

Міністерство освіти і науки України

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут**

Кафедра експлуатації суднових
енергетичних установок та
теплоенергетики

„Допущений до захисту”

Завідувач кафедру

 Личко Б.М.
_____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Тема роботи Підвищення енергетичної ефективності СЕУ
LNG-газовозу «Dapeng Sun» шляхом
модернізації пропульсивного комплексу
Increasing the energy efficiency
of the IPP LNG-carrier due to modernization
of the propulsion complex

Керівник проекту



д.т.н., професор Чередніченко О.К.

Студент групи 5211м



Пастушенко Д.О.

Миколаїв, 2025

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Освітній ступінь: магістр

Галузь: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 135 Суднобудування

Освітня програма: Суднові енергетичні установки та устаткування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри доцент

 Б.М. Личко

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання випускної магістерської роботи

Пастушенко Дмитро Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

- I. Тема: «Підвищення енергетичної ефективності СЕУ LNG-газовозу «Dapeng Sun» шляхом модернізації пропульсивного комплексу»

керівник проєкту Чередніченко О. К., доктор технічних наук, професор кафедри ЕСЕУ та ТЕ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом НУК від «__» _____ 2025 року № ____.

II. Строк подання студентом проєкту «01» 12 2025 року

III. Вхідні дані до виконання роботи газозов DWT 83000 т, швидкість 19 вуз.
(тип ГД, швидкість руху судна чи номінальна потужність ГД чи марка головного двигуна)

IV. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Анотація

Вступ

- 1 Аналіз характеристик технічних систем і комплексів судна
 - 1.1. Загальні характеристики
 - 1.2. Системи, засоби, обладнання загальносуднового призначення
 - 1.3. Розміщення обладнання енергетичного комплексу на судні
- 2 Характеристики комплексів і систем енергетичної установки базового судна
 - 2.1. Пропульсивна установка
 - 2.2. Теплова схема
 - 2.3. СЕС і ДКУ
 - 2.4. Склад обладнання систем СЕУ
 - 2.5. Аналіз суднового електрообладнання, електронної апаратури та систем управління, діагностування й контролю СЕУ
- 3 Підвищення енергетичної ефективності СЕУ LNG-газовозу «Dapeng Sun» шляхом модернізації пропульсивного комплексу
 - 3.1. Загальні тенденції розвитку флоту суден газозовів
 - 3.2. Виявлення пріоритетів у розвитку енергетичних установок суден газозовів
 - 3.3. Дослідження впливу обмежень, які пов'язані з параметрами системи газоподібного палива та компонентного складу вантажу на ефективність термохімічної утилізації
 - 3.4. Перспективні напрямки подальших досліджень.
- 4 Комплектація судна технічними засобами для забезпечення вимог конвенцій СОЛАС-74 та МАРПОЛ-73/78.
- 5 Заходи щодо охорони праці та піклування про людей на судні відповідно до МКУБ.

- 6 Технологічне обслуговування, монтаж і ремонт елемента технічного комплексу. (Технологічна розробка монтажу та обслуговування відцентрового насоса опріснювальної установки).
- 7 Техніко-економічний та екологічний аналіз технічних рішень.

Висновки

Список використаної літератури

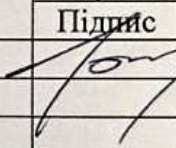
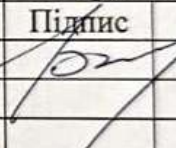
Додатки

Обсяг РПЗ (сторінок формату А4): основний текст – 100...130; бланк завдання, зміст, список прийнятих скорочень, вступ, висновки, список літератури – 10...12; додатки (формат А4 і/або А3) – 10...20.

V. Графічний матеріал (креслення, схеми, таблиці, рисунки на 9...12 аркушів, або у вигляді презентації та роздаткового матеріалу):

- 1) характеристики судна (поздовжнього перерізу) характеристики засобів, обладнання (креслення, плакат 1...2 арк.);
- 2) розташування обладнання на судні (креслення, 1...2 арк.);
- 3) характеристики пропульсивного комплексу (креслення, плакат 1...2 арк.);
- 4) теплова схема СЕУ (схема 1 арк.);
- 5) система СЕУ (плакат або схема 1 арк.);
- 6) результати спеціалізованого розділу (плакат 2...3 арк.);
- 7) технічні засоби для забезпечення вимог конвенцій СОЛАС-74 та МАРПОЛ-73/78 (плакат або схема 1 ...2 арк.);
- 9) технічне обслуговування, монтаж і ремонт елемента технічного комплексу (креслення, плакат 1...2 арк.).

VI. Консультанти розділів проекту.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання узгоджене		Завдання прийняте	
		Підпис	Дата	Підпис	Дата
4.5	Ратушняк І.О., к.т.н., доц. каф.ЕСЕУ та ТЕ				

VII. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

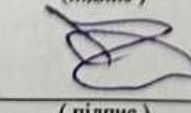
№ з/п	Назва етапу дипломної роботи	Термін виконання:	
		плановий	фактичний
1	Уточнення та погодження з керівником розділів магістерської роботи		
2	Рукопис: Вступ, розд. 1...2; "Характеристики судна", "Теплова схема СЕУ" (2 арк. А1, креслення судна), "Пропульсивні параметри" (1 арк. А4)		
3	Рукопис: Розд. 4; "Комплектація судна згідно вимог Конвенцій" (1 арк. А4).		
4	Рукопис: Розд. 5; "Заходи щодо охорони праці".		
5	Рукопис: Розд. 6; "ТО і ремонт" (2 арк. креслень А4).		
6	Рукопис: Розд. 7; Економічне обґрунтування.		
7	Рукопис: Розд. 3; Спеціалізований розділ (креслення: 3-4 арк. А4).		
8	Рукопис: висновки, список використаної літератури.		
9	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки з додатками та графічного матеріалу; підписання та подання на кафедру		

Студент


(підпис)

Пастушенко Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник ВМР


(підпис)

Чередніченко О.К.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	7
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 Аналіз характеристик технічних систем і комплексів судна	11
1.1 Загальні характеристики	12
1.2 Системи, засоби, обладнання загальносуднового призначення	15
1.3 Розміщення обладнання енергетичного комплексу на судні	17
РОЗДІЛ 2. Характеристики комплексів і систем енергетичної установки	19
2.1 Пропульсивна установка	20
2.2 Теплова схема	26
2.3 СЕС і ДКУ	28
2.4 Склад обладнання систем СЕУ	33
2.5 Аналіз суднового електрообладнання, електронної апаратури та систем управління, діагностування й контролю СЕУ	38
РОЗДІЛ 3. Підвищення енергетичної ефективності СЕУ LNG-газовозу «Dareng Sun» шляхом модернізації пропульсивного комплексу	47
3.1 Загальні тенденції розвитку флоту суден газозовів	49
3.2 Виявлення пріоритетів у розвитку енергетичних установок суден газозовів	53
3.3 Дослідження впливу обмежень, які пов'язані з параметрами системи газоподібного палива та компонентного складу вантажу на ефективність термохімічної утилізації	58
3.4 Перспективні напрямки та рекомендації щодо подальших досліджень	71
РОЗДІЛ 4. Комплектація судна технічними засобами для забезпечення вимог конвенцій СОЛАС-74 та МАРПОЛ-73/78	72
4.1 СОЛАС – 74 та МАРПОЛ-73/78, основні положення	73
4.2 Комплектація судна технічними засобами для забезпечення вимог конвенцій СОЛАС-74 та МАРПОЛ-73/78	75
РОЗДІЛ 5 Заходи щодо охорони праці та піклування про людей на судні відповідно до МКУБ	84
5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у МВ судна	85

5.2 Розрахунок системи пінного пожежогасіння МВ	89
РОЗДІЛ 6 Технічне обслуговування, монтаж і ремонт елемента технічного комплексу судна	92
6.1 Технологічна розробка монтажу відцентрового насоса опріснювальної установки	93
6.2 Монтаж	95
6.3 Охорона праці при монтажу	97
6.4 Розрахунки нерухомості змонтованого механізму	98
6.5 Технічне обслуговування та ремонт відцентрового насоса	100
РОЗДІЛ 7. Техніко-економічний та екологічний аналіз технічних рішень	109
7.1 Виявлення критерію оцінки	110
7.2 Результати розрахунку EEDI	111
ВИСНОВКИ	112
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	113
Додатки	116

АНОТАЦІЯ

Випускна кваліфікаційна робота виконана магістрантом Д.О. Пастушенко за темою «Підвищення енергетичної ефективності СЕУ LNG-газовозу «Dapeng Sun» шляхом модернізації пропульсивного комплексу».

Проаналізовано характеристики технічних систем і комплексів судна.

Розглянуті характеристики комплексів і систем енергетичної установки.

Проаналізовано вплив обмежень, які пов'язані з впливом компонентного складу вантажу на ефективність термохімічної утилізації скидної теплоти енергетичної установки танкеру *LNG*.

Розглянуто комплектацію судна технічними засобами для забезпечення вимог конвенцій СОЛАС-74 та МАРПОЛ-73/78.

Визначені заходи щодо охорони праці та піклування про людей на судні відповідно до МКУБ.

Розроблено технологічну розробку монтажу та технічне обслуговування відцентрового насоса опріснювальної установки.

Проведено техніко-економічний та екологічний аналіз технічних рішень.

Кваліфікаційна робота викладена на ____ сторінках, містить 46 рисунків, 13 таблиць, 1 додаток. Список використаної літератури становить 30 джерел.

Графічна частина роботи (презентація) складається із 14 плакатів та креслень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СУДНОВА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА, *LNG*, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕРМОХІМІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ, СОЛАС-74, ВІДЦЕНТРОВИЙ НАСОС, ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 00. А</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

THE ABSTRACT

The MS graduation thesis was made Pastushenko Dmytro. The thesis's theme is "Increasing the energy efficiency of the IPP LNG-carrier due to modernization of the propulsion complex".

The characteristics of the vessel's technical systems and complexes were defined.

Influences of restrictions associated with the component composition of the gaseous fuel on the thermochemical utilization's efficiency of waste heat from the LNG tanker's power plant were analyzed.

Safety equipment were chosen according to SOLAS 1974 and MARPOL 73/78.

Safe working practices regulations were considered.

Technology installation and maintenance of fresh water system's centrifugal pump was developed.

A technical, economic and environmental analysis of technical solutions has been considered.

The graduation thesis is presented on pages, contains 46 figures, 13 tables, 1 appendix. The list of used literature consists of 30 sources.

The graphic part of the work (presentation) consists of 14 posters and drawings.

KEYWORDS: VESSEL POWER PLANT, LNG, THERMOCHEMICAL UTILIZATION'S EFFICIENCY, SOLAS 1974, CENTRIFUGAL PUMP, ENVIRONMENTAL ANALYS.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 00. А</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У наші дні, коли запаси традиційних джерел енергії, таких як вугілля і сира нафта, вичерпуються, а також на додаток політична нестабільність середньо-східного регіону, приводить людей до роздумів про інший енергетичний ресурс – природний газ. Завдяки більш простій технології видобутку і переробки вартість природного газу істотно нижче вартості більшості традиційних палив, зокрема продуктів нафтопереробки. Природний газ має великий попит, оскільки він набагато безпечніше для навколишнього середовища в порівнянні з іншими видами палива. Газ видобувається з родовищ сирої нафти, а також з родовищ природного газу. Частина експорту природного газу до країн західної Європи виконується по трубопроводах. Інші джерела розташовуються в багатьох милях від країн, яким необхідний природний газ для своєї індустрії, наприклад, в Австралії, Індонезії, Алжирі та Малайзії. При неможливості транспортування природного газу по трубопроводах, єдиним економічно вигідним способом транспортування природного газу морем є судна-газовози для перевезення природного газу в зрідженому стані (*LNG- liquefied natural gas*).

Сучасні підходи до проектування енергетичних установок газозовів LNG передбачають використання в якості палива частини випару вантажу (природного або попутного газу).

Таким чином, завдання підвищення енергетичної ефективності CEU LNG-газовозу шляхом модернізації пропульсивного комплексу є актуальним та відповідає сучасним тенденціям розвитку морського транспорту.

Головною метою даного науково-прикладного дослідження є аналіз шляхів підвищення ефективності енергетичних установок газозовів LNG з електроенергетичними установками.

Ця мета потребує вирішення наступних задач:

- проаналізувати загальні тенденції розвитку флоту суден газозовів;
- виявити ступень впливу компонентного складу вантажу та параметрів системи газоподібного палива на ефективність термохімічної обробки палива

					КР. ОП135. 6211м. 09. 00. В	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

з метою підвищення енергоефективності установки;

- адаптувати отримані результати та залежності до розрахунку енергетичної ефективності установки LNG-газовозу типу «*Dapeng Sun*».

Відповідно до завдання на виконання магістерської роботи сформульовані об'єкт та предмет дослідження, визначені методи, за допомогою яких будуть вирішуватись поставлені задачі.

Об'єктом дослідження є енергетичні установки сучасних газозовів LNG.

Предметом дослідження є параметри енергетичних установок та закономірності їх взаємного впливу на ефективність судна в цілому.

В якості основних **методів дослідження** використовувалися системний аналіз процесів перетворення енергії при оцінці ефективності схемних рішень та виявленні взаємозв'язків елементів судових енергетичних установок; статистичні методи при обробці даних; розрахунково-аналітичні методи досліджень, які базуються на законах термодинаміки та системах балансових рівнянь.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 00. В	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 01. ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Аналіз характеристик технічних систем і комплексів судна	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Студент</i>	<i>Пастушенко Д.О.</i>					<i>НУК ім. адм. Макарова</i>		
<i>Керівник</i>	<i>Чередніченко О.К.</i>							
<i>Консульт.</i>								
<i>Зав. каф.</i>	<i>Личко Б.М.</i>							

РОЗДІЛ 1 Аналіз характеристик технічних систем і комплексів судна

1.1 Загальні характеристики

«Dapeng Sun» – судно яке призначено для експорту LNG з затоки Withnell, біля м. Dampier Western Australia), до першого приймального терміналу у м. Dapeng (провінція Guangdong, Китай).



Рисунок 1.1 Загальний вигляд газовозу «Dapeng Sun»

Вантаж розміщується в чотирьох резервуарах, які розташовані на верхній палубі. Газ транспортується за допомогою захисної, стримувальної системи GTT NO96. Це первинні та вторинні мембрани, що сформовані з інвару (36% нікелевої сталі), в поєднанні з іншими перевіреними ізоляційними матеріалами. Це дозволяє задовольнити вимогам швидкості випаровування.

Судно відповідає нормам Китайського Класифікаційного Товариства (CCS), яке у свою чергу є членом МАКО (IACS).

Основні характеристики газовозу представлені у табл. 1.1.

Розрахункова швидкість судна при осадці 12.33 м на глибокій воді, за відсутності вітру і хвилювання при свіжопофарбованому корпусі і температурі

					КР. ОП135. 6211м. 09. 01. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

морської води 15°C при потужності головного двигуна 27300 кВт складе 19.5 вузлів.

