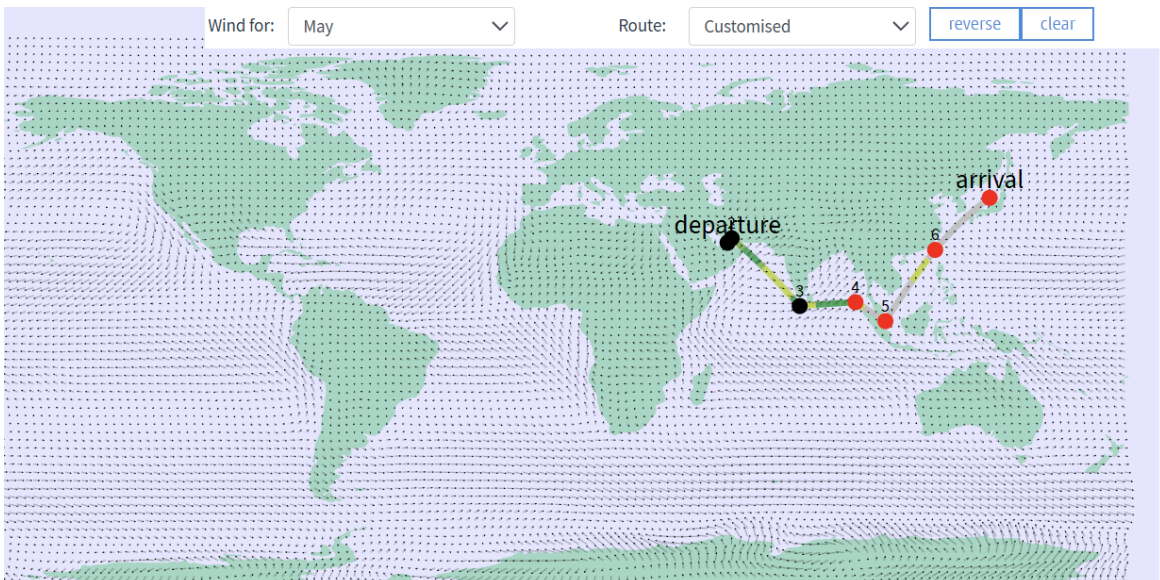
Інструмент Flettner Rotor System (FRS) був розроблений Інститутом енергетичних технологій в співпраці з групою Ship Performance компанії Lloyd's Register. Цей інструмент базується на даних експлуатаційних характеристик судна Maersk Pelican, яке було оснащено системою роторів Flettner у вересні 2018 року. Використовуючи ці дані разом із відомими методами розрахунку продуктивності суден, аеродинамічними коефіцієнтами для різних типів торговельних суден та статистикою середнього глобального вітру для світових океанів, Lloyd's Register розробив інструмент, що дозволяє оцінити потенціал економії палива для багатьох типів суден, оснащених FRS. Цей інструмент також дає змогу враховувати різноманітні фактори, такі як

					<i>KPM.OP135.6211m.02.02.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

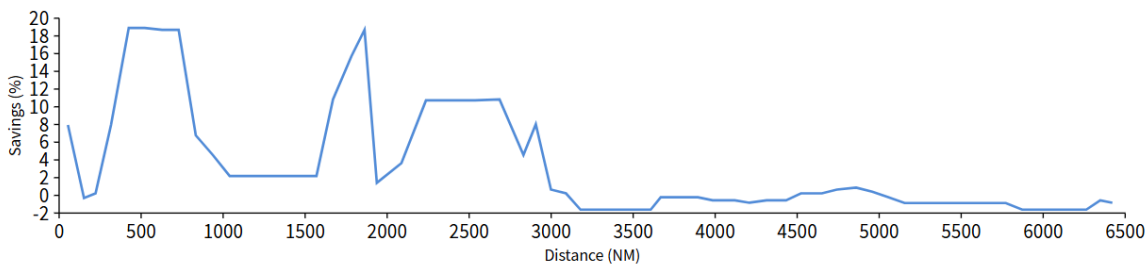
розташування FRS на судні, маршрути плавання, робочі профілі та сезонні зміни.

Для танкеру Fujisan Maru було прийнято рішення поставити 8 роторів діаметром 5 м. та висотою 35м.

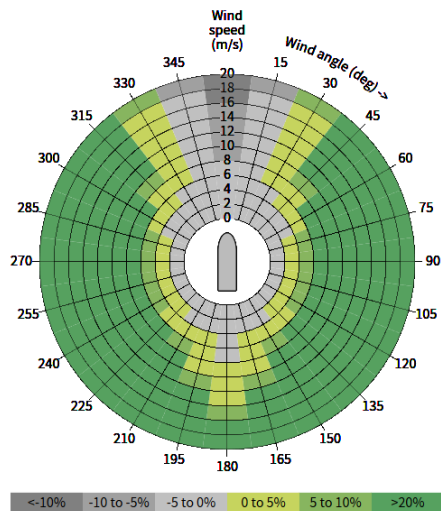
- Рейсова лінія Дубай – Токіо.
- Місяць перебування у рейсі - травень.
- Середня швидкість руху – 15 вузлів.
- Розміри судна відповідають даним 1 розділу .
- Результати наведені у виді наступних блоків (надані в Додатку А)



Savings along route for January:



Performance polar:



Selected Route Results

Distance: 6476.5 NM

Duration: 18.0 days

Avg Speed: 15.0 knots

Monthly savings in propulsion consumption and emissions

Month	FO (t)	CO ₂ (t)	%
Jan	33.7	106.1	2.0
Feb	17.5	55.3	1.1
Mar	-5.7	-18.1	-0.4
Apr	3.1	9.7	0.2
May	48.1	151.4	3.1
Jun	154.1	485.6	10.2
Jul	185.6	584.8	12.3
Aug	156.0	491.6	10.3
Sep	52.0	163.9	3.4
Oct	-4.1	-13.1	-0.3
Nov	-1.8	-5.8	-0.1
Dec	19.1	60.1	1.1

Yearly Avg 54.8 172.6 3.4 %

Savings in global wind conditions*: **8.4 %**

**yearly average wind conditions over all major trading routes as defined in MEPC 62/INF.34

Завдяки калькулятору від Lloyd's Register's Ship Performance Group було проведено розрахунок економії палива в умовах глобальних вітрів. Результати показали, що в травні на рейсовій лінії Дубай – Токіо використання системи Rotor Sails дозволяє заощадити 8,4% палива на танкері.

					КРМ.ОП135.6211м.02.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

					КРМ.ОП135.6211м.02.03.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Буяшенко М.Ю.			Проектування допоміжної ЕУ		
Керівник		Коробко В.В.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						46	12
					НУК		

Розділ 3. Проектування допоміжної ЕУ.

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

Модернізація судна не спричинила значних змін у споживанні електричної енергії. Збільшилися лише витрати на систему очищення вихідних газів (EGR) та привід двигунів роторних вітрил, але ці зміни є незначними. Наявна кількість генераторів повністю покриває ці потреби. Та сама ситуація з споживачами теплової енергії — жодних суттєвих змін не відбулося. Нижче приведені характеристики споживання роторних вітрил.

Norsepower Rotor Sail	20m x 4m	24m x 4m	28m x 4m	30m x 5m	35m x 5m
Material	Composite	Composite	Composite	Composite	Composite
Rotor speed [rpm]	0-225	0-225	0-225	0-180	0-180
Foundation height (indicative) [m]	2.5	2.5	2.5	3	3
Weight of typical foundation [tons]	13	13	15	17	24
Electric motor nominal power [kW]	80	100	115	115	175
Variable speed drive [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
Total weight without foundation [tons]	29	33	36	50	56
Maximum continuous thrust force [kN]	175	175	205	270	350
Ambient conditions					
Operational temperature [°C] (basic version)	- 20...+50	- 20...+50	- 20...+50	- 20...+50	- 20...+50
Survival wind speed [m/s]	70	70	70	70	70

Рис 3.1 Характеристики роторних вітрил.

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

Розглянемо можливі сучасні методи утилізації скидної теплоти у цій СЕУ, що ґрунтується на результатах теплового балансу окремих елементів СЕУ та діаграми потоків теплоти у СЕУ. Ці данні були отримані в программі CEAS engine calculations[11] та аналіз яких показав що для дизельних двигунів найбільшим потенціалом володують – випускні гази ГД – 11217 кВт (22% від $Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}}$), а для ДГ – 842 кВт (26% від $Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}}$); теплота надувного повітря для ГД – 6745 кВт (13% від $Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}}$), та відповідно ДГ – 479 кВт (15% від $Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}}$). Прісна вода охолодження ГД використовується для роботи вакуумної опріснювальній

					КРМ.ОП135.6211м.02.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

установці з урахуванням її продуктивності розрахунок якої наведено нижче. Найбільш привабливими є данні по ГД, складність утилізації теплоти газів та повітря двигунів ДГ полягає не тільки у значно меншому потенціалі, а у необхідності встановлювати на кожний ДГ свій утилізаційний котел. Тому у подальшому розглядаємо лише ГД.

Теплота газів зазвичай використовується в утилізаційних котлах для отримання пари або підігріву живильної води котельної установки. Що стосується надувного повітря, то воно може бути використано для підігріву живильної води або для отримання електричної енергії. Це досягається шляхом використання котлів двох тисків, а також перепрограмування двигуна для підвищення температури газів після турбокомпресора або зменшення витрат газів, які спрямовуються в турбокомпресор. За рахунок цього також досягається підвищення температури газів. [10]

При використанні рециркуляції (EGR) в нас значно зменшується витрата газів на виході з двигуна, тому наявність утилізаційного котла потребує обґрунтування: по середовищу, що в ньому може бути отримана – пара або підігрів живильної води котлів. Для цього виконується розрахунок з використанням балансових рівнянь. За даними опису ДК на судні використовується котел двох тисків, тому обираємо нижчий тиск 0,59 МПа.

Використовуючи данні розрахунків потоків теплоти для більш економічного 7G80ME-C10.5 за програмою CEAS engine calculations[11], а інша вихідна інформація з [12]

Тепловиділення валогенератора Taiyo Electric, серії Taiyo S-series, номіналом 2000 кВт визначається різницею між механічною та електричною потужністю і залежить від його ККД; для генераторів цього класу з ККД 0,95–0,98 очікувана $Q_{вг}$ становить приблизно 41–105 кВт, що необхідно враховувати при розрахунку теплового балансу машинного відділення та вентиляції.

					КРМ.ОП135.6211м.02.03.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1. Розподіл теплоти в ГД

Report created by Буяшенко Максим

7G80ME-C10.7-EGRTC

SMCR: 26,442 kW at 60.0 r/min, 1 x MAN TCA77-26 / 1 x MAN TCT30-ML.

MAN Energy Solutions

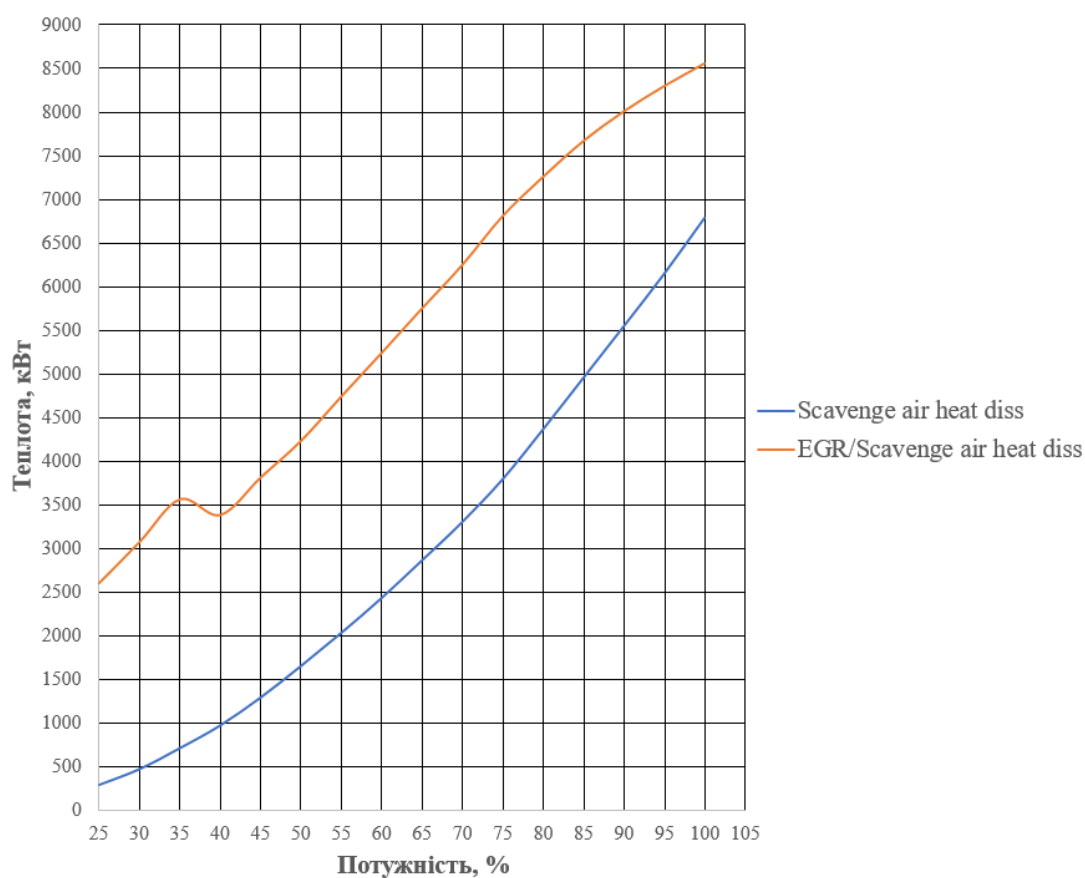


Tables of Capacities - Tier III

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	39.2	4.25	38	6,790	8,560	3,200	1,940	0.3
95	38.2	4.09	37	6,150	8,300	3,090	1,860	0.2
90	37.1	3.93	36	5,550	8,010	2,970	1,780	0.1
85	35.9	3.76	35	4,960	7,670	2,850	1,710	0.0
80	34.4	3.56	34	4,370	7,260	2,730	1,630	0.0
75	32.8	3.36	33	3,800	6,810	2,610	1,560	0.0
70	30.7	3.12	33	3,310	6,250	2,490	1,490	0.0
65	28.7	2.91	32	2,870	5,750	2,370	1,420	0.0
60	26.6	2.69	32	2,440	5,240	2,250	1,350	0.0
55	24.5	2.47	31	2,040	4,740	2,130	1,280	0.0
50	22.2	2.26	31	1,660	4,230	2,020	1,220	0.0
45	19.9	2.05	30	1,300	3,810	1,900	1,150	0.0
40	17.5	1.85	30	980	3,380	1,780	1,080	0.0
35	14.2	1.63	39	720	3,560	1,660	1,010	0.0
30	12.2	1.48	39	480	3,070	1,540	940	0.0
25	10.3	1.35	38	300	2,600	1,420	860	0.0



