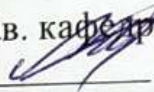


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та
теплоенергетики

"Допущений до захисту"

В.О. зав. кафедрою, доцент
 Б.М. Личко

"__" ____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Модернізація енергетичної установки балкера MP KAMSARMAX 1
згідно до діючих вимог ІМО

Modernization of the power plant of the MP KAMSARMAX 1 bulk carrier in
accordance with the current IMO

Виконав: студент групи 6211м

 Гнатуша Д.Є.

Керівник роботи:
доктор техн. наук, доцент

 Коробко В.В.

Миколаїв 2024

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра Експлуатації суднових енергетичних установок та Теплоенергетики
Програма підготовки магістрів 13 «Механічна інженерія», спеціальність 135
«Суднобудування», освітня програма «Суднові енергетичні установки та устаткування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. зав. кафедрою, доцент

Б.М. Личко

“ ” 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

Гнатуша Даниїл Євгенійович

1. Тема: Модернізація енергетичної установки балкера МР KAMSARMAX 1
згідно до діючих вимог ІМО.

Керівник проекту Коробко В.В. д.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом НУК від " " 2024 року №

2. Строк подання студентом проекту " " 20 24 року.

3. Вихідні дані до проекту

Дата видачі завдання 01.12.2024

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Анотація (державною та англійською мовами).

Зміст

Вступ.

- Аналіз характеристик базового судна та його ЕУ, на відповідність діючим вимогам ІМО. Обґрунтування шляхів модернізації.*
- Вибір і обґрунтування основних проектних рішень.*
- Розробка теплової схеми СЕУ. Проектування енергетичних комплексів.*
- Визначення основних параметрів систем СЕУ. Проектування та комплектація системи EGC та EGR.*
- Розробка системи заходів для забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ.*
- Розробка розташування енергетичного обладнання на судні.*
- Технологічна розробка монтажу комбінованого котла.*

Висновки.

Список використаних джерел інформації.

Додатки.

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.

5. Доповідь здійснюється у вигляді слайд - презентації.

6. 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). Презентація доповіді, містить титульний лист з підписами, анотацію, графічні матеріали, висновки.

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

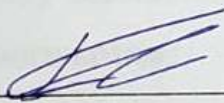
Перелік графічного матеріалу

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (на розсуд керівника ДП)	Аркуші, формат А4
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	1-2
6	Плакати додаються в разі необхідності (кольорові або ч/б)	1-3

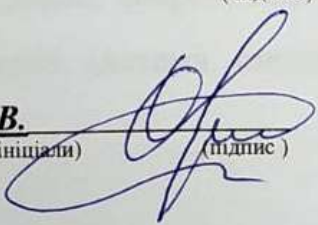
Консультанти розділів проекту.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	"Завдання видав"		"Завдання прийняв"	
		Підпис	Дата	Підпис	Дата

Студент

Гнатуша Д.Є. (прізвище та ініціали)  (підпис)

Керівник проекту

Коробко В.В. (прізвище та ініціали)  (підпис)

Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.

Анотація

В кваліфікаційній магістерській роботі «Модернізація енергетичної установки балкера МР KAMSARMAX 1 згідно до діючих вимог ІМО» виконано розробка проекту модернізації енергетичної установки судна з метою підвищення її експлуатаційних характеристик та зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря до рівня вимог ІМО.

У якості головного двигуна було обрано MAN B&W 6S60ME-C10.5, потужністю 10450 кВт при частоті обертання 96 об/хв. Розроблена теплова схема та схема утилізації скидної теплоти в СЕУ.

Виконано розрахунок та підібрано обладнання для допоміжної енергетичної установки. Для задоволення вимог ІМО щодо зменшення викидів SO_x та NO_x у відпрацьованих газах виконано розробку комбінованої системи EGR та EGC для застосування на даному судні.

Для підвищення надійності експлуатації обладнання СЕУ на балкері застосовані: система моніторингу напруги корпусу судна Totem Plus Hull Stress Monitoring та система контролю стану зносу підшипників фірми Kongsberg. Розглянуто технологію монтажу комбінованого котла.

Ключові слова: балкер, суднова енергетична установка, теплова схема, пропульсивний комплекс, скруберна система, система рециркуляції відхідних газів.

Кваліфікаційна магістерська робота викладена на 91 сторінках, мстить 50 рисунка та 12 таблиць. Список використаної літератури становить 21 джерел.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

ANNOTATION

In this master's thesis "Modernization of the power plant of the MP KAMSARMAX 1 bulk carrier in accordance with the current IMO requirements" the project of modernization of the power plant was developed in order to increase its operational characteristics and reduce emissions of pollutants into the atmospheric air to the level of IMO requirements.

A MAN B&W 6S60ME-C10.5 with a capacity of 10450 kW at a rotation frequency of 96 rpm was chosen as the main engine. A thermal scheme and a waste heat utilization scheme in SEU have been developed.

The calculation was made and the equipment for the auxiliary power plant was selected. To meet the requirements of the IMO regarding the reduction of SO_x and NO_x emissions in exhaust gases, a combined EGR and EGC system was developed for use on this vessel.

To increase the reliability of the SEU equipment operation, the Totem Plus Hull Stress Monitoring system and the Kongsberg bearing wear control system are used on the bulk carrier. The technology of installation of a combined boiler is considered.

Key words: bulker, ship's power plant, thermal scheme, propulsive complex, scrubber system, exhaust gas recirculation system.

The master's thesis is presented on 91 pages, contains 50 figures and 12 tables. The list of used literature is 21 sources.

					КР.135.6211М.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
Розділ 1. Аналіз характеристик базового судна та його еу, на відповідність діючим вимогам ІМО. Обґрунтування шляхів модернізації.....	10
1.1. Загальна характеристика та призначення судна.....	10
1.2. Район експлуатації судна.....	14
1.3. Обґрунтування необхідності модернізації СЕУ виходячи з вимог ІМО, SOLAS-74, MARPOL 73/78.....	15
Розділ 2. Вибір і обґрунтування основних проектних рішень.....	22
2.1. Аналіз параметрів ЕУ базового судна. Специфічні вимоги, щодо пропульсивного комплексу балкера.....	22
2.2. Обґрунтування вибору головного двигуна.....	24
2.3. Вибір типу та схеми передачі потужності. Розрахунок елементів суднового валопроводу.....	31
2.4. Система змащення та охолодження дейдвудного пристрою.....	34
Розділ 3. Розробка теплової схеми СЕУ. Проектування енергетичних комплексів.....	38
3.1. Розробка та розрахунок теплової схеми та схеми утилізації скидної теплоти.....	38
3.2. Вибір обладнання суднової електростанції.....	42
3.3. Вибір обладнання допоміжної котельної установки.....	46
3.4. Вибір іншого комплектуючого обладнання СЕУ.....	52
3.4.1. Опріснювальна установка.....	52
3.4.2. Системи очищення баластної води.....	53
3.4.3. Інсинератори.....	55
Розділ 4. Визначення основних параметрів систем СЕУ. Проектування та комплектація системи EGC та EGR.....	58
4.1. Розробка принципової схеми комбінованої системи EGR та EGC...	58

4.2. Розрахунки скрубберної системи.....	61
4.3. Вибір комплектуючого обладнання комбінована системи EGR та EGC.....	63
4.4. Визначення запасів робочих речовин.....	68
4.5. Система циркуляційного змащення двигуна.....	69
Розділ 5. Розробка системи заходів для забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ.....	73
5.1. Система моніторингу напруги корпусу судна.....	73
5.2. Контроль стану зносу підшипників.....	79
Розділ 6. Розробка розташування енергетичного обладнання на судні.....	83
6.1. Вимоги до розміщення обладнання в МКВ судна.....	83
6.2. Розміщення обладнання СЕУ в МВ балкера.....	86
Розділ 7. Технологічна розробка монтажу комбінованого котла.....	89
7.1. Конструктивна характеристика комбінованого котла.....	89
7.2. Обґрунтування прийнятого методу монтажу комбінованого котла.....	89
7.3. Інструмент, пристосування, обладнання та прилади.....	90
7.4. Технічні вимоги до монтажу комбінованого котла.....	93
7.5. Техніка безпеки при монтажі комбінованого котла.....	94
7.6. Операційна карта монтажу комбінованого котла.....	95
ВИСНОВОК.....	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	99

Вступ

Метою даної магістерської роботи є аналіз експлуатаційних характеристик існуючої СЕУ балкера МР Kamsarmax 1 та визначення шляхів її модернізації.

Балкери складають понад 40% загального світового флоту, що працює сьогодні. Цей важливий транспортний сегмент продовжує зростати разом зі збільшенням обсягів світового ринку та переміщення товарів.

Але зараз судновласники стикаються зі зростаючими вимогами ІМО щодо надійності, ефективності та екологічності експлуатації балкерів. Сучасні балкери мають бути адаптовані до нових вимог ІМО щодо обладнання судна та зменшення викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

Балкери потребують економічно ефективних рухових систем з низькими початковими витратами, щоб зробити їх діяльність прибутковою. Оскільки вони часто плавають у екологічно чутливих районах, їх двигуни повинні відповідати суворим обмеженням щодо викидів NO_x, SO_x та твердих частинок. З більш жорсткими обмеженнями ІМО ключовим є пошук високоефективних суднових енергетичних систем з низькою витратою палива.

Ця робота щодо модернізації СЕУ балкера МР KAMSARMAX 1 спрямована на підвищення ефективності його експлуатаційних характеристик та виконання вимог ІМО щодо викидів NO_x, SO_x та твердих частинок.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

1. АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК БАЗОВОГО СУДНА ТА ЙОГО ЕУ, НА ВІДПОВІДНІСТЬ ДІЮЧИМ ВИМОГАМ ІМО. ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ

1.1. Загальна характеристика та призначення судна

Балкер MP Kamsarmax 1 (ІМО 9780158) побудовано у 2017 року, судновласник – M Palloni Shipping Pvt Ltd. Він експлуатується під прапором Сінгапуру. Загальний вигляд балкера представлено на рисунку 1.1.

Балкер це спеціалізоване судно, яке призначене для перевезення вантажів насипом (навалом), такі як: руда, вугіль, зерно, цемент та ін. Балкер це різновид суховантажу. Сьогодні балкери складають 40 % світового торгівельного флоту. Їх розміри від мінібалкерів-однотрюмників до рудовозів дедвейтом більше ніж 360000 т. Вони відрізняються за способом завантаження/вивантаження та зберігання вантажу: одні залежать від берегових кранів та портових споруд, інші мають власні крани та системи завантаження/вивантаження. Абсолютно більшість балкерів на сьогоднішній день будується в південно-східній Азії.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд балкера MP KAMSARMAX 1

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

Балкер МР KAMSARMAX 1 було побудовано суднобудівною компанією Jiangsu New YZJ в Китаї, він має дедвейт 81910т, замовник – M Palloni Shipping Pvt Ltd, Сінгапур. Судно було розроблено проектним бюро CSMarine 82K з ціллю вдосконалення класу балкерів Kamsarmax. Вантажні трюми мають місткість 97840 м³, цистерни водяного баласту – місткість 23000 м³. Вантажні зони складаються з семи вантажних трюмів з баластом та подвійним дном, танки з паливом знаходяться у машинному відділенні. Трюм №4 може використовуватися як цистерна водяного баласта при несприятливих погодних умовах.

Судно має пропульсивну установку з прямою передачею потужності на шести лопатний гвинт фіксованого кроку, його запроектовано з урахуванням зменшення кавітації. На судні встановлено один головний двигун фірми MAN B&W 6S60MC-C потужністю 10450 кВт при 96 об/хв⁻¹, що забезпечує експлуатаційну швидкість 14,92 вузла. Також на судні встановлено три дизель-генератора Yanmar 6EY18ALW, кожен з яких має потужність 660 кВт при 900 об / хв⁻¹.

Об'єм запасів палива 2500 м³, що забезпечує дальність плавання 20000 морських миль при швидкості 14,5 вузла з урахуванням трьох резервних доби. Судно має шестиярусну рубку. Згідно вимог правил СОЛАС передбачено розміщення на судні до 24 чоловік не враховуючи каюти членів екіпажу.

Основні технічні характеристики судна МР KAMSARMAX 1 наступні [1]:

- довжина найбільша, м – 229,00;
- довжина між перпендикулярами, м – 223,00;
- ширина судна, м – 32,26;
- висота борту, м – 27,30;
- осадка (по вантажну ватерлінію) – 20,2;
- водотоннажність, т – 81434;
- специфікаційна швидкість ходу, вуз – 14,92;
- ширина подвійної обшивки: борти, м – 1,5;
дно, м – 1,75;

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

- добові витрати палива – головний двигун ,т/доба – 37,5;
– допоміжне обладнання, т/доба – 3,1.

Машинне відділення розташоване в кормовій частині корпусу судна.

В якості рушія використовується один гвинт фіксованого кроку з 6 лопатями. Діаметр гвинта 7100 мм. Гвинт виготовлений зі сплаву нікель-алюмінія-бронзи. Оскільки використовується пряма передача, то частота обертання гвинта 96 хв^{-1} , як і у двигуна. Основні дані щодо головного двигуна наведені у таблиці 1.1, а дизель-генераторів у таблиці 1.2.

На рисунку 1.2 зображено поздовжній та поперечний переріз судна MP KAMSARMAX 1 з основними розмірами [1].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики головного двигуна

Марка	MAN B&W 6S60MC-C
Потужність, кВт:	10450
Частота обертання валу, хв^{-1}	96
Питома витрата палива, г/(кВт·год)	177,0
Тип передачі на гребний гвинт	Пряма
Тип палива	HFO, MOO, MGO

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики допоміжних дизель-генераторів

Марка	6EY18ALW фірми Yanmar Co
Кількість циліндрів	$i = 6$
Електрична потужність	750 кВт
Питома витрата палива	185 г / (кВт × год)
Отвір циліндру	180 мм
Хід поршня	280 мм
Швидкість	900 об / хв
Середній ефективний тиск	24 бар
Швидкість поршня	10,7 м / с
Маса	12100 кг

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

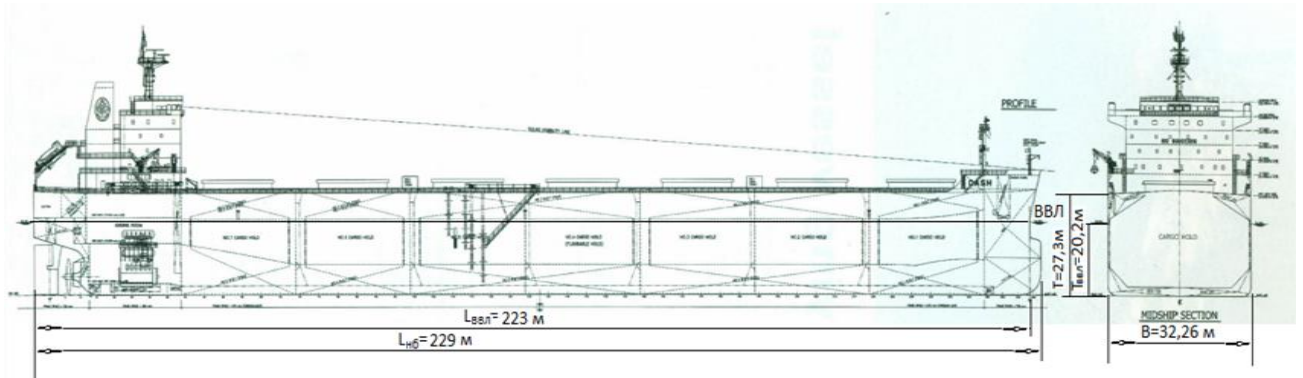


Рис. 1.2 – Поздовжній та поперечний переріз судна “MP KAMSARMAX 1” з головними розмірами, в м:

ВВЛ – вантажна ватерлінія; $L_{нб}$, $L_{ВВЛ}$ – довжина найбільша, довжина ватерлінії;
 B – ширина судна; T , $T_{ВВЛ}$ – висота борту, висота ватерлінії.

1.2 Район експлуатації судна

Балкери поділяються на наступні основні класи: Seawaymax, Kamsarmax, Setouchmax, Dunkirkmax, Newcastlemax, Malaccamax.

Як правило до назви класу балкера входить повна або часткова назва каналу, міста, порту, моря, протоки які обмежують розміри судна. При проектуванні судна враховуються глибини проток, каналів, прибережних зон і внутрішніх морів, габарити шлюзів і розміри причалів, де судно планується експлуатувати.

Seawaymax – це балкери які мають максимально можливі габарити для проходу через шлюзи каналу Святого Лаврентія (St. Lawrence Seaway), що з'єднує Великі озера Північної Америки з Атлантичним океаном. Максимальна довжина корпусу судна становить 226 метрів.

Kamsarmax – це балкери які здатні заходити в порт Камсар (Kamsar) в республіці Гвінея, вони трохи крупніше класу Панамакс (Panamax). Їх довжина дорівнює 229 метрам, що відповідає довжині рудонавалочних і нафтоналивних терміналів цього порту.

Setouchmax – ці балкери відносяться до найбільшого за розміром типу, який може ходити у Внутрішньому Японському морі (more Setouch), вони мають дедвейт 203 тисячі тонн.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

Dunkirkmax – ці балкери відносяться до найбільшого за розміром типу, який може приймати порт Дюнкерк у Франції, вони мають вантажопідйомність в 175 тисяч тонн дедвейту і довжину 289 метрів.

Newcastlemax – ці балкери відносяться до найбільшого за розміром типу, який в змозі увійти в порт Ньюкасл (Австралія), вони мають вантажопідйомність в 185 тисяч тонн дедвейту, максимальну ширину 50 метрів, довжину 300 метрів.

Malaccamax – ці балкери відносяться до найбільшого за розміром типу, який може проходити через Малаккську протоку (Strait of Malacca) глибиною 25 метрів. У відповідності з поточними допустимими межами Malaccamax може мати максимальну довжину в 400 метрів, ширину – 59 метрів і осадку – 14.5 метрів.

1.3. Обґрунтування необхідності модернізації СЕУ виходячи з вимог ІМО, SOLAS-74, MARPOL 73/78

Викиди шкідливих речовин від згоряння суднового палива обмежені з огляду на захист атмосфери та правила Міжнародної морської організації (ІМО) [11].

Міжнародна конвенція по запобіганню забруднення з суден (МАРПОЛ 73/78) – міжнародна конвенція, яка передбачає комплекс заходів щодо запобігання експлуатаційного та аварійного забруднення моря із суден нафтою; рідкими речовинами, які перевозяться наливом; шкідливими речовинами, які перевозяться в упаковці; стічними водами; сміттям; а також забруднення повітряного середовища з суден.

Вимоги ІМО Додатку VI Конвенції Марпол були визначені з часом набуття чинності. Перший рівень почав діяти у 2000 році, другий – у 2011 році, третій – діє з 2016 року. У випадку NO_x – між першим і другим рівнем викиди були обмежені на 20%, тоді як наступний крок обмежений на 80% від першого (див рис. 1.3). Це дуже серйозний виклик, який потребує значних капіталовкладень.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

Рівні викидів сучасних двигунів були значною мірою були знижені за рахунок зниження максимальних температур згоряння. Це включало поєднання заходів [14]:

- раннє закриття впускного клапана (синхронізація Міллера),
- зміна часу впорскування палива (затриманий і розділений на частини);
- зміна фази газорозподілу випускних клапанів,
- оптимізація камери згоряння,
- оптимізація роботи паливоінжекторної апаратури.

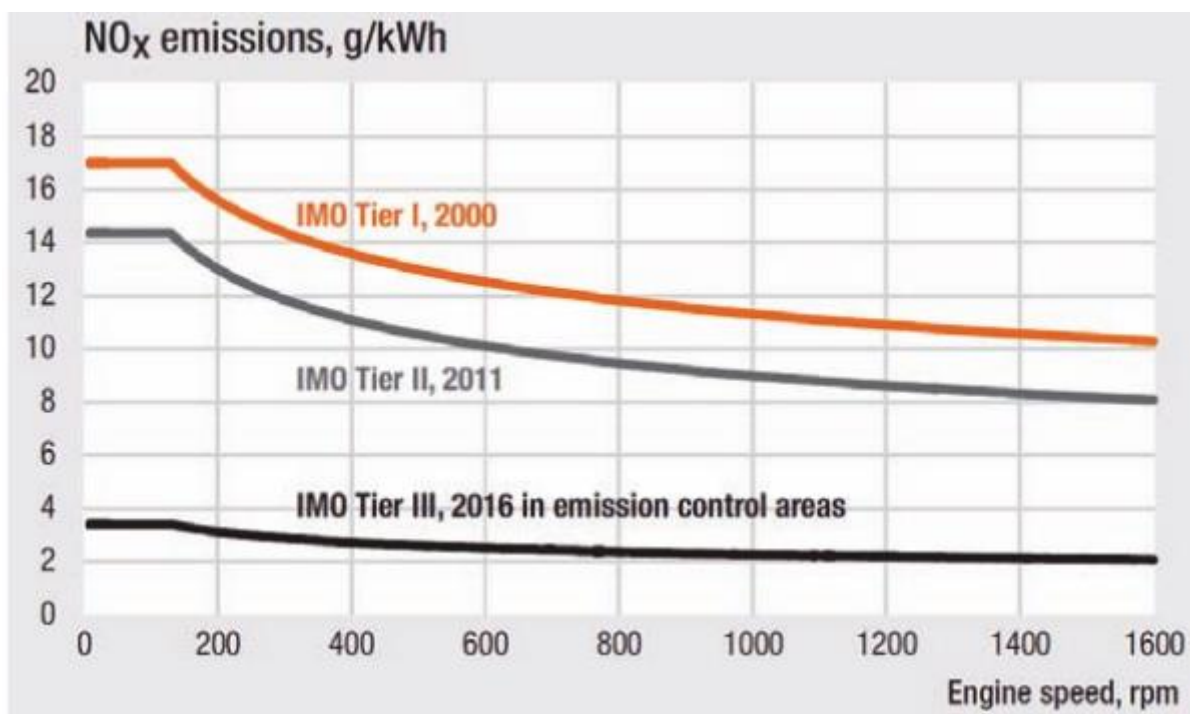


Рис. 1.3 – Викиди NOx відповідно до вимог Марпол Додаток VI

Це зменшило викиди NOx приблизно на 20...40% з лише незначним зниженням ефективності або взагалі без нього, але це зниження дозволяє відповідати лише рівню Tier 2. Виконання рівня Tier 3 вимагає процесу очищення газу, що спалюється.

Стандарт викидів Tier 3 вимагає окремих технологій NOx, які часто працюють у взаємодії з кількома перерахованими нижче, наприклад [14]:

- введення води в процес згоряння за допомогою паливної емульсії, продувного повітря (зволоженого повітря) або впорскування в циліндр,

- системи рециркуляції вихлопних газів (EGR),
- узгодження відключення турбокомпресора,
- системи селективного каталітичного відновлення (SCR),
- інші методи, схвалені морською адміністрацією як еквівалентні вищезгаданим.

Насправді існує два альтернативних метода виконання вимог рівня Tier 2 і рівня Tier 3 NO_x для двотактних двигунів. Рециркуляція вихлопних газів (EGR) – це внутрішній процес двигуна, який запобігає утворенню NO_x шляхом контролю процесу згоряння. Зменшення вмісту кисню в повітрі, що продувається, і паралельне зволоження повітря призводить до зменшення утворення NO_x. Селективне каталітичне відновлення (SCR) – це метод подальшої обробки з використанням каталізатора для відновлення утвореного NO_x до кисню та води. Для цього потрібна належна та стабільна температура процесу (на жаль, температура вихлопних газів залежить від навантаження двигуна) та додаткові реагенти, такі як аміак або розчин сечовини, у належній кількості. Система SCR може бути виконана як система високого тиску (SCR-HP) і як система низького тиску (SCR-LP).

Іншою проблемою є викиди SO_x (див. рис. 1.4) скидання яких теж обмежено ІМО [11].

Найпростіший спосіб виконання цих вимог це зниження вмісту сірки в паливі. Таким чином, з 2012 року вміст сірки в HFO (важкому мазуті) був обмежений до 3,5% (у районах SECAs до 1%), а отже, з 2015 року в районах SECAs до рівня нижче 0,1%, а з 2020 року в усьому світі до рівня нижче 0,5% сірки. Зараз судна мають на борту кілька видів палива, і використовують необхідний тип палива залежно від морської зони, де знаходиться судно. Це ускладнює паливну систему, тому що паливна установка кожного типу повинна бути незалежною, тобто мати окремі установки бункерування, ємності для зберігання, насоси, відстійники і добові ємності.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

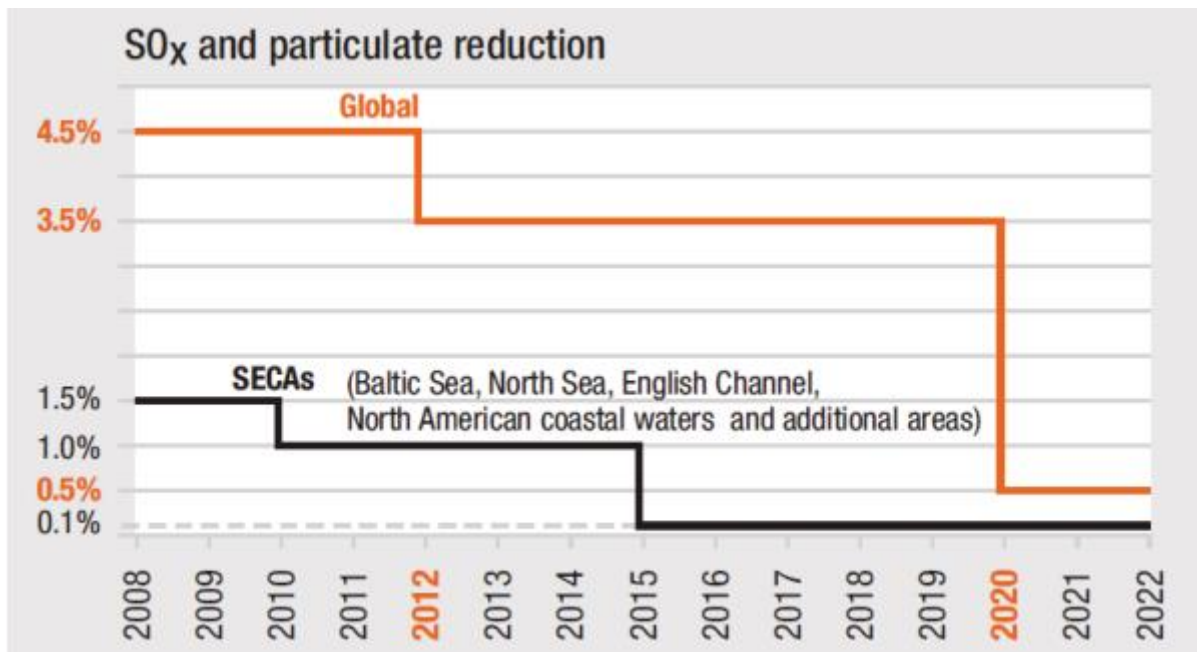


Рис. 1.4 – Вимоги до зменшення викидів SO_x і твердих частинок

Додаток VI MARPOL вимагає, щоб ліміти викидів SO_x були дотримані шляхом контролю вмісту сірки в паливі, що спалюється. Скрубери SO_x схвалені як еквівалентні використанню контрольованого палива адміністрацією прапора судна або класифікаційним товариством.