Таблиця 1.1 Основні характеристики судна

Назва характеристики	Од. виміру	Значення характеристики
Найбільша довжина	м	292
Довжина між перпендикулярами	м	274.1
Максимальна ширина судна	м	43.35
Висота судна	м	26.25
<i>Осадка:</i>		
робоча	м	11.45
максимальна		12.33
Водотоннажність	р.т.	97871
Маса порожнем	т	31739
Дедвейт максимальний	dwt	83050
Швидкість	вуз	19.5
Потужність ГТД	кВт	27300
Екіпаж	осіб	32(19+13)
Кількість вантажних танків	шт.	4
Дальність плавання	миль	2907
Діаметр базового гвинта	м	8.8
<i>Місткість цистерн під:</i>		
важке паливо	м ³	501
низькосерністе важке паливо		490
дизельне пальне		323
водяний баласт		54760
Ємність танків для вантажу		147237(при 100% заповнюванні)

Судно задовольняє наступним Конвенціям і Правилам з поправками, змінами і доповненнями, які набрали чинності на дату підписання контракту на проектування:

- Правилам Китайського Морського Регістру;
- Правилам Регістру Ллойд;
- Вимогам МАКО «IACS Requirements concerning GAS TANKERS»;

- Міжнародній конвенції з охорони людського життя на морі *SOLAS-74/78*;
- Міжнародній конвенції з запобігання забруднення з суден *MARPOL-73/78*;
- Конвенції про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі 1972 р. (МПЗЗС-72, *COLREGS-72*);
- Правилам Міжнародної організації з стандартизації *ISO 8468:2007* («Суднові і морські технології – Схеми розташування судового мостику і обладнання, що з ним пов'язано»);
- Правилам Міжнародної конвенції з обмірювання суден, 1969 р.;
- Правилам Берегової охорони США, з запобігання забруднення моря з іноземних суден (без видачі сертифікатів на судно): Кодекс Федеральних Правил США;
- Правилам плавання по Суецькому каналу;
- Резолюції *MSC.137(76)* «Стандарти маневрених якостей суден»;
- «Кодексу про рівень шуму на судах», Резолюції *IMO A.468(XII)*;
- Міжнародному стандарту *ISO 6954-2000* – Механічна вібрація. «Провідні вказівки з вимірювання, складання звітів і оцінки впливу вібрації на перебування людини на борту пасажирських і торговельних суден»;
- Кодексу безпечної практики перевезення навалочних вантажів, 2004 р. (*CODE BC*);
- Конвенція СОП щодо приміщень для екіпажу на морському судні № 92 1949 р. (СОП-92) з доповненням №133 1970 р. (СОП-133);
- Вимогам *AMSA (Australian Maritime Safety Authority)* щодо доступу до вантажних трюмів;
- Міжнародна Конвенція щодо контролю та управління судновими баластними водами та осадами, 2004 р.

Розрахункова швидкість судна при осадці 12.33 м при потужності головного двигуна 20000 кВт складе 18.88 вузлів.

Розрахункова швидкість судна у повному баласті при середній осадці 11.4 м складе 19 вузлів.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 01. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Непотоплюваність судна забезпечується при завантаженні всіма видами вантажів за осадкою 12.3 м відповідно до вимог Міжнародної Конвенції про вантажну марку до суден.

1.2 Системи, засоби, обладнання загальносуднового призначення

На судні присутні такі системи, як:

- паливна;
- охолодження прісної та забортної води;
- масляна;
- стисненого повітря;
- вентиляції МВ;
- парова і конденсатно-живильна;
- підігріву;
- вентиляції вантажовмістких зон;
- баластна;
- осушна;
- водопожежна;
- вуглекислотного гасіння низького і високого тиску;
- пожежогасіння;
- побутового водопостачання;
- загальносуднової вентиляції;
- кондиціювання повітря;
- стічна;
- господарського паропостачання;
- обігріву;
- охолодження автономних кондиціонерів;
- повітряних і вимірювальних труб.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 01. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

До основних загальносуднових пристроїв, які присутні на даному судні належать:

1. Рульовий пристрій, що забезпечує поворотність судна та стійкість його на курсі. До основних елементів рульового пристрою належать: робочий орган – перо руля; балер, що з'єднує робочий орган з рульовим приводом; рульовий привід, що передає зусилля від рульової машини до робочого органа; рульова машина, яка створює зусилля для повороту робочого органа; привід керування, який поєднує рульову машину з постом керування; підшипники та штирі.

2. Якірний пристрій, що забезпечує надійне утримання судна у певному положенні відносно хвиль, вітру та течій при стоянці у морі, на рейді та в інших віддалених від берега місцях шляхом закріплення його за ґрунт, за допомогою якоря та якірного ланцюга. До складу якірного пристрою входять: якір, якірний ланцюг, якірні клюзи, якірний механізм, стопори, ланцюговий ящик в якому розміщуються якірні ланцюги та механізми кріплення, швидкої віддачі якірного каната у разі необхідності; ланцюгові труби, що призначені для подавання якірного ланцюга до ланцюгового ящика.

3. Швартові і буксирні пристрої, до складу яких входять: швартові механізми, швартові та буксирні троси, гідравлічне обладнання якірно-швартових та швартових лебідок.

4. Рятувальне і шлюпочне обладнання, до складу якого входять: рятувальна шлюпка, чергова шлюпка, рятувальні плоти, індивідуальні рятувальні засоби.

5. Вантажні пристрої, до складу яких входять: вантажні крани, вантажні кран-балки.

6. Пристрій для збору сміття і відходів.

7. Забортні і лоцманські трапи.

8. Леєрна огорожа і штормові поручні.

9. Засоби сигналізації.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 01. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Розміщення обладнання енергетичного комплексу на судні

Судно має бульбоподібну носову частину та прямий форштевень. Кормовий край судна має крейсерську типову форму. Так як судно одногвинтове, то в кормі в діаметральній площині в районі розташування гвинта робиться досить великий виріз, або «вікно», в ахтерштевні. Судно не є сідлуватим, кілева лінія є горизонтальною.

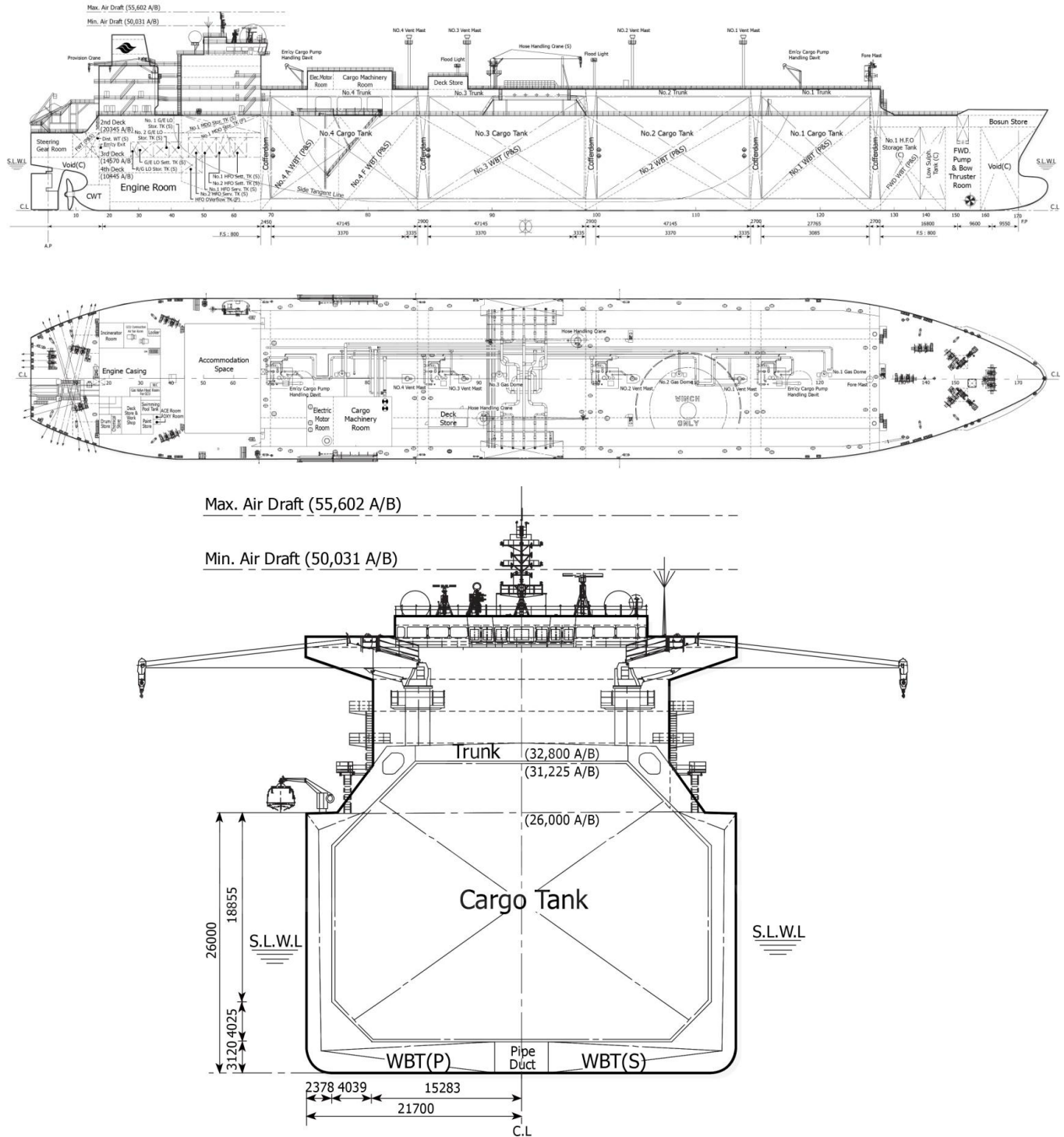


Рисунок 1.2 Загальний вигляд газозову «Dapeng Sun»

Судно має кормове розміщення машинного відділення та житлової надбудови. Розміщення машини в кормі дає істотні переваги:

- вивільняє зручні для розміщення вантажу обсяги в середній частині корпусу;
- зменшує кубатуру корпусу, займану під машинне відділення;
- скорочує довжину валопроводу, а отже, знижує його вагу, тобто збільшує корисну вантажопідйомність судна;
- виключає необхідність передбачати тунель гребного валу з району машинного відділення в корму для розміщення та обслуговування валопроводу. Такий тунель, прокладений через вантажні трюми, на судах із середнім розташуванням машинного відділення зменшує корисну кубатуру трюмів і створює незручності при виконанні вантажних операцій.

Кормове розташування машинного відділення та житлової надбудови ускладнює умови удиферентовки, збільшує «мертву зону» видимості в носі, збільшує довжину машинного відділення.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 01. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
					Характеристики комплексів і систем енергетичної установки				Літ.		Арк.	Аркушів
Студент		Пастушенко Д.О.										
Керівник		Чередніченко О.К.										
Консульт.												
Зав. каф.		Личко Б.М.										
					НУК ім. адм. Макарова							

РОЗДІЛ 2 Характеристики комплексів і систем енергетичної установки

2.1 Пропульсивна установка

На судні використовується дизель-електрична енергетична установка з трьома дизель-генераторами *Wartsila 12V50DF* та одним *Wartsila 6L50DF*.

Wartsila 50DF – це чотиритактний нереверсивний, двохлапівний двигун з турбонаддувом і проміжним охолодженням, з безпосереднім уприскуванням рідкого палива та непрямим уприскуванням газового палива. Двигун може працювати в газовому або дизельному режимі.

Таблиця 2.1 Основні характеристики двигуна [27]

Діаметр циліндра	500 мм
Хід поршня	580 мм
Об'єм циліндра	113,9 л
Кількість клапанів	2 впускних та 2 випускних
Конфігурація циліндрів	6,8 та 9 у рядному та 12,16 у V-подібному
V-кут	45°
Напрямок обертання	за годинниковою стрілкою
Кількість обертів	500 хв ⁻¹
Середня швидкість поршня	9,7 м/с

Тип двигуна		6L50DF	12V50DF
Потужність двигуна, кВт		5850	11700
Потужність генератора	кВт	5700	11400
	л.с.	7750	15500