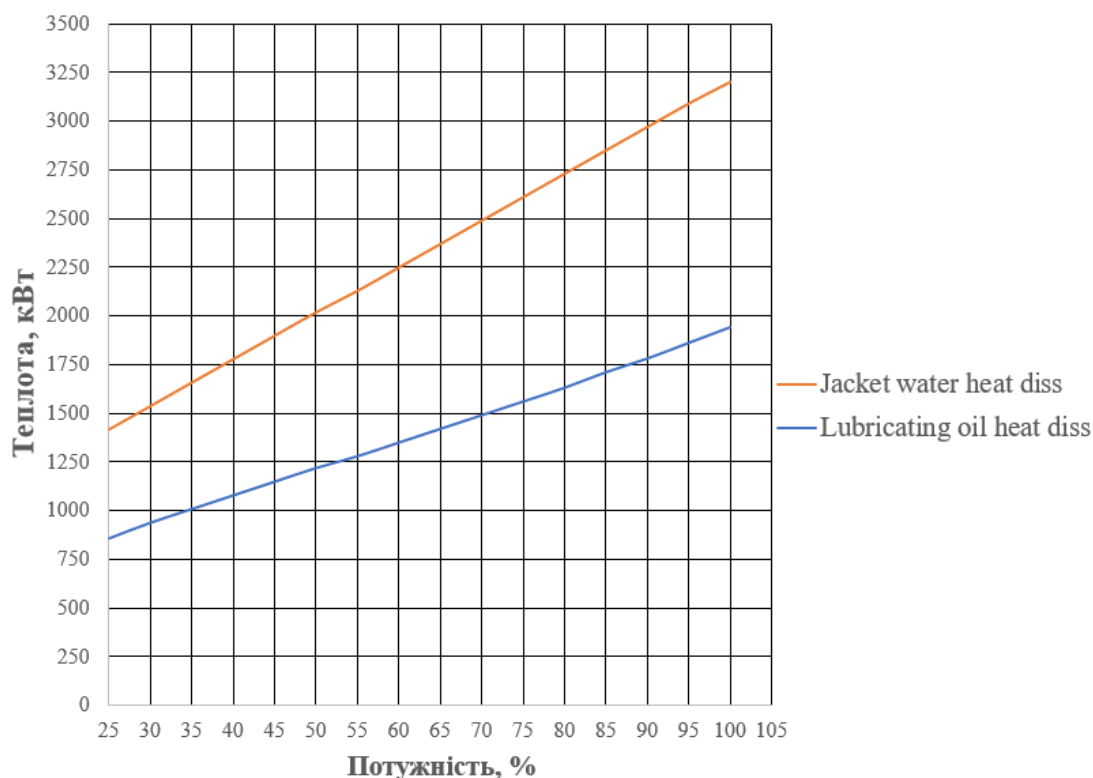


Рис. 3.1. Графік розподілу теплоти, яку виділяє головний двигун в залежності від рівня навантаження

Без використання підігріву в охолоджувачі надувочного повітря (ОНП) та при 100 % навантаженні (100 % SMCR) та рециркуляції (EGR) 12% газів

$$D_{60}^{укгд} = \frac{0,88 \cdot G_{г}^{\Gamma Д} \cdot c_{гр} \cdot (t_{г} - t_{ук}) \cdot \eta}{i_s - i_{жв}} = \frac{0,88 \cdot 41,9 \cdot 1,1 \cdot (210 - 190) \cdot 0,5}{(2755,8 - 251,1)} = \frac{405,2}{2504,7} = 0,162$$

$$\text{кг/с} = 0,582 \text{ т/год} = 582 \text{ кг/год}$$

та з ОНП та підвищення температури живильної води до 95°C

$$D_{95}^{укгд} = \frac{0,88 \cdot G_{г}^{\Gamma Д} \cdot c_{гр} \cdot (t_{г} - t_{ук}) \cdot \eta}{i_s - i_{жв}} = \frac{2 \cdot 41,9,8 \cdot 1,1 \cdot (210 - 190) \cdot 0,5}{(2755,8 - 398,0)} = \frac{405,2}{2357,8} = 0,172$$

$$\text{кг/с} = 0,618 \text{ т/год} = 618 \text{ кг/год}$$

де $G_{г} = 41,9 \text{ кг/с}$ – кількість відпрацьованих газів ГД, $t_{г} = 210^{\circ}\text{C}$ – температура газів за турбо-компресором, $t_{ук} = 190^{\circ}\text{C}$ – температура газів на виході з котла з урахування можливості роботи на НФО [2]; $c_{гр} = f(t_{г} = 210^{\circ}\text{C}) = 1,138 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ – теплоємності відпрацьованих газів, $i_s = f(p_s = 0,59 \text{ МПа}) = 2762,9 \text{ кДж/(кг)}$ – ентальпія пари [13]. Тобто повністю забезпечити

користувачів парою тиском 0,59 МПа за рахунок використання УК не можливо,але майже 40% можливо забезпечити та зменшити використання пального. На заводі може стати лише обмеження по висоті при розміщенні разом зі скруббером.

Після цього розробляється теплова схема.

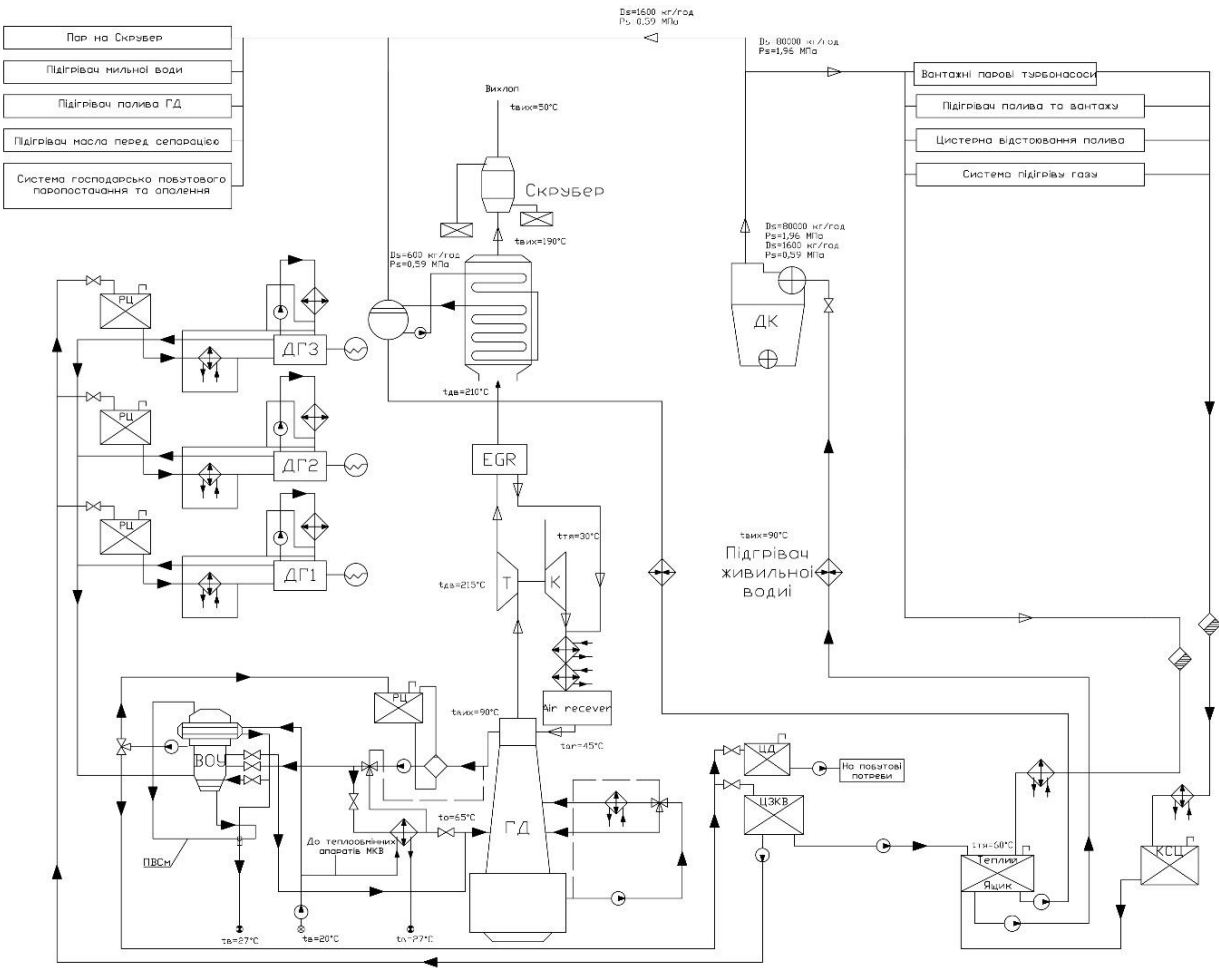


Рис. 3.2. Теплова схема СЕУ

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

Усі суднові споживачі класифікуються за декількома ознаками: за призначенням, ступенем важливості, за режимами роботи.

1. За призначенням:

					КРМ.ОП135.6211м.02.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

а) палубні механізми: шпиль, брашпіль, рульова машина, шлюпкові лебідки, вантажні крани, тралова, буксирна лебідка тощо;

б) механізми суднових пристроїв та систем: охолодний насос для головного двигуна, паливний насос, паливо-перекачувальні насоси, компресор (для запуску дизеля стисненим повітрям), відцентрові фільтри очищення палива та олії, пожежна система (пожежні насоси), баластно-кренова система (баластні), піногенераторні установки (пожежогасіння), система прісної води;

в) радіотехнічні засоби, електронавігаційні прилади: внутрішньо-судинний зв'язок, лаг, ехолот, кілька радіостанцій;

г) побутові механізми та прилади: установки-кондиціонери: вентилятори, холодильники, камбуз;

д) електричне освітлення: основне, аварійне, мале аварійне.

2. За ступенем важливості:

а) особливо відповідальні споживачі: це такі споживачі, відмова у працездатності яких призведе до аварії судна та загибелі екіпажу:

- пристрої управління курсом судна,
- навігаційні прилади,
- Засоби радіозв'язку,
- Аварійні насоси.

б) відповідальні споживачі: це споживачі, які забезпечують рух судна та безпеку вантажу.

в) маловідповідальні споживачі: побутові механізми та прилади - вони допускають відключення живлення на тривалий час і не впливають на життєдіяльність судна.

3. За режимом роботи:

а) електродвигуни, які працюють у безперервному режимі з приблизно постійним навантаженням: до цієї групи в основному належать насоси та вентилятори, що не потребують регулювання швидкості;

б) електроприводи, які працюють короткочасно;

					КРМ.ОП135.6211м.02.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

в) приводи, що працюють у повторно-короткочасному режимі: компресори, вантажні крани.

Було вирішено проаналізувати данні дизель генераторів фірм MAN ES та Daihatsu diesel Mfg. Co., Ltd [4, 14] за марками з ДВЗ 7L21/31 Mk 2 [4] 8DK-20 [15], а також за даними потужності та частоти обертання електрогенератора EF 558A-8 Daihatsu diesel Mfg. Co., Ltd.

Таблиця 3.1. Данні ДГ що можуть використовуватися [15]

	MAN ES 7L21/31 Mk 2	8DK-20
Кількість	$i = 3$	$i = 3$
Ефективна потужність	1540 кВт	1440
Gen потужність	1465 кВт	1372
Питома витрата палива	0,196 кг/кВт·год	0,192
Циліндричний отвір	210 мм	230
Stroke	310 мм	320
Швидкість	900 об/хв	900 об/хв
Частота	60 Hz	60 Hz
Розміри		
A	4214 мм	6700
B	2577 мм	2000
C	6791 мм	2890
H	3161 мм	
Вага	29.2 т	21,0 т
P	Вільний прохід між двигунами, ширина 600 мм і висота 2000 мм	
Q	Мінімальна відстань між центрами двигунів: ~2500 мм (без галереї) ~2700 мм (з галереєю).	

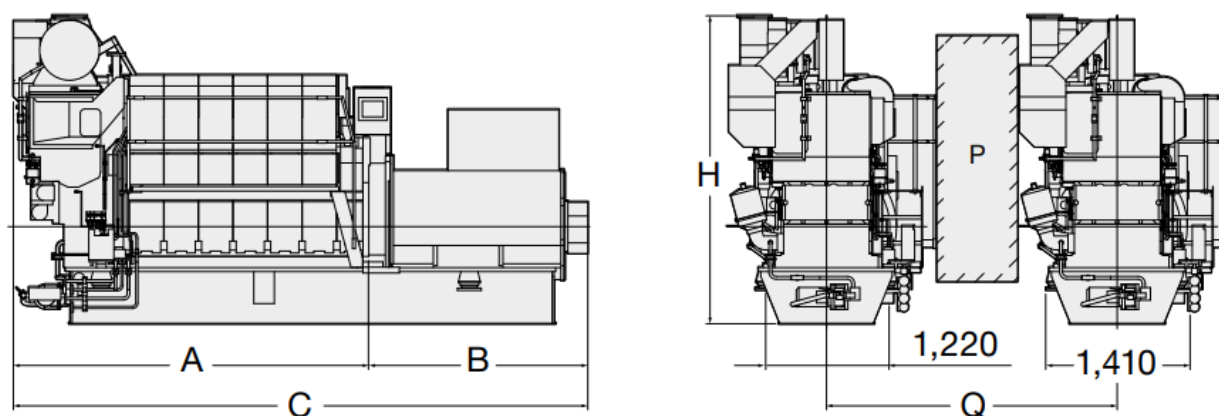


Рис. 3.2. ДГ MAN ES 7L21/31 Mk 2

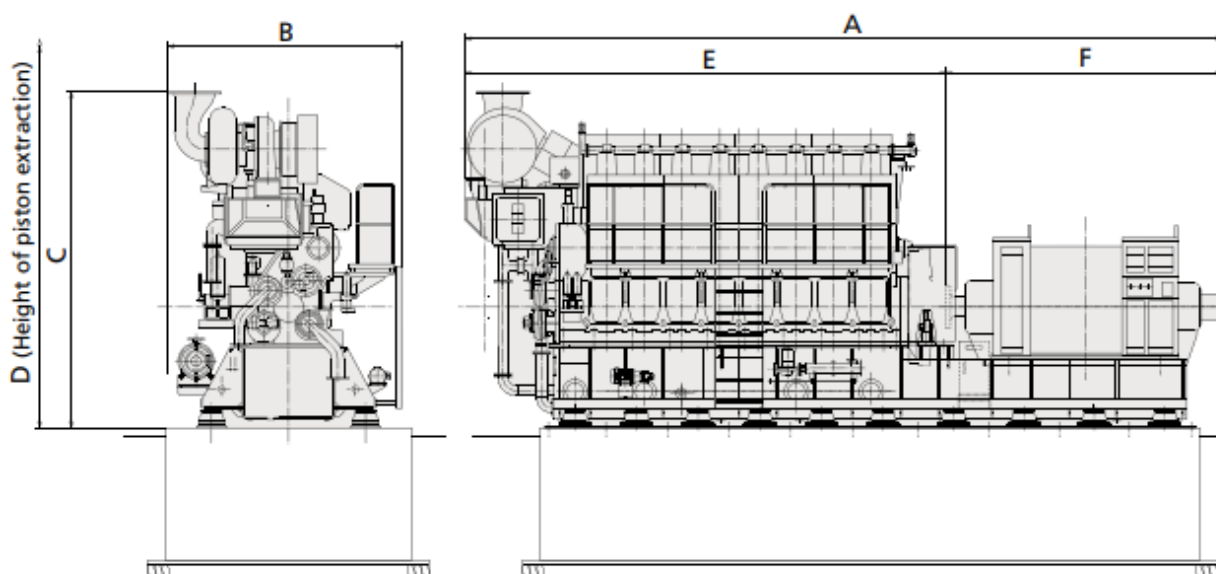


Рис. 3.3. ДГ 8DK-20 [15]

Аналіз даних таблиці 3.1 показав доцільність по ефективності (питомій витраті палива) та масо-габаритним показникам залишити без змін ДГ що встановлено на судні .

Розрахунок ВОУ [17]

$$G_{п.в.} = 10^{-3} \cdot 24 \cdot \alpha_{\Sigma} \cdot \sum D^K + 10^{-3} \cdot w \cdot n_{\epsilon}$$

$$= 10^{-3} \cdot 24 \cdot 0,025 \cdot 81600 + 30 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 48,96 + 9,0 = 57,96 \text{ т/добу}$$

де $\alpha_{\Sigma} = 0,025 - 0,050$ – коефіцієнт продувки котлів та інших потреб на судні; $D^K = 81600$ – сумарна паропродуктивність котлів котельної установки, кг/год; $w =$

					КРМ.ОП135.6211м.02.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

240...300 – норма води на 1 члена екіпажу на добу, кг/добу; n_e – кількість членів екіпажу, чел. З урахуванням вимог роботи цієї установки (за 12 годин роботи забезпечення водою на добу) продуктивність повинна складати до 116 т/добу. Та з урахуванням, що пара з тиском 1,96 МПа використовується на роботу вантажних насосів під час стоянки та сучасні тенденції використання бутлірованої питної води для потреб екіпажу. Обираємо ВОУ з урахування максимального використання теплоти прісної води з ГД.

$$D^{OU} = [Q_{пр.в}^{ГД} / (i'' - i_{ж.в}) \cdot 10^3] \cdot 3600 \cdot 24 \quad \eta = [6638 / (2609 - 251) \cdot 10^3] \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 0,5 = 121 \text{ т/добу}$$

де $Q_{пр.в}^{ГД}$ – втрати теплоти з прісною водою ГД, i'' та $i_{ж.в}$ – ентальпія пари та живильної води взяті з бакалаврської роботи .