МЕРС 184(59) «Рекомендації щодо систем очищення вихлопних газів» від 2009 року визначає вимоги до випробувань, сертифікації та перевірки під час експлуатації систем очищення SO_x.

Рекомендації застосовуються до будь-якого скрубера SO_x, встановленого на суднах, що використовують мазуту (за винятком сміттєспалювальних установок), як альтернативний метод відповідності Додатку VI, правило 14. Є дві доступні схеми [11]:

- схема А, згідно з якою скрубер SO_x підлягає первинній сертифікації ефективності скорочення SO_x з подальшим постійним моніторингом робочих параметрів і щоденною вибірковою перевіркою ефективності викидів;
- схема В, у якій немає вимоги до початкової сертифікації, але необхідний безперервний моніторинг викидів за допомогою затвердженої системи та щоденна вибіркова перевірка робочих параметрів.

Додаток 9 до МЕРС 184(59) встановлює ряд конкретних критеріїв для скидання промивної води зі скруберів вихлопних газів (EGC) [11]:

- рН не менше 6,5;
- концентрація ПАУ (еквіваленти фенантрону) макс. 50 мкг/л;
- каламутність не більше 25 FNU або 25 NTU вище каламутності на вході;
- нітрати не вище, ніж пов'язані з видаленням 12 % NO_x або 60 мг/л для швидкості скидання промивної води 45 тонн/(МВт·год), залежно від того, що більше.

Для виконання цих вимог щодо обмеження викидів NO_x та SO_x та отримання можливості використовувати дешеве суднове важке паливо з високим вмістом сірки, необхідно модернізувати існуючу енергетичну установку балкера МР KAMSARMAX 1.

Згідно МАРПОЛ-73/78, забороняється скидання нафти у всіх районах Світового океану, а нафтовмістні води можна скидати тільки за визначених Конвенцією умов.

Щоб не порушувати вимоги МАРПОЛ-73/78 по запобіганню забруднення моря нафтою і нафтовмістними водами, на судні встановлюється певний порядок збору, зберігання і скидання нафти і нафтовмістних вод, і визначається відповідальність за виконання процедур по запобіганню забруднення моря.

Льйальні води з МВ можна скидати за борт при одночасному дотриманні всіх наступних умов:

- льйальні води не з льйал насосного відділення і не змішані з нафтовим вантажем;
- судно знаходиться в русі;
- вміст нафти в стоці не більше 15 мг/л.

Для очищення льйальних вод на судні розташовується сепараційна установка.

Щоб випадково, або навмисно не скинути льйальні води з порушенням правил МАРПОЛ-73/78, відливна забортна арматура в МВ перед заходом в особливі райони, в прибережні і портові води закривається і пломбується. Про це робиться запис в судовому і машинному журналах. Пломби знімаються

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

відповідальним за це членом командного складу після виходу з особливого району. Про це також робиться запис в судновому і машинному журналах.

Відповідно до Міжнародної конвенції про контроль суднових баластних вод і стоків й управління ними (2004 р.) судно обладнуємо установкою очищення баластних вод. Очистка здійснюється в два етапи: на першому етапі видаляються осад та великі мікроорганізми, а на другому ультра-фіолетове випромінюванням вбиває або дезактивується плактон, бактерії та інші мікроорганізми.

Основним документом по забезпеченню захисту людського життя на морі є Міжнародна конвенція по охороні людського життя на морі (СОЛАС 74).

Відповідно до міжнародної конвенції по охороні людського життя на морі (СОЛАС-74) на судні встановлений аварійний дизель-генератор, що у випадку виходу з ладу основний СЕС, повинний забезпечити електричною енергією наступних споживачів [2]:

- щити аварійного освітлення;
- щити сигнально-відмітних ліхтарів та навігаційного устаткування;
- електричний привод кермового пристрою;
- штурманську рубку і рубку радіозв'язку;
- електричні приводи аварійного пожежного й осушувального насоса;
- електричні приводи і пристрої автоматизації механізмів, необхідних

для поживлення енергетичної установки судна.

АДГ розташований в окремому приміщенні на верхній палубі з виходом безпосередньо на відкриту палубу. В одному приміщенні з АДГ розташовуються: аварійний розподільний щит, пусковий балон, витратно-паливна цистерна ємністю 1 м³, цистерна запасу дизельного масла 0,5 м³, вогнегасник.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

2. ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

2.1. Аналіз параметрів ЕУ базового судна. Специфічні вимоги, щодо пропульсивного комплексу балкера

На судно застосовано у якості головного двигуна дизельний двигун фірми MAN B&W 6S60MC-C (МК8.1), потужність якого становить 10450 кВт, при частоті обертання колінчастого валу 96 об/хв. Двигун двотактний, крейцкопфний, реверсивний. Він має сталеву цільну сервісну фундаментну раму, яка приєднується до набору корпусу фундаментальними і двомісними торцевими болтами. Поперечний переріз двигуна MAN B&W 6S60MC-C (МК8.1) представлено на рисунку 2.1.

Фундаментна рама двигуна складена з високих поздовжніх балок з'єднаних зварюванням з поперечними корпусними конструкціями, в яких розміщені корінні опорні підшипники. Втулка циліндра спирається на блок циліндрів, причому її верхня частина виведена з блоку та охолоджується тонкою оболонкою, яка утворює порожнину охолодження. Штуцери для підведення циліндрового масла розташовані у верхній частині втулки. Кришка циліндра кована з отворами для підведення води, що охолоджує. У кришці розміщується один центральний випускний клапан, через який здійснюється випуск газів з циліндра та дві форсунки для упорскування палива.

Випускний клапан має гідравлічний привід і відкривається під дією тиску масла. Поршень виготовлений з жаростійкої хромомолібденової сталі, охолоджується маслом, яке підводиться за допомогою телескопічного пристрою до штоку поршня в районі крейцкопфного з'єднання.

Розподільний вал обертається від колінчастого валу за допомогою ланцюгової передачі. Він приводить у дію насоси високого тиску, які служать для подачі палива до циліндрів. Відпрацьовані гази з колектора надходять до турбокомпресора. Циліндри продуваються повітрям з ресивера, у який вони надходять, проходячи через охолоджувач. Тиск продувного повітря – 0,25 МПа, а коефіцієнт надлишку повітря – 1,5.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

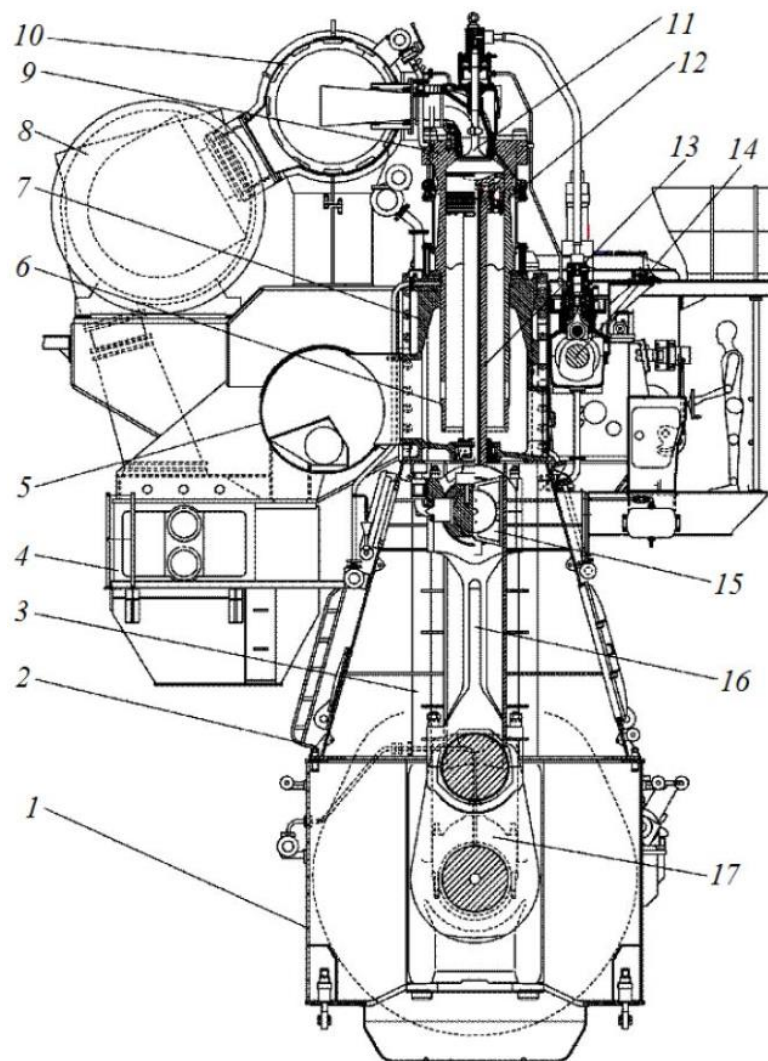


Рис. 2.1 – Поперечний переріз двигуна MAN B&W 6S60MC-C
 1 – фундаментна рама; 2 – станина; 3 – анкерні зв'язки; 4 – охолоджувач;
 5 – ресивер повітря; 6 – втулка циліндра; 7 – блок циліндрів;
 8 – турбокомпресор; 9 – кришка циліндра; 10 – колектор відхідних газів;
 11 – випускний клапан; 12 – поршень; 13 – шток поршня; 14 – розподільний вал;
 15 – крейцкопфне з'єднання; 16 – шатун; 17 – колінчастий вал

2.2. Обґрунтування вибору типу головного двигуна

Для виконання вимог ІМО запропоновано модернізувати суднову енергетичну установку. Одним із заходів модернізації є заміна головного двигуна на більш сучасний. У якості головного двигуна обрано новий варіант двигуна фірми MAN B&W 6S60ME-C10.5 (див. рис. 2.2), який відповідає Регламенту ІМО Tier III [9].

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.

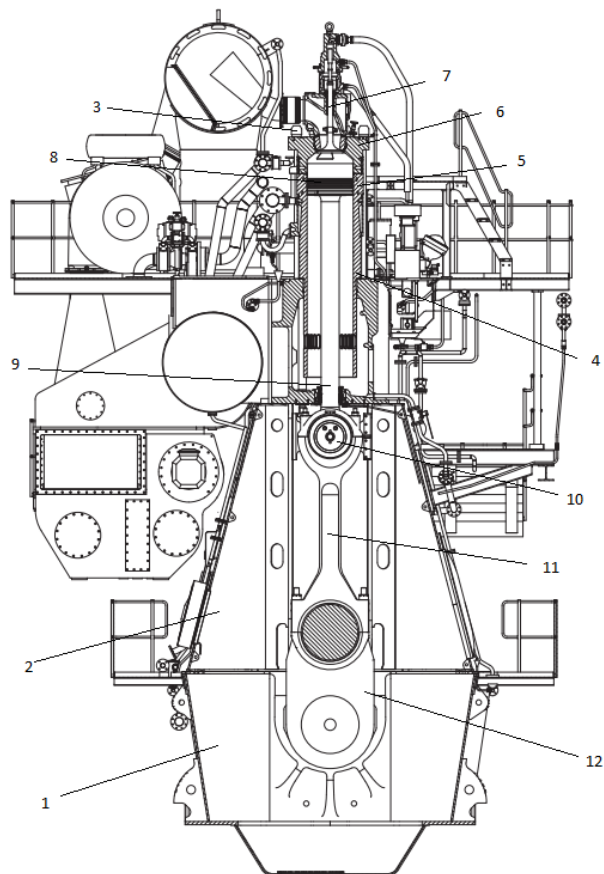


Рис. 2.2 – Поперечний переріз двигуна MAN B&W 6S60ME-C10.5
 1 – фундаментна рама; 2 – станина; 3 – анкерні зв'язки; 4 – втулка циліндра;
 5 – блок циліндрів; 6 – кришка циліндра; 7 – клапан; 8 – поршень; 9 – шток поршня; 10 – крейцкопфне з'єднання; 11 – шатун; 12 – колінчастий вал.

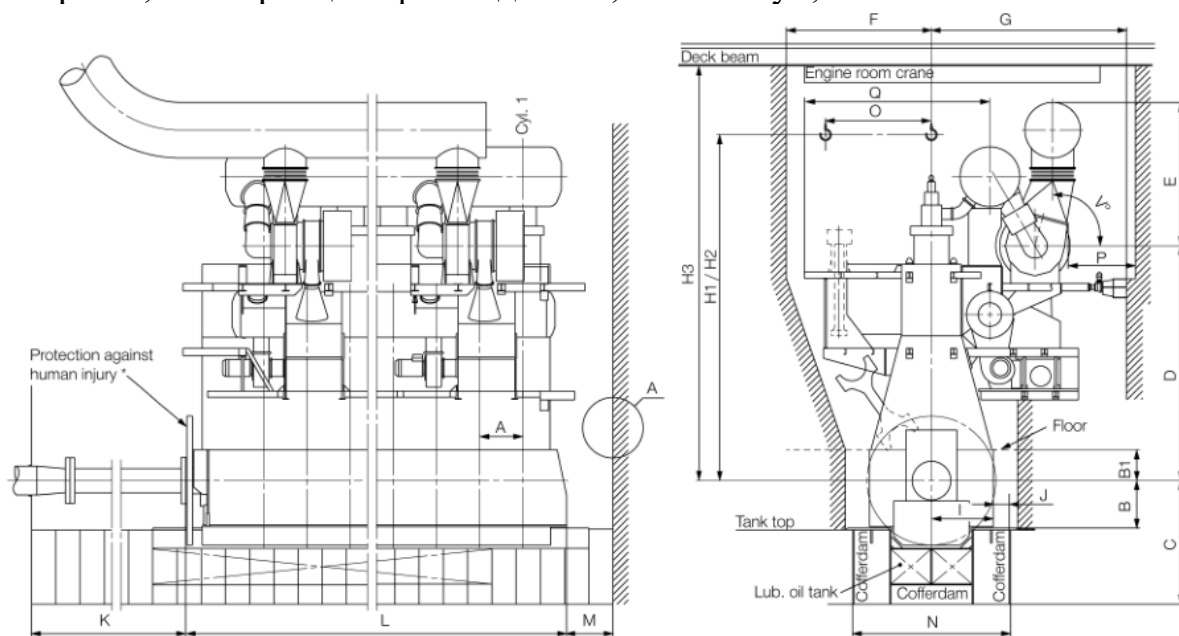


Рис. 2.3 – Габаритні розміри двигуна MAN B&W 6S60ME-C10.5

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.

Таблиця 2.1 Габаритні розміри двигуна MAN B&W 6S60ME-C10.5

A	940 мм
B	1300 мм
B1	650 мм
C	6810 мм
D	6810 мм
E	Висота вихлопної труби відповідає проекту машинного відділення
F	Дивіться креслення: «Верхнє кріплення двигуна», якщо верхнє кріплення встановлено з боку розподільного вала
G	5275 мм
I	1710 мм
J	490 мм
K	K має дорівнювати або перевищувати карданний вал, якщо карданний вал втягується в машинне відділення
L	7736 мм
H ₁	10500 мм
H ₂	9725 мм
H ₃	10125 мм
M	≈ 800
N	4372 мм
O	2250 мм
Маса сухого головного двигуна	332 т
Додана суха маса для EсоEGR	14 т
Маса води та масла в двигуні	4 т

Вказані значення носять лише орієнтовний характер і не є обов'язковими. Реальна довжина двигуна на рівні центральної лінії колінчастого валу може бути більшою за мінімальну довжину двигуна, оскільки це залежить від вібраційних умов основного двигуна та валу, тобто від того, чи потрібно встановлювати демпфер вібрації або компенсатор моменту.

Тільки компоненти, пов'язані з EсоEGR, які встановлені на двигуні, включені до зазначеної вище доданої маси.

Технічні данні щодо головного двигуна МОД 6S60ME-C10.5 та його систем наведені у таблиці 2.2. Розраховані дані щодо питомої витрати палива та параметрів відпрацьованих газів в залежності від навантаження двигуна для умов Tier II та Tier III наведені на рисунках 2.4 і 2.5 відповідно.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

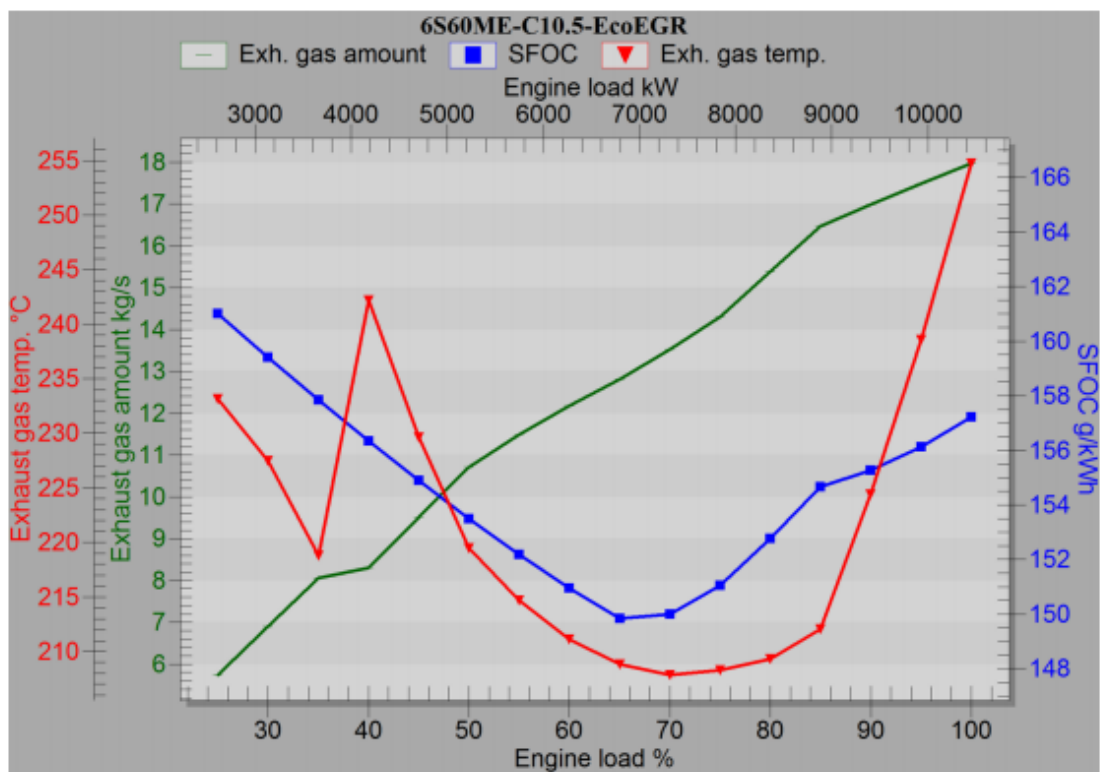
Таблиця 2.2 Технічні данні на МОД 6S60ME-C10.5 та його системи [9]

Тип	дизельний двигун	
Фірма-виробник	MAN B&W	
Марка двигуна	6S60ME-C10.5	
Ефективна потужність	10450 кВт	
Частота обертання вала	96 об/хв.	
Діаметр циліндра	60 мм	
Турбокомпресор	1×MAN TCT40-ML	
Охолоджувач повітря	2×SAC-B82-SD	
Відповідність викидам NO _x	IMO Tier II / Tier III	
Параметри	SCR	
Блок очищення повітряного охолоджувача		
Бак для очищення повітряного охолоджувача	0,60 м ³	
Продуктивність насоса	2,0 м ³ /год	
Циліндрова система змащення		
Накопичувальні баки	2×18 м ³	
Сервісні резервуари	1,4 м ³	
Відхідні газы та повітряний потік		
Відхідні газы, масовий потік	222,2 т/год	
Відхідні газы, температура	275 °C	
Щільність вихлопних газів	0,654 кг/м ³	
Очищене повітря, масовий потік	217,2 т/год	
Система охолодження		
Центральний охолоджувач, відведення тепла	22020 кВт	
SAC, відведення тепла	15710 кВт	
Охолоджувач циліндра, відведення тепла	3760 кВт	
Луб. охолоджувач масла, відведення тепла	2550 кВт	
Пускова повітряна система		
Кількість пусків	12	
Повітряний компресор (30 бар)	2×390 м ³ /год	
Повітряний ресивер (30 бар)	2×13,0 м ³	
Споживання олії		
Система споживання масла на циліндр і на добу	9,0 кг	
Насоси		
Рідина	Мінімальна потужність	Подача
Пальне, мазут	6,8 м ³ /год	5,0 бар
Бустер мазуту	12,2 м ³ /год	7,0 бар
Водяний контур високої температури	238 м ³ /год	3,0 бар
Водяний контур низької температури	901 м ³ /год	2,8 бар
Масло	373 м ³ /год	6,8 бар
Масло для магістралей	63 м ³ /год	8,5 бар
Морська вода	1059 м ³ /год	2,0 бар

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.



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

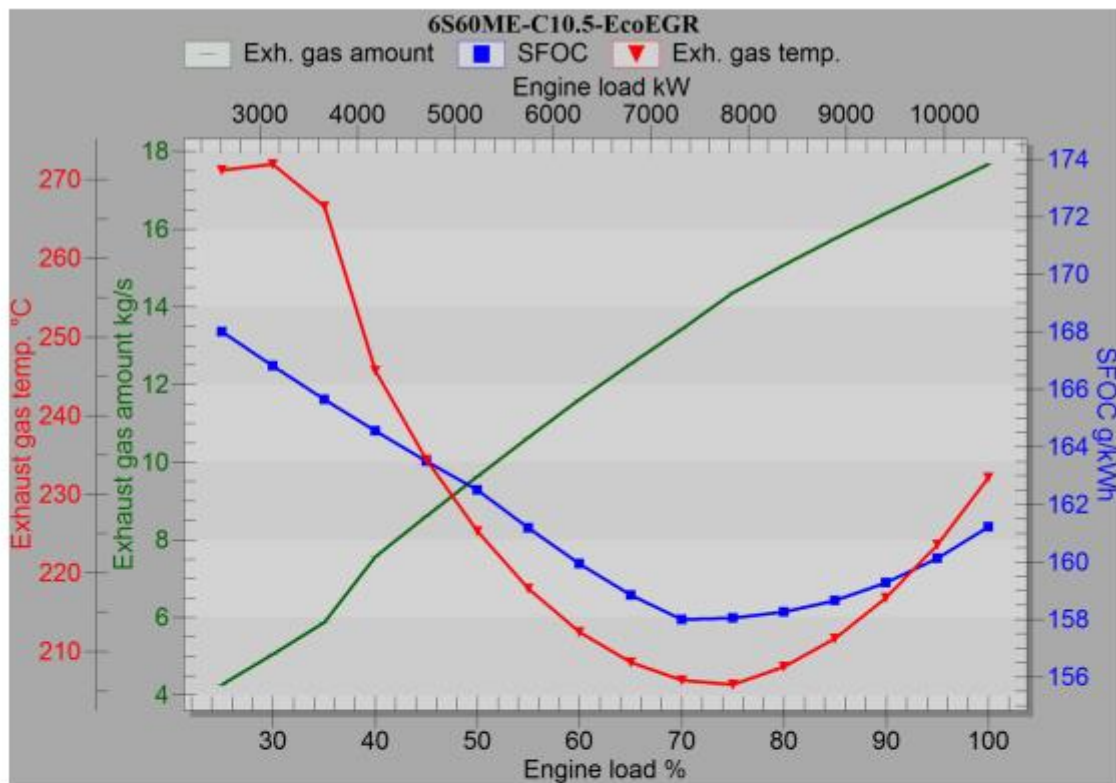
Load % SMCR	Power kW	Speed r/min	SFOC g/kWh	Exh. gas kg/s	Exh. gas ¹⁾ °C	Steam ²⁾ kg/h
100	10,450	96.0	157.2	18.0	255	1,570
95	9,928	94.4	156.1	17.5	239	1,280
90	9,405	92.7	155.3	17.0	224	1,010
85	8,883	90.9	154.7	16.5	212	770
80	8,360	89.1	152.8	15.4	209	690
75	7,838	87.2	151.1	14.3	208	640
70	7,315	85.2	150.0	13.5	208	600
65	6,793	83.2	149.8	12.8	209	590
60	6,270	81.0	150.9	12.2	211	600
55	5,748	78.7	152.2	11.5	215	620
50	5,225	76.2	153.5	10.7	219	650
45	4,703	73.6	154.9	9.5	230	710
40	4,180	70.7	156.3	8.3	242	770
35	3,658	67.7	157.9	8.1	219	510
30	3,135	64.3	159.4	6.9	227	530
25	2,613	60.5	161.0	5.7	233	500

Рис. 2.4 – Дані щодо споживання палива та параметрів відпрацьованих газів при Tier II [18]

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.