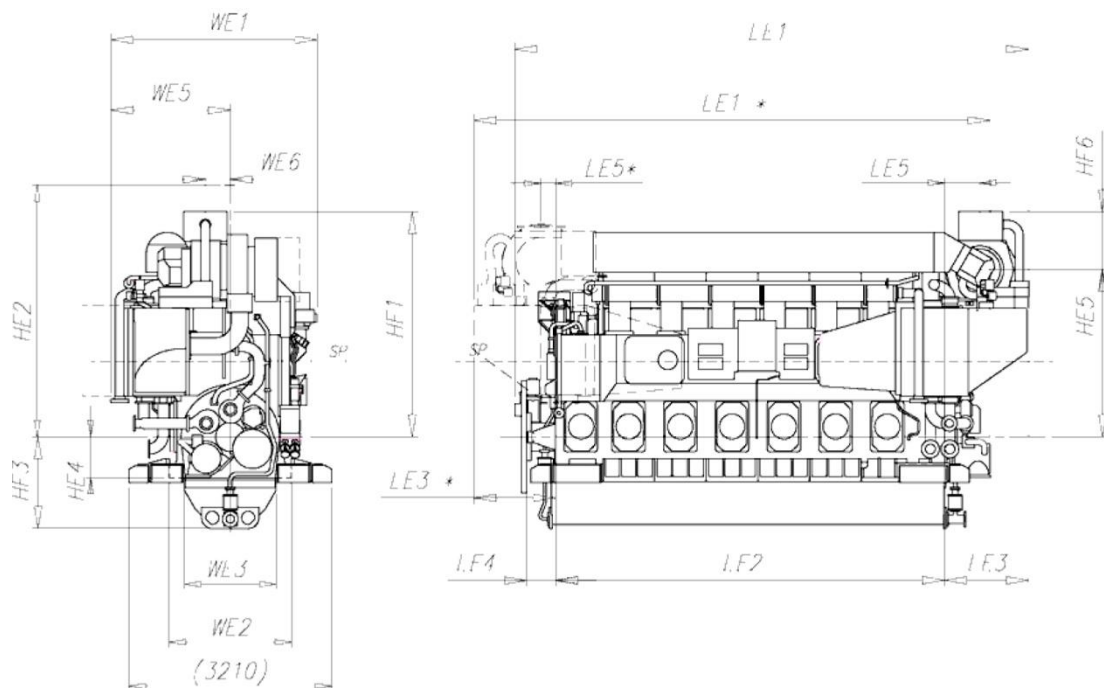


Рисунок 2.1 Загальний вигляд рядного Wartsila 50DF

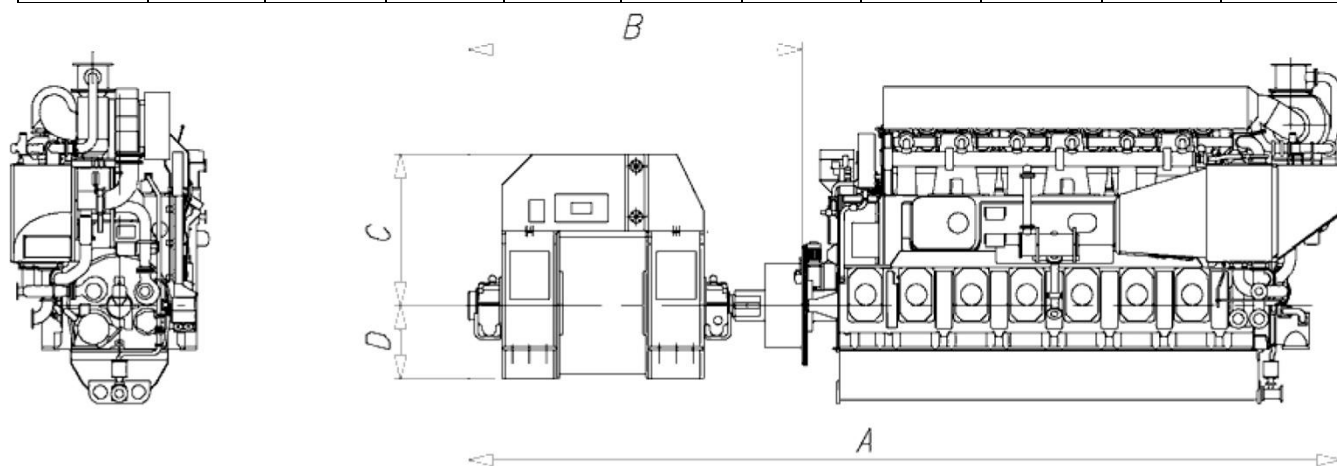


Рисунок 2.2 Загальний вигляд V-подібного Wartsila 50DF

					КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

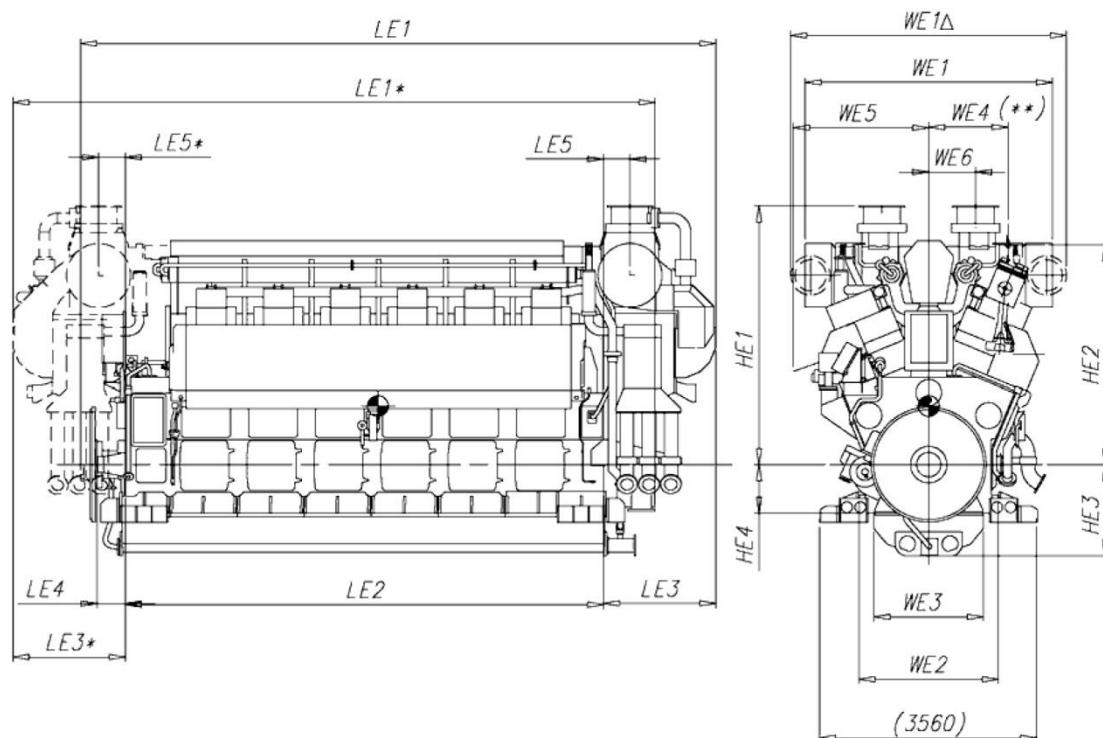


TC	LE1	LE1*	LE2	LE3	LE3*	LE4	LE5	LE5*	HE1	HE2
TPL71	8120	8310	6170	1295	1295	460	555	230	3475	4000
TC	HE3	HE4	HE5	HE6	WE1	WE2	WE3	WE5	WE6	Вага
TPL71	1455	650	2685	790	3270	1940	1445	1895	420	96

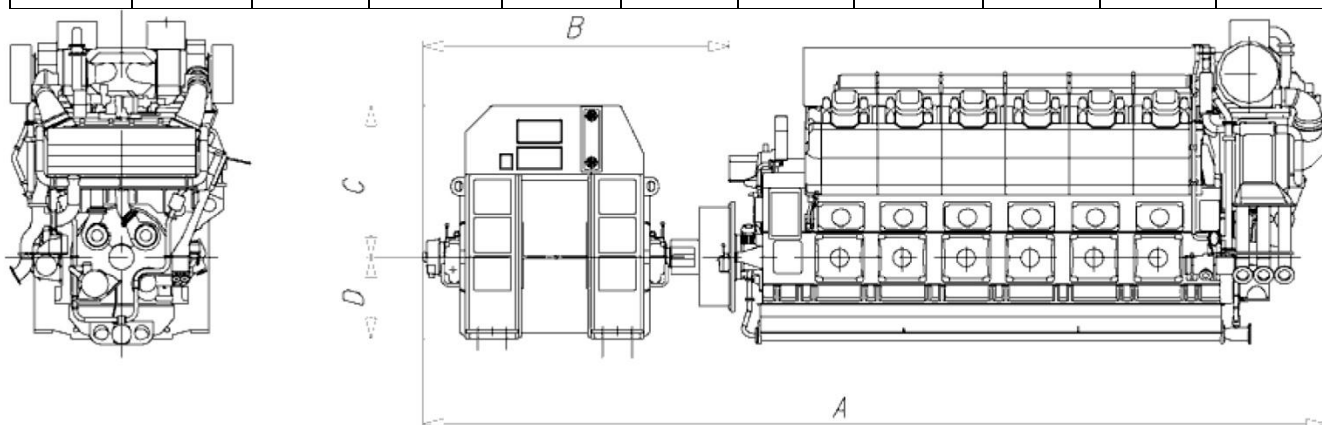


A	B	C	D	Вага, т
12940	4940	2235	1090	138

Рисунок 2.3 Розміри та вага двигуна та генератору Wartsila 6L50DF [27]



LE1	LE1*	LE2	LE3	LE3*	LE4	LE5	HE1	HE2	HE3	HE4
10425	10540	7850	1840	1480	460	435	4240	3600	1500	800
HE5	HE6	WE1	WE1Δ	WE2	WE3	WE4	WE4*	WE5	WE6	Вага
3100	1140	4055	4525	2290	1800	1495	1300	2220	770	175



A	B	C	D	Вага, т
15475	5253	2593	1365	239

Рисунок 2.4 Розміри та вага двигуна та генератору Wartsila 12V50DF [27]

Електродвигун

На судні встановлено два електродвигуни *ABB AMZ 1120MS08 LSF* потужністю 12650 кВт та частотою 675 хв⁻¹.

Двигун цього типу являє собою синхронний двигун призначений для роботи зі змінною швидкістю, та включає в себе перетворювач частоти.

Обидва двигуни під'єднанні до редуктора. Двигуни розташовані на рівні трюму машинного відділення. Рама статора є жорстко звареною сталеву конструкцією, сердечник статора виготовлений з тонких листів сталі, які ізолювані з обох сторін термостійкої неорганічної смолою. Радіальні канали охолодження в осерді статора забезпечують рівномірне і ефективне охолодження статора. Всі обмотки просочені високоякісної епоксидною смолою. Обмотки забезпечені міцним кріпленням, які витримують усі очікувані механічні та електричні удари та вібрації. Рама статора, опора сердечника та торцеві щити виготовлені зі сталі. Підшипники встановлені на фланцях торцевих щитків. Підшипники – це підшипники ковзання з масляним кільцем. Двигун має окремий блок мастила з гідравлічним радіальним домкратом для запуску і роботи на низькій швидкості. Знімний теплообмінник виготовлений з корозійностійких матеріалів. Можливе аварійне охолодження без води.

Таблиця 2.2 Загальний вигляд електродвигуна AMZ 1120MS08 LSF

Виробник	<i>ABB</i>
Кількість	2
Кількість полюсів	8
Масляний потік	30/5 л/хв
Перевищення швидкості	864 хв ⁻¹
Тип збудження	безщітковий
Клас ізоляції	<i>F/F</i>
Потік охолоджуючої рідини	46,8 м ³ / год при 36 °C

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

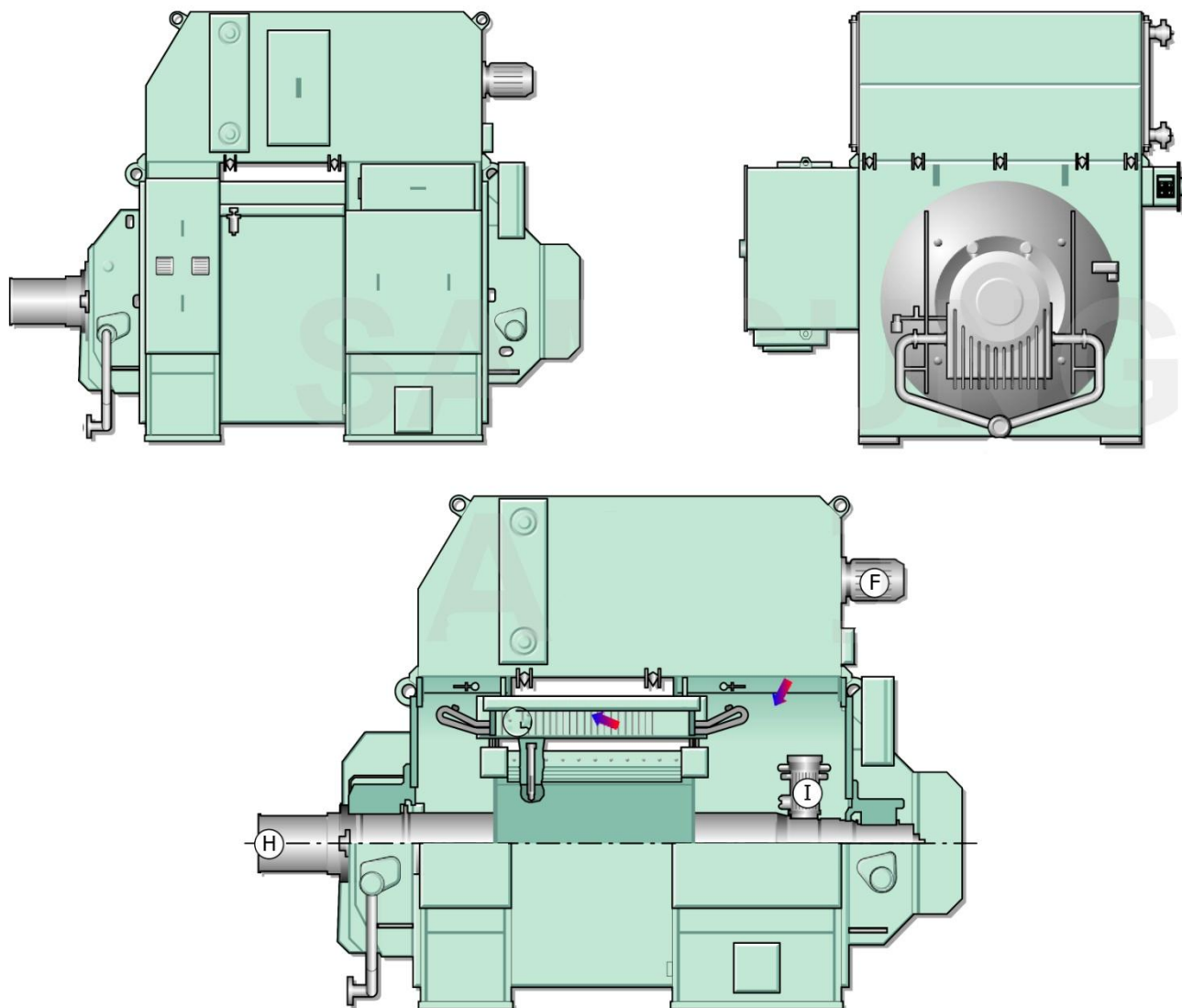


Рисунок 2.5 Загальний вигляд електродвигуна AMZ 1120MS08 LSF

Редуктор

У якості редуктора виступає редуктор NDSH-3900 з передаточним відношенням 8.105:1.

Редуктор виконаний у вигляді багатоступеневого циліндричного редуктора. Він передає потужність приводного двигуна через зубчасте колесо ступінчастої передачі на гребний вал.

Вхідний вал і основний вихідний вал розташовані зі зміщенням відносно один одного в корпусі редуктора. Гідравлічний насос для масла і охолодження редуктора прикріплений до редуктору.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ		Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

Тяга гребного гвинта сприймається упорним підшипником вихідного вала редуктора і передається через корпус редуктора на корпус судна.



Рисунок 2.6 Загальний вигляд редуктору NDSH-3900

На судні змонтований валопровід у складі гребного вала, проміжного вала, дейдвудного пристрою, опорних підшипників, гальма, систем змащення й охолодження.

Вали з'єднуються між собою та з валом двигуна за допомогою фланців і щільно пристосованих болтів. Гребний вал опирається на один дейдвудний підшипник з прокладками з білого металу і опорний підшипник. Проміжний вал опирається на один опорний підшипник. Вали виготовлені з вуглецевої сталі, гребний вал – зі сталі категорії міцності КМ-25 ($\sigma_b = 480$ МПа), проміжний вал – КМ-23 ($\sigma_b = 440$ МПа).

2.2 Теплова схема

Турбокомпресори нагнітають повітря в приводні двигуни через охолоджувач надуваного повітря, що виконаний двосекційним. Перша високотемпературна секція охолоджується водою, яка іде на загальносуднові потреби. Друга секція охолоджується забортною водою до необхідної температури.

Система охолодження ГД забезпечує автоматичну підтримку заданої температури води на вході в приводні двигуни. Опріснювальна установка використовує тепло води системи охолодження. Якщо водоопріснювальна

					КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

установка не працює, охолодження води здійснюється у водоохолоджувачі, за допомогою забортної води.

Змащення двигуна здійснюється маслом, що виконує лише роль охолоджувача поршня двигуна. Охолодження масла здійснюється забортною водою. Передбачено автоматичне регулювання температури масла.

Паливна система обладнана регулятором в'язкості. У цій системі автоматизований весь процес паливopідготовки.

Випускні гази ГД відпрацювавши у турбіні, направляються через утилізаційний котел в атмосферу. Вода з рециркуляційної цистерни подається у першу секцію ОНП, а потім до ПГВ. Живильна вода з теплового ящика, проходячи через другу секцію ОНП подається в УК. З випарної частини пароводяна суміш надходить у випарник пари, де здійснюється його відділення від води та подача в пароперегрівник. Відпрацьований пар надходить у конденсатор, а потім у теплий ящик.

Таблиця 2.3 Розрахунок потоків енергії в головних двигунах

№	Найменування величин	Позначення	Один. вим.	Формула або джерело	Числове значення	
					12V50DF	6L50DF
1	Потужність на режимі	N_e	кВт	Прийнято	11700	5850
2	Питома витрата палива	b_e	кг/(кВт·год.)	Прийнято	0,188	0,188
3	Нижча теплота згорання	Q_i	кДж/кг	Відповідно стандарту ISO[28]	42707	
4	Витрата палива	B_n	кг/год	$10^{-3} N_e b_e$	2200	1100
5	Енергія, виділена при згоранні палива	E_n	кВт	$\frac{1}{3600} B_n Q_i$	26010	13047
6	Механічний ККД	e_k	—	[28]	0,5	0,5
7	Частина енергії, що відведена охолоджуючою водою	e_g	—	[28]	0,7	0,7
8	Частина енергії, що відведена маслом	e_m	—	[28]	0,045	0,05
9	Частина енергії, що відведена від наддувного повітря	e_{nv}	—	[28]	0,15	0,15

№	Найменування величин	Позначення	Один. вим.	Формула або джерело	Числове значення	
					12V50DF	6L50DF
10	Енергія, що відведена від ГД охолоджуючою водою	E_e	кВт	$E_n e_e$	1827	913
11	Енергії, що відведена маслом	E_m	кВт	$E_n e_m$	1174	652
12	Енергія, що відведена від наддувного повітря	E_{nv}	кВт	$E_n e_{nv}$	3914	1957
13	Частина енергії, що відведена від відпрацьованих газів	e_{oz}	—	$1 - (e_k + e_e + e_m + e_{nv})$	0,235	0,23
14	Енергія, що відведена від відпрацьованих газів	E_{oz}	кВт	$E_n e_{oz}$	6132	3001

2.3 СЕС і ДКУ

Суднова електростанція генерує електроенергію необхідних параметрів і розподіляє її між судовими споживачами у відповідності до режимів роботи судна. Вона повинна забезпечувати роботу всіх допоміжних електричних пристроїв і систем, необхідних для підтримки експлуатаційного стану судна в нормальних умовах існування без використання аварійного джерела електроенергії, а в аварійних ситуаціях, також роботу електричних пристроїв і систем, необхідних для забезпечення безпеки судна, вантажу і людей з використанням аварійного джерела постачання [28].