Тобто теплової потужності вистачає для отримання такої кількості прісної води, але фірми виробники, що використовують дистиляцію, як метод отримання прісної води мають обмеження. Так Alfa Laval AQUA Blue до 60 м³/добу [17] - AQUA Blue C125 (див рис. 3.4), а JWP до 35 м³/добу (рис. 3.5), але за потребу при замовленні окремого запиту на проектування до 100 м³/добу але не більше. [18].

Згідно цим даним обираємо AQUA Blue C125, але з умов температури прісної води що обмежується при виході з ГД на рівні 85-90°C це буде 55-60 м³/добу, що використовується на котельну установку та потреби судна при роботі 24 години на добу, а питна закупається.

					КРМ.ОП135.6211м.02.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

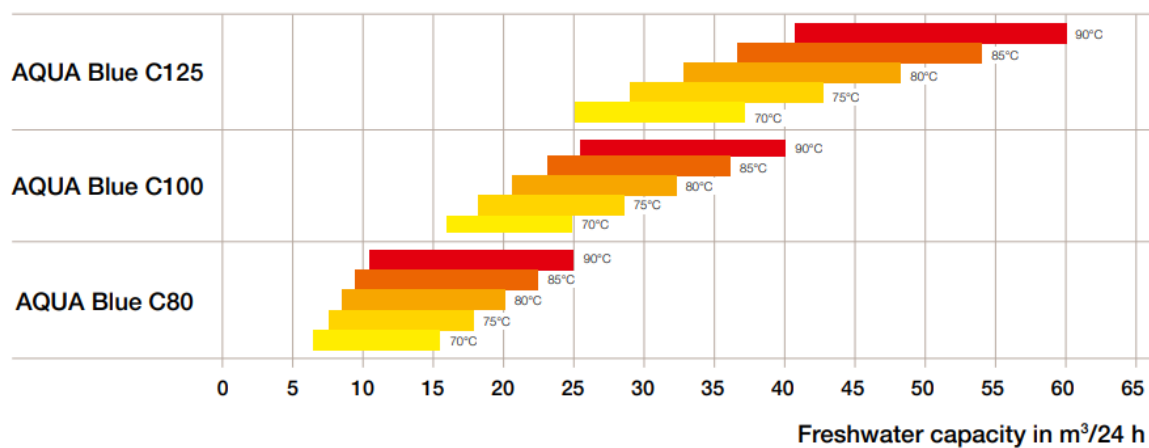


Рис. 3.4. Опріснювальна установка Alfa Laval AQUA Blue

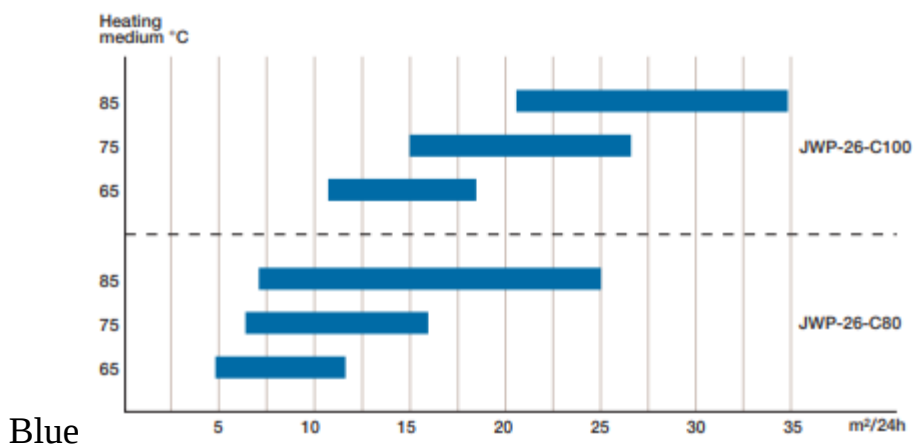


Рис. 3.5. Опріснювальна установка Alfa Laval JWP

					КРМ.ОП135.6211м.02.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



Таблиця 3.2. Характеристики пріснювальної установки Alfa Laval AQUA



Таблиця 3.3. Характеристики опріснювальної установки Alfa Laval JWP

					КРМ.ОП135.6211м.02.04.ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Студент		Буяшенко М.Ю.			Проектування систем СЕУ.			Літ.	Арк.	Аркушів		
Керівник		Коробко В.В.								58	15	
								НУК				

Розділ 4. Проектування систем СЕУ.

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

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

Система рециркуляції відпрацьованих газів, налаштована з узгодженням виходу, складається з двох рядків, а головний рядок і рядок EGR, які доступні для спрямування продувного повітря в ресивер продувного повітря. Система EGR, налаштована з узгодженням виходу, показана нижче:

- Основна струна, здатна пропускати все відпрацьоване повітря турбокомпресор і охолоджувач продувного повітря.
- Струна EGR, здатна виводити до 40% вихлопних газів через систему попереднього розпилення та блок EGR (охолоджувач EGR та WMC) до точки змішування в головній колоні.

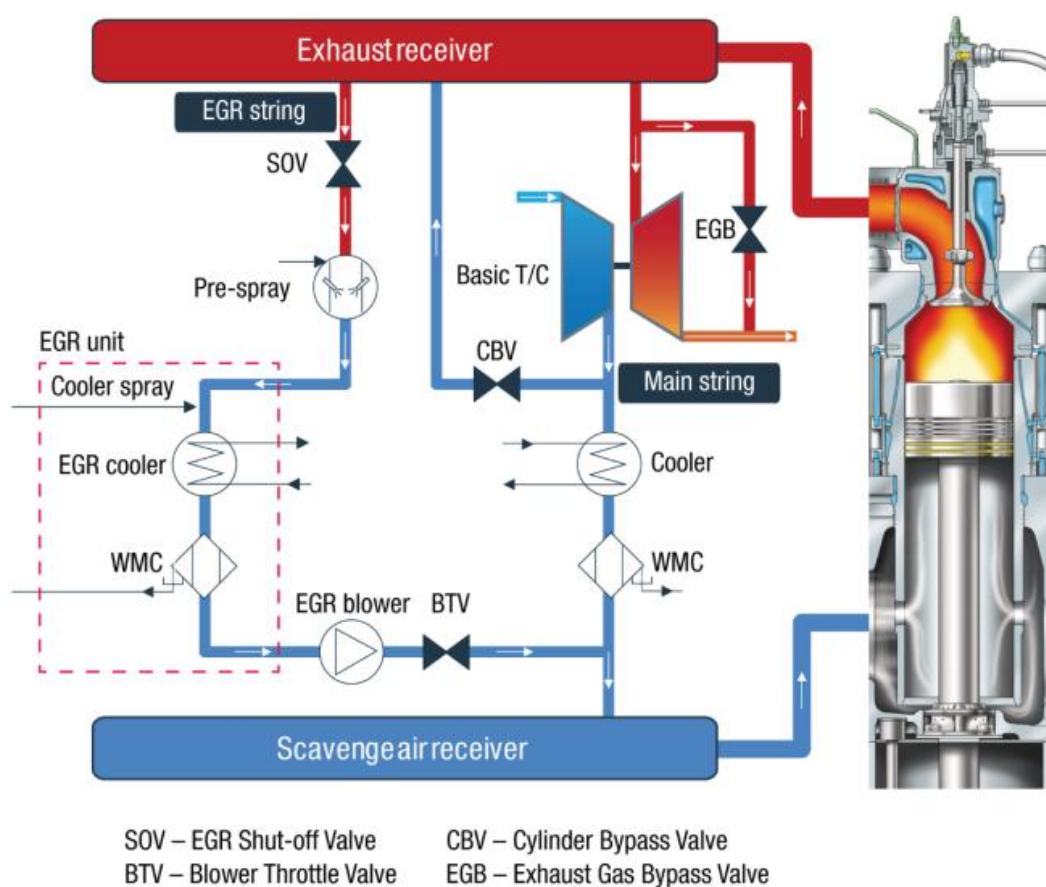


Рис. 3.6. Схема процесу EGR. Вихід узгодження.

Для узгодження виходу доступні два режими:

- **Tier II.** У режимі Tier II працює лише основна струна. Клапани ланцюга EGR (SOV/BTV) і вихід циліндра (CBV) залишаються закритими. У цьому режимі виходу вихлопних газів (EGB) повністю відкритий при високих навантаженнях і частково відкритий при низьких навантаженнях, щоб збалансувати турбокомпресор.
- **Tier III.** У режимі Tier III рядок EGR активується шляхом відкриття запірного клапана EGR і дросельної заслінки нагнітача (SOV/BTV). Вихлопні гази направляються через систему попереднього розпилення та блок EGR до точки змішування та ресивера продувального повітря, що надихається повітродувкою EGR. Коефіцієнт EGR контролюється зміною потоку повітродувки EGR. Обхід циліндра (CBV) активний у цьому режимі, щоб збільшити тиск продувального повітря та, таким чином, зменшити SFOC. Вихід вихлопних газів (EGB) закритий. [19]

Таблиця 3.4. Огляд керування клапаном.

EGR Bypass matching - High efficiency TC						
	Tier II mode			Tier III mode		
MCR %	SOV BTV	CBV	EGB	SOV BTV	CBV	EGB
100	Closed	Closed	Open	Open	Open	Closed
75			Partly			
50			Open			
25					Closed	

4.2 Визначення основних параметрів систем СЕУ.

Опис системи подачі палива до суднового дизельного двигуна

Система побудована таким чином, що дозволяє використовувати як дизельне паливо, так і мазут (рис. 4.1.).

Із сервісного танка паливо подається до електричного насоса низького тиску, який забезпечує тиск приблизно 4 бар у низьконапірній частині циркуляційної системи палива. Це дозволяє уникнути газифікації палива у газовідвідному боксі в межах робочих температур.

Газовідвідний бокс з'єднаний із сервісним танком за допомогою автоматичного деаераційного клапана, який випускає гази, що присутні в паливі, але утримує рідину.

Далі з низьконапірної частини системи паливо надходить до електричного циркуляційного насоса, який подає його через підігрівач і фільтр повного потоку, розташований безпосередньо перед входом до двигуна.

Вприскування палива здійснюється за допомогою електронно керованого підвищувача тиску, що встановлений на гідравлічному циліндричному блоці (Hydraulic Cylinder Unit, HCU) — по одному на кожен циліндр. У цьому блоці також знаходиться виконавчий механізм електронного керування випускним клапаном.

Блоки керування циліндрами (Cylinder Control Units, CCU), що входять до складу системи керування двигуном, розраховують момент подачі палива та активації випускного клапана.

Для забезпечення повного заповнення HCU, продуктивність електричного циркуляційного насоса перевищує обсяг палива, споживаного двигуном. Надлишок палива повертається з двигуна через газовідвідний бокс у циркуляцію.

Для підтримання стабільного тиску палива перед паливними насосами за будь-яких навантажень на двигун, у паливній системі встановлений пружинний перепускний клапан.

Тиск палива, виміряний на рівні паливного насоса, має становити 7–8 бар, що відповідає тиску циркуляційного насоса на рівні приблизно 10 бар.

					<i>KPM.OP135.6211m.02.04.ПЗ</i>	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

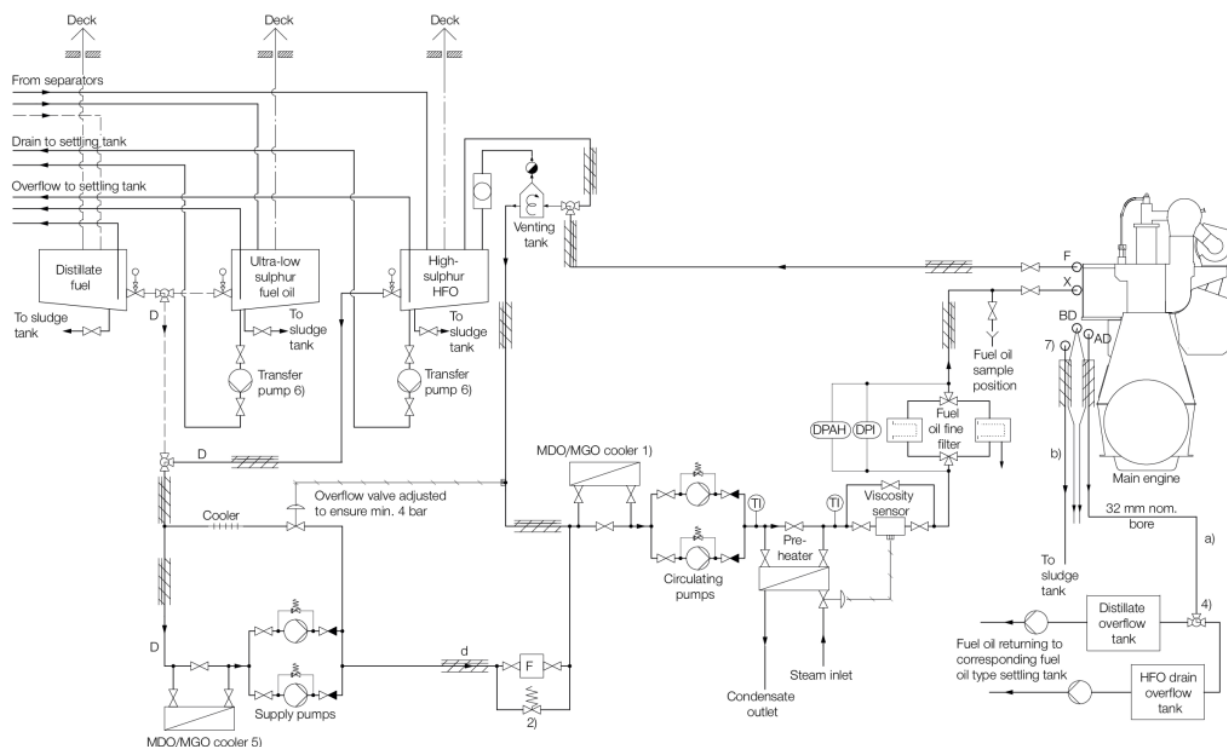


Рис. 4.1. Паливна система

Танк для залишкового палива

Танк повинен бути сконструйований з максимально можливою висотою та обладнаний похилим дном, що забезпечує накопичення твердих часток, які осідають із паливної олії.

Вихідний патрубок танка до насосів подачі палива має бути розташований вище похилої частини дна, щоб запобігти потраплянню твердих часток у насоси подачі важкого палива. В середині танка має бути встановлена перепускна труба нижче рівня вихідного патрубку до насоса. Це дозволяє повертати до відстійного танка лише «забруднене» паливо.

Система має передбачати можливість повернення вмісту денного танка до відстійного танка в разі, якщо паливо в денному танку не використовувалося протягом тривалого часу.

					KPM.OP135.6211m.02.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Система зливу палива

У зв'язку з відносно високою в'язкістю важкого палива, рекомендується підігрівати зливні трубопроводи та зливний танк до температури не менше 50 °С, але не вище 100 °С.

Зливні трубопроводи між двигуном і танками можуть підігріватися водою з охолоджувальної сорочки, як показано на (рис. 4.1.) «Система подачі палива», у місці фланцевого з'єднання «BD». (Фланець BD та контур підігріву не застосовуються для двигунів типу MC/MC-C розміру 42 і менше).

Рекомендовані швидкості потоку палива в зовнішніх трубопроводах

Для зовнішніх паливних трубопроводів встановлюються наступні граничні швидкості потоку:

- Морське дизельне паливо — не більше 1,0 м/с
- Важке паливо (мазут) — не більше 0,6 м/с

В'язкість палива може змінюватися під впливом різних факторів, зокрема емульгування води в паливі з метою зниження викидів оксидів азоту (NO_x).

Вимоги до паливоочисних сепараторів

Застосування сепараторів з ручним очищенням не рекомендується. Установки повинні бути оснащені автоматичними самочисними сепараторами з повним або частковим розвантаженням осаду.