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

Load % SMCR	Power kW	Speed r/min	SFOC g/kWh	Exh. gas kg/s	Exh. gas ¹⁾ °C	Steam ²⁾ kg/h
100	10,450	96.0	161.2	17.7	232	1,180
95	9,928	94.4	160.1	17.0	224	1,000
90	9,405	92.7	159.3	16.4	217	850
85	8,883	90.9	158.7	15.8	212	740
80	8,360	89.1	158.3	15.1	208	660
75	7,838	87.2	158.1	14.4	206	600
70	7,315	85.2	158.0	13.4	206	580
65	6,793	83.2	158.8	12.5	209	580
60	6,270	81.0	159.9	11.6	212	600
55	5,748	78.7	161.2	10.6	218	630
50	5,225	76.2	162.5	9.6	225	670
45	4,703	73.6	163.5	8.6	234	710
40	4,180	70.7	164.5	7.6	246	750
35	3,658	67.7	165.7	5.9	267	770
30	3,135	64.3	166.8	5.1	272	720
25	2,613	60.5	168.0	4.3	271	620

Рис. 2.5 – Дані щодо споживання палива та параметрів відпрацьованих газів при Tier III [18]

Діаграма потужності двигуна MAN B&W 6S60ME-C10.5 з розрахунковими даними представлена на рисунку 2.6.

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата

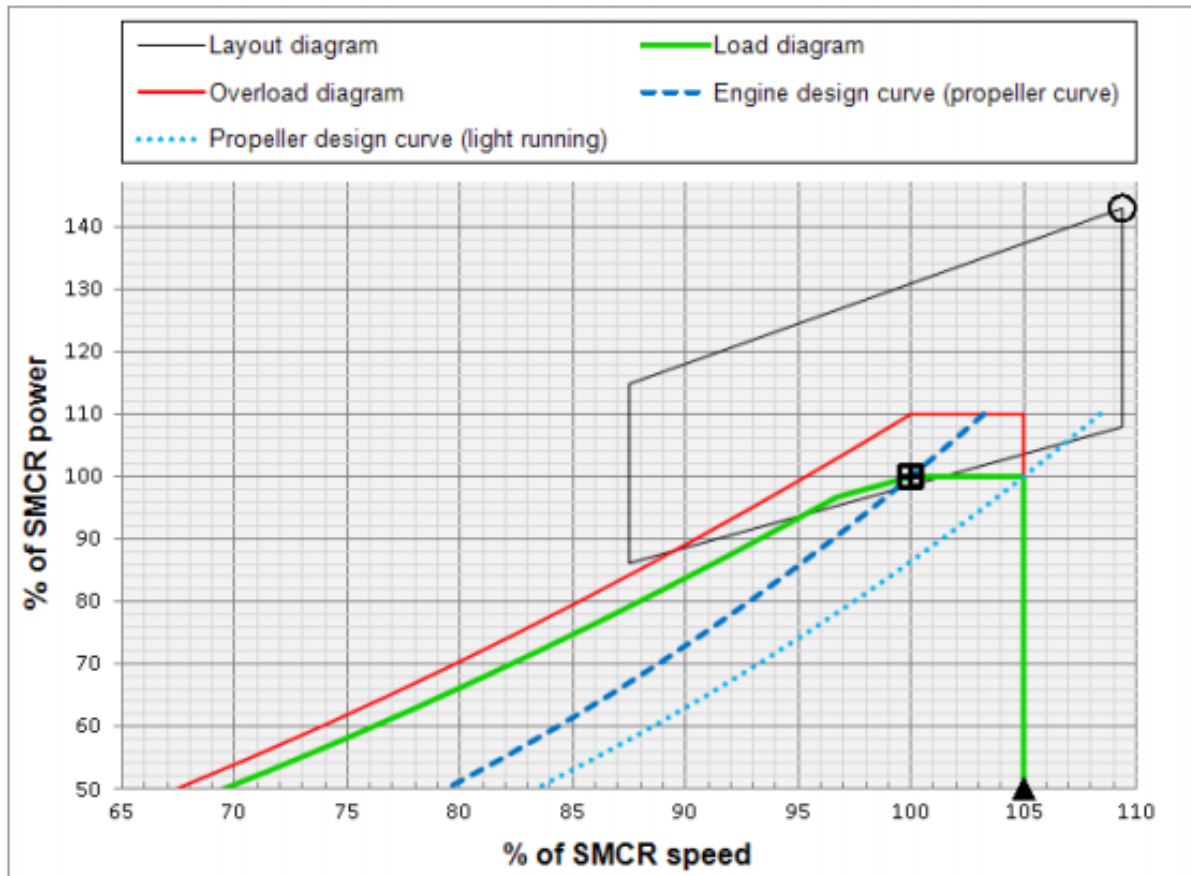
КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.

CEAS Engine Data report

6S60ME-C10.5-EcoEGR

Report made by: Daniel Gnatusha



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

Point	Power kW	Speed r/min	MEP Bar
+ SMCR: Specified Maximum Continuous Rating (69.9% of NMCR)	10,450	96.0	16.0
□ NCR: Normal Continuous Rating (100.00% of SMCR)	10,450	96.0	16.0
Maximum over load (110% of SMCR)	11,495	-	-
▲ Maximum speed limit (105% of SMCR)	-	100.8	-
○ L1, NMCR: Nominal Maximum Continuous Rating	14,940	105.0	21.0

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

Рис. 2.6 – Діаграма потужності двигуна MAN B&W 6S60ME-C10.5

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата
-----	-----	-------------	---------	------

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.

2.3. Вибір типу та схеми передачі потужності. Розрахунок елементів суднового валопроводу

Оскільки в енергетичної установці судна використано малообертовий двигун з $n_{гд} = 96$ об/хв, та доцільно застосування прямої передачі потужності, без редуктора. Головний упорний підшипник у таких передачах як правило вбудовано в кормову частину головного двигуна.

У даному типі передачі не відбувається трансформація крутного моменту і частоти обертання у порівнянні з головним двигуном. Це не дозволяє пристосувати роботу енергетичної установки до мінливих умов плавання. Тобто конструкція передачі має наступні недоліки:

- відхилення частоти обертання головного двигуна від оптимальної для гвинта знижує пропульсивний ККД, так, наприклад, на великотоннажних суднах з прямою передачею частота обертання МОД може на 20...30 об/хв перевищувати оптимальне значення частоти обертання гвинта ($n_{гд} = 105...110$ при $n_{ворт} = 80...85$ об/хв), що знижує пропульсивний ККД на 5...8%;
- при використанні в СЕУ малообертових двигунів з прямою передачею на гвинт мають місце несприятливі массогабаритні показники;
- ускладнюється привод допоміжних механізмів від головного двигуна (валогенераторів, насосів тощо).

Однак така пряма передача на гвинт має певні переваги, це:

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

До складу прямої передачі входять муфти, підшипники і валопровід. За конструктивним виконанням муфти можуть бути жорсткими і пружними. За призначенням розрізняють наступні муфти: з'єднувальні; сполучно-

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

роз'єднувальні, які можна вмикати і вимикати під час роботи і на стоянці; комбіновані, що мають пружні з'єднувальні елементи і сполучно-роз'єднувальну частину.

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

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

До складу валопроводу входять проміжні вали, гребний вал, дейдвудний пристрій, який складається з дейдвудного підшипника і дейдвудного ущільнення. Конструкція валопроводу представлена на рисунку 2.7.



Рис. 2.7 – Конструкція кормової частини валопроводу

Гребний вал з'єднується з проміжним валом за допомогою напівмуфти, також є два монтажні підшипники, а замість гальма застосовано стопорний

					Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата	
КР.135.6211м.03.ПЗ					

пристрій. Вали лежать на опорних підшипниках, фундаменти яких з'єднані з корпусом судна. Вертикальні і горизонтальні переміщення окремих точок корпусу при спорудженні й експлуатації судна призводять до переміщення опорних підшипників. Тому лінія валопроводу відхиляється від теоретичної і має форму вигнутої пружної лінії. На сучасних суднах вигин валопроводу, викликаний загальним вигином корпусу, істотно не впливає на роботу валопроводу, оскільки жорсткість корпусу значно перевищує жорсткість валопроводу. Верхні укладки опорних підшипників не працюють, за винятком аварійних ситуацій, тобто вали завжди лежать тільки на нижніх укладках.

Дейдвудний вал одновального судна при демонтажі втягується всередину корпусу судна, оскільки переміщенню його назовні перешкоджає стерно.

Розміщення валопроводу на судні здійснюється таким чином, щоб забезпечити його надійну роботу, безпеку обслуговування, вільне спостереження за станом його окремих елементів, зручність монтажу, демонтажу та ремонту. Валопровід оснащується огороженням для безпечної роботи людей поблизу валів і їх з'єднань, коли вони обертаються. Кількість опорних підшипників визначається довжиною відсіків, відстанню між водонепроникними переділками тощо. Підшипники розташовуються в місцях, доступних для їх обслуговування та розкривання.

На даному судні в якості рушія використовується один гвинт фіксованого кроку з 6 лопатями. Діаметр гвинта 7100 мм. Гвинт виготовлений зі сплаву нікель-алюміній-бронза. Оскільки використовується пряма передача, то частота обертання гвинта відповідає частоті обертання колінчастого валу двигуна – 96 хв^{-1} .

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 ($\sigma_{\text{в}} = 480 \text{ МПа}$), проміжний вал – КМ-23 ($\sigma_{\text{в}} = 440 \text{ МПа}$).

Розрахуємо діаметри валів судна.

Початковими даними для визначення діаметрів валів є:

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

– експлуатаційна потужність ГД, $P = N_{\epsilon}^{ДЕМ} = 13680$ кВт;

– розрахункова частота обертання валів, $n = 96$ об/хв,

Найменший допустимий діаметр проміжного валу:

$$d_{np} = F \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = 100 \sqrt[3]{\frac{13680}{96}} = 522 \text{ мм},$$

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

З урахуванням категорії льодового підсилення найменший допустимий діаметр проміжного вала:

$$d_{np}^* = 1,08 \cdot d_{np} = 564 \text{ мм},$$

Мінімальний розрахунковий діаметр гребного вала:

$$d_{gp} = 100 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = 100 \cdot 1,22 \cdot \sqrt[3]{\frac{13680}{96}} = 637 \text{ мм},$$

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

З урахуванням категорії льодового підсилення цей діаметр визначається як:

$$d_{gp}^* = 1,15 \cdot d_{gp} = 732 \text{ мм}$$

За результатами розрахунків прийняті такі значення діаметрів валів:

– проміжного – 564 мм;

– гребного – 732 мм.

2.4. Система змащення та охолодження дейдвудного пристрою

У дейдвудних пристроях з металевими підшипниками й ущільненнями радіального чи торцевого типу використовується масляна система змащення й охолодження з природною циркуляцією. Разом з цим здійснюється періодичне прокачування масла насосом. Цистерна підпору масла встановлюється вище ватерлінії на 1,5...3,0 м, щоб запобігти попаданню забортної води до дейдвудного пристрою під час експлуатації. Якщо судно має осадку у вантажі більше ніж 10

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

м, то може бути встановлено дві напірні цистерни, які використовуються окремо при плаванні у повному вантажі та у чистому баласті (див. рис. 2.8). Ці цистерни розташовують на 1,5...3,0 м вище відповідних ватерліній. Якщо дейдвудні підшипники працюють зі змащенням маслом та не мають примусового охолодження масла, то ахтерпик постійно заповнено водою не менше на 1 м вище над верхньою кромкою дейдвудної труби.

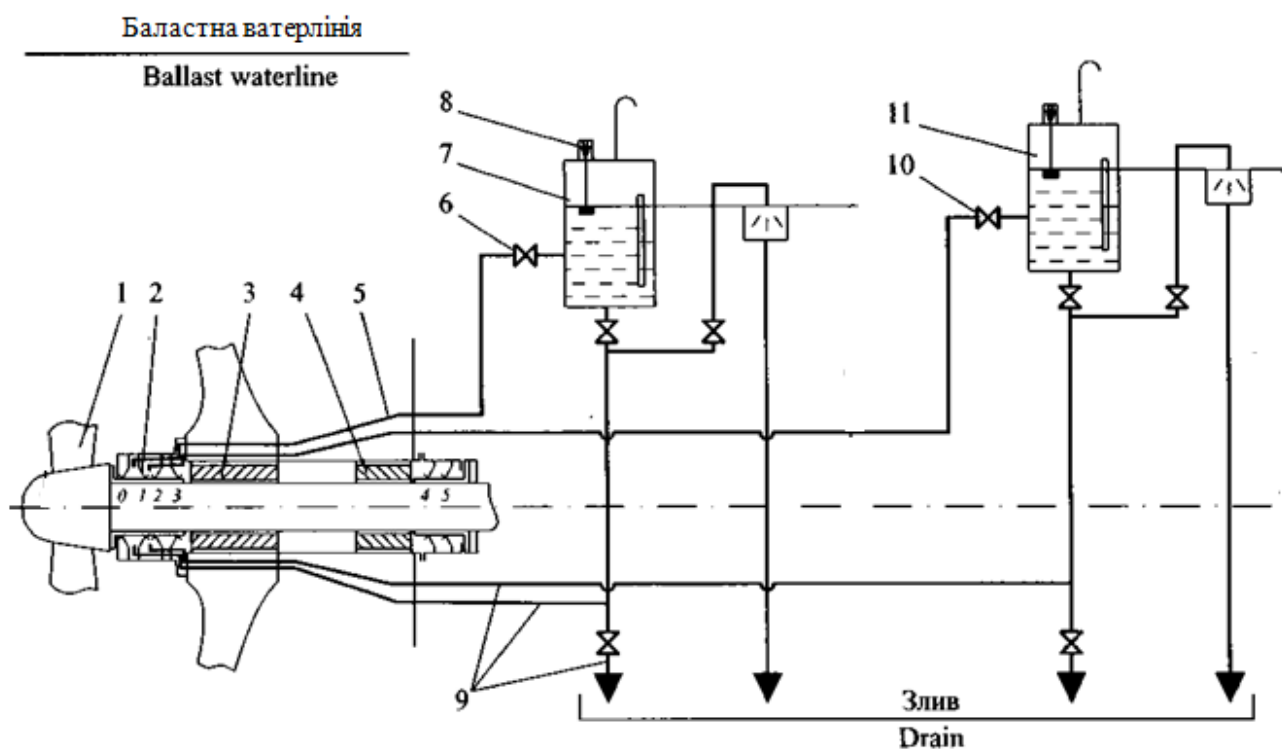


Рис. 2.8 – Системи змащення і збирання протікань кормового сальника ущільнення дейдвуда

1 – гребний гвинт; 2 – манжети (від 0 до 5); 3 – кормовий дейдвудний підшипник; 4 – носовий дейдвудний підшипник; 5 – напірний масляний трубопровід; 6 – запірний клапан; 7 – напірна масляна цистерна; 8 – сигналізатор верхнього рівня; 9 – зливний масляний трубопровід; 10 – напірний масляний трубопровід великого тиску; 11 – напірна цистерна масляної системи великого тиску

Кормові сальники бувають з пристроєм для збирання протікань в корпус судна і без нього. При збиранні протікань у корпусі кормового сальника виконані свердління, по яких протікання масла з дейдвудної труби через носові ущільнювальні манжети надходять до цистерни, розташованої в корпусі судна. Забортна вода, яка просочилася між манжетами в ту ж порожнину, також

зливається в корпусну цистерну. Іноді просочення води та масла відбуваються одночасно, при цьому утворюється водомасляна емульсія яка теж збирається.

Носовий сальник дейдвудного пристрою має автономну систему змащення з природною циркуляцією або з циркуляцією масла від обертання вала. Напірна цистерна встановлюється над сальником на висоті 1,5...2,0 м від осі валопроводу.

Найнебезпечнішим місцем, у якому вал може одержувати тріщини внаслідок корозійної втоми, є ділянка вала між носовим торцем маточини гвинта та розташованим проти неї торцем сорочки. На ізоляцію цієї ділянки від морської води необхідно звертати особливу увагу.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

3. Розробка теплової схеми СЕУ. Проектування енергетичних комплексів.

3.1. Розробка та розрахунок теплової схеми та схеми утилізації скидної теплоти

В суднових енергетичних установках з малообертовими двигунами, що мають низьку температуру випускних газів, навіть при великих потужностях, одержати перегріту пару в утилізаційному котлі з параметрами необхідними для роботи утилізаційного турбогенератора досить важко. У таких СЕУ застосовують комплексну систему утилізації теплоти відхідних газів та охолодження надувного повітря. При високих значеннях наддування можна одержати температуру повітря за компресором $t_k \approx 180 \div 200$ °С і використовувати його для попереднього нагрівання води, що надходить в утилізаційний котел.

Для виконання вимог ІМО та МАРПОЛ суднова енергетична установка має системи рециркуляції вихлопних газів та скрубєрну систему.

Для модернізації даного судна в якості теплогенеруючого обладнання було обрано один композитний котел та один допоміжний котел. У систему утилізації включено охолоджувач надувного повітря. Випускні гази після розширення в турбіні головного двигуна надходять в композитний котел, який в цьому випадку працює у режимі утилізаційного котла, а після його потрапляють у скрубєр і далі в атмосферу. Турбокомпресор нагнітає повітря в головний двигун через охолоджувач повітря, який виконано двох секційним. Перша високотемпературна секція охолоджується живильною водою, що надходить у сепаратор композитного котла. Друга секція охолоджується забортною водою до необхідної температури.

Система охолодження ГД забезпечує автоматичну підтримку заданої температури води на вході в ГД. Двигун охолоджується прісною водою, перепад температур у системі охолодження $\Delta t = 10$ °С. Опріснювальна установка використовує тепло води системи охолодження ГД. Якщо водоопріснювальна установка не працює, охолодження води здійснюється у водоохолоджувачі, за допомогою забортної води. Живильна вода з теплового ящика, проходячи через охолоджувач надувного повітря, подається в композитний котел. З випарної

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

частини пароводяна суміш надходить у сепаратор пари, де здійснюється її відділення від води і подається до споживачів, де вона конденсується. Конденсат надходить через додатковий конденсатор випару до теплового ящика. Система автоматики композитного котла автоматично підтримує тиск пари, рівень води в теплому ящику та у сепараторі.

Принципова теплова схема СЕУ модернізованого балкера МР KAMSARMAX 1 зображена на рисунку 3.1.

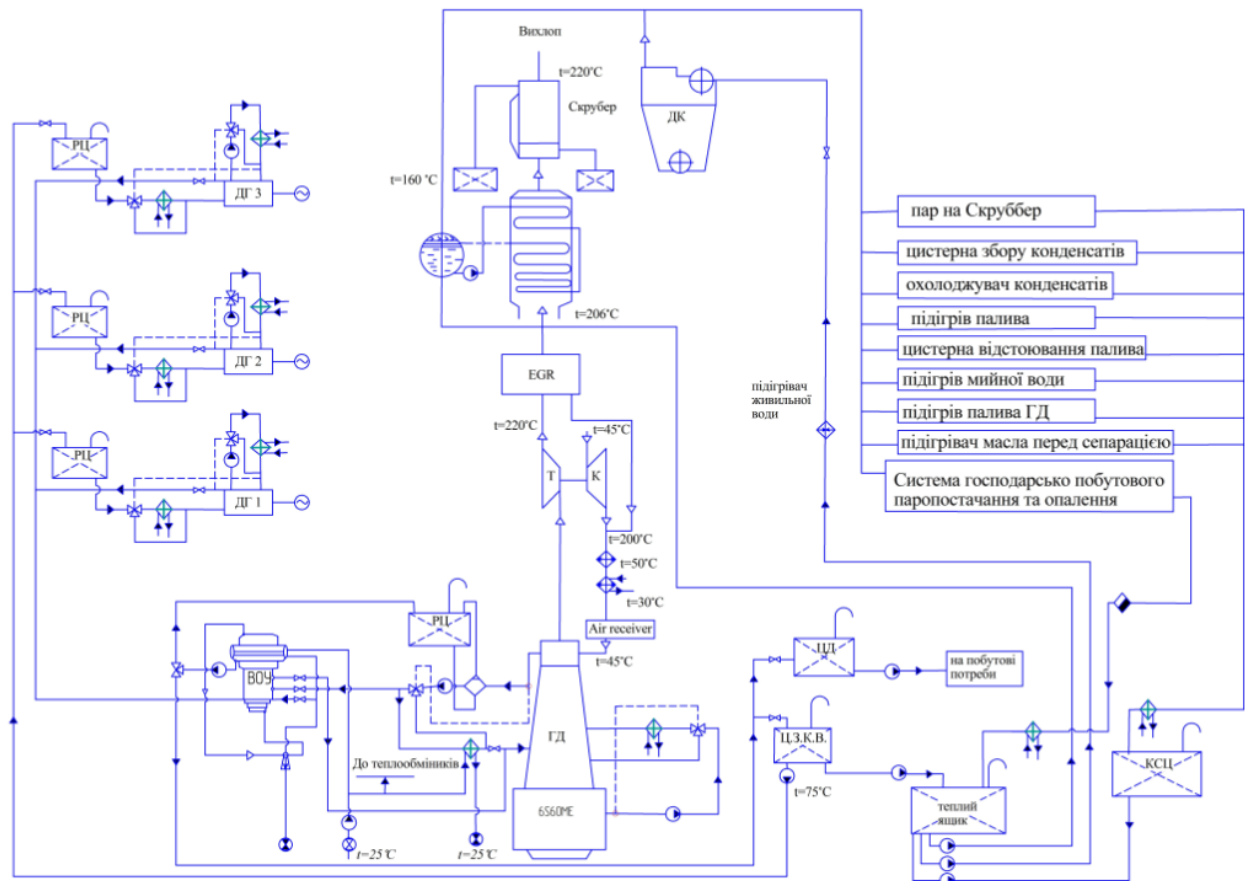


Рис. 3.1 – Теплова схема СЕУ модернізованого балкера МР KAMSARMAX 1

Розраховані теплові потоки та температури відхідних газів головного двигуна для Tier II, в залежності від навантаження та при температурі навколишнього середовища 25 °С, наведені на рисунках 3.2 та 3.3 відповідно.

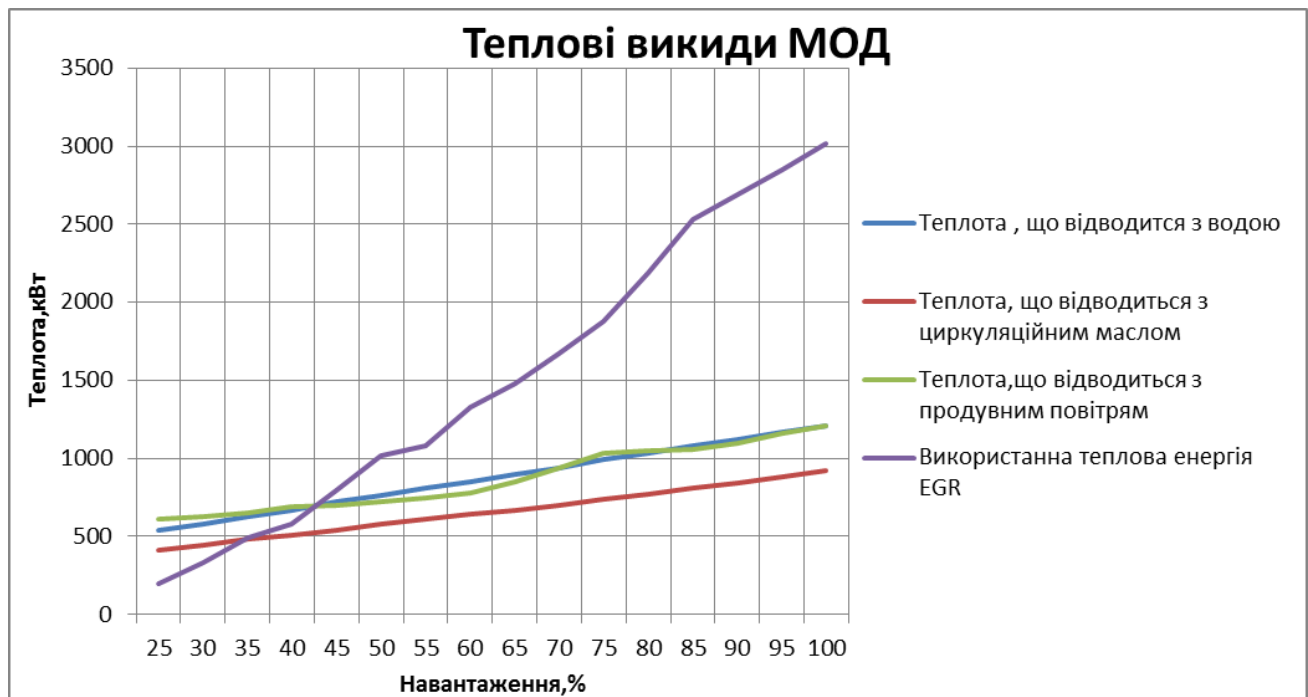


Рис. 3.2 – Відведення теплоти, яку виділяє головний двигун, в залежності від його навантаження для умов Tier II

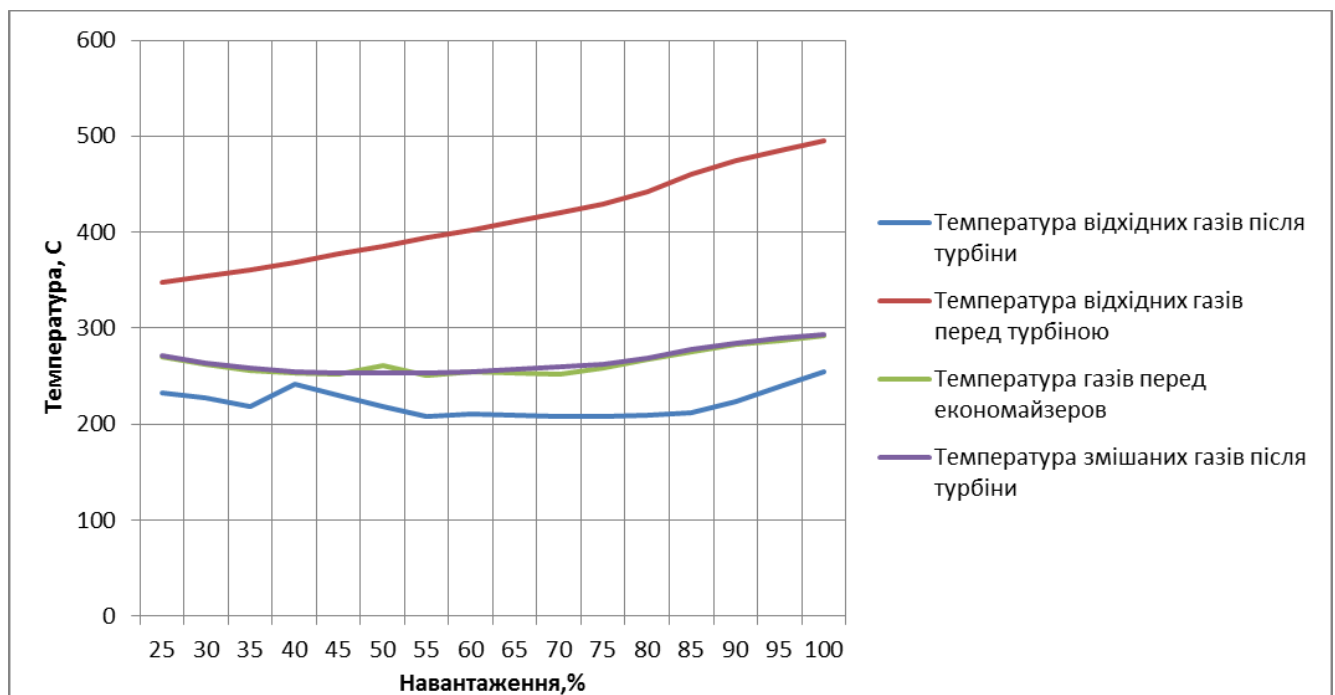


Рис. 3.3 – Температури відхідних газів головного двигуна для Tier II в залежності від навантаження

Розраховані теплові потоки та температури відхідних газів головного двигуна для Tier III, в залежності від навантаження та при температурі навколишнього середовища 25 °С, наведені на рисунках 3.4 та 3.5 відповідно.