Судно виконано за схемою єдиної електроенергетичної установки яка описана у пункті 1 цього розділу.

Аварійний дизель-генератор

У якості аварійного дизель-генератора використовується один двигун MTU 16V 2000 P82 фірми LINDENBERG.

Таблиця 2.4 Загальні характеристики привідного двигуна АДГ [29]

Кількість циліндрів	16
Потужність	930 кВт
Частота обертання	1800 хв ⁻¹

Діаметр циліндру	130 мм
Хід поршня	150 мм
Об'єм циліндру	1,99 л
Конфігурація циліндра	90°
Довжина/Ширина/Висота	2180/1580/1570 мм

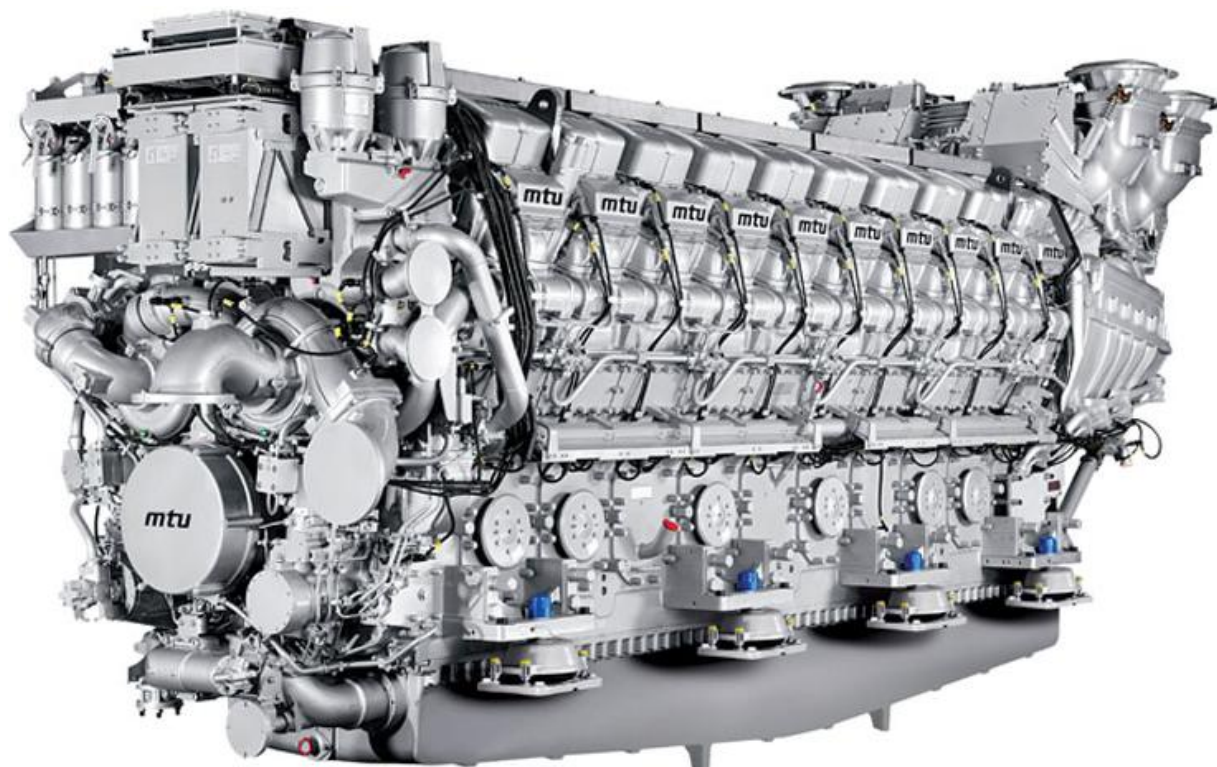


Рисунок 2.7 Загальний вигляд двигуна MTU V 2000 P82

Допоміжна котельна установка

Парогенераторна установка складається з двох допоміжних котлів *MISSION™* OS 6000 і трьох економайзерів вихлопних газів типу AQ-7 компанії AALBORG. Теплова енергія у виді водяної пари з певним тиском і температурою використовується для опалення житлових і службових приміщень, обігріву і продувки забортної арматури, обігріву цистерн палива, масла та води, підігріву палива перед очищенням і подачею до двигунів або котельної установки, роботи технологічного і спеціального устаткування.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Допоміжні котли працюють у автоматичному режимі очікування і вмикаються в разі падіння тиску пари.

Економайзер розташований на верхній палубі працює від відпрацьованого газу двигуна головного генератора. Додатковий котел може знадобитися, коли потреба пари перевищує виробництво пари економайзером. Зниження потужності двигуна головного генератора, наприклад під час маневрування, також може призвести до недостатнього вироблення ним тепла, необхідного для створення необхідної кількості пари.



Рисунок 2.8 Загальний вигляд допоміжного котла MISSION™ OS 6000

Таблиця 2.5 Загальні характеристики допоміжного котла MISSION™ OS 6000 [30]

Виробник	AALBORG Industries
Кількість	2
Дані по воді та паровому процесу	
Паропродуктивність	6 т
Робочий тиск	10 бар
Макс. допустимий робочий тиск	12 бар

Робоча температура	183°C
Температура живильної води	85~90°C
Дані процесу згоряння	
Мінімально необхідна теплотворна здатність дизельного палива	42200 кДж/кг
Максимальна в'язкість дизельного палива	10 сСт при 50°C
Щільність дизельного палива	590 кг/м ³
Мінімально необхідна теплотворна здатність мазуту	40200 кДж/кг
Максимальна в'язкість мазуту	600 сСт при 50°C
Щільність мазуту	990 кг/м ³



Рисунок 2.9 Загальний вигляд економайзеру AQ-7

Таблиця 2.6 Загальні характеристики економайзеру AQ-7

Виробник	AALBORG Industries
Кількість	3
Паропродуктивність	1500 кг
Робочий тиск	10 бар
Макс. допустимий робочий тиск	12 бар
Робоча температура	185°C
Макс. допустимий робочий тиск	15 бар

Головний двигун	Wartsila12V50DF
Максимальна в'язкість дизельного палива	10 сСт при 50°C
Потік відпрацьованих газів	56250 кг/год
Температура відпрацьованих газів на вході	413°C
Температура відпрацьованих газів на виході	353°C

Для забезпечення судна необхідною кількістю прісної (питної та технічної) води, служить водоопріснювальна установка. Дистилят отримують шляхом випаровування заборотної води. Приготування прісної (питної та технічної) води з дистиляту опріснювальних установок відбувається шляхом мінералізації та допоміжного обеззаражування в спеціальних установках та фільтрах.

Потреба в прісній воді задовольняється за рахунок суднових запасів і в результаті роботи ВОУ. Для забезпечення потреби в прісній воді тільки за рахунок запасів довелося б значно знизити корисну вантажопідйомність судна.

За допомогою ВОУ підвищується ефективність судна. Прісна вода на судах використовується для побутових потреб, заповнення витоків води з замкнутих циркуляційних систем охолодження двигунів, конденсатно-живильних систем, систем продування парових котлів, витоків пари через парові свистки, системи сажобдувки, нещільності з'єднань парових труб та арматури, а також для постачання технологічних та інших спеціальних споживачів.

Залежно від виду споживача прісна вода розділяється на групи: питна, яка використовується для пиття та готування їжі; побутова (вода для миття), яка використовується для подачі до умивальників, пральних машин, машин для миття посуду; технічна, яка використовується для живлення всіх споживачів СЕУ.

На даному судні встановлено дві опріснювальні установки типу JWP-26-C100 фірми Alfa Laval, які в залежності від температури теплоносія і охолоджувальної води має продуктивність від 12 м³/добу до 35 м³/добу, із солевмістом дистиляту не більше 2 мг/л кожна. Застосовувана в JWP-26-C100 оптимізована процедура опріснення вимагає вдвічі меншої витрати морської води на установку, що дозволяє зменшити діаметр трубопроводів і встановлювати насоси морської води менших розмірів. Це, в

					КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

свою чергу, зменшує затрати на монтаж, витрату палива на дизель-генератори і викиди вуглекислого газу в атмосферу.

2.4 Склад обладнання систем СЕУ

Системи є однією з найважливіших складових СЕУ, що об'єднують головні та допоміжні механізми в єдиний енергетичний комплекс судна. Від конструкції, технології виготовлення та якості монтажу систем залежить ефективність використання енергетичної установки і безпека мореплавання.

Масляна система

Масляна система призначена для прийому, зберігання, перекачування, очищення та подачі масла до місць охолодження і змащення деталей тертя головного двигуна та допоміжних машин і механізмів, а також для передачі масла на інші судна та на берег.

Масляна система складається із трубопроводів: прийому, перекачування і сепарації масла; циркуляційного змащення головного двигуна; циліндрового автоматизованого змащення розподільчого вала головного двигуна; привода вихлопних клапанів і паливних насосів головного двигуна; змащення дизель-генераторів.

Паливна система

Паливна система призначена для прийому, зберігання, перекачування, очищення, підігріву та подачі палива до двигунів і котлів. Також паливна система забезпечує передачу палива на берег або на інші судна.

Основні елементи паливної системи

Паливна система сучасного транспортного судна складається з трубопроводів, арматури, різних за призначенням найбільш суттєвих елементів, приладів для автоматичного управління та контролю, ізоляції, кріплення тощо. Остаточний облік приймає система на завершальній стадії робочого проекту, відповідно до якого і будується судно та його СЕУ.

Паливна система складається із трубопроводів:

- прийому і перекачування палива;

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- витратно-паливного;
- сепарації;
- збору нафтозалишків.

На судні встановлено два самоочищувальних сепаратора з повним розвантаженням фірми *Alfa Laval* марки *S-separators 927*, з максимальною продуктивністю 3 м³/год.

У якості паливоперекачувальних насосів використовуються електронасоси *ACE 038K3 NTBP* виробництва *ІМО АВ* з подачею $Q = 5,1 \text{ м}^3/\text{год.}$ та тиском напорі $P = 1 \text{ МПа.}$

Паливопідкачувальні електронасоси *ACE 032N3 NTBP* виробництва *ІМО АВ* з подачею $Q = 4,4 \text{ м}^3/\text{год.}$ і тиском напорі $P = 0,5 \text{ МПа.}$

Парові підігрівачі палива фірми *Alfa Laval* марки *AlfaCond 400* з поверхнею нагрівання $F = 6,6 \text{ м}^2.$

Система охолодження

За допомогою системи охолодження забезпечується відведення теплоти від різних механізмів, пристроїв, приладів та робочих середовищ у теплообмінних апаратах.

Система водяного охолодження складається із трубопроводів забортної води і прісної води.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