Слід розрізняти установки за питомою густиною оброблюваного палива:

- Питома густина < 0,991. Відповідає маркам ISO 8217: RMA–RMD, британському стандарту BS 6843 (класи RMA–RMH), а також класифікації CIMAC (класи A–H).

					КРМ.ОП135.6211м.02.04.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Питома густина $> 0,991$. Відповідає маркам ISO 8217: RME–RMK та класифікації CIMAC (класи A–H).

Для цього типу палива виробники розробили спеціальні моделі сепараторів, наприклад:

- Alfa Laval — *Alcap*
- Westfalia — *Unitrol*
- Mitsubishi — *E-Hidens II*

Компанія MAN Energy Solutions також рекомендує використання сепараторів високотемпературного типу, що забезпечують підвищену ефективність очищення.

Продуктивність сепаратора

Сепаратор повинен мати здатність обробляти приблизно $0,23 \text{ л/кВт}\cdot\text{год}$ відносно номінальної витрати палива (CFR — certified flow rate). Цей показник включає запас для:

- вмісту води у паливі
- наявності шламу, золи та інших забруднень
- підвищеної витрати палива в умовах, відмінних від стандарту ISO
- обслуговування та промивки сепаратора

Для розрахунку необхідної продуктивності може використовуватись номінальна потужність двигуна (Specified MCR). Фактична продуктивність сепаратора повинна перевищувати розраховану.

Характеристики паливного насоса

Насос подачі паливної олії

- В'язкість паливної олії, задана до 700 сСт при 50°C

					KPM.OP135.6211m.02.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

- Максимальна в'язкість паливної олії 700 сСт
- Мінімальна в'язкість паливної олії 2 сСт
- Напір насоса 4 бари
- Подача паливної олії див. «Список витрат»
- Тиск на виході 4 бари
- Максимальна робоча температура 110 °С *)

У разі використання високотемпературного сепаратора, необхідно зазначити відповідну вищу робочу температуру.

Задана в «Списку витрат» продуктивність повинна виконуватись з допуском: від –0% до +15% і також покривати витрати на зворотне промивання — див. «Фільтр паливної олії».

Насос циркуляції паливної олії

Насос має бути **шнекового** або **зубчастого** типу.

- В'язкість паливної олії, задана до 700 сСт при 50 °С
- Нормальна в'язкість паливної олії 20 сСт
- Максимальна в'язкість паливної олії 700 сСт
- Мінімальна в'язкість паливної олії 2 сСт
- Подача паливної олії див. «Список витрат»
- Напір насоса 6 барів
- Тиск на виході 10 барів
- Робоча температура 150 °С

Задана в «Списку витрат» продуктивність повинна виконуватись з допуском: від –0% до +15% і також забезпечувати витрати на зворотне промивання — див. «Фільтр паливної олії».

					КРМ.ОП135.6211м.02.04.ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напір насоса розрахований з урахуванням максимального перепаду тиску у фільтрі та підігрівачі — 1,5 бар.

Підігрівач паливної олії

Підігрівач має бути виконаний у вигляді трубчастого або пластинчастого теплообмінника.

Необхідна температура нагрівання для різної в'язкості палива визначається за «Графіком нагріву паливної олії» (рис. 7.05.01). Графік заснований на даних від постачальників палива щодо типових морських палив із індексом в'язкості 70–80.

Оскільки параметром, що контролюється, є в'язкість палива після підігрівача, температура нагріву може змінюватися залежно від фактичної в'язкості та її індексу.

- Рекомендоване налаштування віскозиметра: 10–15 сСт
- Задана в'язкість паливної олії: до 20 сСт при 150 °С (для циркуляційного насоса)
- Тепловиділення: див. «Список витрат»
- Максимальний перепад тиску на стороні палива: 1 бар при 15 сСт
- Робочий тиск: 10 бар
- Температура на виході паливної олії: 150 °С
- Пара на вході (насичена): 7 бар абсолютного тиску

Для забезпечення стабільної та правильної в'язкості паливної олії на вході до головного двигуна подача пари повинна автоматично регулюватися — зазвичай за допомогою пневматичної або електричної системи керування.

					KPM.OP135.6211m.02.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

4.3. Проектування та комплектація системи СЕУ – Система роторних вітрил

Розробка принципової схеми системи роторних вітрил.

Система роторних вітрил використовує вітер для максимального підвищення паливної ефективності вантажного 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 та тривалості плавання. Ця система особливо підходить для ринків 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.

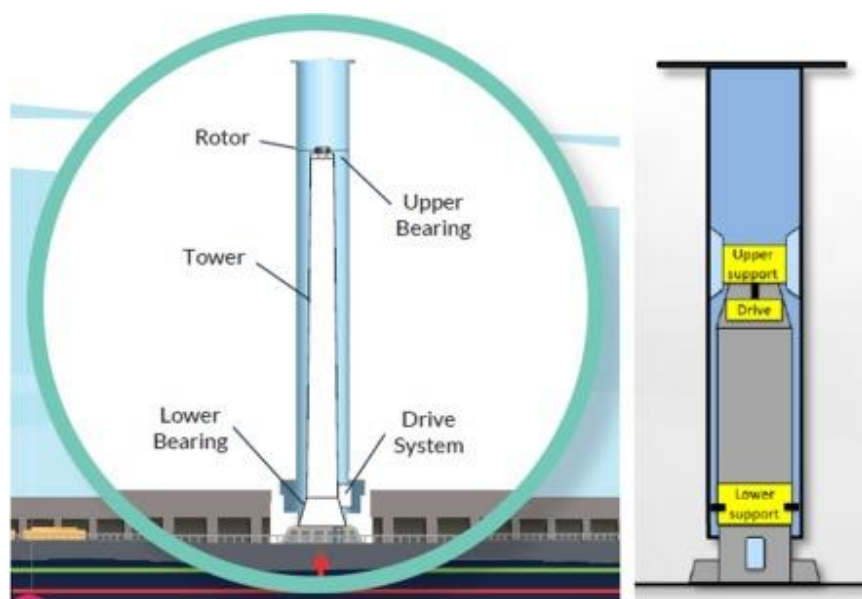


Рис. 4.1. Конструкція ротора

Конструкція ротора складається з наступних основних компонентів:

- 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 гвинтового вітрила Анемої складається з самого гвинтового вітрила, фундаменту, системи розгортання (якщо потрібно), датчиків вітру та електричної системи та системи керування. Розташування цього обладнання на судні позначено на наступній схемі (дивись рис. 4.2).



Рис. 4.2. Розташування системи Rotor sail на палубі.

1 – датчик вітру; 2 – електрична система та система керування; 3 – Електричне обладнання; 4 – система розгортання (на фото фіксована система); 5 – фундаменти; 6 – роторні вітрила; 7 – верхній підшипник; 8 – сталева вежа; 9 – електропривод; 10 – нижній підшипник; 11 – композитний ротор.

Система керування роторними вітрилами

Роторні вітрила мають станцію управління, розташовану на містку. Це автоматично контролює швидкість і напрям роторних вітрил, а також відстежує продуктивність і стан системи. Наша система керування розроблена для максимізації продуктивності та мінімізації втручання екіпажу за допомогою автоматичного налаштування швидкості та напрямку, моніторингу обладнання та безпечного відключення.

					КРМ.ОП135.6211м.02.04.ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимоги до вхідної електричної потужності роторних вітрил залежать від швидкості ротора, яка залежить від швидкості вітру. Середня споживана потужність одного роторного вітрила зазвичай становить ~40% від номінальної потужності двигуна під час роботи. [8]

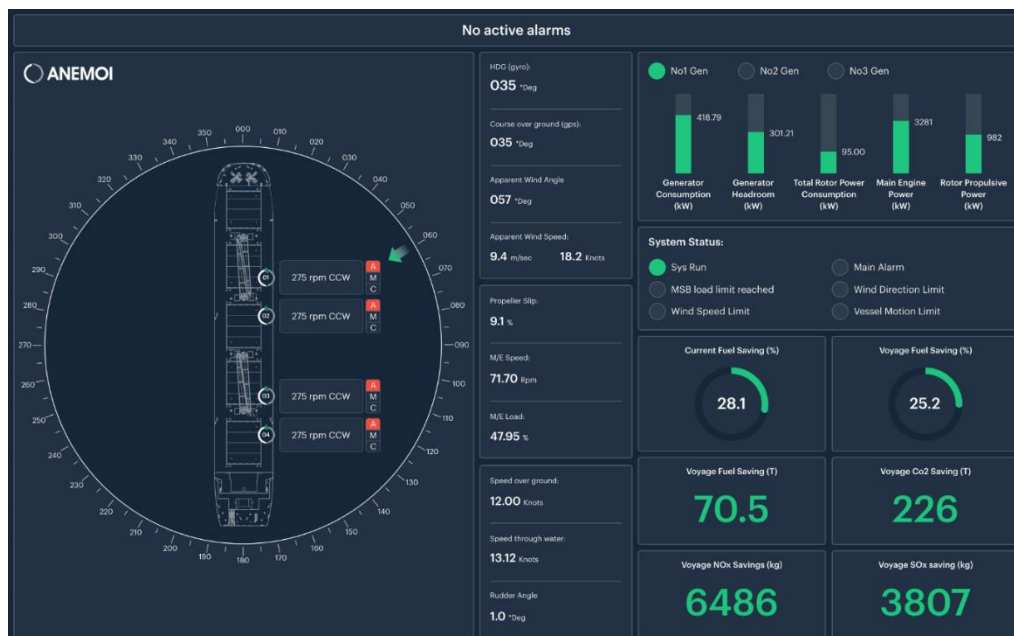


Рис. 4.3. Система керування ANEMOI

Для моніторингу парусних вітрил обираємо частотний регулятор від фірми Hitachi та підшипники «Talking Bearing»

Обираємо частотний регулятор від фірми Hitachi [23].

Перетворювачі частоти Hitachi - це багатофункціональні, універсальні, програмовані пристрої, що застосовуються для автоматизації завдань, пов'язаних з управлінням швидкістю трифазного електродвигуна.

Серія SJ-P1 - векторні перетворювачі частоти Hitachi самої нової версії. Вони містять у собі найкращі рішення і функції, засновані на більш ніж 30-річному досвіді виробництва перетворювачів частоти. На даний момент це найбільш багатофункціональні перетворювачі частоти з усіх пропонованих серій.



Рис. 4.4. Частотний регулятор від фірми Hitachi.

«Talking Bearing» - підшипники NTN, які мають вбудований датчик, що збирає інформацію про температуру, вібрацію та швидкість обертання підшипника та передає її через бездротову мережу [24].



Рис. 4.5. Підшипник фірми NTN «Talking Bearing»

					КРМ.ОП135.6211м.02.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Підшипники NTN «Talking Bearing» відрізняються від вже існуючих рішень на ринку та мають ряд переваг:

- вони є абсолютно автономними і не потребують дротів і кабелів ані для підзарядки, ані для передачі даних. Дані передаються бездротовою мережею, а датчик та радіомодуль живляться за рахунок електроенергії, що виробляється від обертання підшипників;
- оскільки датчик вбудований в зовнішнє кільце підшипника, він є максимально наближеним до поверхні доріжки кочення, що робить його точним і чутливим до найменших проявів пошкоджень в підшипнику;
- підшипники з вбудованими датчиками мають ті ж самі габарити та характеристики вантажопідйомності, що й стандартні підшипник – що робить їх абсолютно взаємозамінними зі звичайними підшипниками.

Функції підшипників «Talking Bearing»

- Сумісність зі стандартними підшипниками за рахунок включення датчиків, блоків живлення та бездротових пристроїв у стандартний підшипник без зміни розмірів та вантажопідйомності
- Удосконалений моніторинг стану та діагностика несправностей. Визначення стану підшипника, наприклад вібрацію та температуру, за допомогою датчиків, вбудованих у підшипник, із високою чутливістю порівняно з датчиками, встановленими зовні обладнання.
- Висока зручність. Для живлення та передачі не потрібні кабелі, виріб легко монтується в обладнання.

Підшипники «Talking Bearing» будуть використовуватися у роторних парусах фірми Anemoi для збирання інформації.

					КРМ.ОП135.6211м.02.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

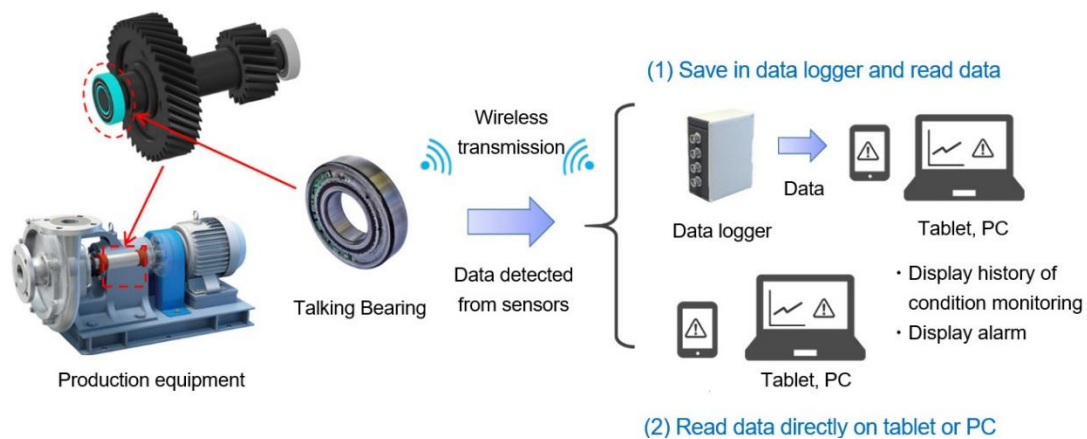


Рис. 4.6. Приклад застосування підшипників «Talking Bearing»

					КРМ.ОП135.6211м.02.05.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Буяшенко М.Ю.			Заходи по забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Коробко В.В.					73	21
						НУК		

Розділ 5. Заходи по забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ.

5.1. Розробка системи моніторингу і діагностування технічного стану ГД

Система моніторингу і діагностики СЕУ повністю пов'язана з головним двигуном. Фірма-виробник ГД - MAN ES надає цю систему у повній комплектації з усіма датчиками, сенсорами, електронним обладнанням і тд. Ця система має назву – «Engine Management Services» (EMS). Нижче наведено принципову схему цієї системи у загальному вигляді.

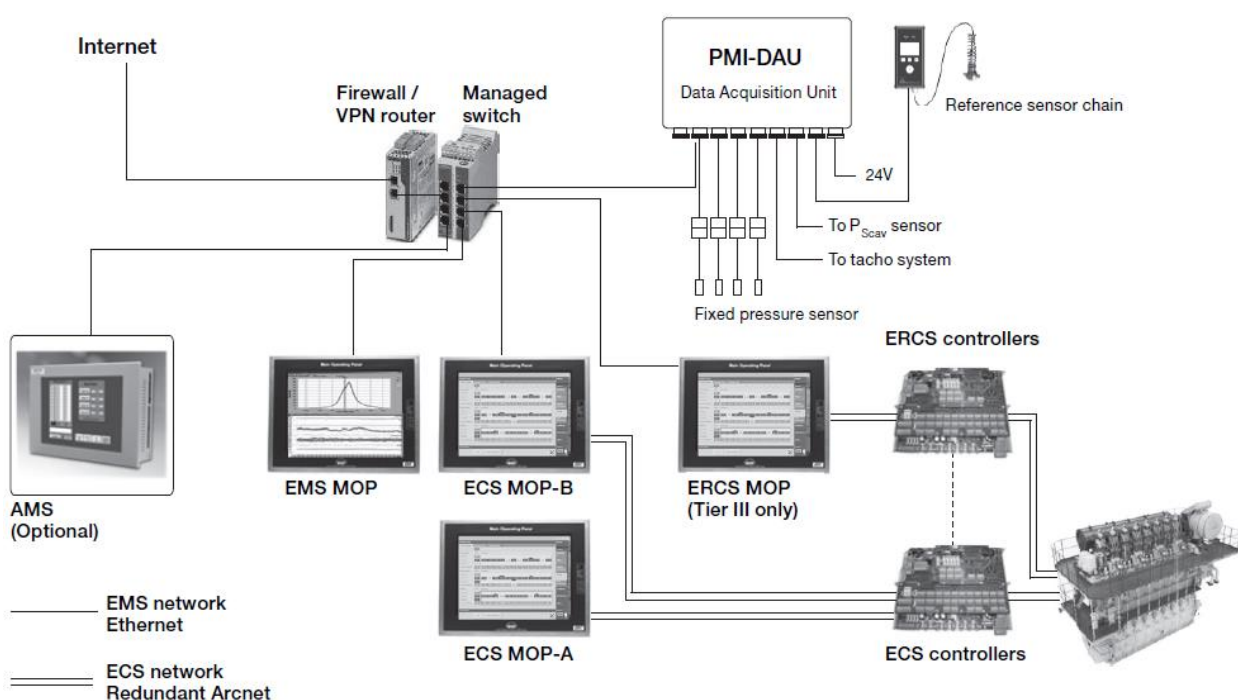


Рис 5.1 – Загальна принципова схема системи діагностики EMS

5.2. Розробка системи моніторингу і діагностування технічного стану обладнання системи роторних вітрил.