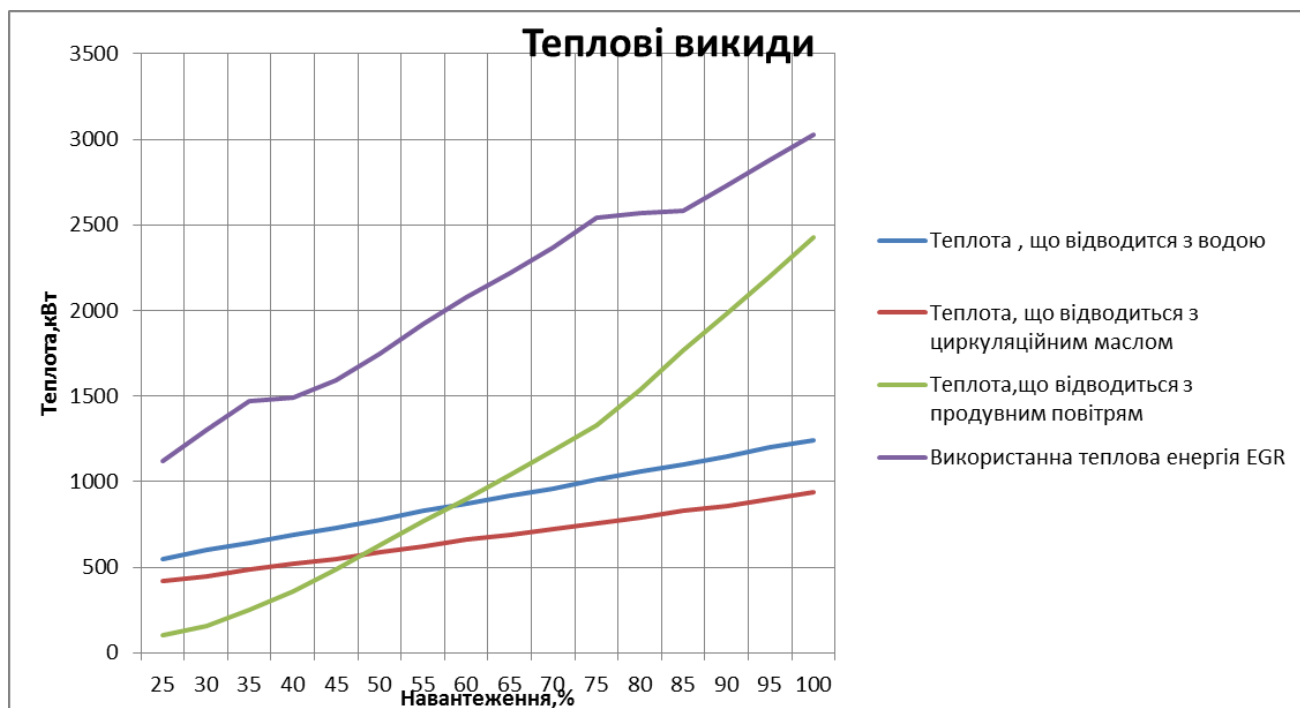


Рис. 3.4 – Відведення теплоти, яку виділяє головний двигун, в залежності від його навантаження для умов Tier III

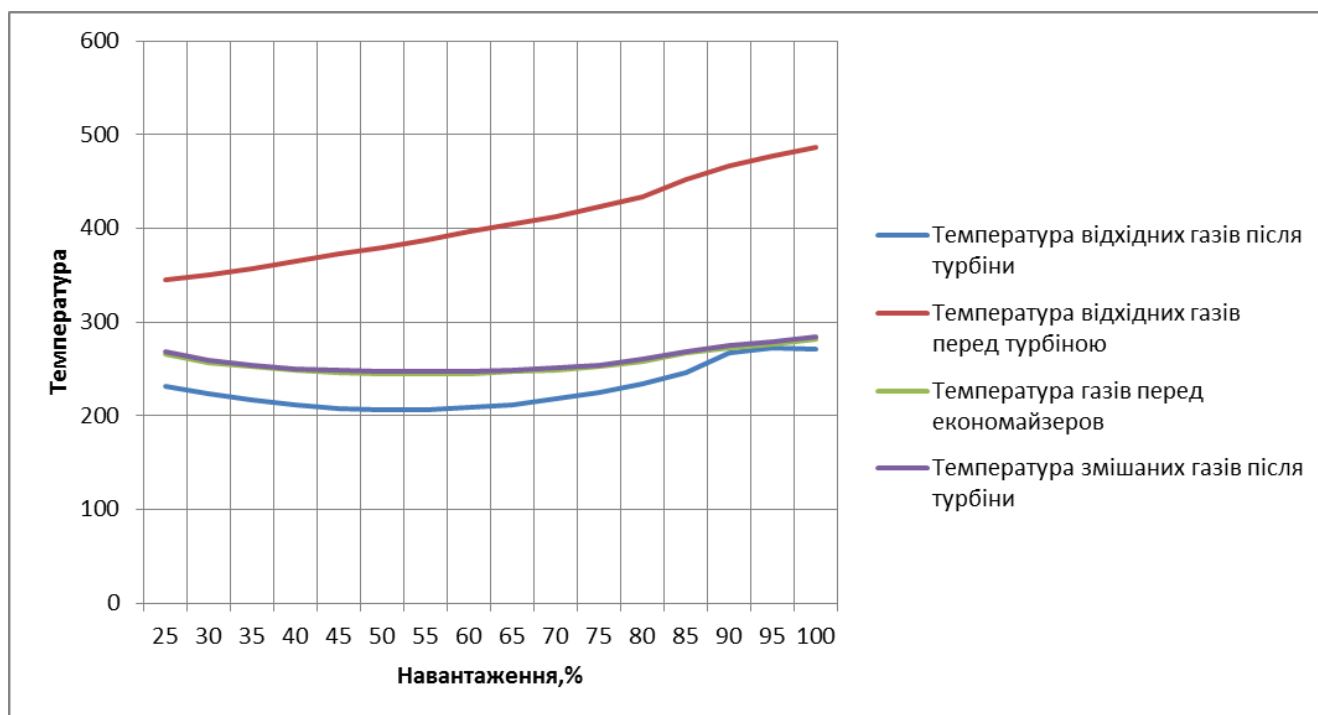


Рис. 3.5 – Температури відхідних газів головного двигуна для Tier III в залежності від навантаження

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.

3.2. Вибір обладнання суднової електростанції

Призначення суднової електростанції (СЕС) – це генерація струму необхідних параметрів та розподілення його споживання у нормальних та аварійних режимах.

Суднова електростанція повинна на усіх режимах роботи судна забезпечувати безперервне постачання якісної електроенергії всім споживачам яким необхідна електроенергія на даному режимі. Також суднова електростанція повинна задовольняти ряду вимог, а саме: простота конструкції, зручність під час обслуговування обладнання, висока надійність, мінімальна вартість, мінімальні масо-габаритні показники та експлуатаційні витрати.

На транспортних судах використовують змінний струм напругою 400 В при частоті 50 або 60 Гц. Застосування змінного струму дозволяє встановити синхронні генератори та асинхронні короткозамкнені електродвигуни, отримувати будь-яку напругу за допомогою трансформаторів, використовувати серійне обладнання та жититися на стоянках від берегової мережі.

До складу СЕС входять:

- первинні теплові двигуни;
- генератори електричного струму;
- розподільні пристрої з автоматикою і захистом;
- розподільні пристрої користувачів з автоматикою і захистом;
- кабельні лінії.

При розрахунку суднової електростанції головним показником є сумарна кількість електроенергії, що споживається на характерних режимах роботи судна.

Розрахунок СЕС виконується для наступних основних режимів експлуатації: ходовий режим; стоянковий режим; режим вантажних операцій, маневровий режим; аварійний ходовий режим; аварійний режим.

Потужність суднової електростанції на балкерах іноді досягає 30% та більше від потужності головного двигуна та залежить від режиму роботи судна.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

На базовому судні при модернізації не відбувається значного зростання або зменшення споживання електроенергії на розрахункових режимах тому комплектацію суднової електростанції залишаємо як і у базового судна.

Основним джерелом електроенергії на судні є 3 дизель-генератора 6EY18ALW фірми Yanmar Co., кожний з електричною потужністю 750 кВт та частотою електричного струму 60 Гц. Загальний вид дизель-генератора 6EY18ALW представлено на рисунку 3.6, технічні характеристики у таблиці 3.1, габаритне креслення – на рисунку 3.7, габаритні розміри – у таблиці 3.2 [10].

Для контролю роботи дизель-генераторів і розподілу електроенергії передбачено встановлення головного розподільчого щита (ГРЩ) з пристроями автоматизації електростанції та системою керування.

На ходову режимі судна використовується два дизель-генератора. На стоянковому режимі судна використовується три дизель-генератора.

Аварійне джерело електроенергії: один дизель-генератор AY20L-ET фірми Yanmar Co електричною потужністю 520 кВт, частотою електричного струму 60 Гц. Аварійний дизель генератор запускається автоматично й приймає навантаження після втрати електроживлення від основного джерела електроенергії. Щит аварійного генератора розташований у приміщенні аварійного дизель генератора.

Загальний вид аварійного дизель-генератора AY20L-ET представлено на рисунку 3.8, технічні характеристики у таблиці 3.3, габаритне креслення – на рисунку 3.9, габаритні розміри – у таблиці 3.4 [10].



Рис. 3.6 – Дизель-генератор 6EY18ALW фірми Yanmar Co.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

Таблиця 3.1 Характеристика дизель-генераторів суднової електростанції

Марка	6EY18ALW фірми Yanmar Co
Тип двигуна	Вертикальний 4-тактний дизельний двигун з водяним охолодженням
Кількість циліндрів	$i = 6$
Ефективна потужність двигуна	800 кВт
Електрична потужність генератора	750 кВт
Питома витрата палива	185 г/ кВт×год)
Отвір циліндру	180 мм
Хід поршня	280 мм
Швидкість	900 об/хв
Середній ефективний тиск	24 бар
Швидкість поршня	10,7 м/с
Суха вага	12100 кг

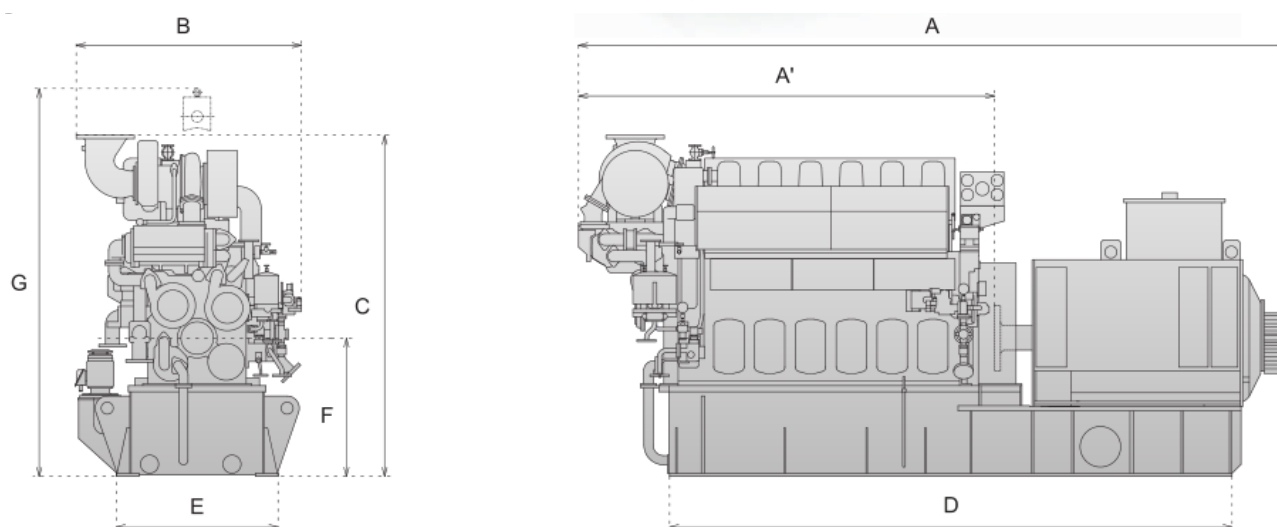


Рис. 3.7 – Габаритне креслення дизель-генератору 6EY18ALW фірми Yanmar Co.

Таблиця 3.2 Габаритні розміри дизель-генератору 6EY18ALW фірми Yanmar Co.

Модель	A	A'	B	C	D	E	F	G
6EY18ALW	4680	2751	1489	2255	3720	1070	915	2564



Рис. 3.8 – Аварійний дизель-генератор AY20L-ET фірми Yanmar Co

Таблиця 3.3 Характеристика аварійного дизель-генератора суднової електростанції

Марка	AY20L-ET фірми Yanmar Co
Тип двигуна	Вертикальний 4-тактний дизельний двигун з водяним охолодженням
Кількість циліндрів	$i = 6$
Ефективна потужність двигуна	565 кВт
Електрична потужність генератора	520 кВт
Питома витрата палива	185 г/ кВт×год)
Отвір циліндру	155 мм
Хід поршня	180 мм
Швидкість	1800 об / хв
Суха вага	4750 кг

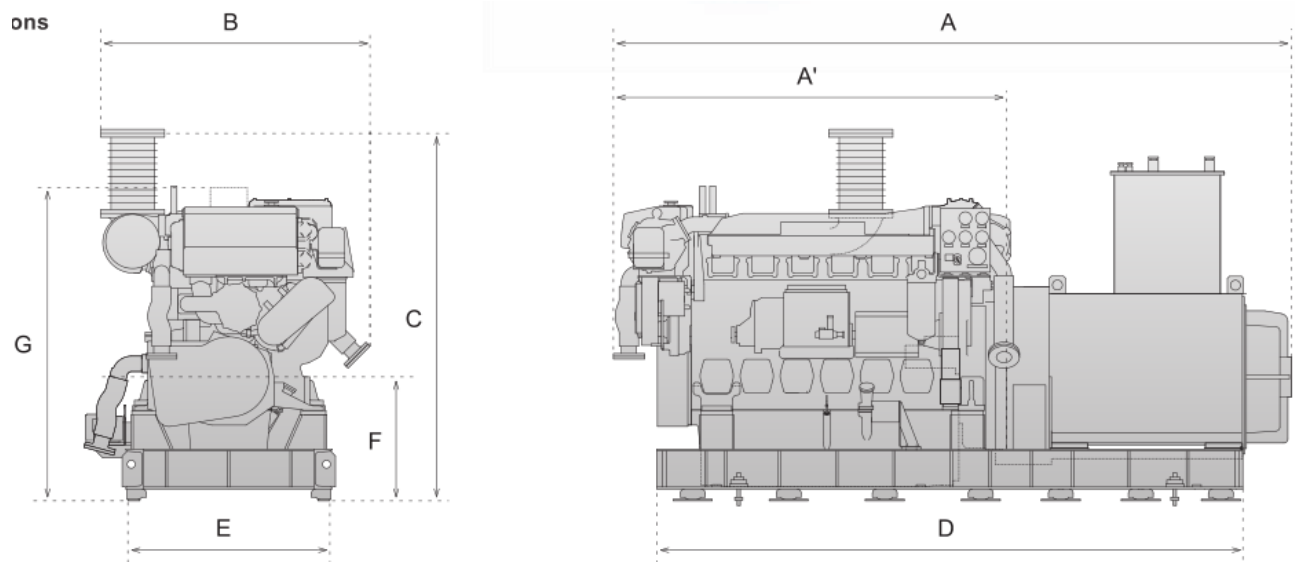


Рис. 3.9 – Габаритне креслення дизель-генератору AY20L-ET фірми Yanmar Co.

Таблиця 3.4 Габаритні розміри дизель-генератору AY20L-ET фірми Yanmar Co.

Модель	A	A'	B	C	D	E	F	G
AY20L-ET	3040	1860	1445	1836	2600	1030	619	1565

3.3. Вибір обладнання допоміжної котельної установки

Для забезпечення господарсько-побутових потреб судна (системи опалення, камбуз, душові, пральні та ін.), а також для роботи підігрівачів різного призначення (систем обігріву кінгстонів та іншої донної та заборотної арматури, систем підігріву важкого палива та ін.) потрібен пар низьких параметрів або гаряча вода.

Основними вимогами, які висуваються перед паровиробною установкою, є такі:

- більш повне використання підведеної теплоти;
- надійна робота на будь-якому режимі;
- висока маневреність, швидкість введення установки в дію та перехід з одного навантаження на інше;
- можливість комплексної автоматизації;
- низька вартість виготовлення та експлуатації.

Майже завжди доцільно використовувати утилізацію теплоту, перш за все теплоту відхідних газів ГД. Проблема утилізації теплоти пов'язана з тим, що сучасні МОД мають високі економічні показники. У зв'язку з цим у них знижена температура відпрацьованих газів до $240\div 280$ °С, що призвело до зменшення долі теплоти, які можна використовувати в утилізаційному контурі. Температуру газів на виході із утилізаційного котла приймають не нижче $160\div 180$ °С, оскільки вона має бути вище точки роси. При більш низьких температурах водяна пара з домішками оксиду сірки, що містяться у відпрацьованих газах, може конденсуватися та викликати корозію труб в утилізаційному котлі.

Для задоволення цих потреб на судні встановлюємо один допоміжний котел та один комбінований котел, який може використовуватися, як допоміжний котел, а при переходах як утилізаційний котел.

У якості допоміжного котла використовуємо котел марки Aalborg OM-TCi, що виробляється фірмою Alfa Laval з паропродуктивністю 16 т/год. Aalborg OM-TCi – це вертикальний котел, що працює на паливі, з великою топкою та посиленою конвекційною частиною. Стандартний котел може працювати на різних видах важких палив. Загальний вигляд котла представлено на рисунку 3.10, габаритне креслення – на рисунку 3.11, а основні технічні дані у таблиці 3.5 [12].

Котел має оновлену теплову конструкцію з оптимізованим вмістом кисню в димових газах, що забезпечує загальну ефективність 89...92% залежно від умов навантаження котла, що в середньому на 6% вище, ніж у типових котлів у цьому діапазоні продуктивності. Це означає меншу витрату палива та нижчий рівень викидів CO_2 і NO_x . Для котла продуктивністю 16000 кг/год, що працює 5000 годин при навантаженні 75% щороку, це означає щорічну економію 130000 доларів США на вартості палива.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		



Рис. 3.10 – Загальний вигляд котла Aalborg OM-TSi

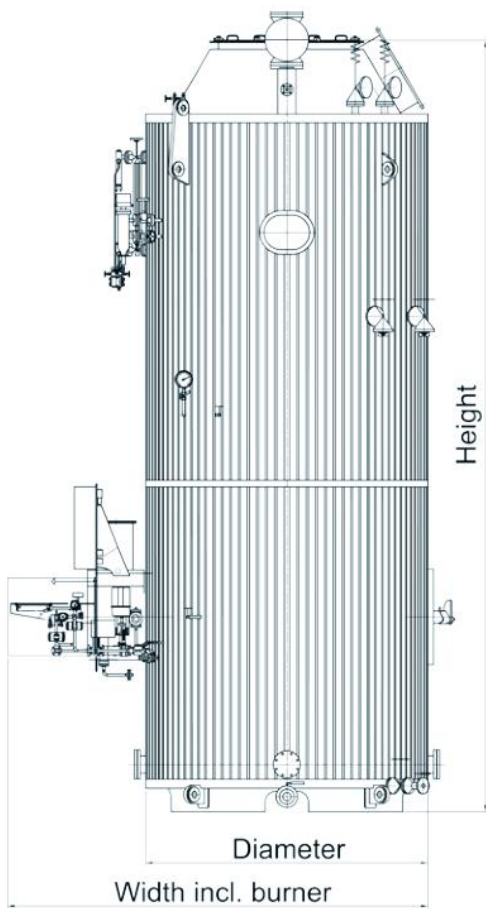


Рис. 3.11 – Габаритне креслення котла Aalborg OM-TSi

					КР.135.6211м.03.ПЗ Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата	

Таблиця 3.5. Основні технічні дані котла Aalborg OM-TCi

Генерація пари	Тиск пари	Висота	Діаметр	Ширина з пальником	Суха вага	Об'єм води
кг/год	бар	мм	мм	мм	кг	м ³
16000	10	7740	3100	4490	26200	11,9

У якості комбінованого котла використовуємо котел марки Aalborg ОС-ТСі, що виробляється фірмою Alfa Laval. Цей котел може працювати на мазуті та відпрацьованих газах двигунів, з діапазоном продуктивності до 6500 кг/год пари з паливної секції та до 5000 кг/год з секція вихлопних газів. При одночасній роботі продуктивність досягає 8000 кг/год. Комбіновані котли це компактна альтернатива двом котлам, об'єднаним в один.

Aalborg ОС-ТСі – це вертикальний котел з газовідвідною секцією, що складається з конвективного пучка труб. Паливна частина складається з топки, парового простору та конвективної секції, яка складається зі спіральних труб з ефектом турбоочищення. Напірна частина котла виготовлена з м'якої сталі, здатної витримувати високі температури. Загальний вигляд котла представлено на рисунку 3.12, а його технічні характеристики у таблиці 3.6 [13].

Aalborg ОС-ТСі оснащено моноблочним пальником типу Aalborg KBR. Корпус пальника встановлений на передній частині котла під кутом 15 градусів вниз до дна топки. Це забезпечує довше полум'я та краще використання топки. Потік полум'я при цьому стає оптимальним, а результатом є висока продуктивність горіння.