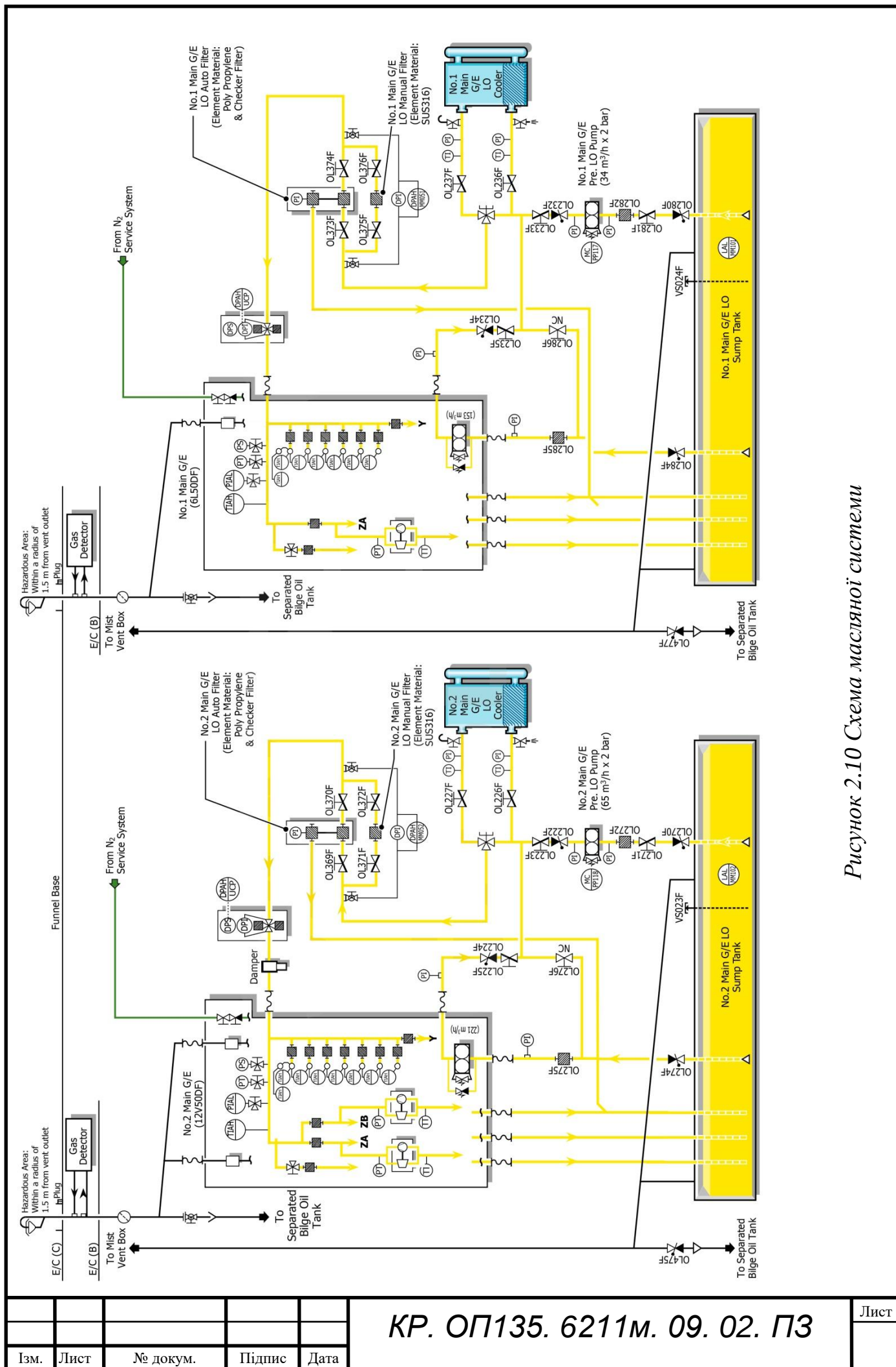


Рисунок 2.10 Схема масляної системи

КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ

Лист

Ізм. Лист № докум. Підпис Дата

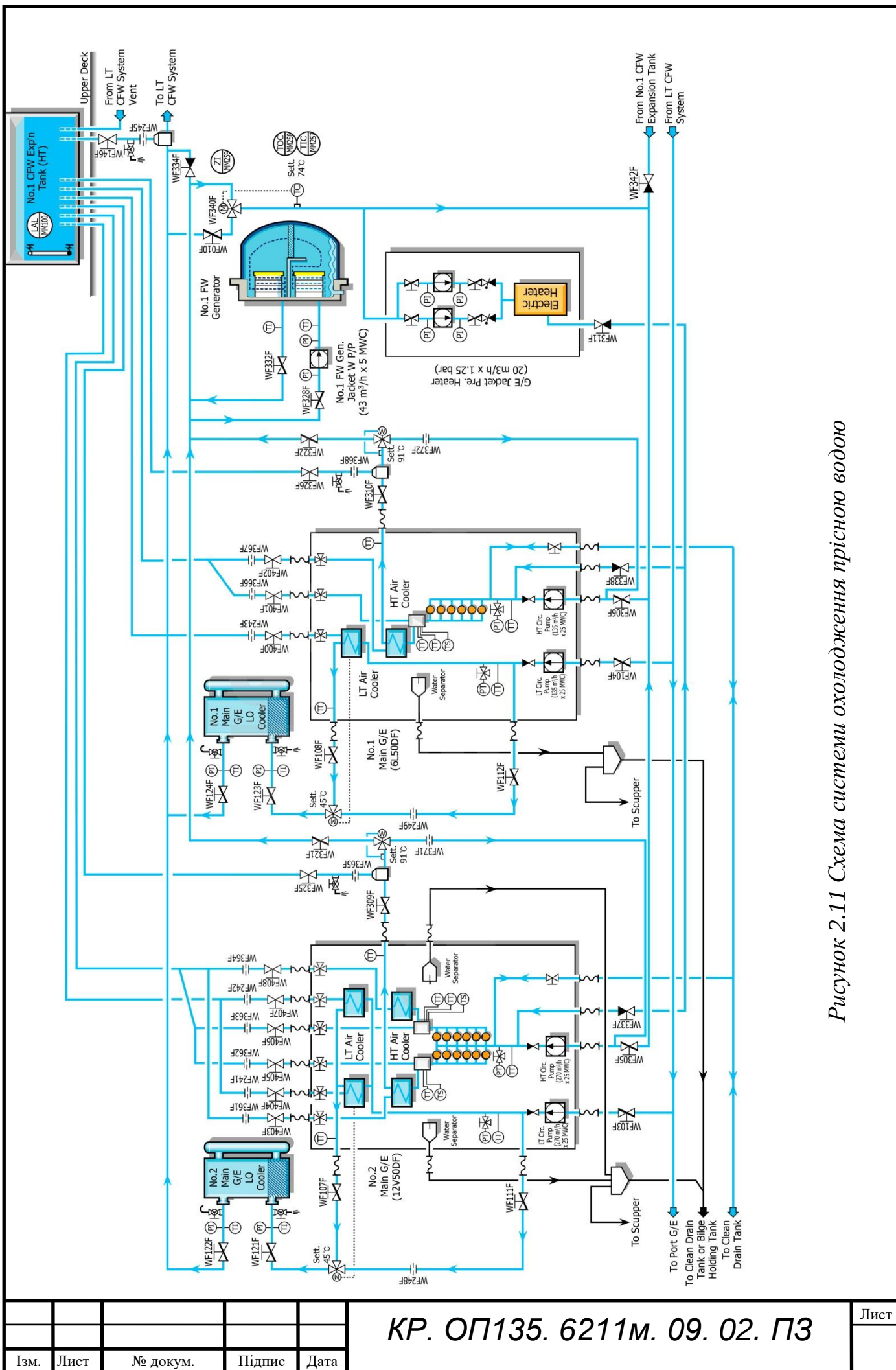


Рисунок 2.11 Схема системи охолодження прісною водою

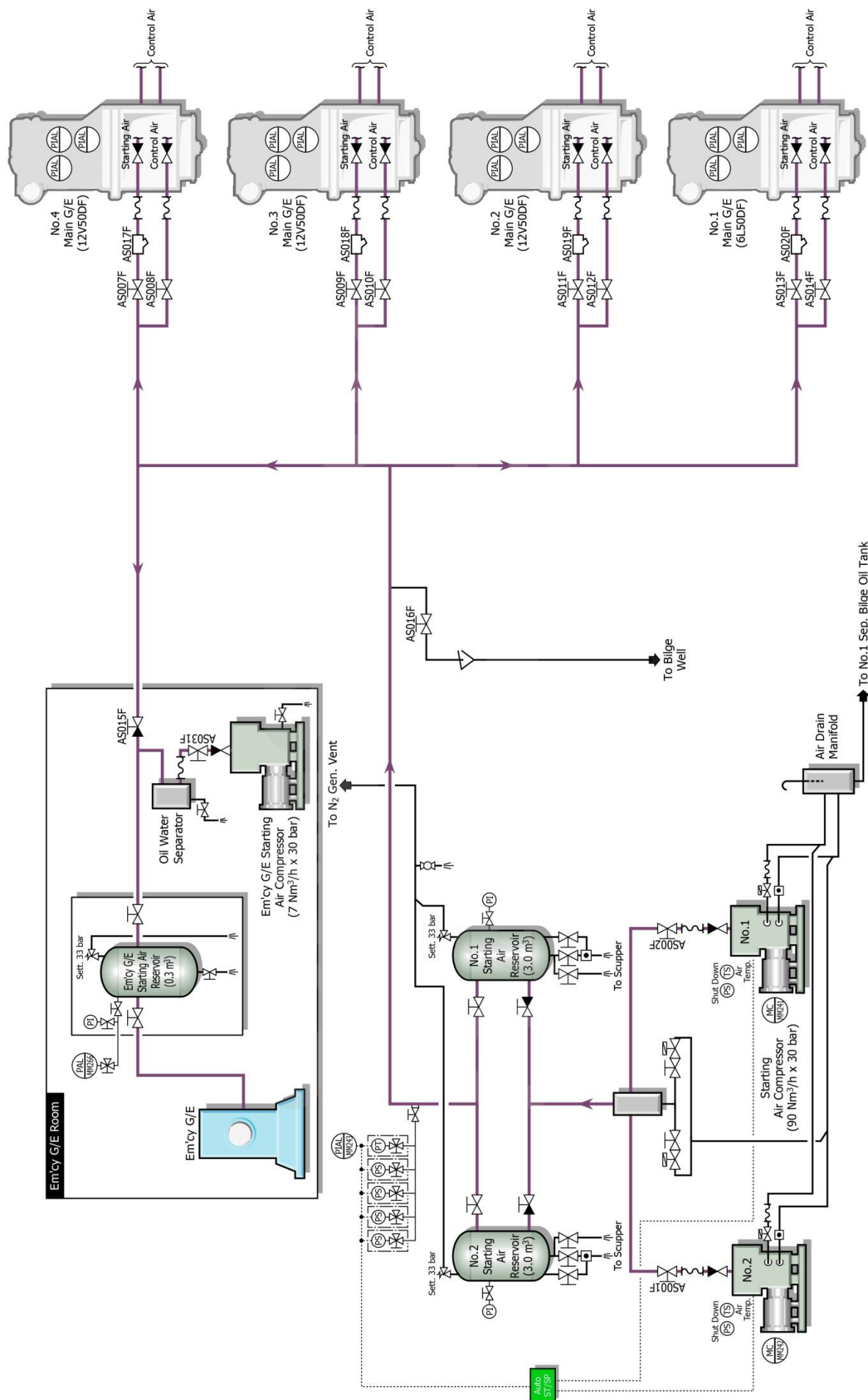


Рисунок 2.12 Схема системи пускового повітря

КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ

Лист

Ізм. Лист № докум. Підпис Дата

2.5 Аналіз суднового електрообладнання, електронної апаратури та систем управління, діагностування й контролю СЕУ

Судно обладнано інтегрованою системою автоматизації (IAS). IAS є розподіленою системою моніторингу та управління, яка завдяки своїй гнучкості та модульній архітектурі може бути розширена, щоб охопити широкий спектр застосувань і типів суден.

IAS побудована з повного спектру апаратних і програмних модулів для формування оптимального рішення для будь-яких вимог. Звичайна конфігурація IAS включає управління і моніторинг механізмів, управління і моніторинг двигунів та підрулювальних пристроїв, а також контроль вантажу і баласту. Все підключене обладнання може керуватись з будь-якої станції оператора по всьому судну, відповідно до налаштувань *Command Control*.

Всі панелі управління є автономними одиницями і незалежними від інших блоків, тобто відмова в одній панелі не призведе до руйнування будь-якої іншої. Вся технологічна логіка, включаючи безпеку обладнання та функції управління, міститься у відповідній панелі управління.

Кожна панель управління містить жорсткий диск з усіма конфігураціями системи. Ряд спеціалізованих панелей управління містить всю конфігурацію і веде резервне копіювання під час завантаження програмного забезпечення.

Конфігурацію чи оновлення системи можна здійснювати в режимі он-лайн без необхідності додаткового обладнання.

Складна система входу (*login/password*) захищає роботу системи від несправностей.

IAS підтримує засоби запису подій і тривог. Події і тривоги зберігаються на жорстких дисках і можуть бути викликані за запитом.

В якості стандартної встановлюється резервна мережа на основі принципу *Ethernet*. Мережі, коли це можливо, проводяться різними кабельними шляхами. Кожна панель управління з'єднана з обома мережами і, якщо виявляється відмова одній з мереж, система автоматично використовує справну мережу.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні задачі IAS:

- 1) система контролю вантажу;
- 2) контроль газу (компресори – нагрівачі – випарники);
- 3) сигналізація та моніторинг машинного приміщення;
- 4) сигналізація та моніторинг вантажної системи;
- 5) запис тривог і подій;
- 6) система попередження аварій;
- 7) система керування живленням;
- 8) система керування допоміжним дизельним двигуном;
- 9) система контролю баласту.

Панелі управління IAS, *Kongsberg Vessel Management System*, встановлюються у приміщенні контролю за вантажем (CCR), в приміщенні управління двигуном та на головному містку. Ці панелі управління встановлюються в стандартні консолі *Kongsberg Maritime (KM)*.

Розподілені панелі управління IAS розташовані в спеціалізованих приміщеннях технологічного обладнання. Вся логіка щодо безпеки, контролю та моніторингу розташована на технологічних станціях. Всього включено 16 технологічних станцій з блоками контролерів (RCU). До технологічних станцій підключені додаткові шафи для дистанційного під'єднання.

По два принтери тривог, подій та звітів встановлюються у приміщенні контролю за вантажем та у приміщенні управління двигуном.

Сигналізація та моніторинг

Система сигналізації та моніторингу є інтегрованою функцією в системі IAS. Всі сигнали тривоги від різних підсистем, такі як пропульсивні системи, управління потужністю, допоміжні пристрої машинного відділення і т.д., об'єднуються через резервну мережу для формування єдиної системи сигналізації для судна.

Тривоги відображаються на блоках відеодисплея панелі управління IAS, вони також активують дзвінок.

Тривоги та події (наприклад, пуск чи стоп насосу, відкриття чи закриття клапанів) реєструються системою і можуть бути надруковані на принтері тривог-

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

подій. Така інформація також зберігається на жорсткому диску панелі і може бути викликана за запитом.

Система сигналізації підтримує три рівні пріоритету, які позначені різними кольорами:

- 1) Сигнали з низьким пріоритетом – жовтий колір;
- 2) Сигнали з високим пріоритетом – червоний колір;
- 3) Сигнали критичного пріоритету – пурпуровий колір.

Система входу та доступу

При вході до панелі управління IAS необхідно ввести ім'я користувача та пароль для доступу до системи. Кожен користувач є членом групи користувачів, де визначені права доступу та права користувача.

Таблиця 2.7 Користувачі та групи користувачів системи IAS

Користувач	Пароль	Група користувачів
Guest	Guest	Guests
Operator	Operator	Users
Captain		Power User
Chief		Power User
Administrator		Administrators
Kongsberg		Administrators

Типовий пароль це ім'я користувача, але його можуть змінити "Адміністратори", а також можна додати додаткових користувачів і групи користувачів.



Рисунок 2.13 Панель вводу панелі управління IAS

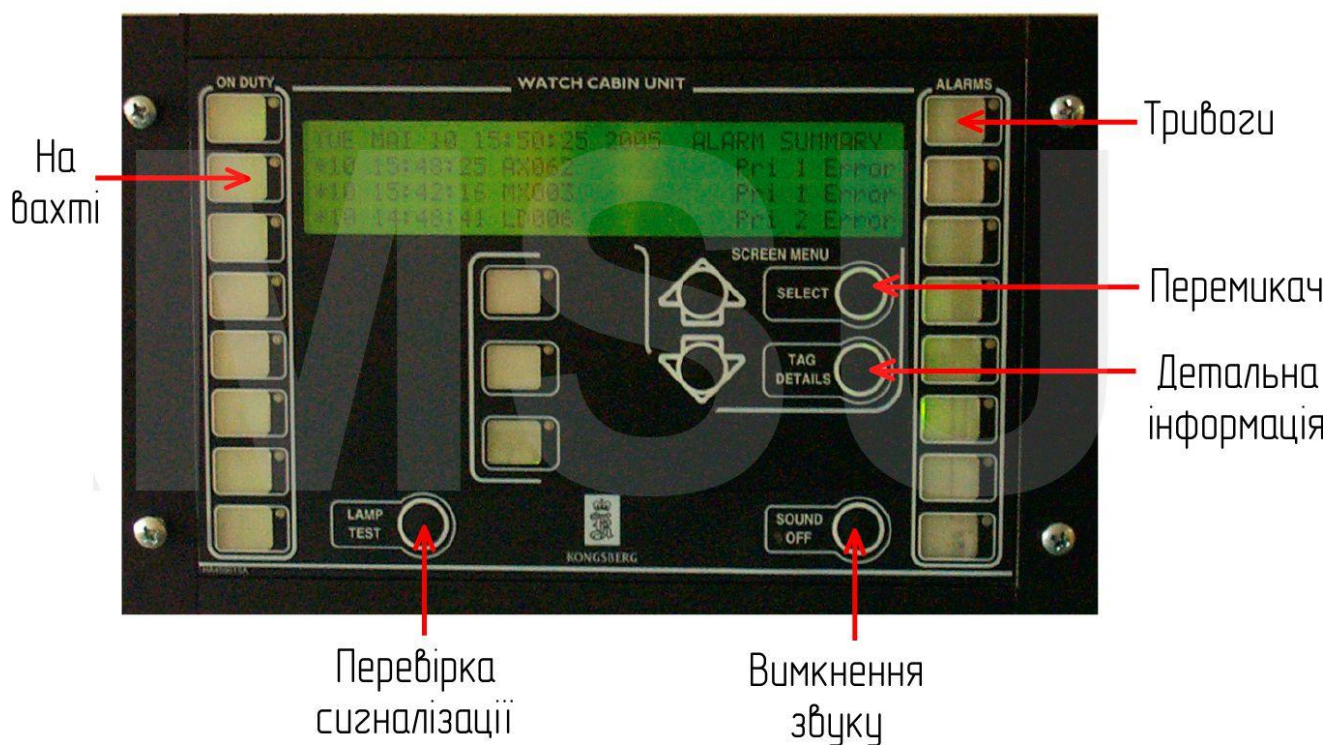


Рисунок 2.14 Монітор контролю IAS

Приміщення управління двигуном

Приміщення управління двигуном (ECR) розташоване на 2-у рівні машинного відділення, де розташовані органи управління, які забезпечують централізовану роботу і контроль механізмів машинного відділення.