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».

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.

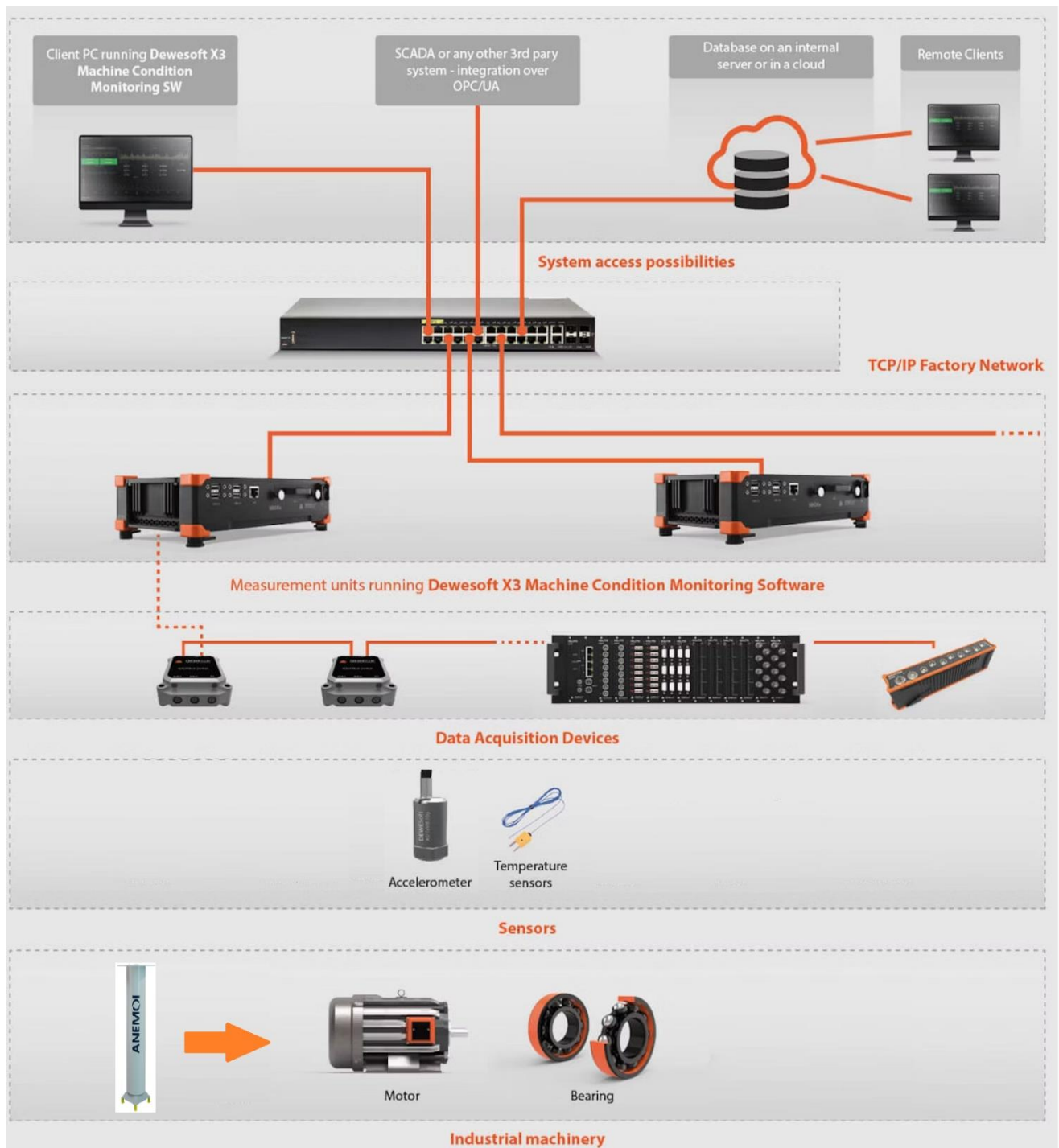


Рис 5.2 – Структурна схема системи діагностики і моніторингу стану підшипників та електродвигунів ротора.

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

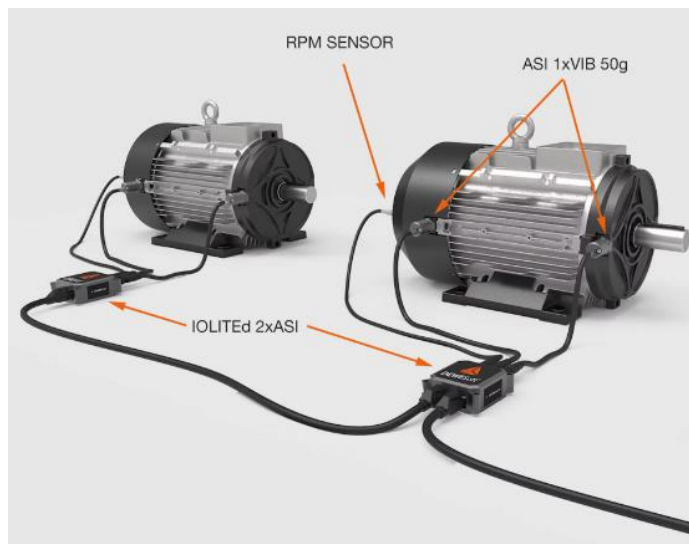


Рис 5.3 – Склад та приклад реалізації системи діагностики і моніторингу електродвигунів ротора.

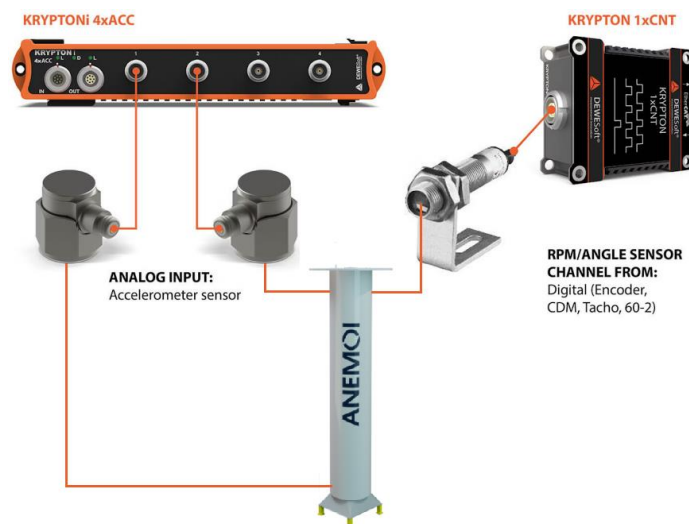


Рис 5.4 – Склад та приклад реалізації системи діагностики і моніторингу підшипників ротора.

Характеристики обладнання та датчиків наведено нижче.

					КРМ.ОП135.6211м.02.05.ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Key features:**DEWESoft ASI 1xVIB 50g****Mechanical drawing**

- 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

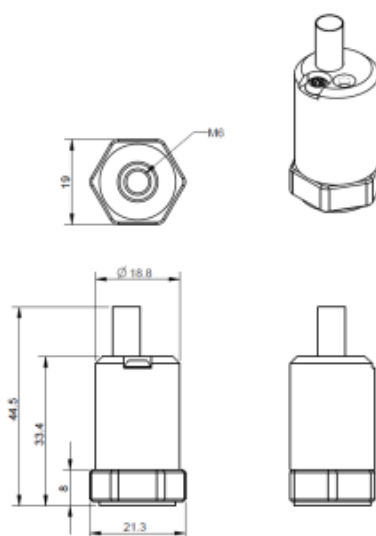
Typical applications:

- 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



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 5.5 – Характеристики і розміри датчика ASI 1xVIB 50g

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

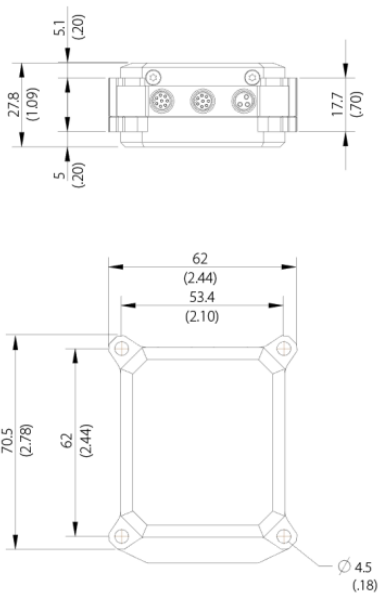


Рис 5.6 – Характеристики і розміри приймача сигналів IOLITEd 2xASI

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 5.7 – Характеристики приймача сигналів Krypton-4xACC

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.

Безпечна та економічно ефективна експлуатація судна вимагає точного знання його конструкції, а також усвідомлення експлуатаційних ризиків та їхніх наслідків. Особливо це актуально для суден, на палубі яких встановлені вітрильні системи, оскільки вони створюють додаткові динамічні навантаження на корпус та надбудови. Однією з ключових проблем тривалий час була відсутність на містку інформації про фактичні навантаження на корпус судна.

Історично це питання вирішувалося шляхом покладання на досвід та професійне судження навігаторів. Однак з появою технологій Light Structures стало можливим отримувати такі дані в режимі реального часу завдяки рішення **SENSFIB Hull™ Hull Stress Monitoring**. Відстежуючи реакції конструкції корпусу на напруги під час експлуатації, включно з додатковими впливами від вітрил, система забезпечує навігаторів онлайн-інформацією про запас міцності та допомагає у прийнятті рішень.

На рис. 5.8 наведена принципова схема системи HSM, яка є універсальним рішенням для суден усіх типів, включно з тими, що обладнані вітрильними установками.

					<i>KPM.OP135.6211m.02.05.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

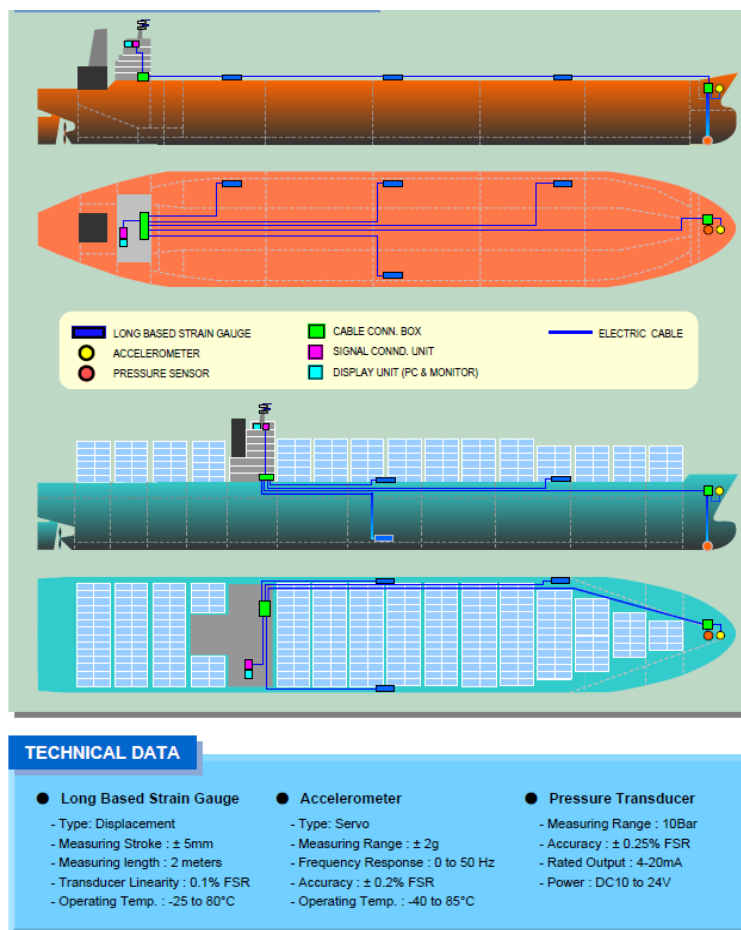


Рис. 5.8 Принципова схема системи моніторингу стану корпусу судна
Безпечна та економічна робота.

Ті самі дані можуть бути оброблені, щоб надати цінну інформацію для планування технічного обслуговування та використання автопарку. Light Structures надає ряд різних конфігурацій моніторингу. Системи початкового рівня відстежують навантаження на балки корпусу за допомогою чотирьох-шести датчиків, розташованих на поздовжній частині. Більш комплексні рішення включають виявлення ударів і моніторинг втоми за допомогою спеціальних датчиків у ватерлінії. Для передових корпусів, таких як високошвидкісні поромы та військово-морські судна, ми пропонуємо індивідуальні рішення з практично необмеженою кількістю датчиків напруги. SENSFIB пропонує повний набір функцій моніторингу стану корпусу та підтримки прийняття рішень. Усі сектори судноплавної промисловості, офшорної, військово-морської та вітрової енергетики отримують переваги від керівництва системи моніторингу. Поточні установки системи SENSFIB

включають судна військово-морського флоту та берегової охорони, великі контейнеровози та судна RoRo, балкери, човникові танкери, FPSO, VLCC, LNGC та плавучі судна в морському сегменті.

SENSFIB Global — це базове рішення HSM, яке відповідає найпоширенішим позначенням класів для моніторингу глобальних навантажень (напруга балки).

SENSFIB Plus – вдосконалений моніторинг напруги корпусу.

[22] SENSFIB Plus – це комплексне рішення для моніторингу для власників, які хочуть більше, ніж базова інформація про напругу балок і удари, яку надає SENSFIB Global. Приклади додаткових функцій, які можна додати до системи SENSFIB Plus, включають:

- Моніторинг втоми бокового корпусу за допомогою додаткових датчиків у ватерлінії (ватерлінії) посередині судна
- Моніторинг слемінгу та реакції на лід за допомогою додаткових датчиків у ватерлінії в носовій частині
- Моніторинг плескаючого навантаження на стінки резервуарів (для мембранних LNG-танкерів)
- Спеціальні датчики на інноваційних суднах
- Розширений інтерфейс з іншими бортовими системами та додатковими програмними модулями для підтримки прийняття рішень.

5.3. Технологічна розробка. Ремонт кришки циліндрів.

Короткий опис двигуна.

7G80ME-C9.5 — це сучасний двотактний низькообертовий дизельний двигун, розроблений компанією MAN Energy Solutions. Він призначений для встановлення на великі морські судна, такі як балкери, контейнеровози та нафтові танкери, де необхідна висока потужність і надійність при тривалих переходах.

					KPM.OP135.6211m.02.05.ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Двигун має сім циліндрів, кожен з діаметром 800 мм та ходом поршня близько 3245 мм. Це забезпечує високу ефективність роботи при низьких обертах — приблизно 60–80 об/хв. Загальна потужність двигуна може досягати 25 000–30 000 кВт, залежно від налаштувань і потреб судна.

Модель належить до серії ME-C, яка відрізняється електронним управлінням подачею палива та керуванням випускними клапанами. Завдяки цьому забезпечується точне дозування палива, покращене згоряння, зменшення витрат і зниження шкідливих викидів. Відсутність розподільного вала зменшує механічну складність та втрати енергії.

Позначення «G» у назві моделі означає довгохідну конструкцію (long-stroke), яка дозволяє використовувати гвинти більшого діаметра при менших обертах. Це сприяє підвищенню загальної ефективності суднової енергетичної установки.