Паливна секція котла використовується коли генерації пари від відхідних газів недостатньо або двигун не робить, а потреба у парі та гарячої води низька щоб запускати допоміжний котел.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

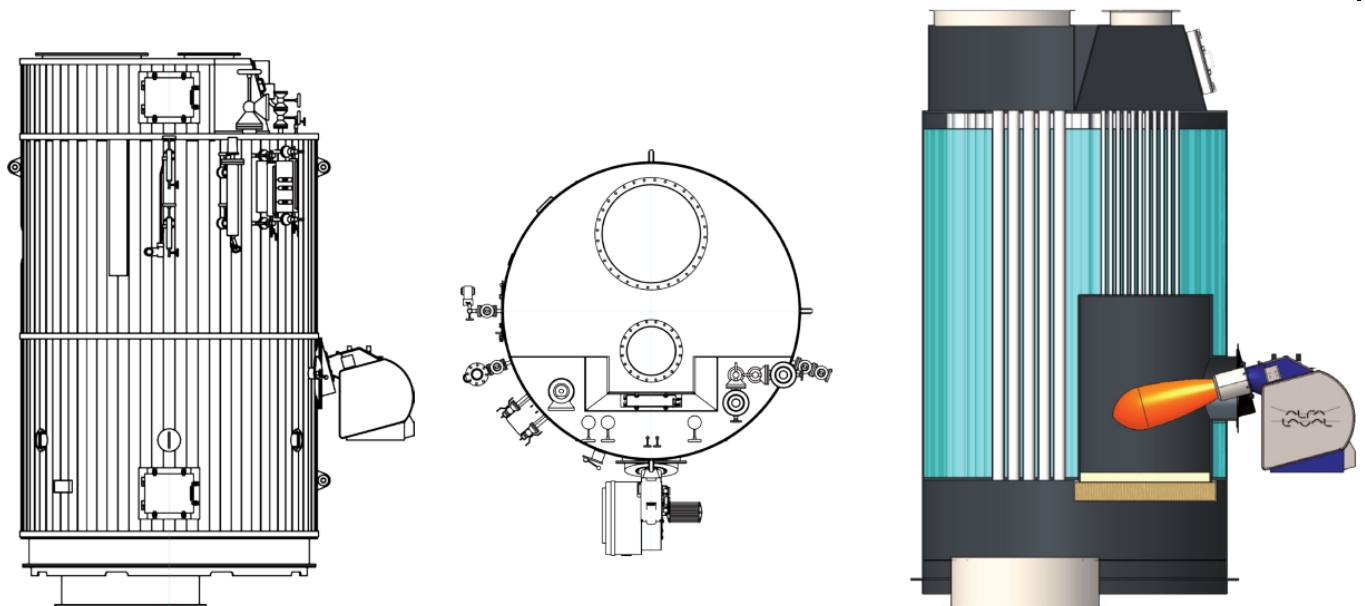


Рис. 3.12 – Загальний вигляд котла Aalborg OC-TCi

Таблиця 3.6 – Характеристика котла Aalborg OC-TCi фірми Alfa Laval

Кількість на судні	i = 1
Пара, що вироблюється	насичена
Тиск пари	9 бар
Температура живленої води	85...95 °C
Паропроодуктивність при роботі паливної секції	0,75...6,5 т/год
Паропроодуктивність при роботі на відхідних газах ДВЗ	до 5,0 т/год
Паропроодуктивність при сумісній роботі обох секцій	до 8,0 т/год

Схема живлення котла представлена на рисунку 3.13.

Інтелектуальна система управління котла забезпечує його повну автоматичну роботу та управління пальником.

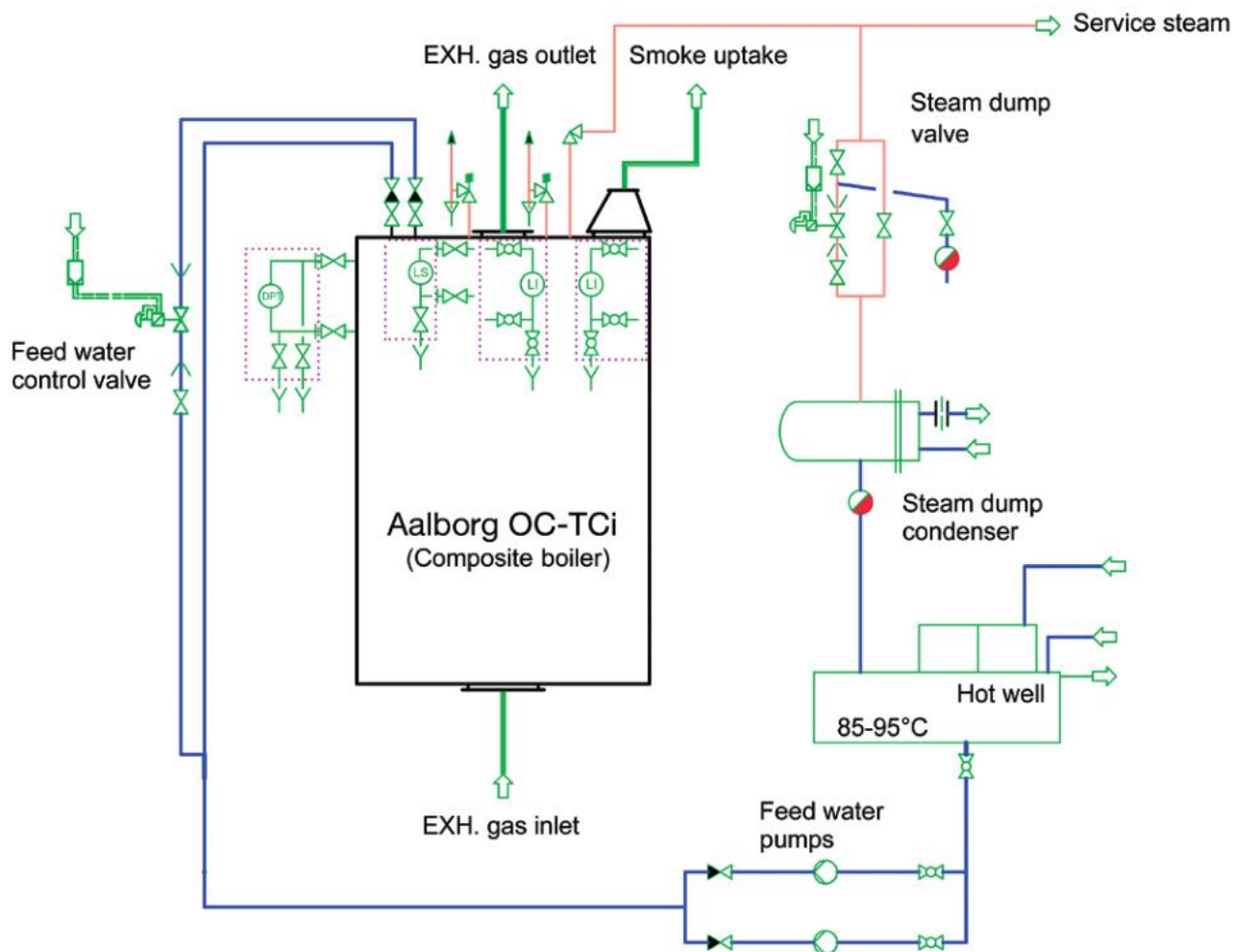


Рис. 3.13 – Схема живлення котла Aalborg OC-TCi

3.4. Вибір іншого комплектуючого обладнання СЕУ

3.4.1. Опріснювальна установка

Для отримання прісної води з морської води на судні встановлено генератор прісної води Wärtsilä для одноразового знесолення (SSD) марки SSD 2-3, що використовує процес вакуумної дистиляції для видалення солі та других домішок з морської води, та перетворення їх у якісну питну прісну воду. Завдяки малому потоку морської води Wärtsilä SSD є більш економічним та споживає меншу кількість електроенергії. Загальний вигляд опріснювальної установки Wärtsilä SSD представлено на рисунку 3.14, а технічні характеристики – у таблиці 3.7.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		



Рис. 3.14 – Загальний вигляд опріснювальної установки Wärtsilä SSD.

Опріснювальна установка використовує в основі своєї роботи процес вакуумної дистиляції, що дозволяє утилізувати низькотемпературне тепло. Опріснювальна установка використовує відпрацьоване тепло головного дизельного двигуна або інші альтернативні джерела тепла для випаровування морської води. Продуктивність установка залежить від температури гріючої води, діаграма продуктивності опріснювальної установки представлена на рисунку 3.15.

Таблиця 3.3. Технічні характеристики опріснювальної установки SSD 2-3

Модель	Продуктивність, т/доба	L×W×H, мм	Питома теплова потужність, кВт·год/т	Питома електрична потужність, кВт·год/т	Вага, кг	Необхідний простір, м ³
SSD 2-3	22...30	1260×960×1680	740	8,5	710	2,5

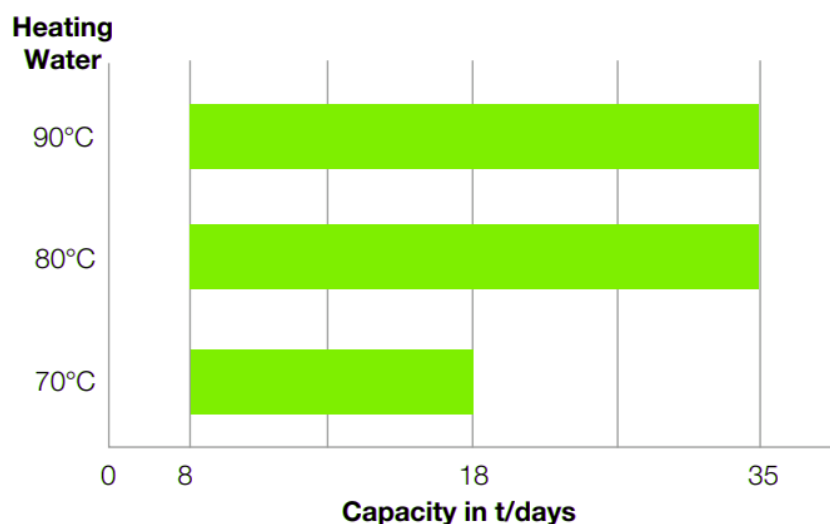


Рис. 3.15 – Діаграма продуктивності опріснювальної установки SSD 2-3

3.4.2. Системи очищення баластної води

На судні застосована система очищення баластної води виробництва фірми Alfa Laval.

Система Alfa Laval забезпечує точну фіксацію часу пуску/зупинки і інших даних відповідно до вимог Міжнародної морської організації (IMO). Вона дозволяє без проблем діяти за заздалегідь наміченим планом проведення суднових баластних операцій. Склад та загальний вигляд даної системи представлено на рисунку 3.16.

До складу системи входять наступні основні компоненти:

- фільтр;
- реакторний блок Wallenius AOT;
- система безрозбірної мийки CIP;
- регулятор потоку;
- система автоматики та управління.

Фільтр з чарунками 50 мкм використовується при операціях прийому баласту. Він запобігає потраплянню порівняно великих організмів та зменшує кількість осаду, що може потрапляти в баластні танки. При видачі баласту фільтр

не працює. Баласт спрямовується в обхід фільтру, це виключає забруднення свіжого баласту в наслідок зворотного промивання фільтру.



Рис. 3.16 – Система очищення баластної води фірми Alfa Laval

Реакторний блок Wallenius AOT відповідає за знищення мікроорганізмів. У процесі баластування та дебаластування в присутності каталізатора і під впливом потужного випромінювання у блоці генеруються радикали, що мають високу реакційну здатність. Ці радикали руйнують клітинні мембрани мікроорганізмів. Час життя радикалів складає всього кілька мілісекунд, тому вони не залишають реакторний блок та не впливають на навколишнє середовище та екіпаж судна.

В залежності від витрати води можуть використовуватися один або кілька блоків Wallenius AOT.

Блок автоматичного безрозбірного миття CIP слугує для запобігання утворення в Wallenius AOT блоках відкладень з морської води. Це забезпечує стабільність їх характеристик. Система безрозбірного миття у якості миючого розчину використовує нетоксичний біорозчинний миючий розчин, який можна відкачувати за борт. Цикл мийки, що займає 15 хвилин на один блок Wallenius

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

АОТ, активується автоматично після кожної операції баластування або дебаластування.

Регулятор потоку гарантує, що витрата води через систему очищення баластної води не перевищить номінального сертифікованого значення. Крім того, він передає центральній системі управління важливі дані про кількість прийнятого чи відкачаного баласту.

3.4.3. Інсинератор

Для знищення твердих відходів і шламу, що утворюються на судні, на ньому встановлено інсинератор компанії Detegasa моделі Delta IRLA-30.

Інсинератори серії Delta були модернізовані до найновішої технології, що відповідає найсуворішим вимогам ІМО МЕРС 76(40) і поправок ІМО МЕРС 93(45), ІМО МЕРС 244(66), для спалювання шламу та твердих відходів. Додаток V Магпол 73/78 обмежує кількість твердих відходів, які можна скидати в море, а Додаток І забороняє будь-який скид нафтовмісних відходів у море, що призводить до необхідності встановлювати інсинератори на судах.

Загальний вигляд інсинератора серії Delta представлено на рисунку 3.17, а технічні характеристики інсинератора Delta IRLA-30 наведені у таблиці 3.4 [16].



Рис. 3.17 – Загальний вигляд інсинератора серії Delta

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

Таблиця 3.4. Технічні характеристики інсинератора Delta IRLA-30

Модель інсинератора	Delta IRLA-30
Потужність, ккал/год	300000
Потужність, кВт	349
Спалювання шламу, л/год	39
Спалювання твердих відходів, кг/год	50
Максимальне споживання палива, кг/год	14,8
Максимальна електрична потужність, кВт	14,70
Приблизна вага інсинератора, кг	3110
Вага вентилятора	230

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

4. Визначення основних параметрів систем СЕУ. Проектування та комплектація системи EGC та EGR

4.1. Розробка принципової схеми комбінованої системи EGR та EGC

Судно MP KAMSARMAX 1 буде модернізовано шляхом обладнання його системами EGR та EGC (очищення вихлопних газів).

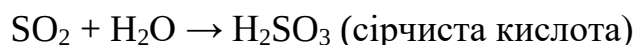
Рециркуляція відпрацьованих газів (EGR) – це система, яка спрямовує відпрацьовані гази назад у впускний колектор. Цей процес призводить до значного зменшення викидів оксидів азоту (NO_x), оскільки зменшує два фактори, що впливають на їх утворення: надлишок кисню та температуру горіння.

Вартість пального з низьким вмістом сірки, такого як MDO та MGO, висока порівняно з мазут (HFO). Тому застосовуємо альтернативний недорогий метод зменшення викиди SO_x шляхом очищення відпрацьованих газів.

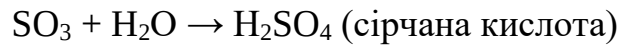
Існує два процесу очищення вихлопних газів які виконуються в скрубберному агрегаті – з використанням сухого або вологого методу для видалення SO_x . Суднові енергетичні установки зазвичай комплектуються вологими скрубберами та вони використовують або морську воду, яка є легкодоступною, або повторно циркуляційну прісну вода з додаванням хімічних речовин. У даному проекті модернізації використовуємо мокру скрубберну систему SO_x від фірми Alfa Laval.

Принципова схема комбінованої системи EGR та EGC представлена на рисунку 4.1, а головний двигун з вбудованою системою EGR на рисунку 4.2. Можливе компонування скрубберної системи SO_x від фірми Alfa Laval представлено на рисунку 4.3 [17].

У вологому скруббері вихлопні гази очищаються водою на шляху від входу у скруббер до виходу. Вода впорскується в потік відпрацьованих газів і стікає на дно скруббера. Оксиди сірки, що утворюються в процесі згорання сірчаного палива, розчиняються у воді і видаляються водою. При цьому відбуваються прості хімічні реакції [19]:



					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		



Вода, яка використовується у скрубері, може бути як морською так і прісною, що вимагає різних рішень як для установки, так і для роботи.

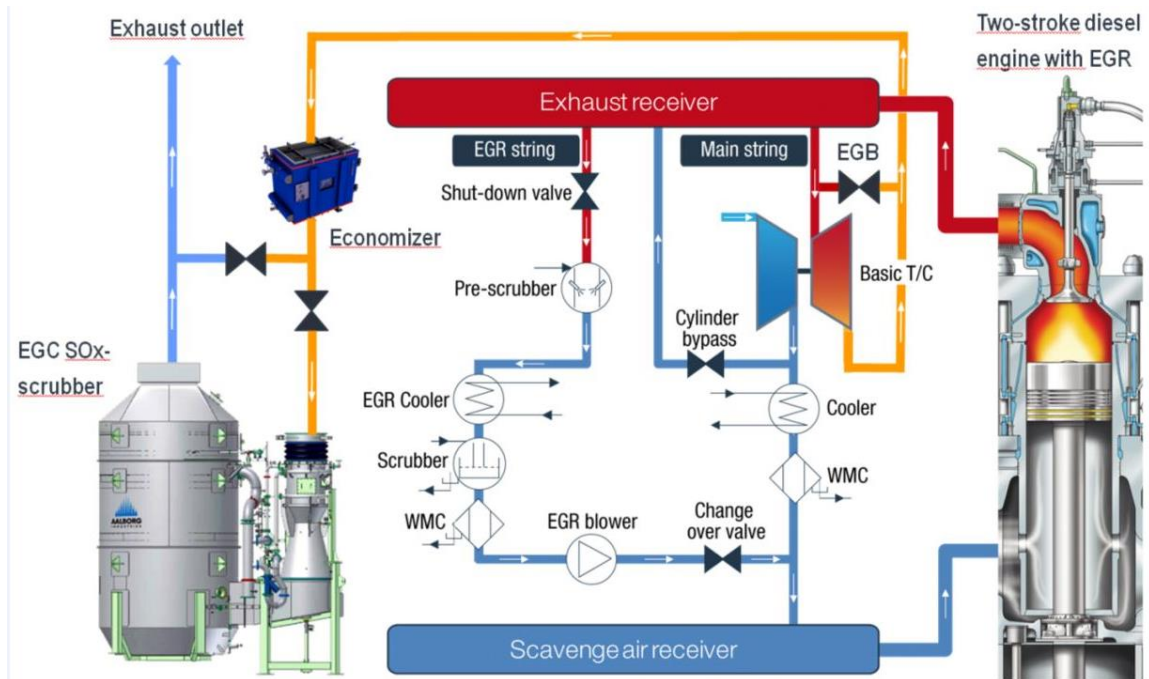


Рис. 4.1 – Принципова схема комбінованої системи EGR та EGC

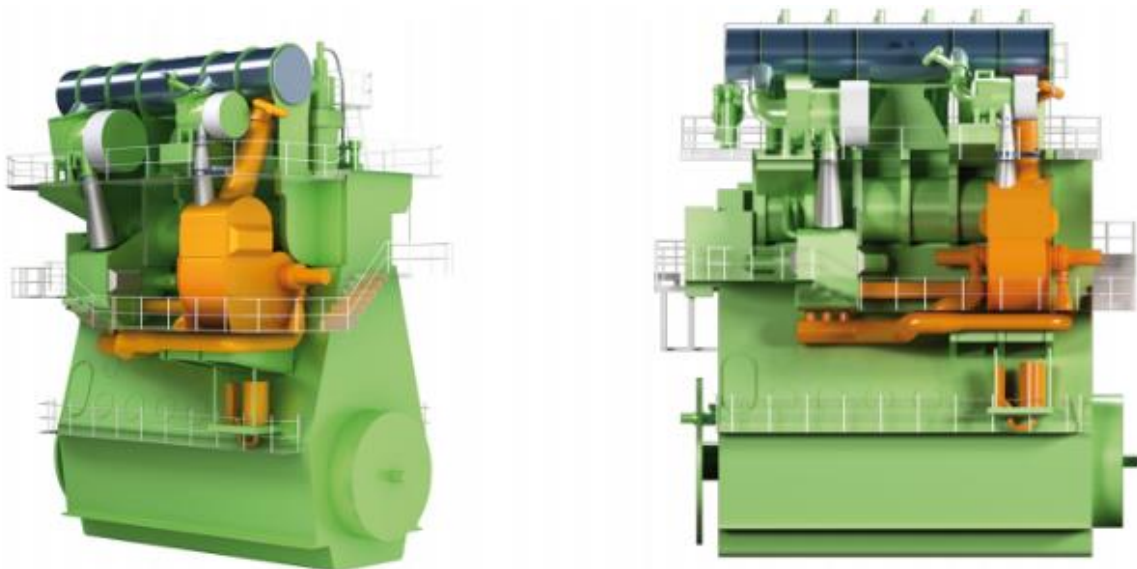


Рис. 4.2 – Головний двигун MAN B&W 6S60ME-C10.5 з вбудованою системою EGR

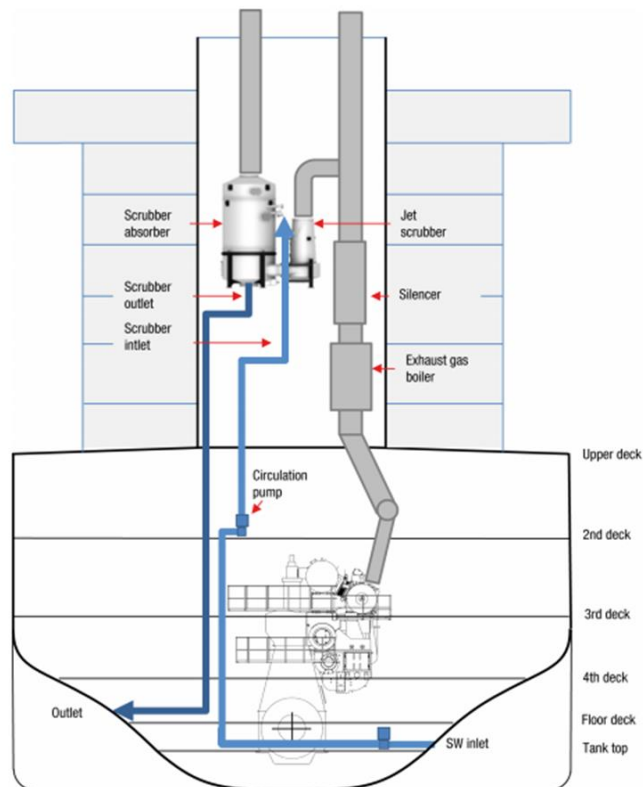


Рис. 4.3 – Можливе розміщення скруберна система SO_x фірми Alfa Laval на судні

Система з відкритим циклом, як показано на рис. 4.4 використовує забортну морську воду. Природний хімічний склад морської води дозволяє нейтралізувати SO_x у скруббері. Вода береться безпосередньо з моря і подається до скруббера. Залишаючи скруббер, вода скидається в море без подальшого очищення, якщо відповідає вимогам ІМО та підтверджено контролем якості.

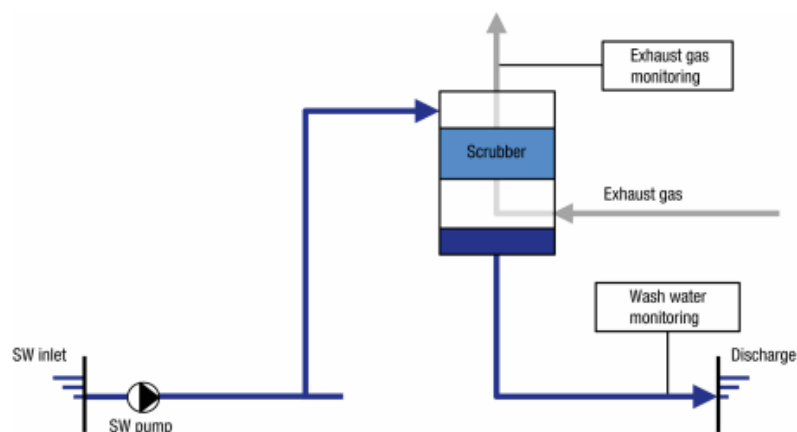


Рис. 4.4 – Відкрита скруберна система

Встановлення системи з відкритим циклом, є відносним простим і дешевим рішенням, оскільки система охолодження морською водою обладнання судна

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

подає морську воду безпосередньо до скрубера. Після скрубера морська вода повертається в загальну систему скидання морської води судна. Система має низькі експлуатаційні витрати, оскільки додаткове обладнання та реагенти не потрібні. Однак для отримання достатньої якості очищення та виконання вимог до якості скидної води після скрубера, швидкість потоку морської води та її витрата повинні бути високими.

4.2. Розрахунки скруберної системи

Різні типи скруберних систем SO_x різняться за розмірами та формою скрубера. Загальний розмір скрубера залежить від кількості та стану відпрацьованих газів та вмісту у ньому сірки. Існують обмеження максимально допустимого протитиску відпрацьованих газів, що може мати система, це суттєво впливає на розмір скрубера.

Типові розміри скруберів SO_x фірми Alfa Laval для двигунів MAN B&W наведені в таблиці 4.1 [17].

Таблиця 4.1. Типові розміри скруберів SO_x фірми Alfa Laval

Потужність двигуна, МВт	Ширина, м	Довжина, м	Висота, м	Вага, т (сух)	Вага, т (мок)	Вхід води діаметр, мм	Вихід води діаметр, мм
– 4	2.3	4.0	7.0	6	8	200	250
4 – 8	2.8	4.9	7.8	7	11	250	250
8 – 12	3.5	4.9	9.1	12	18	350	400
12 – 16	4.2	4.9	10.2	18	25	400	450
16 – 20	4.8	8.4	11.2	21	31	450	500
20 – 24	5.5	9.2	12.0	27	39	500	600
24 – 32	6.0	10.5	13.2	35	51	600	600

Використання скрубера SO_x збільшує падіння тиску (протитиск) у системі відпрацьованих газів. Максимальні розрахункові протитиски в системі вихлопних газів на нових двигунах та загальний допустимий протитиск, включаючи запас, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Загальний протитиск, допустимий у системі відпрацьованих газів

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

Потужність, %	Трубопровід МБар	Скрубер, МБар	Макс.Розрахунковий тиск, МБар	Сервісна межа, МБар
100	30.0	30.0	60.0	75.0
75	17.9	30.0	40.4	56.4
50	8.6	30.0	23.6	37.6
25	2.5	7.5	10.0	19.0

Підвищений протитиск трохи вплине на роботу двигуна. Кількість відпрацьованих газів зменшується, а температура на виході з турбіни збільшується залежно від додаткового протитиску. Питома витрата мазуту збільшується, тиск повітря майже не змінюється. В таблиці 4.3 показано вплив на ці параметри щодо максимального додаткового зворотного тиску. У тих випадках, коли присутня лише частка максимального протитиску, вплив на параметри відповідно зменшується.

Таблиця 4.3. Залежність між додатковим протитиском та параметрами двигуна

Потужність, %	Питомий тиск, МБар	Питома витрата палива, г/кВт-г	Питома вага від газів, %	Питома температура вих газів, °C
100	60.0	+1.0	+7	+20
75	50.0	+1.0	+7	+20
50	40.0	+1.0	+10	+20
25	20.0	+1.0	+10	+20

Додатковий протитиск скрубера SO_x залежить від типу скрубера. Зазвичай можна очікувати зворотний тиск від 20 до 40 мм на 1 МБар при 100% потужності двигуна. Залежно від робочих параметрів, питома витрата мазуту становить 0,3...0,7 г/(кВт·год).