Рисунок 2.15 Панель управління пропульсивною установкою IAS

Управління в першу чергу здійснюється через Інтегровану систему автоматизації (IAS), але тут також знаходяться інші панелі управління.

Приміщення управління двигуном містить такі елементи обладнання:

- консоль керування двигуном;
- кольоровий лазерний принтер IAS;
- принтер тривог та логів IAS;
- креслярський стіл;
- основна панель виявлення газу;
- панель виявлення паливного туману;
- комп'ютерний стіл (для системи моніторингу роботи судна);
- дисплей системи контролю роботи судна;
- комп'ютерний блок системи контролю характеристик судна;
- блок безперебійного електроживлення для системи контролю роботи судна;
- телефон;
- панелі управління двигунами;

Система обмеження та захисту енергетичної установки

Програмне забезпечення керування двигуном має системні захисні функції для виявлення та запобігання перевантаження мережі, небезпечної роботи системи та інших збоїв системи. Захист ділиться на обмеження потужності, обмеження швидкості, функції блокування та відключення.

Ось декілька функцій:

Функція «обмеження потужності»

Запобігання перевантаження двигунів і відмов у деяких пристроях вимагає обмеження потужності в пропульсивній системі. У системи контролю пропульсивної установки існують функції швидкого і повільного обмеження потужності.

Функція «захист від перевищення швидкості»

Функція захисту від перевищення швидкості, в системі обмеження та захисту пропульсивної установки, працює за рахунок незалежного тахометру що вимірює швидкість. Він безпосередньо пов'язаний з системою керування двигуном. Якщо досягається максимальна швидкість двигуна, він відключається через перевищення швидкості. Схема роботи функції зображена на рис. 2.17.

Функція «блокування»

Мета блокування – гарантувати безпеку людини і системи. Система обмеження та захисту пропульсивної установки має функції блокування для двох різних операцій: блокування вала (закриття гальма) і запуску приводу.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

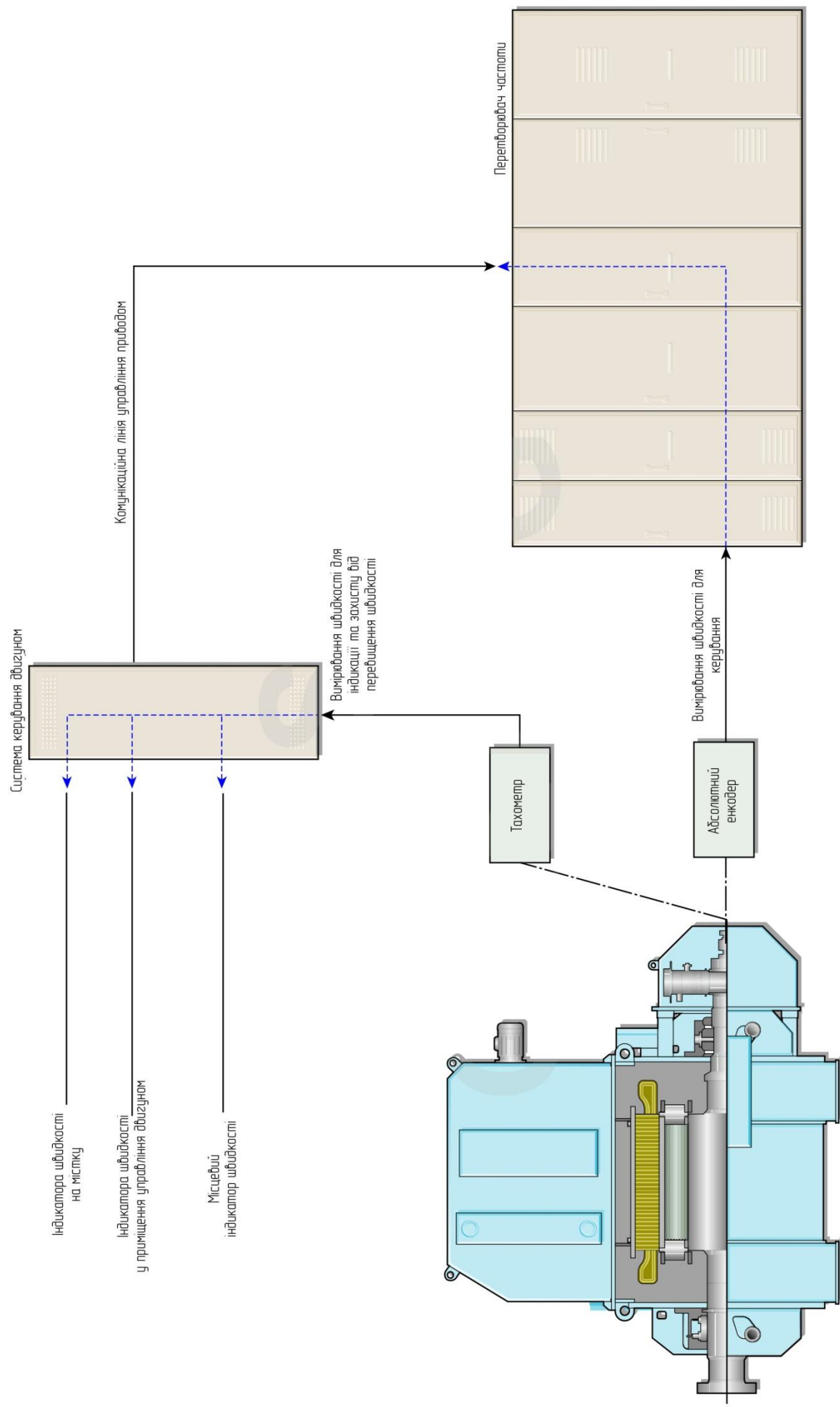


Рисунок 2.17 Схеми роботи функції захисту від перевищення швидкості

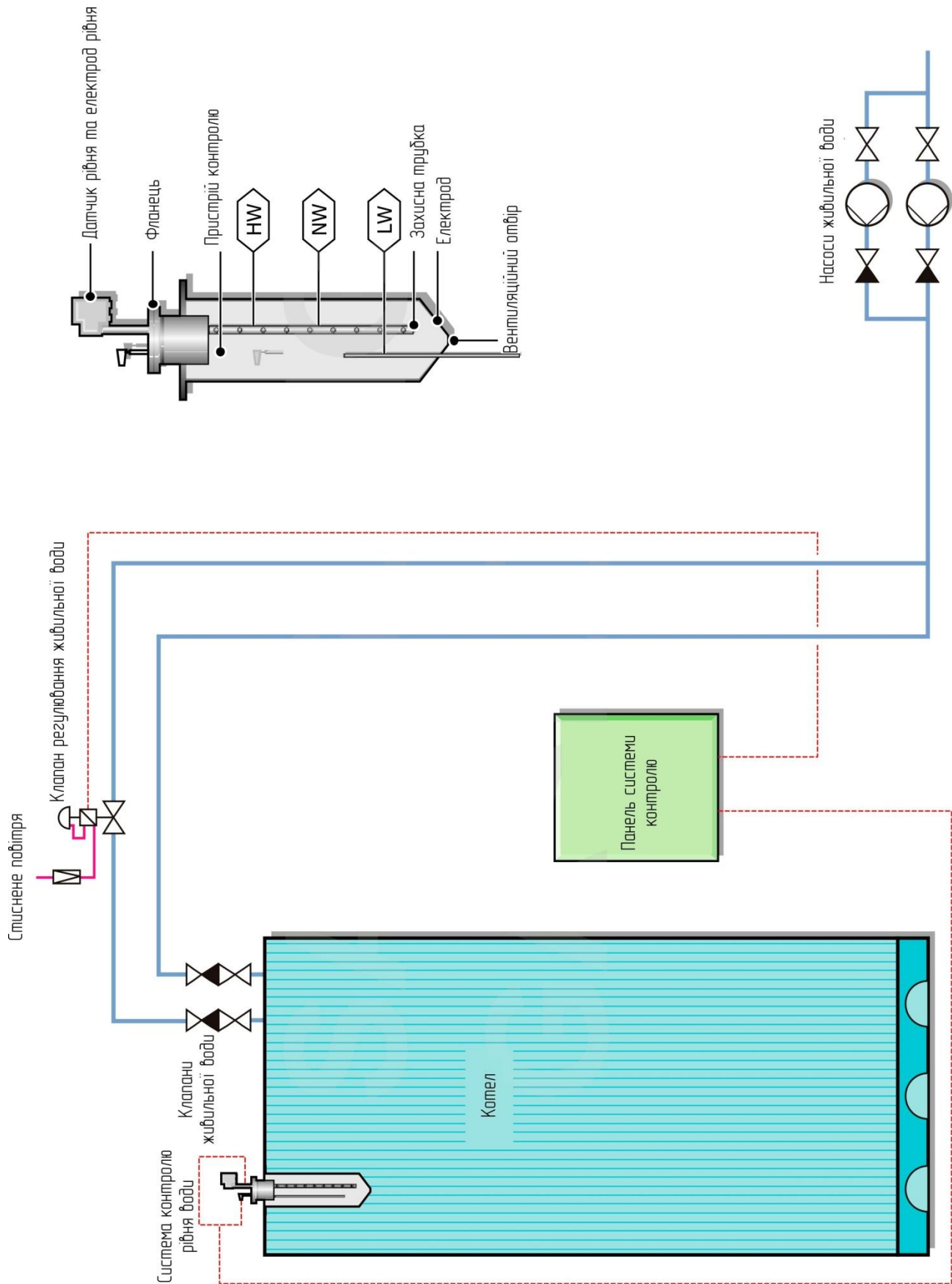


Рисунок 2.18 Схема системи контролю рівня води у котлі

Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

КР. ОП135. 6211м. 09. 02. ПЗ

Лист

					КР. ОП135. 6211м. 09. 03. ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Підвищення енергетичної ефективності СЕУ LNG-газовозу «Dapeng Sun» шляхом модернізації пропульсивного комплексу				Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Пастушенко Д.О.										
Керівник	Чередніченко О.К.										
Консульт.									НУК ім. адм. Макарова		
Зав. каф.	Личко Б.М.										

РОЗДІЛ 3 Підвищення енергетичної ефективності СЕУ LNG-газовозу «Dapeng Sun» шляхом модернізації пропульсивного комплексу

Головною метою даного науково-прикладного дослідження є аналіз шляхів підвищення ефективності енергетичних установок газовозів LNG з електроенергетичними установками.

Ця мета потребує вирішення наступних задач:

- проаналізувати загальні тенденції розвитку флоту суден газовозів;
- виявити ступень впливу компонентного складу вантажу та параметрів системи газоподібного палива на ефективність термохімічної обробки палива з метою підвищення енергоефективності установки;
- адаптувати отримані результати та залежності до розрахунку енергетичної ефективності установки газовозу LNG типу *Dapeng Sun*.

Відповідно до завдання на виконання магістерської роботи сформульовані об'єкт та предмет дослідження, визначені методи, за допомогою яких будуть вирішуватись поставлені задачі.

Об'єктом дослідження є енергетичні установки сучасних газовозів LNG.

Предметом дослідження є параметри енергетичних установок та закономірності їх взаємного впливу на ефективність судна в цілому.

В якості основних **методів дослідження** використовувалися системний аналіз процесів перетворення енергії при оцінці ефективності схемних рішень та виявленні взаємозв'язків елементів суднових енергетичних установок; статистичні методи при обробці даних; розрахунково-аналітичні методи досліджень, які базуються на законах термодинаміки та системах балансових рівнянь.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 03. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1 Загальні тенденції розвитку флоту суден газовозів

Оцінка ситуації, що до теперішнього часу ситуації на ринку природного газу (обсяги та транспортні потоки), облік сучасної географії експортерів і імпортерів, аналіз технологічного рівня способів транспортування дозволяє виявити, що пріоритетними є технології транспортування по трубопроводах і в вигляді LNG. Цей висновок підтверджується прогнозами авторитетних експертів ринку енергоносіїв.

Трубопроводи залишатимуться основним засобом транспортування газу, (рис. 3.1), але частина, яка припадає на транспортування у вигляді зрідженого природного газу (*liquefied natural gas – LNG*) збільшиться з 32% в 2012 до 46% в 2035.

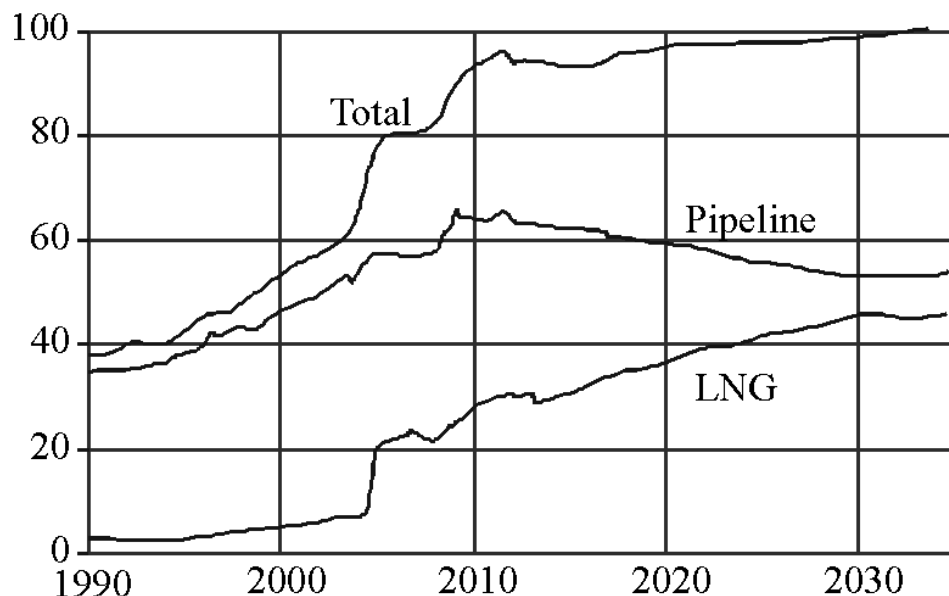


Рисунок 3.1 Частки способів транспортування природного газу

За прогнозами до 2035 року майже половина обсягу природного газу буде транспортуватися в зрідженому вигляді (*LNG*) судами-газовозами, які ще називають «плавучими трубопроводами» [1].

Світовий попит на *LNG* подвоївся за останні 10 років і становить понад 200 мільйонів тонн щорічно. У 2014 році обсяг перевезення *LNG* склав близько 243 мільйонів тонн (*source BG Group*), а в 2016 перевищив 258 мільйонів тонн [1].

Згідно з даними *World LNG Market Forecast 2016-2020* капітальні вкладення в ринок *LNG* складуть \$ 241 млрд в період між 2016 і 2020 рр.

Таблиця 3.1 Зростання показників індустрії *LNG* за 20 років [2]

Характеристики	1993	2003	2013
Кількість заводів зі скраплення природного газу	11	15	26
Кількість прийомних терміналів	31	46	104
Кількість газовозів <i>LNG</i>	76	152	393
Кількість країн імпортерів	9	13	29
Імпорт <i>LNG</i> (млн. Т)	61,0	125,2	236,9

Заводи з виробництва *LNG* та вантажні термінали *LNG* розміщені на всіх континентах, окрім Антарктиди.