Індекс «C9.5» вказує на конкретну модифікацію та покоління двигуна. Версія 9.5 є однією з найновіших, оптимізована з урахуванням сучасних вимог до екологічності та економічності. Двигун відповідає нормам IMO Tier II, а з відповідними системами (SCR або EGR) — і Tier III.

Окрім традиційного важкого палива (HFO), двигун може бути адаптований для роботи на альтернативних паливних видах, таких як LNG, метанол або аміак, що робить його перспективним для майбутніх екологічно чистих суден.

Завдяки високій потужності, економічності, гнучкому управлінню та готовності до екологічних викликів, 7G80ME-C9.5 є одним з найкращих рішень для сучасного морського флоту.

Охорона праці під час монтажу суднового обладнання

					<i>KPM.OP135.6211m.02.05.P3</i>	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До роботи на суднах допускаються тільки робітники, які мають відповідну кваліфікацію і пройшли інструктаж з охорони праці та протипожежної безпеки.

Під час роботи необхідно користуватися тільки справним інструментом і пристосуваннями, забороняється застосовувати невідповідні ключі і труби для подовження ключів.

При роботі в тісних приміщеннях рекомендується використовувати торцеві ключі.

Під час роботи з абразивними матеріалами слід застосовувати захисні кожухи.

Забороняється вручну піднімати тяжкості понад 50 кг - для чоловіків і 20 кг - для жінок; у цьому разі слід застосовувати підйомні візки, талі та інші вантажопідйомні засоби.

Для освітлення на суднах слід застосовувати переносні електричні лампочки з напругою не більше 12 В.

Ручний електрифікований інструмент має бути обладнаний електроприводом з напругою не більше 36 В, корпус електродвигуна - заземлити.

Пересування в неосвітлених ділянках - неприпустиме.

Для підйому тягарів необхідно застосовувати вантажопідйомні засоби, талі та стропи, тільки сертифіковані, відповідно до вимог охорони праці.

Виробничому персоналу забороняється робити виправлення в електропроводці та електросхемах.

На ділянці, де виконуються будь-які роботи, повинні бути протипожежні засоби (вогнегасники та інше обладнання).

					<i>КРМ.ОП135.6211м.02.05.ПЗ</i>	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час роботи з пластмасами склади необхідно зберігати в закритих герметичних посудинах з бирками, що вказують склад.

До роботи з епоксидними сумішами допускаються особи, які не мають шкірних захворювань, при цьому робітники повинні забезпечуватися спецодягом і гумовими рукавичками; руки змастити сумішшю ланоліну і вазеліну (по 50%).

Під час роботи зі змішувачами - вдягати захисні окуляри, забороняється під час роботи з сумішами палити і користуватися відкритим вогнем.

Епоксидну смолу, що потрапила на шкіру, слід негайно зняти паперовими або матерчатими серветками, змоченими в дибутилфтолаті, а потім у воді з милом.

Робітники повинні бути проінструктовані про токсичні складові, і дотримуватися особистої гігієни.

Приміщення, в якому виконуються роботи з полімерними матеріалами, повинні обладнуватися загальнообмінною і місцевою вентиляцією.

Устаткування, робота якого супроводжується виділенням пилу і газів, у тому числі під час зварювання, має також забезпечуватися місцевою вентиляцією.

Для перенесення і зберігання інструменту та кріпильних виробів слід користуватися інструментальними ящиками або спеціальними контейнерами.

Під час роботи на висоті забороняється кидати вниз деталі, інструменти, відходи виробництва та інші матеріали. Після закінчення роботи залишки матеріалів, інструменти, деталі, оснащення прибрати.

Особливі запобіжні заходи - при роботі з рідким азотом; доторкання до металу, охолодженого до 30°C і нижче - аналогічно опіку; у зв'язку з цим слід

					<i>КРМ.ОП135.6211м.02.05.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

застосовувати брезентові рукавиці, заливати рідкий азот без розбризкування. Азот, що залишився, злити в посудину Дюара і здати в комору.

Випробування систем трубопроводів проводити під керівництвом майстра. Підтягування кріплення під час випробувань неприпустимо.

У період підготовки до проведення випробувань судна і його механізмів особи, зараховані до здавальної команди, повинні пройти спеціальне навчання і мати допуск до експлуатації судових систем і пристроїв.

До виходу на ходові випробування проводиться інструктаж усієї здавальної команди про правила поведінки на судні.

Водовідливні та протипожежні засоби перевіряються і приводяться в стан повної готовності.

Усі робітники та інженерно-технічні працівники, зайняті на монтажі та випробуваннях судового устаткування, повинні носити захисні каски під час виконання службових обов'язків у цеху, на стапелі та на судні.

Детальніше всі правила викладено в документі «Правила техніки безпеки і протипожежної безпеки, виробничої санітарії для суднобудівних і судноремонтних заводів».

Ремонт кришки циліндрів

У зв'язку з поліпшенням конструкції кришок робочих циліндрів і переходом на сталеве лиття їхній вихід з ладу у сучасних потужних дизелів став порівняно рідкісним явищем.

Характерний дефект кришок - тріщини, що утворюються на газовій (найчастіше) і зовнішній стороні. Ці дефекти можна розділити на дві групи:

- Конструктивні та технологічні дефекти;
- експлуатаційні дефекти.

					КРМ.ОП135.6211м.02.05.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

До причин першої групи дефектів належать ливарні напруження, що з'являються через нерівномірний розподіл металу, погана якість металів, раковини та пори, неякісне термооброблення сталевого або чавунного лиття. Причинами другої групи є: нерівномірне затягування шпильок, надмірне затягування корпусів клапанів, різке переохолодження кришок, перевантаження двигуна, погане очищення кришок від накипу, розморожування двигуна в зимовий час, удари.

Під час експлуатації різниця температур днища кришки і стінки, що стикається з водою, що охолоджується, досягає 120-150°C, а іноді й вище, внаслідок чого виникають температурні напруги. Різниця температур зростає зі збільшенням кількості тепла, що проходить через стінку за одиницю часу. Кількість тепла в свою чергу залежить від режиму роботи двигуна.

Ще більш різка зміна температурних напружень спостерігається під час пусків і зупинок дизеля. Дослідження в цій царині показують, що під час пуску дизеля температура в окремих частинах кришки зростає за дві хвилини на 180 ~ 190°C, а під час зупинки приблизно з такою ж інтенсивністю падає. Центральна частина днища кришки під впливом високих температур прагне розширитися, чому перешкоджає холодніша зовнішня частина. У результаті в металі кришки виникають додаткові напруги. Ці напруження в сумі з напруженнями від тиску газів і є безпосередніми причинами виникнення тріщин і розривів циліндрових кришок.

Відкладення накипу в порожнинах охолодження кришок посилює процес їхнього нерівномірного нагріву і сприяє виникненню внутрішніх напружень.

Гідравлічні та механічні удари, які можуть вивести кришки з ладу, виникають рідко. Причина їх - наскрізні тріщини в кришках, через які просочується вода в циліндри. Під час роботи дизеля вона випаровується і йде разом із вихлопними газами. Надходження води можна виявити за зміною

					<i>KPM.OP135.6211m.02.05.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

димності вихлопних газів, падінням їхньої температури, зниженням потужності циліндра і пульсацією тиску в системі охолодження. Під час зупинки дизеля вода, що просочується, може накопичуватися в циліндрі (у двотактних двигунів у випадках, коли поршень перекриє вихлопні та продувні вікна) і під час подальшого його пуску призвести до виникнення гідравлічних ударів.

Крім перерахованих дефектів циліндрових кришок і причин їхньої появи, слід вказати ще на один важливий дефект - обгорання кришок. Знос унаслідок обгорання виявляють за допомогою шаблону, виготовленого за кресленням або знятого з необгорілого днища.

Конструктивні особливості кришок також впливають на виникнення дефектів. Відомо, що кришки допоміжних чотиритактних дизелів через складну конфігурацію і наявність всмоктувальних і випускних клапанів виходять з ладу частіше, ніж кришки двотактних дизелів через тріщини.

Дефекти в кришках дизеля Зульцер RD пов'язані з їхнім конструктивним оформленням. У центрі такої кришки встановлена чавунна клапанна вставка, яка, займаючи 1/3 площі кришки, є її центральною частиною. У вставці розташовані форсунка, пусковий і запобіжний клапани. У практиці експлуатації спостерігалися випадки утворення тріщин усередині вставки на литих поверхнях, що утворюють форсунковий стакан, на висоті 150-160 мм від нижнього денця вставки. Усі тріщини беруть початок із району кінця вертикального ребра, що з'єднує склянки пускового клапана і форсунки. Вставку охолоджують водою і тому з утворенням тріщин з'являється водоплинність у склянку форсунки, а іноді і в склянку пускового клапана.

Не менш небезпечні й надмірні зусилля, що призводять до утворення тріщин. На багатьох двигунах під гайками встановлено пакети пружинних шайб з індикацією їхнього ступеня стиснення.

					<i>КРМ.ОП135.6211м.02.05.ПЗ</i>	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Точне виконання інструкцій з догляду за арматурою, встановленою на кришці двигуна, дотримання термінів періодичних оглядів є вирішальними факторами безаварійної експлуатації циліндрових кришок.

Ремонт кришок залежить від характеру пошкодження і зносу. Тріщини на зовнішніх стінках кришки з успіхом зашпаровують у суднових умовах за допомогою стяжок або накладок, подібно до зашпаровування тріщин у блоках. Іноді такі кришки експлуатуються порівняно довго. Але все ж за сучасного рівня техніки такий ремонт треба визнати.

Для двигунів RD дуже ефективним є ремонт кришок із тріщинами термоусталості та вигорання на вогневій поверхні шляхом видалення кільцевими проточками всієї нижньої частини та встановлення на зварюванні нової литої частини (рис. 5.9). Ресурс такої кришки часто виявляється більшим, ніж у нової, завдяки відсутності дефектів з боку охолодження, які можуть мати місце в суцільнолитому варіанті.

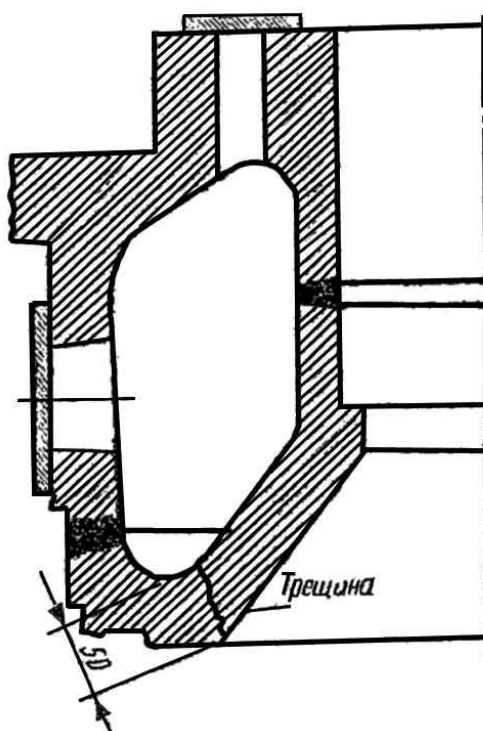


Рис. 5.9 Заміна нижньої частини кришки двигуна RD

Ресурс кришки можна також істотно збільшити, якщо під час виявлення зон термоусталості у вигляді сіток дрібних тріщин, ці зони вирубати і зашліфувати в межах допустимого потоншення стінки.

Найефективніший спосіб ремонту кришок СОД, що лопнули, - ліквідація зовнішніх і внутрішніх тріщин зварюванням. Тріщини в сталевих кришках ліквідують електрозварюванням, а в чавунних - газовим зварюванням. У тому й іншому випадку попередньо розробляють технологічний процес заварки тріщин і погоджують його з Регістром. Такий ремонт може бути виконаний якісно лише в заводських умовах. Місцеві свищі, окремі раковини, що виникають внаслідок корозії, закладають шляхом постановки пробок (гужонів) на різьбі.

Кришки дизелів фірми МАН, що складаються з двох частин: нижньої сталеві і верхньої чавунної, потребують приблизно через 30 тис. год роботи проточки посадочних концентричних поясів роз'єму. Така проточка відновлює співвідношення величин кільцевих зазорів, задане під час виготовлення кришок (рис. 5.10). Обумовлено це тим, що монтажні зусилля на фланці верхньої частини спричиняють її вигин догори, через що в центральній частині може утворитися зазор, що в разі пульсації навантаження на нижню частину веде до утворення тріщин в останній.

					<i>КРМ.ОП135.6211м.02.05.ПЗ</i>	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

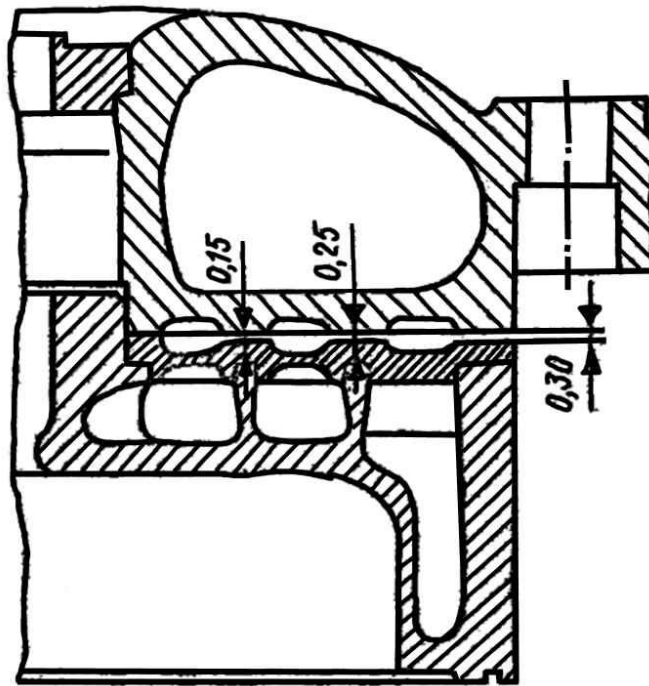


Рис. 5.10 Співвідношення зазорів у кришці двигуна MAN

Правильне обтиснення деталей кріплення є важливою передумовою для надійності в експлуатації та довговічності кришки циліндра. На початку експлуатації різьблення гайок і шпильок дещо сідає, тому необхідно проводити контрольне обтиснення їх після обкатки дизеля. Різьблення має бути ретельно розходжене і змащене сульфід-молібденом. При використанні пневматичного гайковерта для обтиснення гайок обов'язковою вимогою до нього є надійна робота обмежувача крутного моменту. Для цих цілей під гайки бажано підкладати шайби товщиною 10-15 мм із міцної сталі.

Унаслідок нерівномірного обтиснення кріплення кришки, невідповідності моменту, механічних і термічних перевантажень, а також умов експлуатації та охолодження можуть бути пропуски газів з-під посадкового бурта. У цих випадках слід негайно скинути навантаження на дизелі або на окремому циліндрі, щоб не допустити прогару посадкового бурта кришки.

Відновити поверхню посадкового бурта кришки можна притираючи його, а в разі сильного прогорання - проточуючи або фрезеруючи на верстатах.

					КРМ.ОП135.6211м.02.05.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

Для збереження камери стиснення в цьому разі необхідно компенсувати висоту кільцем із червоної міді або м'якої сталі. Під час повторного використання червономедні кільця слід відпалювати.

У тих випадках, коли використовуються м'які ущільнювальні прокладки, під час їхнього видалення слід обережати поверхні ущільнювачів від пошкоджень, для чого рекомендується їх попередньо розм'якшувати рекомендованими препаратами.

					КРМ.ОП135.6211м.02.05.ПЗ	Арк.
						93
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КРМ.ОП135.6211м.02.06.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент	Буященко М.Ю.				Розробка розташування обладнання енергетичної установки на судні	Літ.	Арк.
Керівник	Коробко В.В.						Аркушів
						94	9
						НУК	

Розділ 6. Розробка розташування обладнання енергетичної установки на судні.

Вимоги розташування обладнання в машинному відділенні.

1. Загальні вказівки

1.1. Вентиляція машинних приміщень повинна відповідати вимогам 12.5 частини VIII «Системи і трубопроводи».

1.2. Машинні відділення, у яких розташовано двопаливні двигуни, повинні бути обладнані датчиками концентрації газу та аварійно-попереджувальною сигналізацією (АПС) граничного рівня концентрації.