У відкритому циклі необхідна витрата промивної води визначається кількістю відпрацьованих газів, яка залежить від потужності двигуна.

Необхідний потік морської води із відкритим контуром оцінюється як 50 м³/год/МВт.

Споживання електроенергії в режимі відкритого циклу витрачається на подавання морської води в скрубер. Потужність насосів залежить від витрати води та тиску, який необхідний для роботи системи. Необхідний тиск насоса

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

потрібен для подолання висоти підйому (тобто вертикальну відстань між рівнем моря та точкою введення у скруббер) та тиску впорскування. Необхідне значення потужності, для відкритого циклу, може бути оцінена за формулою:

$$P = 0,70\% \cdot P_{ME} \cdot MCR\%$$

Якщо відома висота (H) між рівнем морської води та входом у скруббер, і припускаючи тиск нагнітання 10 м та ефективність насоса, необхідну потужність можна розрахувати наступним чином:

$$P = P_{Pump} = P_{ME} \cdot MCR\% \cdot Flow_{SW} / 3,600 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot (H + 10) / eff_{Pump}$$

На рис. 4.5 показана необхідна потужність у режимі відкритого циклу при різних висотах подавання води.

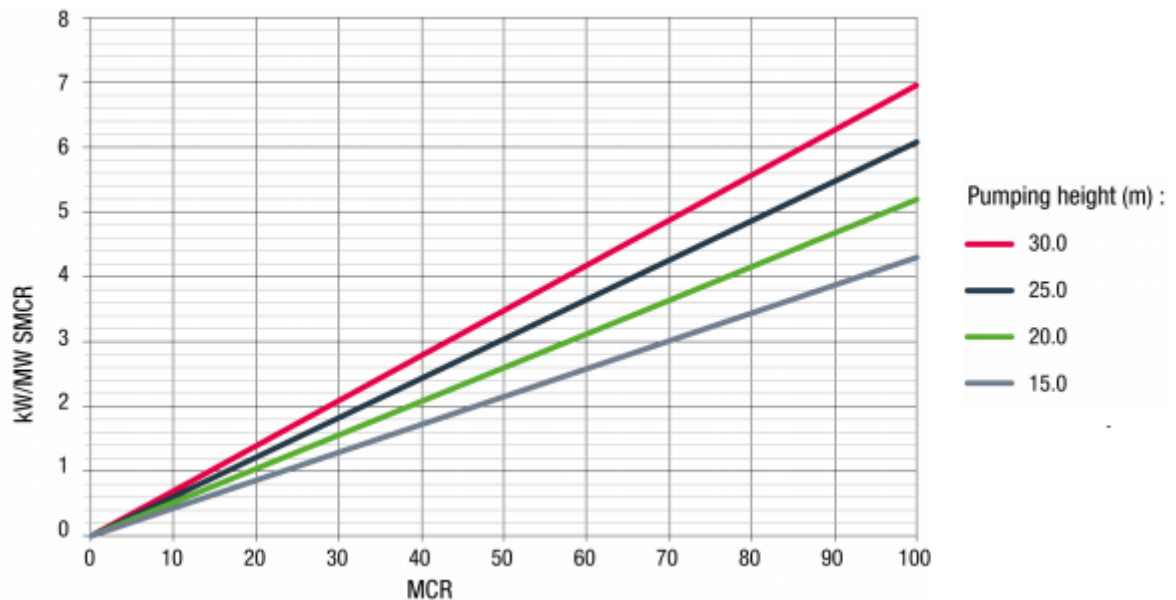


Рис. 4.5 – Необхідна потужність насоса при різних висотах подавання води

4.3. Вибір комплектуючого обладнання комбінована системи EGR та EGC

Загальне розміщення елементів комбінованої системи EGR та EGC на судні представлено на рисунку 4.6 [15].

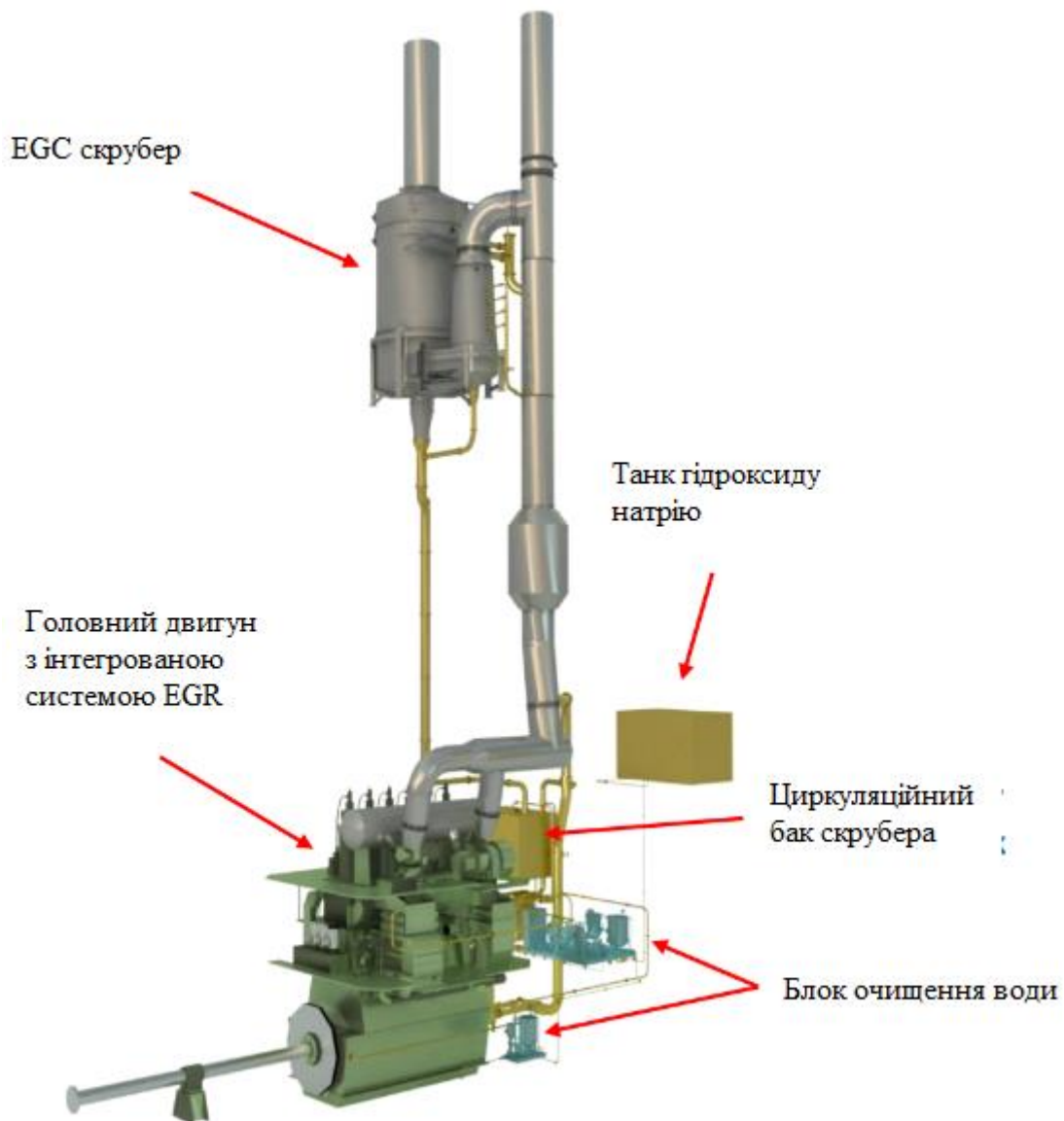


Рис. 4.6 – Комбінована система EGR та EGC

Скрубер відкритого типу складається з двох частин, струминного скрубера та абсорбера. Струминний скруббер здійснює попереднє очищення, процес очищення починається при струминному розпилюванні води у потік вихлопних газів. Розміщений перед абсорбером, він збільшує ефективність очищення.

З струминного скрубера потік газу подається до абсорбера, де SO_x видаляється до необхідного рівня. Загальний вигляд скрубера фірми Alfa Laval представлено на рисунку 4.7.

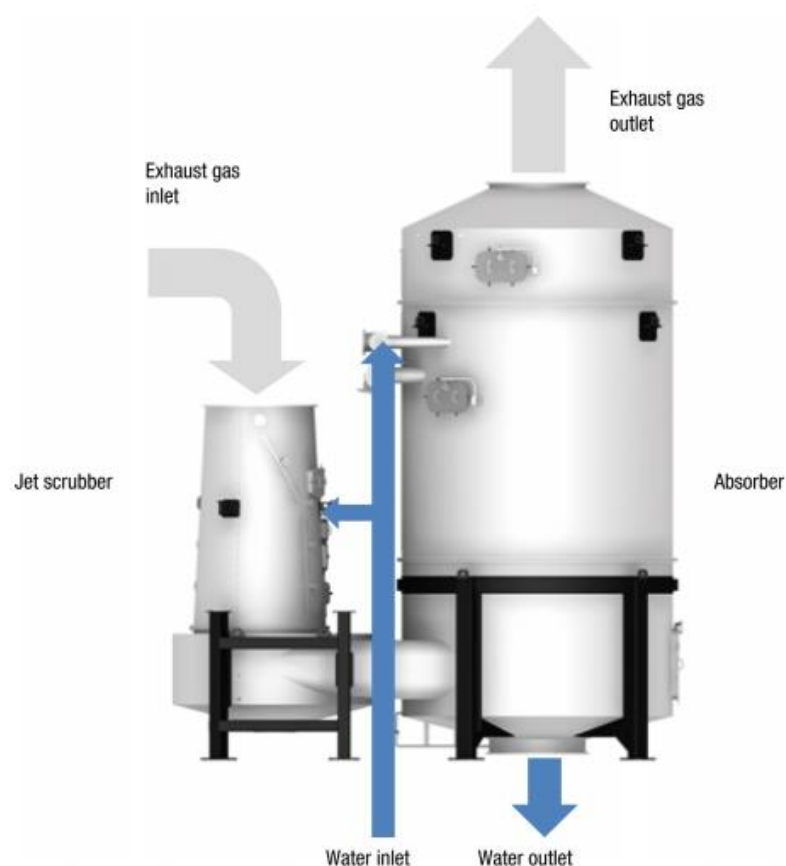


Рис. 4.7 – Скрубер фірми Alfa Laval для уловлення SO_x ,

Під час роботи системи із замкнутим циклом необхідно уникнути накопичення солі, що утворюється в процесі. Перед випуском води, що стікає в море, її потрібно очищати в водоочисному агрегаті (WCU). На рисунку 4.8 представлено технологію очищення води WCU від фірми Alfa Laval. Витікаюча вода з системи збирається в буферному резервуарі. Після додавання коагулянту, витікання води ведеться в утримуючий бак і направляється до високошвидкісного сепаратора для остаточного очищення. Система моніторингу контролює якість води з урахуванням значення рН, каламутності і концентрація поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Загальний вигляд блоку очищення води фірми Alfa Laval наведено на рисунку 4.9.

Потужність та конфігурація блоку очищення води залежить від витрати води в системі. Необхідна витрата води в скрубєрі EGR становить $2,5 \text{ м}^3/(\text{МВт} \cdot \text{год})$, що призводить до максимально необхідного потоку потужності, що складає приблизно $70 \text{ м}^3/\text{год}$.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

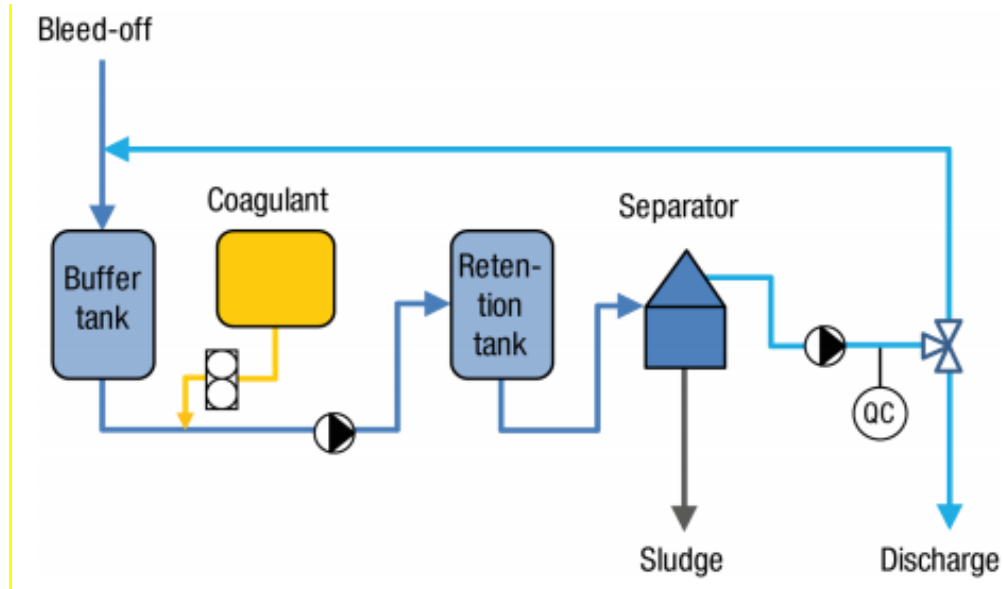


Рис. 4.8 – Схема очищення води WCU від фірми Alfa Laval



Рис. 4.9 – Блок очищення води фірми Alfa Laval

Збірний танк який включає буферний бак та подавальний насос, повинен бути розміщений на рівні нижче дренажних водойм, близьких до основного двигуна, щоб забезпечити правильний дренаж зі скрубера. Розмір збірного танка залежить від кількості води яка необхідна для роботи скрубера.

У комбінованій системі очищення EGR та EGC використовується загальний циркуляційний резервуар для води. Виходячи з витрати скрубера EGC та системи EGR, об'єм розраховується як 15 м³.

Резервуар для гідроксиду натрію (NaOH) розроблений на основі 40-денної роботи двигуна на важкому паливі HFO з вмістом сірки 3,5%. Ємність резервуара для цього судна була розрахована як 20 м³.

Комбінована система EGR та EGC оснащена системою управління.

Панель управління скруббером обслуговує блок очищення води та водовідвід. Провідний інтерфейс підключений до системи судової сигналізації. Якщо спрацьовує сигналізація або активована кнопка аварійної ситуації, система скрубера SO_x автоматично вимикається, а байпас відкривається, зупинка двигуна не відбувається. Після усунення несправності, сигнал зникає з екрана і система може бути перезапущена. Сигналізація та відповідна інформація інтегрована та відображається на елементі управління сенсорного екрана (див. рис. 4.10).



Рис. 4.10 – Система управління скрубера

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

4.4. Визначення запасів робочих речовин

Необхідні запаси робочих речовин та вартісні показники експлуатації системи, яка застосована на судні, визначені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Визначення запасів робочих речовин та вартісних показників експлуатації системи

Головний двигун	MAN B&W 6S60ME-C10.5			
1	2			
Ефективна потужність	10450 кВт			
Частота обертання	96 об/хв			
Питома витрата палива	25% MCR		168 г/кВт	
	50%MCR		162.5 г /кВт	
	75%MCR		158.1 г/кВт	
	100%MCR		161.2 г/кВт	
Підвищений протитиск при 100% MCR	300 мм р.ст.			
Висота підйому води	25 м			
Ефективність насоса	0,80			
Розчин NaOH	50%			
Запас NaOH	33%			
Запас мулового резервуару	33%			
Частота бункеру NaOH	12 разів на рік			
Частота скидання мулу	12 разів на рік			
Перехід з зони контролю викидів SO _x	25% MCR		15% часу	
	50% MCR		15% часу	
	75% MCR		50% часу	
	100% MCR		20% часу	
Питома витрата палива двигуна, г/кВт*год	25%	50%	75%	100%
	168	162,5	158,1	161,2
Додатковий коефіцієнт витрати палива,г/кВт*год	0,5	0,5	0,5	0,5
	168,84	163,31	158,89	162
Потужності скрубера, кВт/год	41	83	124	165
Навантаження ГД	25%	50%	75%	100%
Профіль навантаження,год	15%	15%	50%	20%
Абсолютне споживання палива, кг/год	1,157	2,232	3,288	4,492
Зона контролю викидів	Зона SO _x	Поза зоною	Загальне споживання скрубера SO _x	
Відпрацьований час, кг/год	1,500	3,288	3,051	
Споживання палива з 3%сіри, кг/год	4,590	10	9	
Споживання електроенергії, кВт/год	41	124	114	

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

Продовження таблиці 4.4

1	2		
Показники споживання відповідно до альтернативного сценарію без скрубера			
Відпрацьований час, год	Зона SOx 2.0	Поза зоною 4.0	Загальне споживання 6.0
Паливо 0.1% сіри,т/ рік	6,101	0	6,101
Паливо 0.5% сіри, т/рік	0	12,203	12,203
Річна вартість у доларах США з використанням пального з високим вмістом сірки та скрубера SOx			
SOx скрубера	Споживання	Ціна	Загальна вартість Мільйон доларів на рік
Споживання палива з 3%сіри	18,360 т/рік	580 \$/т	10,65
Споживання електроенергії	642 МВт/рік	220 \$/МВт	0,14
Річна вартість у доларах США з використанням пального з низьким вмістом сірки без скрубера			
NOx скрубера	Споживання т/ рік	Ціна,\$/т	Загальна вартість Мільйон доларів на рік
Паливо 0.1% сіри	6,101	865	5,28
Паливо 0.5% сіри	12,203	714	8,71

4.5. Система циркуляційного змащення двигуна

Для змащування основних деталей сучасних двигунів застосовують циркуляційну систему змащення, при якій одне й те саме масло тривалий час циркулює в системі змащення двигуна та постійно регенерується шляхом фільтрації, відстою, сепарування і охолодження. Схема системи циркуляційного змащення двигуна представлена на рисунку 4.11 [9].

У системі циркуляційного змащення з сухим картером є два масляні насоси. Один насос забирає масло з картера і направляє його в спеціальний бак напірний невеликої ємності. Другий насос забирає масло з бака і направляє його через фільтр і охолоджувач для мастила двигуна. Оскільки продуктивність першого насоса вища за другий, то картер залишається завжди сухим і окислення масла мінімальне. Систему змащення з сухим картером забезпечують автоматикою зупинки двигуна у разі розриву трубопроводу та витоку масла.

Система циркуляційного змащення складається з наступних елементів:

- масляний бак;
- нагнітаючий насос;
- багатосекційний всмоктувальний насос;
- всмоктуючий модуль;

- масляний фільтр;
- масляний радіатор;
- допоміжний масляний радіатор;
- масляний термостат;
- датчики тиску та температури масла;
- редукційні клапани;
- масляна магістраль та канали в двигуні;
- маслопроводи.

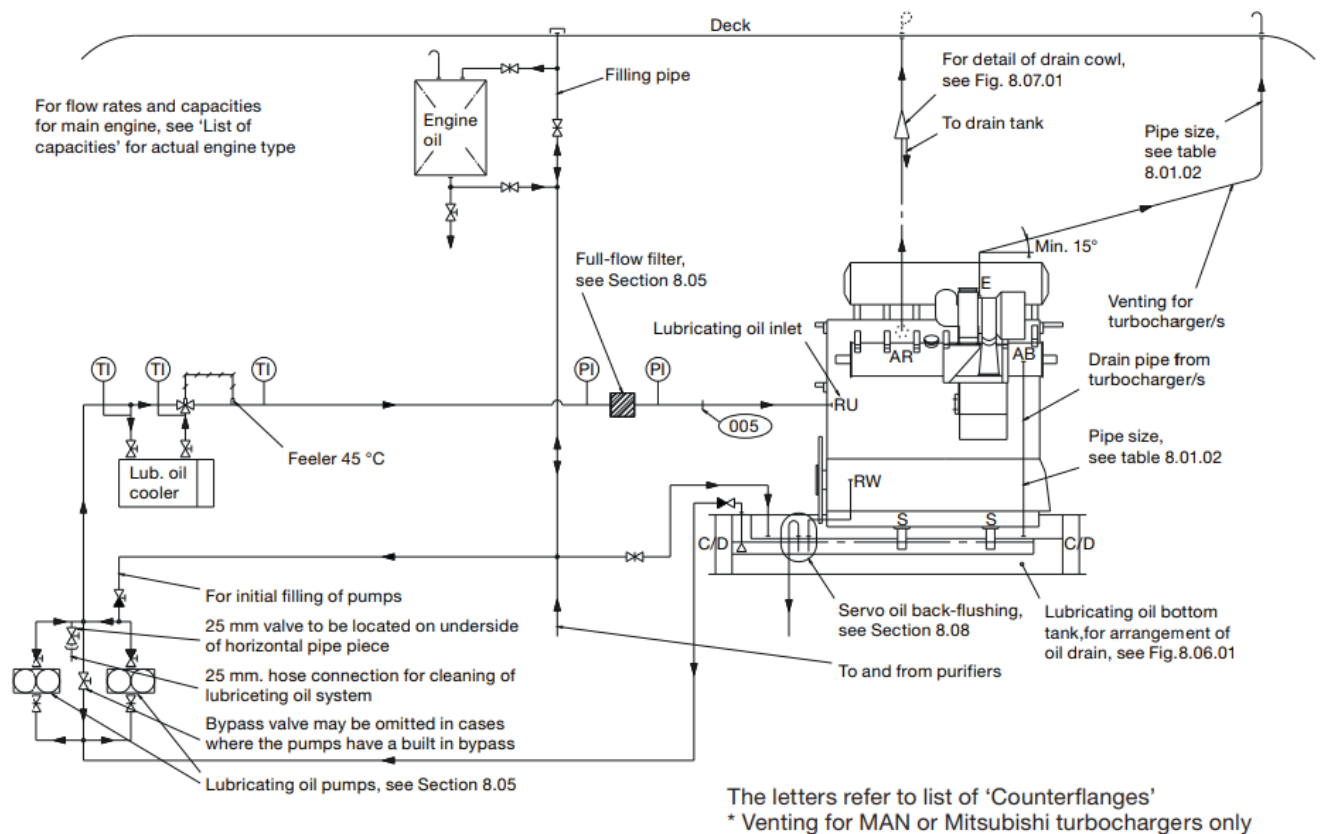


Рис. 4.11 – Система циркуляційного змащення двигуна

Масляний бак. Це резервуар для масла, який може бути встановлений у зручному місці. Бак може мати досить велику ємність, у баку передбачені заспокійники, що запобігають «плесканню» масла та її спінювання під час руху, а також електронний щуп для вимірювання рівня масла.

Насоси. Найчастіше нагнітаючий і всмоктувальний насоси об'єднані в один. Причому у всіх насосах є одна нагнітальна секція, яка подає масло в двигун, і від двох до шести секцій, що відсмоктують – з їх допомогою масло

відкачується відразу з декількох секцій картера, а також з турбокомпресора. У системі циркуляційного змащення використовуються електронне керування насосами.

Основний масляний охолоджувач. Охолоджувач має рідинне охолодження, може підключатися між насосом і фільтром або між всмоктуючим насосом і масляним баком.

Допоміжний масляний охолоджувач та термостат. Додатковий охолоджувач служить для охолодження масла у разі, коли штатний охолоджувач вже не справляється. Масло прямує до допоміжного охолоджувача тільки при досягненні певної температури – за це відповідає термостат.

Маслопроводи. Це металеві трубки, які слугують для циркуляції масла між компонентами, розташованими поза двигуном: між баком, насосами, охолоджувачем і т.п.

Система циркуляційного змащення має кілька основних переваг перед традиційними схемами змащення:

- виключення «масляного голодування» за рахунок забезпечення безперебійної подачі масла у двигун на будь-яких режимах;
- підвищення терміну служби масла – масло не перемішується колінчастим валом, не спінюється і має мінімальний контакт з картерними газами, тому довше зберігає свої властивості;
- найкраще охолодження масла – це досягається наявністю охолоджувача (або двох), а також великою кількістю масла в системі;
- вища надійність роботи двигуна.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

5. Розробка системи заходів для забезпечення надійної експлуатації обладнання СЕУ

5.1. Система моніторингу напруги корпусу судна

Міжнародна морська організація (ІМО) рекомендує встановлення систем моніторингу напруги корпусу (HSMS) для сприяння безпечній експлуатації суден, що перевозять навалом сухі вантажі. Використання системи надає капітану та особам командного складу судна інформацію в реальному часі про рухи корпусу та глобальне навантаження, яке відчуває судно під час навігації, а також під час вантажно-розвантажувальних операцій. Рекомендації ІМО опубліковані в циркулярі Комітету з безпеки на морі, MSC/Circ.646, який додається до цієї Морської інструкції. Ці рекомендації стосуються суден з 20000 ДВТ і вище, які перевозять сухі вантажі навалом.

Напруження в корпусі суден вимагають додаткової уваги, особливо з огляду на катастрофічні наслідки, які можливі в результаті їх поломки. Доволі часто відбуваються випадки зі зломом в середній частині корабля, несправності внаслідок викривлення стелажів на Ро-Ро та контейнеровозах.

Хоча існує чисельне кількісне визначення для опису згинальних моментів корпусу, зсувних і згинальних сил, викликаних стоячою водою та хвилями, проектні фірми та класифікаційні товариства все ще мають дуже мало даних або кількісних показників для різних комбінацій навантажень у різних станах моря, за різними шкалами Бофорта вздовж різних торгових шляхів. В результаті цього стає неможливо передбачити реакцію корпусу судна на навколишнє середовище під час плавання.

Система моніторингу напруги корпусу забезпечує моніторинг сил, що діють на корпуси судна, у реальному часі. Вона забезпечує миттєвий зворотний зв'язок з екіпажем, якщо навантаження на корпус або рівень втоми перевищують безпечні пороги. Вона також знижує витрати на технічне обслуговування, уникаючи або зменшуючи ризик пошкодження конструкції судна.