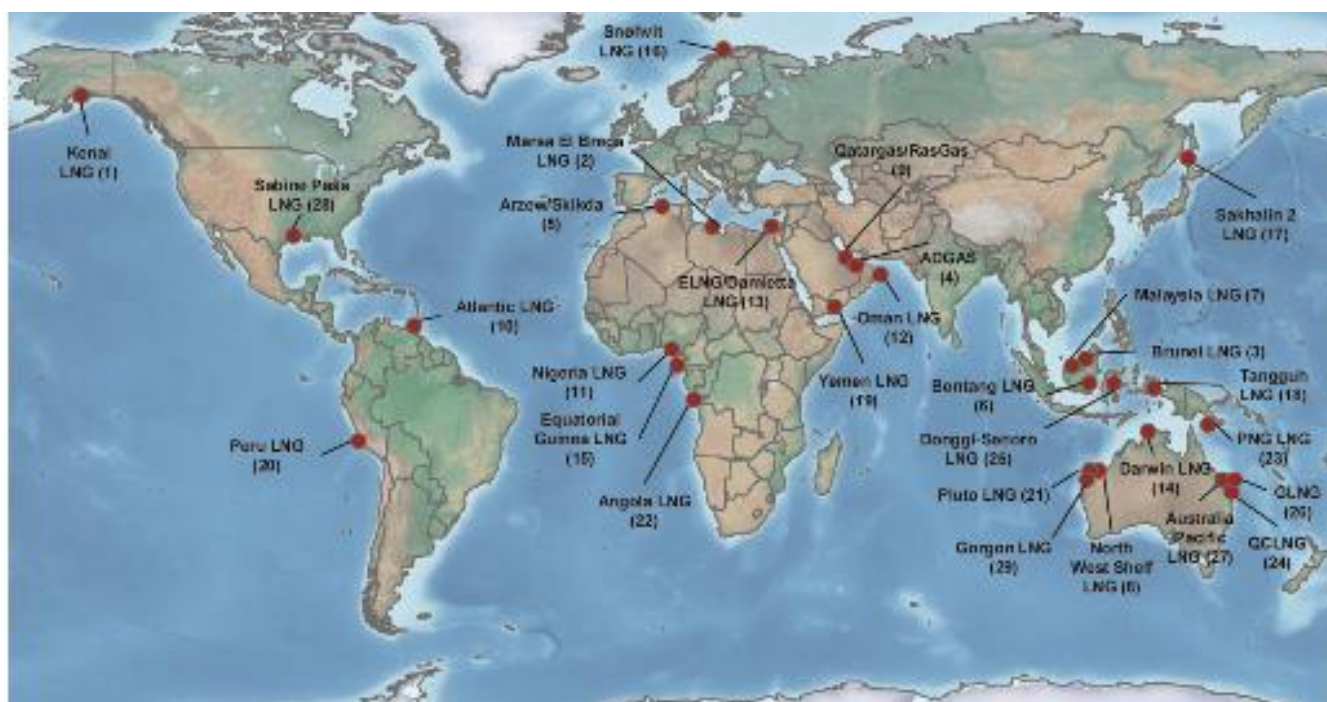
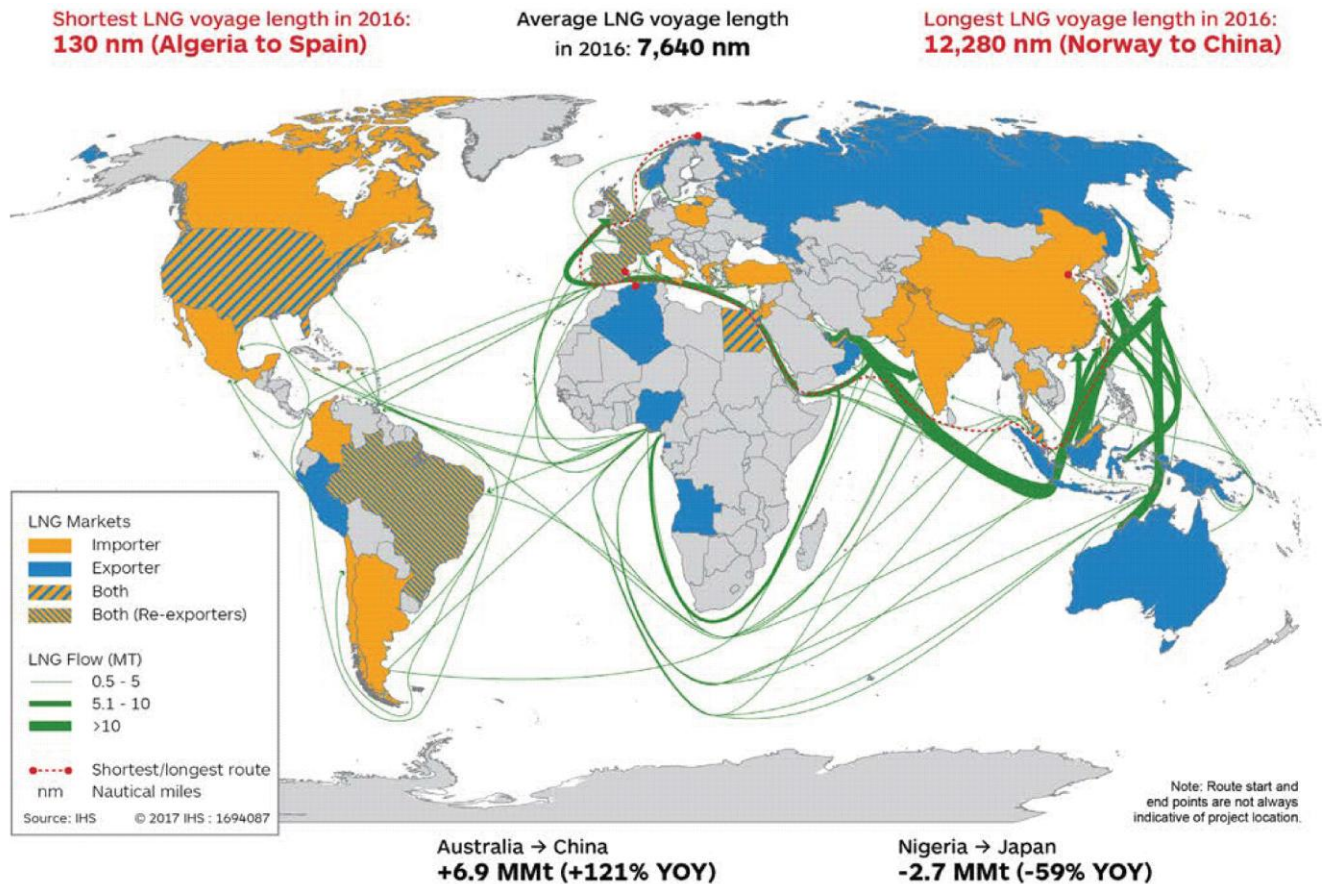


Рисунок 3.2 Географія розміщення заводів по виробництву *LNG*

Географія таких перевезень дуже широка. За даними на 2016 р найкоротший маршрут перевезення *LNG* морем становив 130 морських миль (Алжир – Іспанія),

а найдовший 12280 миль (Норвегія – КНР). Середня довжина маршруту – 7640 миль.



Source: IHS Markit.

Рисунок 3.3 Основні маршрути перевезення LNG морем

Пік використання флоту *LNG* припав на 2012 рік, коли після катастрофічного цунамі і виведення з експлуатації ядерної енергетики Японії, різко зріс попит на *LNG*. При цьому коефіцієнт використання газовозів *LNG* досягав 98% з ростом чартерних ставок до 150 тис. \$/доб. Деяке уповільнення темпів економічного зростання призвело до зниження в 4–5 разів чартерних ставок і зниження коефіцієнта використання газовозів *LNG* нижче 90%. Створення в портах Європи великих *LNG* терміналів імпорту газу, розвиток інноваційних технологій видобутку і розробка нових родовищ, а особливо зростання потенціалу терміналів *LNG* експорту в Австралії і США дає оптимістичний прогноз на найближчі 5 років для кількісного і якісного зростання флоту *LNG* газовозів.

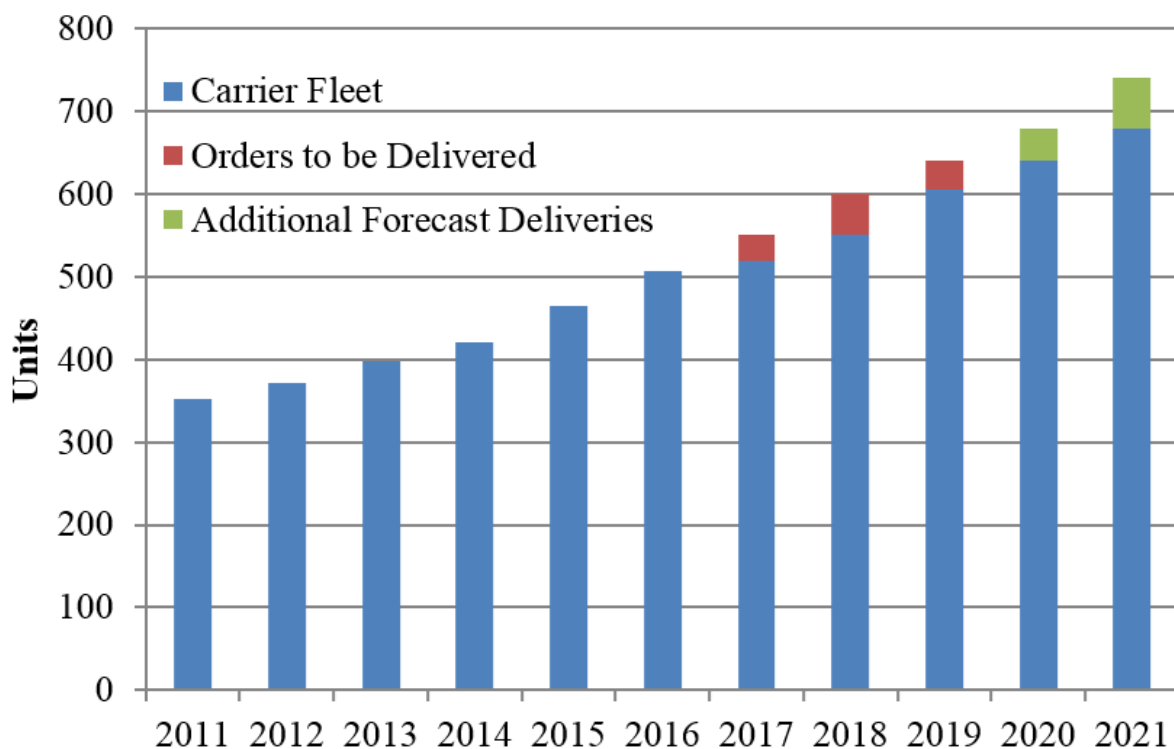


Рисунок 3.4 Очікуване зростання кількості газовозів LNG в період 2017-2021 роки [3]

За даними *Lloyd's List Intelligence*, на січень 2018 р в експлуатації знаходиться 472 газовози LNG, сумарним дедвейтом понад 39,2 млн. т. Згідно з прогнозом *Westwood Global Energy Group* в період 2018 – 2022 рр. очікується поставка ще 265 суден такого типу [3].

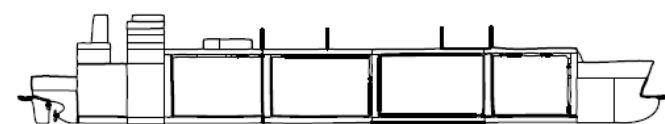
Судна газовози виконуються за двома конструктивними схемами:

1. З автономними резервуарами, що представляють собою міцну конструкцію з зовнішньою теплоізоляцією, такі як типу *Moss* (сферичні) або типу *SPB* (призматичні);

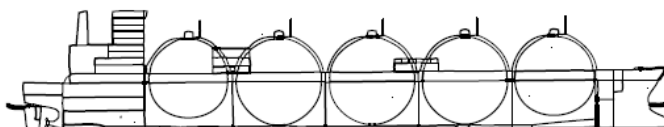
2. З мембранними резервуарами, що представляють собою мембрани з ізоляцією, які спираються на внутрішній борт, внутрішнє дно і внутрішню палубу, типу *GTT*.

Судна другого типу отримали в даний час найбільшого поширення і складають 73% світового флоту газовозів LNG [3]. Найбільш великими судами є побудовані в період 2007-2010 роки 31 судно класу *Q-flex* (210,0-217,0 тис. м³) та 14 суден класу

Q_{max} 261,7-266,0 тис м^3). Для замовлень 2016 року середній розмір вантажомісткості газовоза склав 173,6 тис. м^3 .

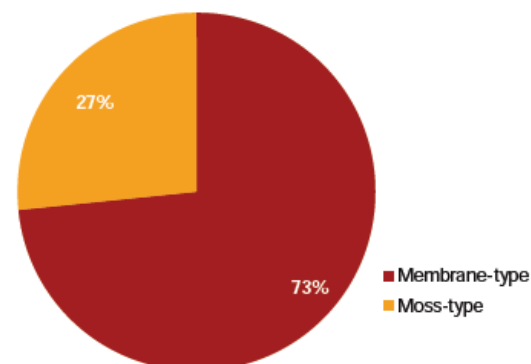


138,000 m^3 LNG carrier of the membrane type



138,000 m^3 LNG carrier of the spherical (Moss) type

Figure 5.3: Existing Fleet by Containment Type, end-2016



Source: IHS Markit

Рисунок 3.5 Основні типи суден газовозів [4]

3.2 Виявлення пріоритетів у розвитку енергетичних установок суден газовозів

Основним компонентом зрідженого природного газу є метан (87...98%), а також етан (1,4...9,5%), пропан (0,4...2,5%), бутан (0,1...0,5%) і азот (0,1...0,5%). Зріджений природний газ транспортується при атмосферному тиску і при температурах нижче точки кипіння метану ($-161,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Це дозволяє зменшити обсяг вантажу, що перевозиться приблизно в 600 разів. У процесі транспортування, за рахунок теплообміну між поверхнями елементів системи транспортування вантажу з навколишнім середовищем, частина вантажу випаровується. В якості критерію оцінки втрат випару в процесі перевезення газу (*BOG – Boil-Off Gas*) прийнята величина швидкості випаровування вантажу (*BOR – Boil Of Rate*), яка визначається як процентне відношення втрат за добу V_{BOG} до загального обсягу перевезеного вантажу V_{LNG}

$$BOR = \frac{V_{BOG}}{V_{LNG}},$$

де BOR – %/доб.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 03. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

За даними [12] для сучасних газовозів у вантажному рейсі $BOR = 0,1-0,15\%$, в баластному рейсі $0,06-0,1\%$, в залежності від конструктивної схеми і покоління судна.

Наслідуючи традиції танкерного флоту другої половини XX століття, перше спеціалізоване судно – газовоз *Methane Princess* було оснащено паротурбінної пропульсивної установкою (ПТУ) потужністю 10,2 МВт. Судно швидкістю ходу 17,5 вузлів і вантажомісткістю 27400 м³ експлуатувалося на рейсовій лінії *Port of Arzew (Algeria) Canvey Island (UK)* з осені 1964 року. Газовоз здійснював 29 рейсів на рік і в кожному рейсі перевозив вантаж, який забезпечував річні потреби приблизно 275 тис. жителів Великобританії. [18]

Надалі, двигуни установки отримали досить широке поширення на судах-газовозах. Так до середини 2014 року 274 газовеоза були оснащені ПТУ. Але якщо в замовленнях на газовеоза середини 2007 року 40% припадало на судна з ПТУ, то в замовленнях на 1 липня 2014 року їх були тільки 8% від загального числа суден (рис. 3.6).