1.3. За всіх нормальних умов експлуатації судна вентиляція машинних приміщень повинна бути достатньою для запобігання скупченню пари нафтопродуктів.

1.4. Усі частини, що рухаються, механізмів, агрегатів, обладнання та приводів, які становлять загрозу для обслуговуючого персоналу та інших осіб, що перебувають на борту судна, повинні бути обгороджені поруччям чи кожухами. Двигуни внутрішнього згоряння, обладнані запобіжними клапанами відповідного типу для запобігання вибуху в картері, повинні бути обладнані відповідними засобами, що створюють напрям викиду через клапани, який забезпечить мінімальну імовірність травмування персоналу.

1.5. На судах повинні бути вжиті заходи для зменшення шуму до прийняттого рівня згідно положень 8.9 частини III «Пристрої, обладнання і забезпечення».

2. Розташування механізмів та обладнання

2.1. Розташування механізмів, котлів, обладнання, трубопроводів і арматури повинне забезпечувати вільний доступ до них для обслуговування і аварійного ремонту.

2.2. Відстань між котлами та паливними цистернами повинна забезпечувати вільну циркуляцію повітря, необхідного для забезпечення температури палива в цистернах нижче значення температури спалаху.

					<i>KPM.OP135.6211m.02.06.ПЗ</i>	Арк.
						95
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Якщо конструкція допоміжних котлів, установлюваних в одному приміщенні із ДВЗ, не виключає можливості викиду полум'я з топкового пристрою, вони повинні бути обгороджені металевою вигородкою у районі топкового пристрою, або повинні бути прийняті інші заходи для запобігання цього приміщення від впливу полум'я у випадку його викиду з топкового пристрою.

2.4. Допоміжні котли, що працюють на рідкому паливі та розташовані на платформах або проміжних палубах не у водонепроникних вигородках, повинні відгороджуватися непроникними для нафти комінгсами, висотою не менше ніж 200мм.

2.5. Двигуни, призначені для приводу насосів і вентиляторів приміщень насосів на нафто- наливних та комбінованих суднах, призначених для перевезення нафтопродуктів з температурою спалаху 60°C та нижче, а також на нафтозбиральних суднах, повинні встановлюватися у приміщеннях, обладнаних штучною вентиляцією, що не мають виходів у приміщення насосів.

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

2.7. Установки рідкого палива, а також гідравлічні установки, які містять горючі рідини з робочим тиском понад 1,5МПа, що не є елементами головних і допоміжних механізмів, котлів тощо, повинні бути розміщені в окремих приміщеннях, обладнаних сталевими дверима, що самі зачиняються. Якщо розміщення таких установок в окремих приміщеннях практично неможливе, повинні бути вжиті заходи щодо екранування їхніх основних елементів та збирання протікань.

2.8. Вимоги щодо розміщення аварійних дизель-генераторів викладені в 9.2 частини XI «Електричне обладнання».

					<i>KPM.OP135.6211m.02.06.ПЗ</i>	Арк.
						96
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9. На нафтозбиральних суднах двигуни внутрішнього згоряння, котли і обладнання, в якому є джерела запалення, а також пристрої забору повітря для них, повинні встановлюватися в безпечних приміщеннях або просторах.

2.10. Над двопаливними двигунами внутрішнього згоряння (ДПД) і газопаливними двигунами (ГПД) повинні розміщуватися витяжні навіси, обладнані датчиками виявлення витоків газового палива.

3. Розташування паливних цистерн

3.1 Паливні цистерни, як правило, повинні бути складовою частиною корпусних конструкцій судна і розташовуватися за межами машинних приміщень категорії А.

3.2 Якщо застосування вкладних паливних цистерн допущено Регістром, вони повинні встановлюватися на непроникних для палива піддонах, а на пасажирських суднах та на суднах спеціального призначення, на борту яких розміщено спеціальний персонал кількістю понад 60 осіб, крім того, – поза машинними приміщеннями категорії А.

3.3 Цистерни з нафтопродуктами, розташовані в машинному приміщенні, не повинні розміщуватися над механізмами і обладнанням з температурою поверхонь під ізоляцією понад 220°C, над котлами, ДВЗ, електрообладнанням та повинні бути віддалені від зазначених механізмів і обладнання наскільки це практично можливо.

3.4 Розташування цистерн палива та мастил наливних суден в районі житлових, службових та охолоджуваних приміщень допускається за умови розділення їх кофердами, або за умови прийняття інших спеціальних заходів, спрямованих на запобігання влучення палива, мастил і їхньої пари у зазначені приміщення.

4. Установлення механізмів та обладнання

4.1 Механізми і обладнання, які входять до складу механічної установки, повинні встановлюватися і закріплюватися на міцних і жорстких фундаментах.

					<i>KPM.OP135.6211m.02.06.ПЗ</i>	Арк.
						97
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Котли повинні встановлюватися на фундаментах так, щоб їхні зварні з'єднання не розташовувалися на опорах.

4.3 Для запобігання котлів від зміщення повинні бути передбачені відповідні упори і штормові кріплення; при цьому повинна бути передбачена можливість теплових подовжень корпусу котла.

4.4 Головні механізми, їхні передачі, упорні підшипники валопроводів повинні повністю або частково кріпитися до суднових фундаментів щільно підігнаними болтами. Замість таких болтів можуть застосовуватися спеціальні упори. Там, де це необхідно, щільно підігнані болти повинні застосовуватися для кріплення допоміжних механізмів до фундаментів.

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

4.6 У разі необхідності встановлення механізмів на амортизаторах, конструкція останніх повинна бути схвалена Регістром. Амортизуючі кріплення механізмів та обладнання повинні:

- зберігати властивості щодо віброізоляції в умовах використання при параметрах навколишнього середовища;
- бути стійкими до впливу агресивних середовищ, температур та різноманітних випромінювань;
- мати гнучку перемичку щодо заземлення потрібної довжини, яке відповідає вимогам техніки безпеки та запобігає виникненню радіозавод;
- виключати можливість створення перешкод роботі іншого обладнання, пристроїв та систем.

4.7 У разі установлення механізмів, механічного обладнання, суднових пристроїв та їхніх компонентів на пластмасових підкладках або їхній монтаж

					<i>KPM.OP135.6211m.02.06.ПЗ</i>	Арк.
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

із застосуванням полімерних матеріалів технологія повинна бути надана Регістру на схвалення.

4.8 Механізми з горизонтальним розташуванням валу необхідно встановлювати паралельно діаметральній площині судна. Установлення таких механізмів в іншому напрямку допустиме за умови, що їхня конструкція пристосована до роботи в умовах.

4.9 Механізми для приводу генераторів повинні встановлюватися на спільних фундаментах з генераторами.

5. Ізоляція нагрітих поверхонь

5.1. Поверхні механізмів, обладнання і трубопроводів, що нагріваються вище 220°C, на які може потрапити паливо внаслідок несправності паливної системи, повинні бути належним чином ізольовані.

5.2. Ізоляційні матеріали і покриття ізоляції повинні задовольняти вимогам 2.1.1.5 частини VI «Протипожежний захист».

5.3. Повинні бути прийняті конструктивні заходи для запобігання попаданню на гарячі поверхні будь-яких нафтопродуктів під тиском із насосів, фільтрів або підігрівачів.

6. Вихідні шляхи з машинних приміщень

6.1. Вихідні шляхи з машинних приміщень, включаючи трапи, коридори, двері і люки, повинні, якщо не вказано інше, забезпечувати безпечний вихід на палуби, де розташовані місця посадки в рятувальні шлюпки та плоти.

6.2. Усі двері, а також кришки сходових і світлових люків, через які можливий вихід із машинних приміщень, повинні відкриватися і закриватися як із середини, так і ззовні. На кришках сходових і світлових люків повинне бути нанесене відповідне маркування, а також повинний бути чіткий напис, який забороняє укладання на них будь-яких предметів. Ліфти не повинні розглядатися як вихідні шляхи.

					KPM.OP135.6211m.02.06.ПЗ	Арк.
						99
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

6.4. Ширина трапів на вихідних шляхах і ширина дверей у виходах повинні бути не менше 600 мм. На суднах валовою місткістю менше 1000 ширина трапів може бути зменшена до 500мм.

6.5. Кожне машинне приміщення пасажирського судна, яке розташоване нижче палуби перегородок, повинне мати не менше двох вихідних шляхів.

6.6. Вихідні шляхи із машинних приміщень пасажирських суден, розташованих вище палуби перегородок, повинні мати два засоби (шляхи) виходу назовні, які рознесені якомога далі один від одного, а двері (люки) цих вихідних шляхів повинні бути розташовані у таких місцях, щоб забезпечувати виконання вимог 6.1. Якщо такі вихідні шляхи вимагають використання трапів, останні повинні бути виконані зі сталі.

6.7. На пасажирських суднах валовою місткістю менше 1000 за погодженням із Регістром допустима наявність одного вихідного шляху із приміщень.

6.8. Із приміщення рульового приводу пасажирського судна повинний бути передбачений другий вихідний шлях, якщо там розташований аварійний пост керування рульовим пристроєм і воно не має безпосереднього виходу на відкриту палубу.

6.9. На пасажирських суднах повинно бути передбачено два вихідних шляхи з ЦПК і майстерні, які вигороджені у середині машинного приміщення. При цьому принаймні один із них повинний мати вогнестійкий захист на всій довжині до безпечного місця поза машинним приміщенням.

6.10. Кожне машинне приміщення категорії А вантажного судна повинне мати не менше двох вихідних шляхів.

6.11. На риболовецьких суднах допускається наявність одного вихідного шляху з машинних приміщень категорії А за умови, що він забезпечує безпосередній вихід на відкриту палубу, приміщення відвідується періодично

					<i>КРМ.ОП135.6211м.02.06.ПЗ</i>	Арк.
						100
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і максимальна відстань до вихідних дверей (люка) від постів керування обладнанням, що знаходяться в приміщенні, не перевищує 5м.

6.12. Кожне машинне приміщення, яке не є приміщенням категорії А, повинне мати не менше двох вихідних шляхів, за винятком приміщень, що відвідуються епізодично, і приміщень, де максимальна відстань до вихідних дверей (люка) не перевищує 5м.

6.13. В доповнення до вимог 6.12, приміщення рульового приводу вантажного судна повинне відповідати наступним вимогам:

- із приміщення рульового приводу вантажного судна, якщо там відсутній аварійний пост керування рульовим пристроєм, може бути допущений один вихідний шлях;
- із приміщення рульового приводу вантажного судна, якщо там розташований аварійний пост керування рульовим пристроєм, може бути допущений один вихідний шлях за умови, якщо він забезпечує безпосередній вихід на відкриту палубу.

6.14. Виходи із тунелів, призначених для валопроводів і трубопроводів, повинні знаходитися у водонепроникних шахтах, виведених вище палуби перегорожок або найвищої ватерлінії.

6.15. На нафтоналивних і комбінованих суднах один із вихідних шляхів із тунелів трубопроводів, розташованих під вантажними танками, може вести в приміщення вантажних насосів. Вихід у машинні приміщення не допускається.

6.16. Двері і кришки люків приміщень вантажних насосів на нафтоналивних суднах повинні відкриватися і закриватися як зсередини, так і ззовні, а їхня конструкція повинна виключати можливість іскроутворення.

6.17. Виходи із приміщень вантажних насосів повинні вести безпосередньо на відкриту палубу. Виходи в інші машинні приміщення не допускаються.

					<i>КРМ.ОП135.6211м.02.06.ПЗ</i>	Арк.
						101
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.18. Якщо два суміжні машинні приміщення сполучуються за допомогою дверей, і кожне з цих приміщень має тільки по одному вихідному шляху через шахту, ці шляхи повинні бути розташовані на обох бортах.

					<i>КРМ.ОП135.6211м.02.06.ПЗ</i>	Арк.
						102
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КРМ.ОП135.6211м.02.07.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент	Буяшенко М.Ю.				Техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень та розробка рекомендацій з їх подальшого використання на судні	Літ.	Арк.
Керівник	Коробко В.В.						Аркушів
							103
							6
						НУК	

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

7.1 Розробка рекомендацій з впровадження результатів роботи.

Для успішного впровадження результатів проекту, а саме встановлення роторних вітрил, системи контролю напружень корпусу (Hull Stress Monitoring) та підшипників із функцією «Talking Bearing», пропонується наступний комплекс рекомендацій:

1. Встановлення роторних вітрил:

- Провести детальне технічне обґрунтування оптимального розміщення роторних вітрил на палубі судна з урахуванням конструктивних особливостей і характеристик аеродинаміки.
- Забезпечити кваліфікований монтаж із застосуванням сертифікованого обладнання та дотриманням стандартів безпеки.
- Впровадити навчання екіпажу щодо ефективного керування та обслуговування роторних вітрил для максимального використання потенціалу економії палива.

2. Впровадження системи Hull Stress Monitoring:

- Інтегрувати систему датчиків у критичних зонах корпусу для постійного моніторингу напружень і деформацій.
- Забезпечити автоматизований збір і аналіз даних у реальному часі з можливістю попередження про перевищення допустимих меж навантажень.
- Розробити план регулярного технічного обслуговування та калібрування системи для підтримки її точності та надійності.

3. Використання підшипників «Talking Bearing»:

					<i>KPM.OP135.6211m.02.07.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

- Встановити підшипники із вбудованими датчиками, що дозволяють здійснювати моніторинг їх стану в режимі реального часу.
- Організувати збір та аналіз інформації про температуру, вібрації та знос підшипників для своєчасного виявлення потенційних несправностей.
- Впровадити систему прогностного технічного обслуговування на основі отриманих даних для зниження ризику аварійних ситуацій і продовження ресурсу обладнання.

4. Загальні рекомендації:

- Провести комплексні випробування та тестування інтегрованих систем після монтажу для підтвердження їх ефективності та сумісності.
- Розробити інструкції з експлуатації та технічного обслуговування нових систем, а також провести навчальні семінари для персоналу судна.
- Забезпечити постійний моніторинг та аналіз ефективності впроваджених рішень із метою подальшого вдосконалення.

Впровадження зазначених технічних нововведень дозволить підвищити енергоефективність судна, зменшити експлуатаційні витрати, а також покращити контроль за технічним станом конструкцій та обладнання, що в цілому сприятиме підвищенню безпеки та надійності судноплавства.

7.2 Розрахунок показника EEDI для модернізованого судна.

Визначення EEDI для судна з МОД з пропульсивною потужністю більше 10 МВт

Приклад розрахунку:

Тип судна – танкер Fujisan Maru;

Рік побудови – 2020;

Дедвейт – 312 499 т

					KPM.OP135.6211m.02.07.ПЗ	Арк.
						105
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Льодовий клас – відсутній;

Швидкість, V_{ref} – 15 вузлів;

Номінальна потужність головного двигуна, MCR_{ME} – 24700 кВт;

Кількість головних двигунів, i – 1;

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 – МГО;

Коефіцієнт кореляції між витратою палива і CO_2 для ДГ, C_{FAE} – 3,206;

Питома ефективна витрата палива на ДГ, SFC_{AE} – 192 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:

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

$$P_{ME(i)} = 0,75 \cdot MCR_{ME} = 0,75 \cdot 24700 = 18525 \text{ кВт};$$

Після впровадження нового ГД та ГФК

$$P_{ME(i)} = 0,75 \cdot MCR_{ME} = 0,75 \cdot (24700 - 924) = 17832 \text{ кВт};$$

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

$$P_{AE} = (0,025 \cdot MCR_{ME}) + 250 = 0,025 \cdot 24700 + 250 = 867,5 \text{ кВт};$$

					КРМ.ОП135.6211м.02.07.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

Визначимо коефіцієнт енергетичної ефективності за формулою:

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

$$EEDI = \frac{(18525 \cdot 3,114 \cdot 173,4) + (867 \cdot 3,206 \cdot 192)}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 312499 \cdot 15 \cdot 1} = 2,10 \text{ г CO}_2/(\text{т} \cdot \text{милю}).$$

Після впровадження нового ГД та ГФК

$$\frac{(17832 \cdot 3,114 \cdot 163,2) + (867 \cdot 3,206 \cdot 192)}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 312499 \cdot 15 \cdot 1} = 2,05$$

Судно 2020 р. побудови підпадає під дію Етапу 2, на якому передбачається зниження викидів CO₂ на 20% від нормативного, тобто понижуючий коефіцієнт дорівнює 0,8.