Вплив класифікаційних товариств призвів до того, що HSMS стала відносно стандартизованою. Мінімальною вимогою є наявність двох

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

тензодатчиків на верхній палубі на міделі, акселерометра або датчика тиску в носовій частині та процесора даних і графічного інтерфейсу користувача на містку. Найбільш розповсюджена типова конфігурація такої системи показана на рисунку 5.1.

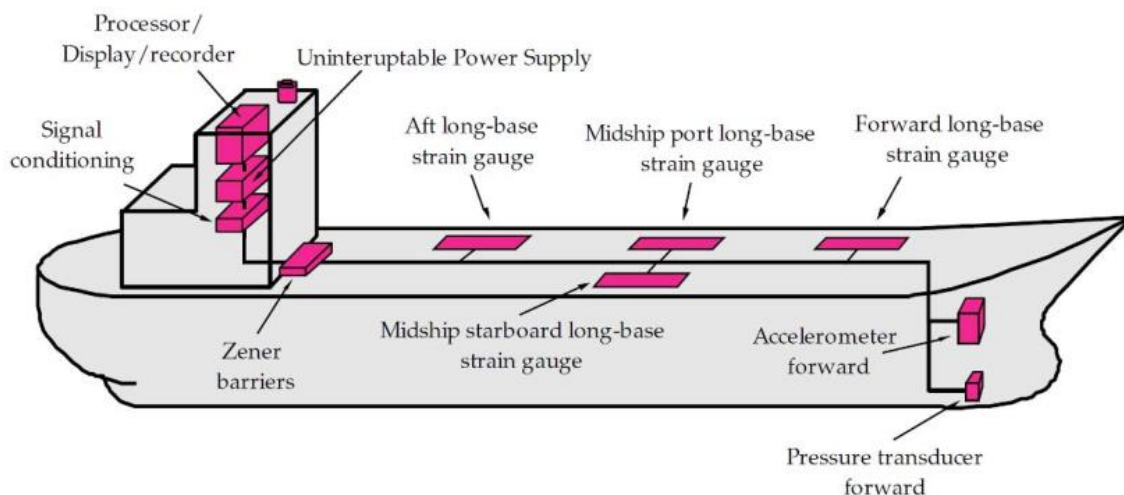


Рисунок 5.1 – Типова конфігурація HSMS для балкера або танкера

Вона має чотири тензодатчика з довгою базою які встановлені на верхній частині головної палуби на міделі (лівий і правий борт) і на чверті довжини судна для моніторингу напруги балки корпусу (тільки з одного боку). Деформації перетворюються на напруги (з використанням закону Гука) з припущенням, що вимірювання деформації в центрі корабля з обох боків палуби дозволяє оцінити як вертикальні, так і горизонтальні компоненти вигину (через середнє значення комбінованої суми або різниці відповідно) і що деформації кручення «оцінюються обчисленням для заданих станів моря». Ця інформація може бути використана для висновку про «втомний ресурс» балки корпусу за допомогою простої теорії балок. Ця конфігурація призначена для призматичних комерційних насипних вантажних суден.

Акселерометри та датчики тиску розташовані в носовій частині судна для вимірювання інцидентів слеммінгу, виходу носа та тиску слеммінгу. На великих судах, де рубка і міст розташовані на кормі, екіпаж не може легко помітити слеммінг, тому особливо важливо стежити за слеммінгом і відображати попередження на містку, оскільки це джерело високого структурного

навантаження та суттєвий внесок у структурну втому судна. Комерційні системи моніторингу напруги корпусу зазвичай проводять циклічний підрахунок вимірюваних напруг за допомогою так званого «методу підрахунку дощового потоку» та використовують прості методи оцінки втоми балок корпусу забезпечуючи оцінку накопичення пошкоджень від втоми та залишкового ресурсу балок корпусу в режимі реального часу. Таким чином, використання системи моніторингу корпусу для уникнення слеммінгу дало додаткові переваги власникам комерційних суден.

Більш комплексні HSMS мають повністю інтегровані системи, здатні передавати та зберігати дані, додаткові датчики, включаючи тензодатчики в різних місцях, акселерометри/датчики руху, датчики тиску на носі, датчики стану моря/навколишнього середовища та навігацію (GPS, швидкість, гіроскоп, датчики компаса, кута повороту керма тощо). Моніторинг хвиль і руху судна необхідний для надання вказівок оператору, а інформацію про прогноз погоди можна використовувати для допомоги в плануванні рейсу.

Таки системи виробляються декількома фірмами.

Totem Plus Hull Stress Monitoring (фірми Totem Plus) вимірює та аналізує важливі параметри, що впливають на навантаження на корпус судна. Такі параметри включають згинальні моменти, кивання, кочення та удари. Сигнали подаються, якщо будь-який параметр відхиляється від дозволеної області. Поперечна стійкість онлайн вимірюється та відображається за періодом кочення, а параметрична ймовірність кочення розраховується на основі фактичних параметрів крену та тангажу. Система використовується для надання корисної інформації капітанам щодо можливих дій, таких як баластування, зміна курсу тощо. Система базується на спеціальних датчиках, таких як тензодатчики з довгою базою, акселерометри (вимірювання ударів і слемінгу) і інклінометри [20].

Систему Totem Plus Hull Stress Monitoring можна інтегрувати з програмним забезпеченням яке аналізує стрес та стабільність (це рекомендується). Приклад такого програмного забезпечення наведено на рисунку 5.2.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

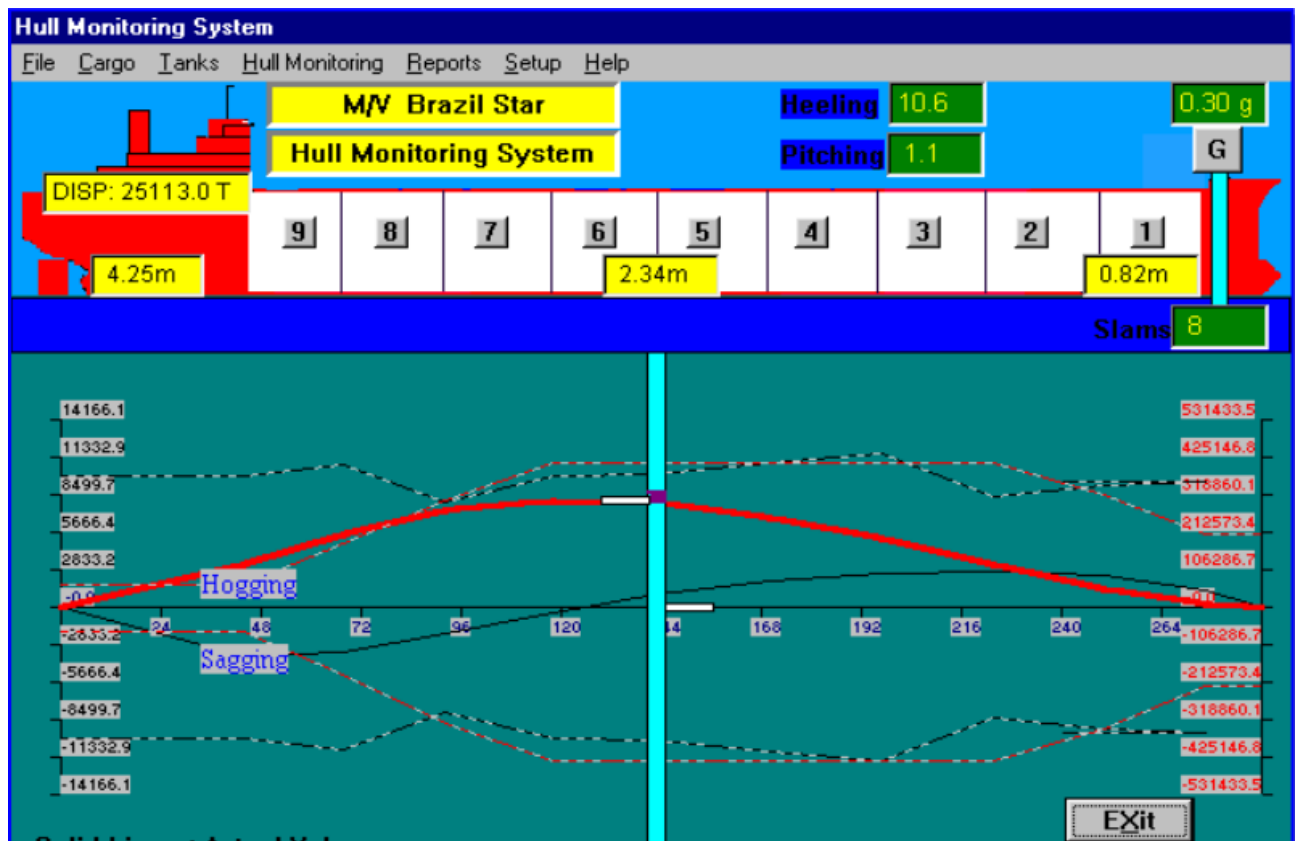


Рисунок 5.2 – Приклад такого програмного забезпечення з аналізу стану корпусу судна

Особливістю системи Totem Plus Hull Stress Monitoring є [20]:

- вимірювання в реальному часі та моніторинг рухів корпусу та напруг;
- вимірювання прискорення під час удару або слеммінгу;
- вимірювання поперечної стійкості в реальному часі;
- два інклінометри, що вимірюють крен і диферент;
- вимірювання згинального моменту спеціальними тензодатчиками;
- аналіз трендів і зіставлення даних;
- точне калібрування шляхом порівняння з розрахованими згинальними моментами;
- файл історії автоматично зберігається для окремого аналізу;
- застосування датчиків першокласної якості – водонепроникні та довговічні;
- безперервне зчитування значень реального часу;
- зручний графічний інтерфейс;
- видання тривоги через несправність або невідповідність даних.

Приклад тензометричного датчика з довгою базою представлено на рисунку 5.3.



Рисунок 5.3 – Тензодатчик з довгою базою

Технічні характеристики тензометричного датчика наступні:

- тип – пересувний;
- вимірювальний хід – ± 5 мм;
- вимірювальна довжина – 2 метри;
- лінійність перетворювача – 0,1% FSR;
- робоча температура – від -25 до $+80$ °C.

Приклад акселерометру представлено на рисунку 5.4. Його технічні характеристики наступні:

- тип – сервопривід;
- діапазон вимірювання – $\pm 2g$;
- частотна характеристика – від 0 до 50 Гц;
- точність: $\pm 0,2\%$ FSR;
- робоча температура – від -40 до $+85$ °C.

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.



Рис. 5.4 – Акселерометр

Приклад тензометричного датчику тиску представлено на рисунку 5.5.
Його технічні характеристики наступні:

- діапазон вимірювання – 10 бар;
- точність – $\pm 0,25\%$ FSR;
- струмовий вихід – 4...20 мА;
- напруга – постійний струм 10...24 В.

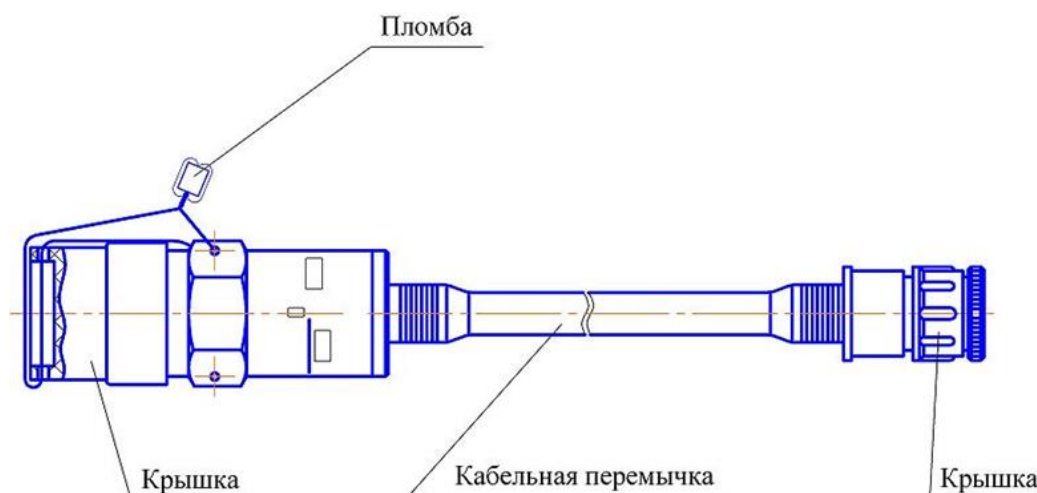


Рис. 5.5 – Тензометричний датчик тиску

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

5.2. Контроль стану зносу підшипників

Система моніторингу стану зносу підшипників (BWCM) має функцію прогнозування зносу підшипників у великих двотактних дизельних двигунах до того, як він стане критичним. Система забезпечує завчасне попередження, якщо у будь-яких із трьох підшипників кривошипно-шатунної передачі (хрестовина, кривошип і корінний підшипник) виникнуть несподівані проблеми під час експлуатації судна [21].

Типове улаштування такої системи від фірми Kongsberg показано на рисунку 5.6.

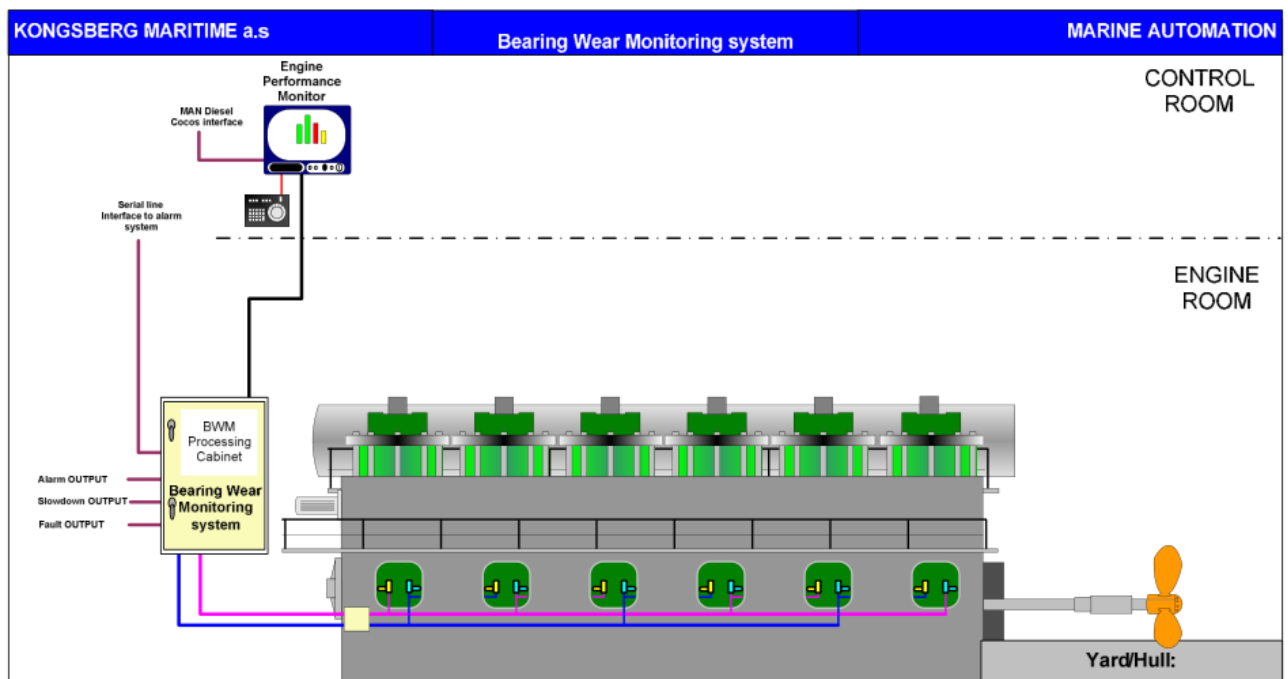


Рис. 5.6 – Типове улаштування системи моніторингу стану зносу підшипників від фірми Kongsberg

Вона складається з двох датчиків зносу підшипників для кожного циліндра (переднього та заднього). Через шину CANopen вимірювання датчиків надходять у системні комунікаційні блоки, де виконується подальша фільтрація сигналу. Презентація, трендування та зберігання історичних даних здійснюється або за допомогою K-Chief 500 SW як окремого ПК, або інтегровано з AutoChief чи K-Chief 500 AMS.

Датчик PS-11 (див. рис. 5.7) заснований на принципі вихрових струмів і використовується для вимірювань електропровідних феромагнітних матеріалів.

					КР.135.6211М.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

Змінний струм високої частоти протікає через котушку, вливу в корпус датчика. Електромагнітне поле котушки викликає вихрові струми в провідній мішені, що змінює опір змінного струму котушки. Ця зміна імпедансу створює лінійний електричний сигнал, пропорційний відстані цілі від датчика.



Рис. 5.7 – Датчик PS-11

Вимірювання проводяться кожного разу, коли башмак напрямної хрестовини проходить нижню мертву точку під час роботи двигуна. Датчик виконує вибірку зі швидкістю 150 кГц. Коли кривошип проходить нижню мертву точку, датчик вимірює та визначає мінімальну відстань між датчиком і башмаком напрямної хрестовини. Мінімальне значення передається в систему BWCM [21].

Щоб мати можливість визначити, чи один або кілька підшипників зношені, датчику потрібне еталонне значення, яке вказує на нормальний рівень башмака напрямної хрестовини. Це контрольне значення вимірюється та зберігається під час встановлення датчика та введення в експлуатацію.

Швидкість двигуна впливатиме на виміряні показання. Таким чином, кожен датчик вимірює оберти двигуна та компенсує виміряні значення відповідно до даних калібрування обертів для кожного окремого циліндра. Криві

					Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата	КР.135.6211м.03.ПЗ

компенсації обертів для кожного датчика вимірюються та зберігаються під час введення датчика в експлуатацію на фактичному двигуні.

Також на вимірювання датчика впливатимуть маневрування, стан вантажу та температура рами двигуна. Ці ефекти обробляються у фільтрі відхилення для кожного датчика. Крім того, датчик вимірює температуру котушки та виконує компенсацію у значенні відповідно до виміряної температури. Ця температурна компенсація датчика встановлюється під час виробництва датчика.

Типове встановлення датчика показано на рисунку 5.8. Датчики встановлені на спеціально розробленому кронштейні та закріплені на рамі двигуна під башмаком напрямної траверси [21].

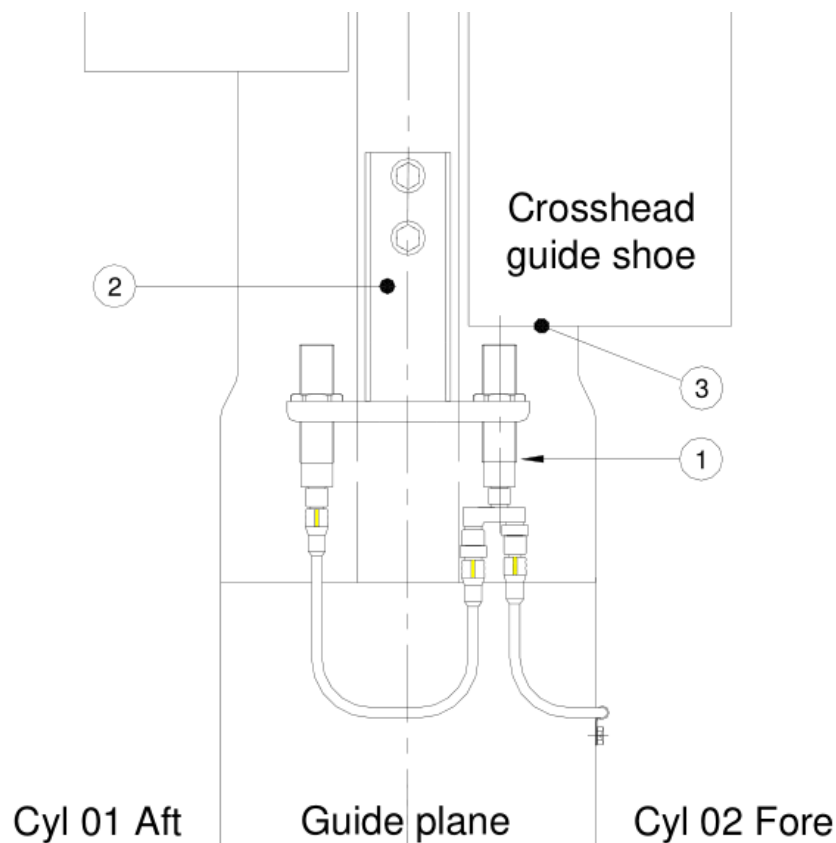


Рис. 5.8 – Типове встановлення датчика PS-11
1 – датчик PS-11; 2 – кронштейн; 3 – башмак напрямної хрестовини

6. Розробка розташування енергетичного обладнання на судні

6.1. Вимоги до розміщення обладнання в МКВ судна

Розташування основного та допоміжного обладнання і устаткування в машинному відділенні судна виконано за принципом групування їх за функціональними ознаками та з урахуванням забезпечення зручностей огляду, обслуговування, зручностей ремонту, скорочення довжини трубопроводів, кабелів і газоходів. Обладнання розташовується у машинному відділенні згідно з вимогами класифікаційних товариств. Загальні правила, що стосуються обладнання, полягають у тому, що їх слід розташовувати у таких місцях, де вони будуть найбільш ефективно виконувати свої функції.

Розташування на судні СЕУ і її устаткування повинне відповідати вимогам Класифікаційного товариства. Енергетична установка повинна надійно працювати на всіх можливих режимах експлуатації, у тому числі при тривалому крені судна до 15° і диференті до 5° , а аварійні джерела енергії – при тривалому крені судна до $22,5^\circ$ і диференті до 10° .

Устаткування СЕУ розташовують так, щоб між устаткуванням були проходи вширшки не менше 0,6 м, та до нього був вільний і зручний доступ для обслуговування і аварійного ремонту.

Головні двигуни і валопровід розташовують в нижній частині судна, в трюмі машинного відділення, на фундаментах, зв'язаних з днищевим набором корпусу судна. Машинне відділення, згідно нормативних вимог, повинне мати два вихідних шляхи, які розташованих в різних кінцях. Допоміжне устаткування необхідно встановлювати якомога ближче до головного двигуна, що обслуговується, та поблизу від інших агрегатів, які пов'язані загальним розташуванням, робочим тілом та тими, хто обслуговує цей головний двигун.

Для розташування головного двигуна в машинному відділенні в кормовій частині судна характерне вживання короткого валопроводу з головним упорним підшипником, розташованим в кормовій частині головного двигуна. При такому розміщенні необхідна наявність достатніх площин навколо головного двигуна, для розміщення його деталей при ремонті. Зверху над дизелем передбачається

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

вільний простір для витягання поршнів за допомогою спеціальних підйомних пристроїв.

Допоміжний паровий котел розміщують на платформі. Його захищають нафтонепроникними комінгсами заввишки 0,2 м, а в районі топочного пристрою – металевою вигородкою, яка оберігає від дії полум'я у разі його викиду з топочного пристрою.

Поблизу допоміжного котла встановлюють агрегати водопідготовки та елементи, які обслуговують парову систему.

Устаткування суднової електростанції звичайно розміщують на платформі в кормовій частині машинного відділення. Класифікаційні товариства вимагають наявність не менше двох джерел електроенергії (основних), один з яких повинен мати незалежний привід. Розподільні щити встановлюють в місцях з якнайменшою концентрацією газів, пари, пилу або води, звичайно на платформі в ЦПУ.

Відповідно до вимог Класифікаційних товариств прохід перед головним розподільним щитом повинен бути не менше 0,8 м. Простір позаду головного розподільного щита відгороджується і закривається дверима.

Аварійний дизель-генератор разом з аварійним розподільним щитом встановлюють в одному окремому приміщенні, що знаходиться вище палуби переділок, воно повинно мати вихід на відкриту палубу.

Трубопроводи прокладаються в трьох взаємно перпендикулярних напрямках: перпендикулярно діаметральної площини судна, паралельно до неї та перпендикулярно основної площини, з достатнім простором для монтажу та обслуговування систем. Траси трубопроводів прокладають по найкоротшому шляху, вони повинні мати просту конфігурацію. Забороняється прокладати трубопроводи через житлові приміщення. Паливні трубопроводи не повинні проходити над двигунами, паровими котлами і газоходами.

Насоси встановлюються поблизу місця забору робочої рідини. Насоси повинні мати приймальні патрубки мінімальної довжини і достатньо великого

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

прохідного перетину. Бажано, щоб рідина, яку перекачують, поступала до насоса з підпором.

Приймальні кінгстони заборотної води розташовують в носовій частині машинного відділення перед відливними каналами. Приймальні отвори в зовнішній обшивці судна захищають ґратами. На судні передбачають як мінімум два кінгстонних ящики, один на борту та один днищевий. Всі вони бути сполучені між собою, що дозволяє брати воду з будь-якого ящика. Насоси заборотної води встановлюються в трюмі на приймальному трубопроводі заборотної води. Насоси прісної води встановлюються на платформі з розрахунком створення підвищеного тиску на всмоктуванні. За тим же принципом встановлюються насоси охолодження форсунок.

Масляні насоси встановлюються поблизу стічно-циркуляційної цистерни з боку підведення масла до дизеля. На допоміжних двигунах масляні насоси зазвичай навішуються в носовій частині дизеля. Це визначає місце встановлення циркуляційних масляних цистерн та іншого допоміжного обладнання масляної цистерни дизеля. Баластні, пожежні і осушні насоси розташовують на тій же перемишці, що і насоси заборотної води. Розташування охолоджувачів масла та прісної води, обумовлено міркуваннями скорочення траси проходження охолоджуючої і охолоджуваної рідини. Охолоджувачі звичайно розташовують на платформі над насосами.

Устаткування паливної системи (насоси, сепаратори, фільтри та ін.) розташовують в трюмі машинного відділення компактно, поблизу витратних цистерн очищеного палива. Для перекачування палива передбачають мінімум два насоси, один з яких резервний. На судні передбачають мінімум два сепаратори палива, один з яких резервний.