Нормативне значення EEDI для танкерів:

$$\text{Етап 2: } EEDI_{HI} = 0,8 \cdot a \cdot b^{-c} = 0,8 \cdot 1218,8 \cdot 312499^{-0,488} = 2,03 \text{ г CO}_2/(\text{т} \cdot \text{милю}).$$

Для судна, що розглядається, розрахункове значення EEDI не співпадає з нормативним тобто потрібно буде впровадження додаткових технологій зниження викидів CO₂, або зниження питомої витрати пального.

Інноваційні технології зниження витрат палива при використанні роторних вітрил;

Потужність вітрильного роторного паруса, P_{RP} – 115 кВт.

Коефіцієнт, що враховує використання цього додаткового елементу, $f_{eff(i)}$ – 8 (протягом всього рейсу). Зниження потужності ДГ у разі використання інноваційних технологій визначаємо як:

$$\sum P_{AE_{eff}(i)} = 0,75 \sum_{i=1}^{n_{UT}} P_{UT(i)}$$

$$0,75 \cdot 8 \cdot 115 = 690 \text{ кВт}$$

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

					КРМ.ОП135.6211м.02.07.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

Визначимо коефіцієнт енергетичної ефективності за формулою, наведеною в Розділі 3:

При використанні тільки роторних вітрил

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*) - \left(\sum_{i=1}^{nAE} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff}(i)} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

$$\frac{(18525 \cdot 3,114 \cdot 173,4) + (867 \cdot 3,206 \cdot 192) - (8 \cdot 115 \cdot 3,206 \cdot 192)}{11 \cdot 1 \cdot 312499 \cdot 16 \cdot 1}$$

$$EEDI = 1,18 \text{ г CO}_2/(\text{т} \cdot \text{милю})$$

При використанні усього комплексу змін ГД-ГФК-втрила

$$\frac{(17832 \cdot 3,114 \cdot 162) + (867 \cdot 3,206 \cdot 192) - (8 \cdot 115 \cdot 3,206 \cdot 192)}{11 \cdot 1 \cdot 312499 \cdot 15 \cdot 1}$$

$$EEDI = 1,75 \text{ г CO}_2/(\text{т} \cdot \text{милю})$$

Висновок: Завдяки тому що я впровадив у судно роторні паруси у мене вийшло значення EEDI яке не перевищує нормативне значення EEDI.

Оцінка ефективність впровадження ESD заходів по критерію EEDI

Судно прототип	Модернізоване судно
EEDI_{old}=2,10	EEDI_{new}=1,75

Висновки

1. Запропоновано під час модернізації пропульсивного комплексу танкера VLCC «FUJISAN MARU»: змінити головний двигун на 7G80ME-C10.7 Tier III; використати ГФК з насадкою з вуглепластику, а при можливості і самого гвинта при підтвердженні надійної роботи таких рушіїв діаметром 7м.

2. Виконано дослідження можливості застосування роторних вітрил на цьому судні, що перетворюють енергію потоку повітря у електричну енергію. Під час розгляду враховувалось не тільки особливості судна, рейсів з Об'єднаних Арабських Еміратів до Японії. Так використання вітрил Апемої в кількості 8 штук на палубі діаметром 5 м та заввишки 35 м дозволяють отримати електричну потужність до 1144 кВт.

3. Застосування лише нового головного двигуна та гвинта фіксованого кроку з насадкою з вуглепластику дозволяють виконати умови 2020 року по EEDI – 2,03, а використанні тільки роторних вітрил - до 1,96, при застосуванні усіх разом заходів – 1,88

4. Використання звільненої потужності ГД пропонується для отримання додаткової електричної енергії у валогенератору з її накопиченням з використанням системами моніторингу від фірми Taiyo Electric Co., Ltd.

					КРМ.ОП135.6211м.02.В.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

Список використаних літературних джерел.

1. <https://www.imo.org/>
2. Significant Ship 2020
3. <https://ua.kuehne-nagel.com/uk/-/znannya/morski-perevezennya/normi-solas-vgm>
4. https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/marine-engine-programme-20205656db69fafa42b991f030191bb3bbb4.pdf?sfvrsn=9cac9964_42
5. https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/printed/G80ME-C9_5.pdf
6. <https://www.namura.co.jp/en/index.html>
7. https://www.nakashima.co.jp/eng/product/eco_cap.html
8. <https://anemoimarine.com/rotor-sail-technology/>
9. <https://flettner.lr.org/>
10. <https://www.biofuels.co.jp/waste-heat-recovery-system.pdf>
11. <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/ceas-engine-calculations>
12. https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/printed/G80ME-C10_5.pdf
13. Димо Б.В. Практикум з тепломасообміну: Навчальний посібник [Текст]. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 136 с
14. https://www.dhtd.co.jp/en/products/co_generation/diesel.html
15. https://www.dhtd.co.jp/en/products/assets/catalog/pdf_co_generation_en/book.pdf
16. Артемов Г.А., системы СЕУ
17. <https://www.alfalaval.com/products/process-solutions/fresh-water-generation/single-stage-fresh-water-generator/aqua-single-stage-freshwater-generator/>
18. <https://www.alfalaval.pl/produkty/rozwiazania-procesowe/przygotowanie-wody-sodkiej/generator-wody-slodkiej/jwp/>

					КРМ.ОП135.6211м.02.Л.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

19. https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/special_pg/PG_7020-0145.pdf
20. Артёмов Г.А. Системы судовых энергетических установок: учебное пособие/Г.А. Артёмов, В.П. Волошин, А.Я. Шквар, В.П. Шостак. - Л.: Судостроение, 1990. – 376 с]
21. <https://www.dhtd.co.jp/en/products/marine.html>
22. <https://www.lightstructures.com/solutions-and-systems/hull-stress-monitoring-system/>
23. https://ebook.hitachi-ies.co.jp/sm-e273/book/#target/page_no=13
24. https://www.ntnglobal.com/en/news/new_products/news202200044.html
25. Эксплуатация, обслуживание и ремонт двигателей MAN B&W-ME: Учебное пособие / Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А.; ин-т последипломного образования «Одесский морской тренажерный центр». — Одесса: ТЭС, 2014. — 325 с.
26. РД 31.81.10-91 Правила техники безопасности на судах морского флота.
27. Обслуживание и ремонт судовых дизелей. Курс лекций для студентов специальности “Эксплуатация СЭУ”. 6-е изд., перераб. и доп. / Н.В.Шерстнев. Под ред. Е.Ф.Носова. — Севастополь: СевНТУ, 2010. — 351с.
28. MAN Diesel (volume maintenance) / Cylinder Cover.\
29. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден. Том 3 - 228с.
30. <https://www.dalgakiran.com/EN/download/FOY%20DK%20ING%20DKK.pdf>.
31. <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/more-commercial-ships-utilize-wind-technologies-to-cut-emissions/>
32. <https://airseas.com/en/seawing-system>

Additional particulars

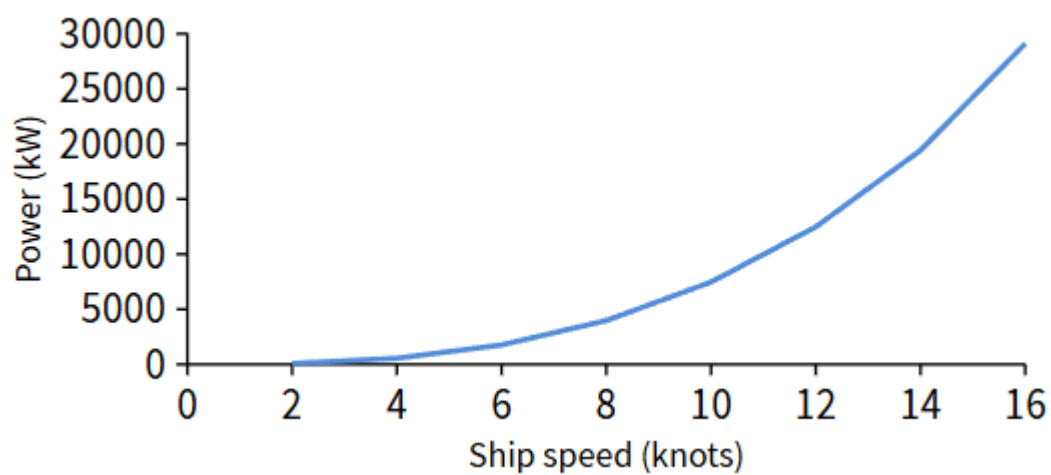
Wetted surface area	$S \text{ (m}^2\text{)}$	23908,767109136912	(18247-36494)
Half waterline entrance angle	$i_E \text{ (}^\circ\text{)}$	38,34465677265955	(20-90)

Main particulars

Length over all	$L_{OA} \text{ (m)}$	338,92	(80-350)
Length between perpendiculars	$L_{PP} \text{ (m)}$	305	(294.3-320.5)
Waterline length	$L_{WL} \text{ (m)}$	338,9	(298.8-332)
Beam	$B \text{ (m)}$	60	(34.9-85.1)
Scantling draught	$T_{scant} \text{ (m)}$	15	(9.7-29)
Ballast draught	$T_{ballast} \text{ (m)}$	5	(4.85-22.1)
Depth/top deck height	$D \text{ (m)}$	28,5	(26.5-55.3)
Block coefficient	$C_b \text{ (-)}$	0,8	(0.65-0.9)
Maximum ship speed	$V_{max} \text{ (knots)}$	15	(10-30)
Total installed propulsion power	$P_{ME} \text{ total (kW)}$	24700	(4000-100000)
Propeller diameter	$D_{prop} \text{ (m)}$	7	(11-19.89)
Number of propeller shafts	$N_{shaft} \text{ (-)}$	1	(1-2)

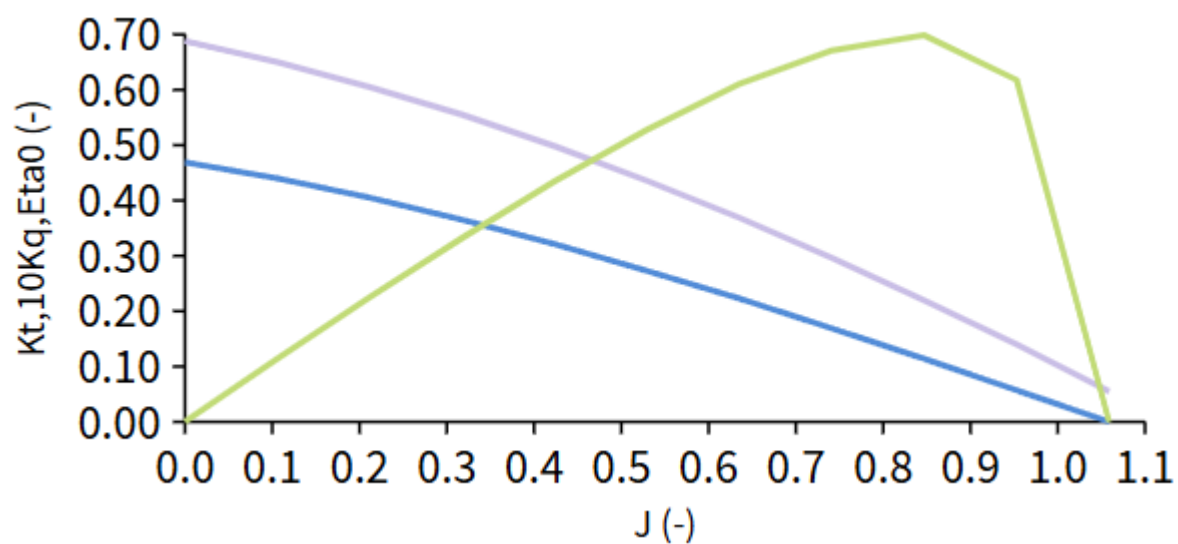
Powering

#	V_s (knots)	P_s (kW)	w (-)	t (-)	η_R (-)
1	2	78	0.578	0.272	1.01
2	4	562	0.551	0.272	1.01
3	6	1778	0.537	0.272	1.01
4	8	4010	0.528	0.272	1.01
5	10	7540	0.521	0.272	1.01
6	12	12593	0.516	0.272	1.01
7	14	19595	0.512	0.272	1.01
8	16	29367	0.509	0.272	1.01



Propeller

#	$J (-)$	$K_t (-)$	$K_q (-)$	$\eta_0 (-)$
1	0	0.469	0.0688	0.00
2	0.106	0.44	0.065	0.11
3	0.212	0.405	0.0605	0.23
4	0.318	0.365	0.0555	0.33
5	0.424	0.321	0.0498	0.43
6	0.529	0.273	0.0436	0.53
7	0.635	0.223	0.0369	0.61
8	0.741	0.169	0.0297	0.67
9	0.847	0.114	0.022	0.70
10	0.953	0.057	0.014	0.62
11	1.059	0	0.0055	0.00



Fuel consumption

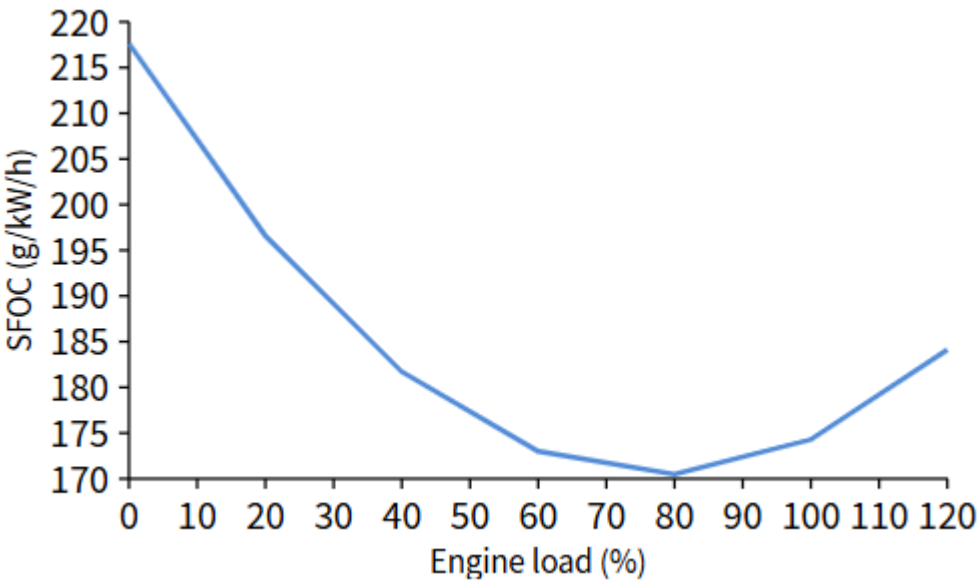
#	Load (%)	SFOC (g/kWh)
1	0	217.6
2	20	196.6
3	40	181.7
4	60	173.0
5	80	170.5
6	100	174.3
7	120	184.1

Auxiliary engine SFOC

SFOC_{aux}
(g/kWh)

200

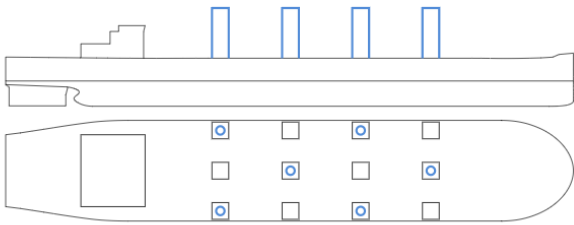
(170-250)



Rotor size selection (diameter x height)

2x8	2x10	2x12	2x14
2.5x10	2.5x12.5	2.5x15	2.5x17.5
3x12	3x15	3x18	3x21
3.5x14	3.5x17.5	3.5x21	3.5x24.5
4x16	4x20	4x24	4x28

Rotor position selection



Loading condition:

Ballast T: 6.0 m	Heavy ballast T: 8.1 m	Loaded T: 10.5 m	Scantling T: 12.6 m
---------------------	---------------------------	---------------------	------------------------

V_s (knots)

15

8

16

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.ОП135.6211м.02.Д.ПЗ

Арк.

115