Повітряні компресора встановлюються у місцях, де всмоктуване повітря буде мінімально забруднено парами горючих рідин та іншим. Балони пускового повітря звичайно розташовуються поряд з компресорами на платформі в машинному відділенні.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

Під головним двигуном розміщують стічні масляні цистерни які відділяють кофердами від зовнішнього дна та інших відсіків міждонного простору.

В машинному відділенні на рівні платформи в спеціальному приміщенні обладнується суднова майстерня, в якій є устаткування, необхідне для проведення ремонту і контролю апаратури.

Машинне відділення обладнують світловими люками, через які здійснюється вентиляція, а також завантаження/вивантаження крупногабаритних деталей при ремонті. Для монтажу/демонтажу елементів головного двигуна, механізмів і устаткування машинного відділення встановлюють мостові крани та монорельси з таями.

Для переміщення між майданчиками передбачаються трапи шириною 0,6 м. Кут нахилу до горизонту не більш 60°.

6.2. Розміщення обладнання СЕУ в МВ балкера

Розташування обладнання у машинному відділенні балкера виконується згідно вимог наведених у пункті 6.1, тобто згідно норм класифікаційних товариств. Балкер, у якого модернізується енергетична установка, має кормове розташування машинного відділення.

Прийняте компоновання машинного відділення передбачає розташування дизель-генераторів на II платформі в кормовій частині машинного відділення, що забезпечує мінімальну довжину їхніх газоходів і зручний доступ до них. Головний двигун максимально наближений до кормової переділки, що дозволило ефективно використати розвал у кормовій частині машинного відділення, а також скоротити довжину валопроводу до мінімуму.

Блоки паливних і масляних цистерн розташовані за кормовими переділками машинного відділення, під нижньою палубою в районі носової переділки машинного відділення і в другому дні. Цистерни, що обігріваються, відокремлюються від цистерн, що не обігріваються, кофердами. У зв'язку з

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

обмеженим розміром блоків цистерн, кофердами між зовнішньою обшивкою і цистернами запасу не передбачені. Розташування допоміжних механізмів і устаткування в машинному відділенні виконано за принципом групування їх по функціональній ознаці з урахуванням забезпечення зручностей обслуговування, скорочення довжини трубопроводів і газоходів, а також забезпечення ремонтопридатності.

Головний двигун встановлено на фундаменті, зв'язаному з днищевим набором корпусу. Комбінований котел установлений на верхній палубі в кормовій частині. ГРЩ і щит управління електроенергетичною установкою розташовані на I платформі в приміщенні ЦПУ. Компресори, що обслуговують систему стиснутого повітря, розташовані на другій платформі по правому борту.

Детальне зображення машинного відділення наведено на кресленнях.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

7. Технологічна розробка монтажу комбінованого котла

7.1. Конструктивна характеристика комбінованого котла

На балкері встановлено комбінований котел фірми Alfa Laval марки Aalborg ОС-ТСі вертикальної конструкції, який складається з двох частин: утилізаційної димотрубною і паливної водотрубною. Він має наступні характеристики:

- тиск насиченої пари – 9 бар;
- паропроодуктивність при роботі паливної секції – 0,75...6,5 т/год;
- паропроодуктивність при роботі на відхідних газах ДВЗ – до 5,0 т/год;
- паропроодуктивність при сумісній роботі обох секції – до 8,0 т/год.

Котел обладнаний моноблочним форсуночним пристроєм із системою управління й захисту, іскрогасником за паливною частиною котла, солеміром живильної води, приладом виявлення вмісту нафти в живильній воді.

Котлоагрегат має чотири опори – три рухомі та одну нерухому. Котлоагрегат кріпиться до фундаменту за допомогою перехідних частин, тобто другої половини фундаменту, яку закріплено разом з котлом. Для забезпечення теплового розширення корпусу, рухомі опори мають овальні отвори.

7.2. Обґрунтування прийнятого методу монтажу комбінованого котла

Котел поступає на судно максимально обладнаним, монтаж проводиться агрегатним методом. Цей метод дозволяє виконувати установку повністю зібраного в цеху котла без необхідності збиральних операцій на судні. Наразі судові котли невеликих розмірів кріплять за допомогою перехідних частин фундаменту, перехідних фундаментних рам та монтажних плит. Можливість агрегатного монтажу та трудомісткість кріплення парогенератора залежить від конструкції опор.

Найменш технологічно використання монтажних плит, які підганяють по місцю між опорами та судовим фундаментом. В цьому випадку парогенератор

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

неодноразово переміщують для розмітки та свердління отворів у фундаменті. Цей метод монтажу слід використовувати як виняток.

Кріплення котла за допомогою перехідної фундаментної рами є більш технологічним, оскільки вона забезпечує геометричну незмінність котлоагрегату при транспортуванні та переміщенні домкратами на судні. Перехідну фундаментну раму кріплять до фундаменту болтами або за допомогою електрозварювання перехідних частин. При цьому методі монтажу маса котлоагрегату збільшується та потребує додаткової відстані по висоті для розміщення перехідної фундаментної рами.

Метод перехідних частин фундаменту передбачає замість монтажних плит використання зварної перехідної частини, яка має технологічний припуск, який видаляють на судні газовим різакон, який встановлюють на спеціальному копірувальному пристрої. З'єднання перехідних частин з котельними опорами здійснюється в процесі зборки котлоагрегату в цеху.

Виходячи з вище вказаного найбільш доцільно використання метода з використанням перехідних частин фундаменту, тому що він найбільш технологічний.

7.3. Інструмент, пристосування, обладнання та прибори

Для здійснення монтажу котла використовують:

- інструменти – ключ з регульованим обертаючим моментом для перевірки кріплення котла до перехідної частини фундаменту, пневматичний шабер, гайкові ключі, струни, щупи;
- пристосування – домкрат гідравлічний для підняття механізму над фундаментом при базуванні, прилади для завантаження котла на судно, кісті, змазка, шабер, дрантя, дерев'яні прокладки, кран, рулетка, талрепи тощо;
- обладнання – пневматична шліфувальна машина, кран 10 т, газові різакон, електрозварювальний апарат;
- прибори – струна з натяжним приладом, рулетка, шланговий рівень.

Приклади застосування обладнання.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

У процесі виконання судномонтажних робіт застосовуються гідравлічні домкрати вантажопідйомністю до 100 кН (див. рис. 7.1).

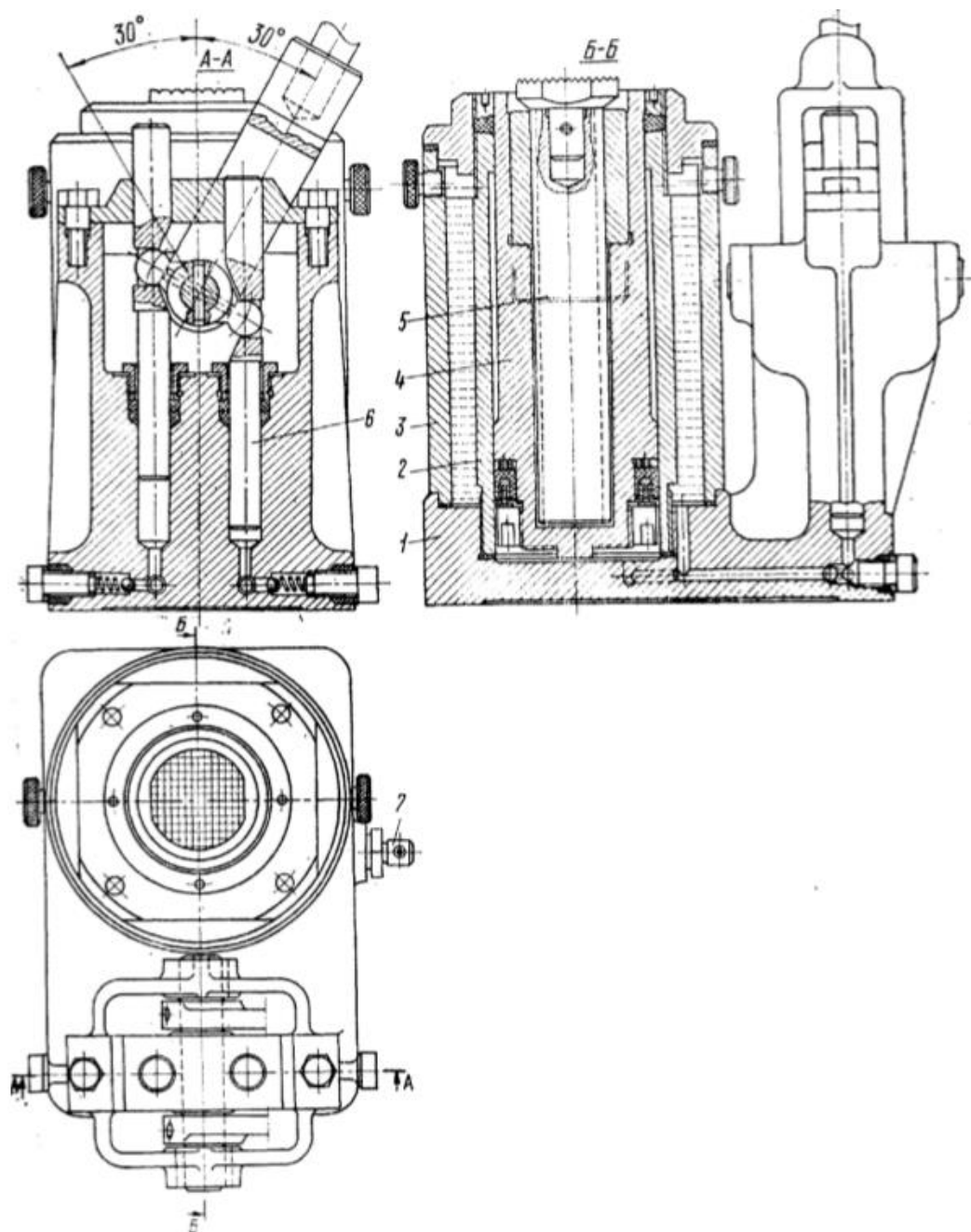


Рис. 7.1. Гідравлічний домкрат вантажопідйомністю до 100 кН

На підставці 1 закріплено циліндр 2 і корпус резервуара 3. У циліндрі розміщено поршень 4 з гвинтом 5, за допомогою якого домкрат установлюється на необхідну висоту до початку роботи. Підйом поршня здійснюється під тиском масла, що нагнітається в порожнину циліндра, з порожнини резервуара ручним плунжерним насосом 6, змонтованим в підставці домкрата. За один подвійний хід плунжерного насоса поршень піднімається на 1,8 мм. Опускання поршня

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.

здійснюється при відкритті голчастого клапана 7, що перепускає масло з циліндра в резервуар.

Технічні характеристики домкрата наступні:

- вантажопідйомність, кН – 100;
- максимальний підйом гвинта, мм – 245;
- висота підйому за один подвійний хід рукоятки, мм – 1,8;
- зусилля на рукоятці, Н – 130;
- обсяг робочої рідини, см³ – 600;
- габаритні розміри, мм – 170×265×255;
- вага, кг – 38,2.

Пневматична турбінка ТПМ-1 (див. рис. 7.2) призначена для таких робіт, як зняття невеликих припусків поверхонь деталей у важкодоступних місцях, припасування прокладок при монтажі механізмів тощо. Корпус турбіни виготовлений з дюралюмінієвого сплаву і поділяється на дві частини, з'єднання різьбове. З торцевої частини корпусу монтується пусковий пристрій, що складається з клапана 11, фільтра 10, соплового диска 9, шпинделя 3 і закріпленого на ньому гвинта 7 ротора 8. Шпиндель 3 обертається в двох опорних шарикопідшипниках 4. На шпиндель нагвинчується конусна гайка 1, що, стискаючи цангу 2, закріплює робочий інструмент (шарошки, абразивні круги і т.п.). Випускні отвори для повітря, що відробило, знаходяться в середній частині корпусу.

Ці отвори прикриваються кільцем – глушником 6 коритоподібної форми для відведення повітря у визначеному напрямку і запобігання перекривання отворів рукою працюючого в процесі роботи. Для збільшення ККД турбіни отвори в диску розташовані під оптимальним кутом до площини диска. Шпиндель турбіни починає обертатися після натискання пускової кнопки важелем 5. У цей час повітря з повітропроводу надходить через фільтр до соплового диска, звідкіля далі по отворах на лопатці ротора. Лопатки ротора мають профіль турбінних лопаток і розташовані по спіралі. Таке розташування лопаток дозволяє використовувати як активну дію струменів стиснутого повітря,

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

так і реактивну дію повітря. Малий габарит, невелика маса, можливість працювати на великих частотах і застосовувати пневматичну турбінку у важкодоступних місцях дозволяють широко використовувати її при виконанні слюсарно-монтажних робіт на судах.

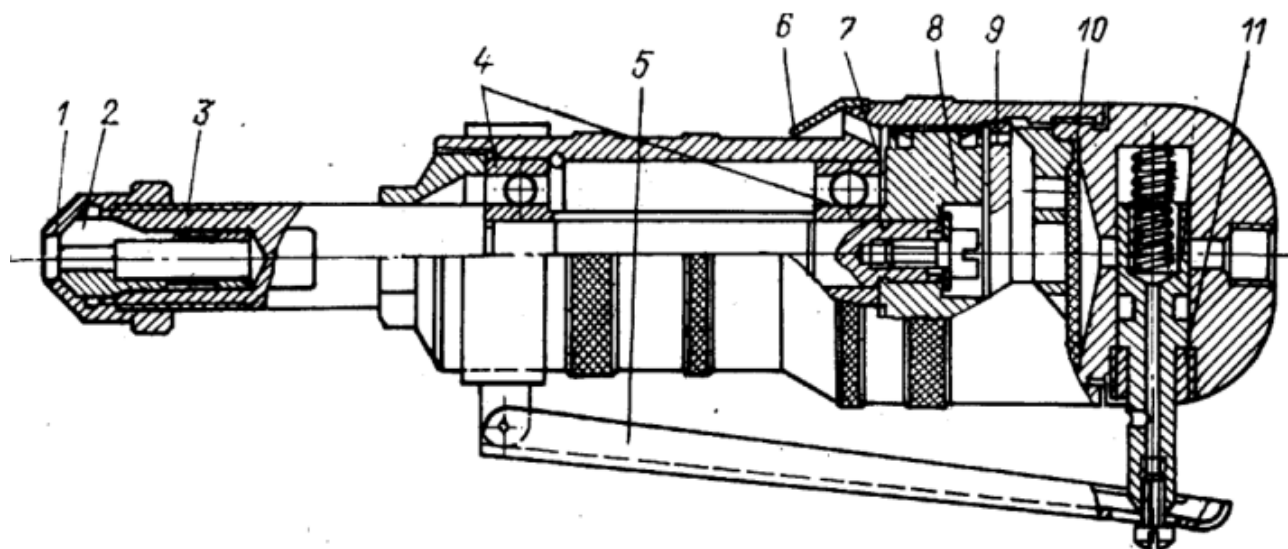


Рис. 7.2 – Пневматична малогабаритна турбінка ТПМ-1

Технічні характеристики турбінки:

- кількість лопаток ротора – 28;
- тиск робочого повітря, МПа – 0,3...0,5;
- частота обертання ротора (шпинделя), хв.⁻¹ – 50000...60000;
- габарити, мм – 173×45×350.

7.4. Технічні вимоги до монтажу комбінованого котла

Вимоги до котельних фундаментів

При встановленні котла на перехідних частинах обробку фундаменту не виконують. На фундаменті повинні бути нанесені осьові риси. До завантаження котла виконують перевірку положення фундаменту. Перевірка фундаменту передбачає:

- перевірку правильності розташування центрових ліній фундаменту;
- перевірку паралельності ліній фундаменту відносно один одного.

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.

Вимоги до завантаження механізмів на судно

Представник технічного контролю повинен перевірити наявність технічної документації зовнішньої прийомки (паспорт, формуляр), що підтверджує відповідність вимогам ТУ на поставки механізму. Для механізмів з гідравлічним приводом необхідно перевірити термін придатності гумово-технічних виробів.

Механізми, що надходять на монтаж, не повинні мати зовнішніх ушкоджень. Зовнішні приєднання механізмів повинні бути закупорені й упаковані відповідно до нормативних документів.

Арматура і прилади, що заважають завантаженню механізму чи можуть бути ушкоджені, повинні бути зняті, замаркіровані з указівкою судна і механізму і здані на склад, а отвори заглушені в присутності представника технічного контролю.

Завантаження механізмів варто робити на підготовлені і пофарбовані фундаменти.

Вимоги до вузлів кріплення механізмів

Спосіб кріплення механізму рекомендується вибирати у відповідності з довідниковими даними з урахуванням норм і вимог до ударостійкості і віброізоляції.

Закріплення механізму на фундаменті повинне бути виконане відповідно до вимог робочих креслень. Кріпильні болти варто заводити з боку фундаменту. В окремих випадках допускається встановлювати їх з боку лапи чи рами механізму. Кріпильні деталі повинні вільно проходити через отвори в опорних лапах механізму і полках фундаменту.

7.5. Техніка безпеки при монтажі комбінованого котла

Перед початком робіт весь персонал, задіяний на монтажних роботах, повинен пройти інструктаж.

Перед початком монтажу горловини, шахти, люки і вирізи в палубі і корпусі треба відгородити або закрити тимчасовими кришками. Робота з пневматичним інструментом дозволяється тільки в захисних окулярах при

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

надійному закріпленні деталі. При роботі необхідно користатися тільки справними пристосуваннями й інструментами. Забороняється переносити і піднімати грузи вагою, що перевищує 50 кг для чоловіків і 20 кг для жінок і підлітків 16...18 років.

Для освітлення робочого місця на суднах треба використовувати переносні електричні лампи з напругою не вище 12 В. Забороняється застосовувати на судах переносний ручний електроінструмент, що працює під напругою понад 36 В. Усі металеві частини електроустановок, що звичайно не знаходяться під напругою, повинні бути надійно заземлені. При свердлильних роботах необхідно користатися спеціальними захисними окулярами. Не можна працювати наждаковими кругами без захисту обличчя.

Особи які не досягли 18-літнього віку до роботи з пневматичним інструментом не допускаються.

Піднімальні стріли і засоби, застосовувані при монтажних роботах, повинні мати клеймо, що вказує на їхню придатність до роботи.

Місця для зборки і монтажу суднових механізмів повинні мати міцні настили і надійно укріплені сходи.

На ділянці консервації і фарбування повинна бути припливна-витяжна вентиляція.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

7.6. Операційна карта монтажу комбінованого котла

Операційна карта монтажу комбінованого котла наведена у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Операційна карта монтажу комбінованого котла

№	Зміст операції	Інструмент та пристосування	Робоча сила	
			Склад бригади	Норма часу
I. Підготовка суднового фундаменту				
05	Перевірка положення фундаменту	Струна, рулетка L = 10м	1/5, 1/3	0,2
010	Очистити фундамент від окалини та іржі	Пневматична шліфувальна машинка, лінійка	1/2	0,6
015	Законсервувати фундамент під котлоагрегат	Кисть ручна, змазка	1/2	0,1
II. Завантаження котлоагрегату				
020	Встановити завантажувальні пристосування	Завантажувальні пристосування, траверси, талі	1/3	0,75
025	Зняти деталі, арматуру, встановити дерев'яні бруски	Гайкові ключі	1/3	0,75
030	Розконсервувати опорні поверхні перехідних частин та фундаменту	Шабер, дрантя	1/3	0,1
035	Завантаження та переміщення котлоагрегату	Кран в/п 10 т, Дерев'яні кліті	1/5	2,35
040	Зняти навантажувальні пристосування та здати їх на зберігання	Гайкові ключі	1/4	0,75
045	Установити деталі і арматуру, зняті при навантаженні	Гайкові ключі	1/3	0,75
III. Базування котлоагрегату				
050	Встановити розпірні домкрати	Розпірні домкрати	1/3	0,6
055	Встановити котел відповідно з координатами креслення	Шланговий рівень, струна, рулетка стальна, талрепи, домкрати	1/5, 1/3	2,16

060	Перевірити крен та диферент котла	Струна, шланговий рівень	1/4, 1/3	0,75
-----	-----------------------------------	--------------------------	----------	------

Продовження таблиці 7.1

№	Зміст операції	Інструмент та пристосування	Робоча сила	
			Склад бригади	Норма часу
IV. Кріплення котла на судновому фундаменті				
065	Виконати розмітку для обрізання припуску перехідної частини	Лінійка, щуп, рулетка	1/4	1,6
070	Підрізати припуск перехідної частини фундаменту	Копіювальний пристрій, газовий різак	1/3	1,5
075	Зачистити кромки перехідної частини фундаменту	Пневматична наждачна машина	1/2	0,3
080	Опустити котел на величину завищення	Домкрати віджимні, пристосування	1/3	0.5
085	Заміряти зазори між фундаментом та перехідною частиною	Набір щупів	1/3	0,75
090	Зробити електроприхватку, видалити тимчасові прокладки	Електрозварювальний апарат	1/4	1,8
095	Приварити перехідну частину до фундаменту	Електрозварювальний апарат	1/4	1,1
100	Видалити розпірні домкрати та прокладки	Гайкові ключі, домкрати	1/3	0,55
105	Перевірити теплові зазори в рухомих опорах та прилягання опор котла до опорних поверхонь	Набір щупів, гайкові ключі	1/3	0,6
V. Технічний контроль				
100	Перевірити якість монтажу		1/5	0,15
115	Здати монтаж представнику Класифікаційного товариства		1/5	0,15
120	Пофарбувати зварні шви		1/3	0,1

Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата

КР.135.6211м.03.ПЗ

Арк.

Висновок

В магістерській роботі було розглянуто експлуатаційні характеристики існуючої СЕУ балкера МР Kamsarmax 1. Оцінено можливості її подальшої експлуатації у розрізі нових вимог ІМО Tier 2, Tier 3, SOLAS-74, MARPOL 73/78. Запропоновано модернізувати СЕУ судна для поліпшення експлуатаційних показників. В ході аналізу експлуатаційних параметрів суднового двигуна MAN B&W 6S60ME-C10.5 було прийнято рішення застосувати його на судні.

Розроблена теплова схема модернізованої СЕУ та схема утилізаційної скидної теплоти, виконано аналіз головних споживачів електричної та теплової енергії на судні, підібрано обладнання для судових комплексів.

Для скорочення шкідливих викидів з відпрацьованими газами у навколишнє середовище та виконання вимог ІМО, було запропоновано встановити на судно комбіновану систему з EGC та EGR для зменшення викидів оксиду азоту NO_x та оксиду сірки SO_x . Виконані розрахунки елементів скруберної системи, вибір її комплектуючого обладнання та визначенні запаси робочих речовин для роботи системи.

У ході роботи було розроблено розташування елементів та устаткування СЕУ в машинному відділенні, відповідно до вимог класифікаційних товариств, правил техніки безпеки і протипожежної безпеки, санітарно-гігієнічних норм.

Запропоновано заходи з моніторингу стану корпусу судна та впровадження системи моніторингу стану зносу підшипників.

Виконано технологічну розробку монтажу комбінованого котла.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

Список використаної літератури

1. SIGNIFICANT SHIPS OF 2017 © 2018. The Royal Institution of Naval Architects.
2. Consolidated Text Of The 1974 Solas Convention. 2020.
3. Международный кодекс по управлению безопасностью (МКУБ).
4. Горбов В.М. Основи суднової енергетики: збірник практичних завдань/В.М. Горбов, І.П. Єсін, В.С. Мітенкова. – Миколаїв: НУК, 2018.–244 с
5. Артемов Г.А., Волошин В.П. и др., «Судовые энергетические установки», 1987
6. Шостак В.П. Проектирование пропульсивной установки судов с прямой передачей мощности на винт/ Под ред. Шостака В.П. - Николаев: НКИ, 2003.–500 с
7. IMO (2016). Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines.
8. Gorbov V. M., Mitienkova V. S., Serbin S. I. Alternative Fuels in Ship Power Plants: Monograph. – Mykolaiv: publisher Torubara V. V., 2017. – 120 p.
9. MAN Energy Solutions. Technical Documentation. Project guide S60ME-C10.5. 7020-0245-05ppr July 2022.
10. Yanmar. Products Guide. Diesel Engine Generator Set. Yanmar Energy System Co., Ltd. 2019.
11. International Maritime Organization (IMO). Greenhouse Gas Emissions. [Electronic resource] – Mode of access:
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/GHG-Emissions.aspx>.
12. Alfa Laval. Aalborg OM-TCi. Oil-fired steam boiler. MDD00235EN 1507. 2018.
13. Alfa Laval. Aalborg OC-TCi. Oil-fired modular, Turbo Clean intelligent composite boiler. MDD00233EN 1508. 2019.
14. Reduction of SO₂, NO_x and Particulate Matter from Ships with Diesel Engines. Environmental Project no. 1510, Denmark 2014.

					КР.135.6211м.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		

15. Herdzik, Jerzy. (2020). Problems of Nitrogen Oxides Emission Decreasing from Marine Diesel Engines to Fulfil the Limit of Tier 3. Rocznik Ochrona Srodowiska. 21. 659-671.

16. Detegasa. Marine Incinerators. IMO MEPC 76(40) MED Type Approved. www.detegasa.com. 2020.

17. A practical guide to exhaust gas cleaning systems for the maritime industry. EGCSA Handbook 2012.

18. <https://marine.man-es.com>.

19. Understanding exhaust gas treatment systems. Guidance for shipowners and operators. June 2012.

20. Totem Hull Stress Monitoring. Totem Plus. 2020.

21. Bearing Wear Condition Monitoring (BWCM). Kongsberg Maritime As. 2018.

					КР.135.6211М.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ документа	Підпись	Дата		