Propulsion systems for LNG carriers

■ DFDE ■ Steam turbine ■ DFDM ■ SFDM+R

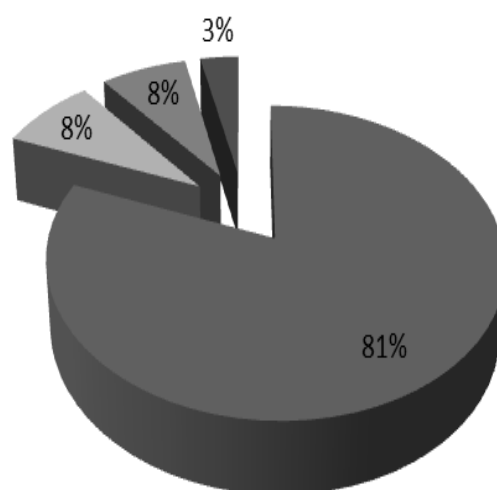


Рисунок 3.6 Пропульсивні установки газовеозів на 01.06.2014

Існує два основні варіанти СЕУ газовеоза *LNG*:

- з обробкою випару газу в установці повторного зрідження;

					КР. ОП135. 6211м. 09. 03. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- з утилізацією випару в процесі транспортування вантажу в енергетичній установці.

До першої групи можна віднести установки на базі однопаливних (*SF- single-fuel*) малообертових (МОД) і середньообертових (СОД) дизельних двигунів, паротурбінних установок і газотурбінних двигунів (ГТД). З цієї групи реалізовані установки *SFDM + R (diesel mechanical propulsion with reliquefaction)* – дизельна пропульсивна установка з прямою передачею потужності на гвинт + установка повторного зрідження.

З точки зору визначення перспективних шляхів підвищення ефективності енерговикористання найбільший інтерес представляє другий варіант.

Аналіз складу і характеристик існуючих і перспективних енергетичних установок газозовів *LNG* дозволив виявити наступні основні типи енергетичних комплексів на базі двопаливних (*DF – dual-fuel*) малообертових (МОД) і середньообертових (СОД) ДВЗ, двопаливних паротурбінних і газотурбінних установок:

- *DFDM (low-speed diesel mechanical propulsion)* пропульсивна установка з МОД і прямою передачею потужності на гвинт;

- *DFSM (steam turbine mechanical propulsion)* паротурбінна пропульсивна установка;

- *DFDE (medium-speed diesel electric propulsion)* дизель-електрична пропульсивна установка;

- *DFGE (gas turbine electric propulsion)* газотурбоелектрична пропульсивна установка;

- *DFCOGES (combined gas and steam turbines electric propulsion)* – комбінована газопаротурбоелектрична пропульсивна установка;

- *DFCODMDE (combined low-speed diesel mechanical and diesel electric propulsion)* – комбінована пропульсивна установка з МОД і прямою передачею потужності на гвинт спільно з дизель-електричної пропульсивною установкою;

					КР. ОП135. 6211м. 09. 03. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- *DFCODMGE (combined low-speed diesel mechanical and steam turbine electric propulsion)* – комбінована пропульсивна установка з МОД і прямою передачею потужності на гвинт спільно з газотурбоелектричною пропульсивною установкою;

- *DFCODMSE (combined low-speed diesel mechanical and steam turbine electric propulsion)* – комбінована пропульсивна установка з МОД і прямою передачею потужності на гвинт спільно з паротурбоелектричною пропульсивною установкою;

- *DFCODMCOGES (combined low-speed diesel mechanical and steam turbine electric propulsion)* – комбінована пропульсивна установка з МОД і прямою передачею потужності на гвинт спільно з газопаротурбоелектричною пропульсивною установкою.

Крім того, перспективними є і трипаливні (*TF – triple fuel*) установки *TFDE*. В установках такого типу передбачається використання важкого (*HFO*), легкого (*MDO, MGO*) і газоподібного палива, що забезпечує експлуатаційну гнучкість з можливістю оптимізації навантаження енергетичної установки на різних швидкостях руху судна.

Вичерпання технічних резервів підвищення ефективності теплових двигунів привело до стабілізації в часі величин їх термічного ККД.

Застосування більш енергоефективних двигунів, стримується як істотним збільшенням вартості життєвого циклу двигуна при підвищенні ступеня його термодинамічної досконалості, так і жорсткими вимогами екологічних стандартів, виконання яких призводить до значного збільшення витрат, пов'язаних з енергоспоживанням.

Сучасні підходи до проектування енергетичного обладнання передбачають різні шляхи підвищення ефективності, в тому числі утилізацію і регенерацію скидного тепла теплових двигунів і установок, застосування комбінованих установок.

Стосовно до газотурбінних технологій, утилізація тепла відхідних газів може здійснюватися в регенеративних ГТД різного конструктивного виконання, але найбільшого поширення набули когенераційні установки і добре відомі в стаціонарній і судновій енергетиці комбіновані газопаротурбінні цикли. У таких

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 03. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

установках передбачається утилізація тепла відхідних газів з ГТД в паротурбінному контурі. У когенераційних установках ефективність теплогенеруючого контуру тим вище, чим нижче ефективність теплового двигуна, при цьому тепла потужність може в два рази перевищувати механічну (електричну) потужність. Зниження витрат на водопідготовку і збільшення терміну служби котла-утилізатора для таких установок можна досягти застосуванням проміжного водо-водяного теплообмінника, при цьому забезпечується циркуляція води, що нагрівається в котлі утилізатора по замкнутому контуру. Більш перспективним видом проміжного теплоносія в когенераційних установках, може бути не вода, а термостійкі (діатермічні) масла. Такий теплоносій допускає досить високі робочі температури (до 320 °С при використанні органічних масел, і до 400°С для синтетичних масел), виключає проблеми пов'язані з хімводопідготовкою, деаерацією, підживленням конденсату. Слід зазначити, що температура відхідних газів сучасних серійних газотурбінних двигунів, що застосовуються в стаціонарній і судновій енергетиці лежить в межах 420...520 °С, що може обмежувати застосування діатермічних рідин при утилізації тепла відхідних газів ГТД. Альтернативою може бути застосування рідкометалевих теплоносіїв [3].

В останні роки в стаціонарних і мобільних енергетичних комплексах на базі ДВС набули поширення установки циклу *DCC (Diesel Combined Cycle)*, в яких передбачається утилізація тепла відхідних газів ДВС в паротурбінному циклі. Так фірма *MAN Diesel & Turbo* реалізувала подібну схему на ряді дизель-паротурбінних електростанцій. Прикладом може служити установка, до складу якої входить 11 ДВЗ 18V48 / 60 сумарною потужністю близько 144 МВт і 1 утилізаційна парова турбіна потужністю 12 МВт. За рахунок застосування циклу *DCC* ККД збільшився на 3,7% і склав 48,4% [4].

Стосовно до суднової та стаціонарної енергетики на базі малообертових дизельних двигунів фірмами *MAN Diesel & Turbo* і *Wärtsilä* розроблені установки, які працюють з турбокомпаундною системою, а також установки комбінованого циклу (*DCC*) з турбокомпаундною системою. У таких установках передбачається

					КР. ОП135. 6211м. 09. 03. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

утилізація тепла масла двигуна, тепла водяної системи охолодження сорочки двигуна і водяних контурів охолодження наддувочного повітря.

Одним з перспективних способів впровадження енергозберігаючих технологій і використання альтернативних видів палива, що дозволяє не тільки поліпшити економічні і екологічні характеристики, але і кінетичні показники процесу згоряння, є термохімічна регенерація тепла (ТХР). При цьому передбачається конверсія базового вуглеводневого палива, в результаті якої утворюється синтез-газ – суміш монооксиду вуглецю і водню, а необхідна енергія для здійснення ендотермічної реакції хімічного перетворення палива отримана при утилізації тепла відхідних газів двигуна.

3.3 Дослідження впливу обмежень, які пов'язані з параметрами системи газоподібного палива та компонентного складу вантажу на ефективність термохімічної утилізації

В основу математичної моделі енергетичної установки з термохімічною регенерацією покладено такі положення (рис. 3.7):

1) кількість теплоти, необхідне для отримання синтез-газу $Q_{c,2}^{необ}$ не повинно перевищувати максимальну кількість енергії, яке може бути утилізовано з газами, що відходять $Q_{в,2}^{max}$;

2) різниця між температурою відхідних газів на вході в утилізаційних пристрій $T_{в,2}^{вх}$ і температурою синтез-газу на виході з утилізаційного пристрою $T_{c,2}^{вих}$ (температура конверсії палива) не повинна бути нижче величини встановленого температурного напору на вході ΔT , тобто максимальна температура процесу конверсії палива не може перевищувати максимальну температуру відхідних газів в утилізаційному пристрої.

Температурний напір на вході, а також максимальна кількість енергії, яка може бути утилізована з газами, що відходять залежать від конструкції і типу утилізаційного пристрою – термохімічного реактора, наявності або відсутності каталізаторів і уточнюються експериментальним шляхом.

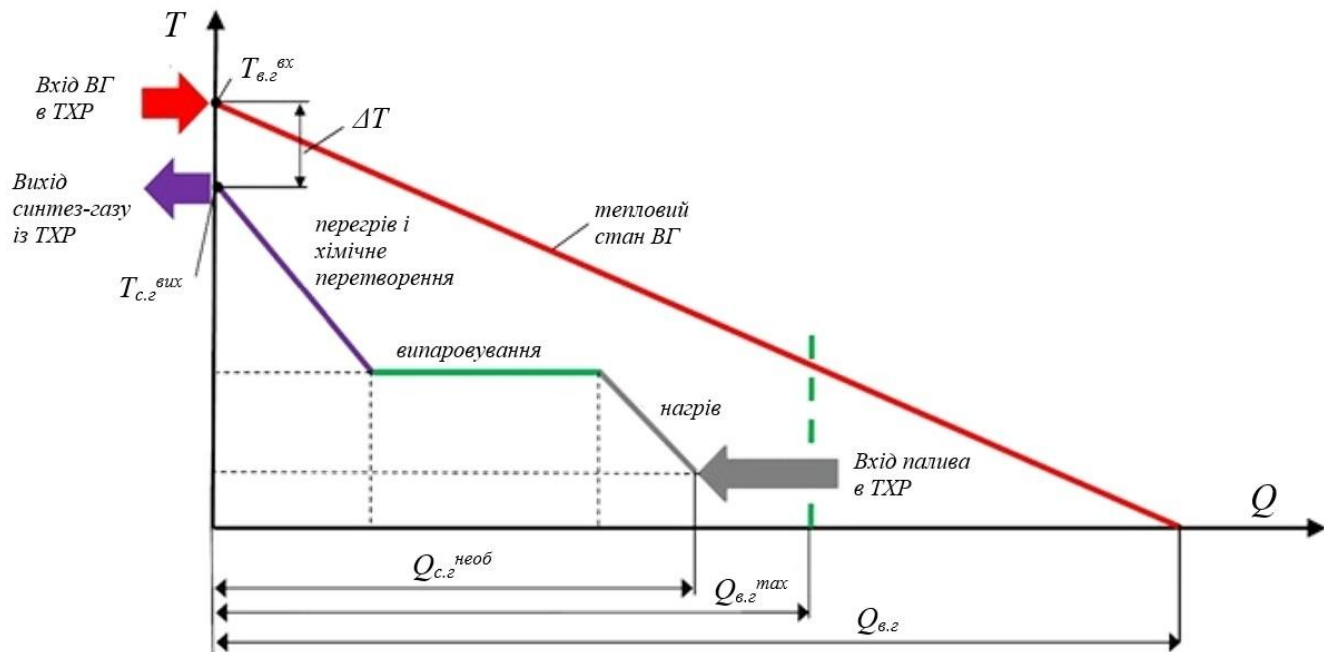


Рисунок 3.7 Узгодження параметрів потенціалу відхідних газів теплового двигуна і параметрів процесу конверсії палива

Баланс тепла, необхідного для отримання синтез-газу:

$$Q_{с.г}^{необ} = Q_{наг} + Q_{вип} + Q_{пер} + Q_{х.р} + Q_{втр},$$

де $Q_{наг}$ — тепло, яке витрачається на нагрів рідких вихідних компонентів хімічної реакції до температури кипіння; $Q_{вип}$ — тепло, яке витрачається на випаровування компонентів хімічної реакції; $Q_{пер}$ — тепло, яке витрачається на перегрів газоподібних компонентів хімічної реакції до температури конверсії; $Q_{х.р}$ — тепло, яке витрачається на подолання ендотермічного ефекту реакції хімічного перетворення вихідних компонентів в синтез-газ; $Q_{втр}$ — неминучі теплові втрати в навколишнє середовище в елементах утилізації.

Кількість енергії, яке витрачається на нагрів рідких вихідних компонентів хімічної реакції до температури кипіння визначається за рівнянням:

$$Q_{наг} = G \times C'_p \times (T'_1 - T_0),$$

де G — масова витрата компонента через утилізаційний пристрій для отримання необхідної кількості синтез-газу на відповідному режимі роботи двигуна; C'_p — середня ізобарна теплоємність рідкого компонента в інтервалі температур T_0 і T_1 ;

T'_1 – температура кипіння компонента; T_0 – температура рідкого компонента на вході в утилізаційних пристрій.

Кількість енергії, яке витрачається на випаровування компонентів хімічної реакції:

$$Q_{\text{вип}} = G \times r,$$

де r – питома теплота випаровування компонента.

Кількість енергії, який витрачається на перегрів пара визначається за рівнянням:

$$Q_{\text{пер}} = G \times C_p'' \times (T_2 - T_1''),$$

де C_p'' – середня ізобарна теплоємність газоподібного компонента в інтервалі температур T_2 і T_1'' ; T_2 – кінцева температура конверсії; T_1'' – температура газоподібного компонента, відповідна T'_1 .

Кількість енергії, яке витрачається на подолання ендотермічного ефекту реакції хімічного перетворення вихідних компонентів в синтез-газ:

$$Q_{\text{исп}} = G \times q_{x,p},$$

де $q_{x,p}$ – питома теплота хімічної реакції.

Значення $q_{x,p}$ визначається експериментально і залежить від ступеня конверсії, способу конверсії, а також термодинамічних і термохімічних властивостей палива.

Кількість енергії, яка враховує неминучі теплові втрати $Q_{\text{втр}}$ залежить від конструкції, матеріалу, а також режиму роботи утилізаційного пристрою. Величина втрат в навколишнє середовище становить близько 10...15% від загальної кількості енергії необхідної для отримання синтез-газу.

Максимальна теплота відхідних газів, яка може бути утилізована в термохімічній реакторі $Q_{\text{в.г}}^{\text{max}}$ залежить від величини газового опору і ККД утилізаційного пристрою, а також від термодинамічних властивостей відхідних газів.

Теплота відхідних газів, яка відводиться від двигуна визначається за формулою:

$$Q_{\text{наг}} = G_{\text{вг}} \times C_p''' \times (T_{\text{вих}} - T_0),$$

					КР. ОП135. 6211м. 09. 03. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де G – масова витрата відхідних газів; C_p''' – середня ізобарна теплоємність газів в інтервалі температур T_0 і $T_{вих}$; T_0 – температура навколишнього середовища; $T_{вих}$ – температура відхідних газів на виході з двигуна.

Цікавим є аналіз температурних потенціалів скидного тепла таких основних енергетичних машин, як середньообертовий дизельний двигун (СОД) і газотурбінний двигун.

На рис. 3.8 зіставлені потенціали скидного тепла ГТД і СОД порівнянної потужності.

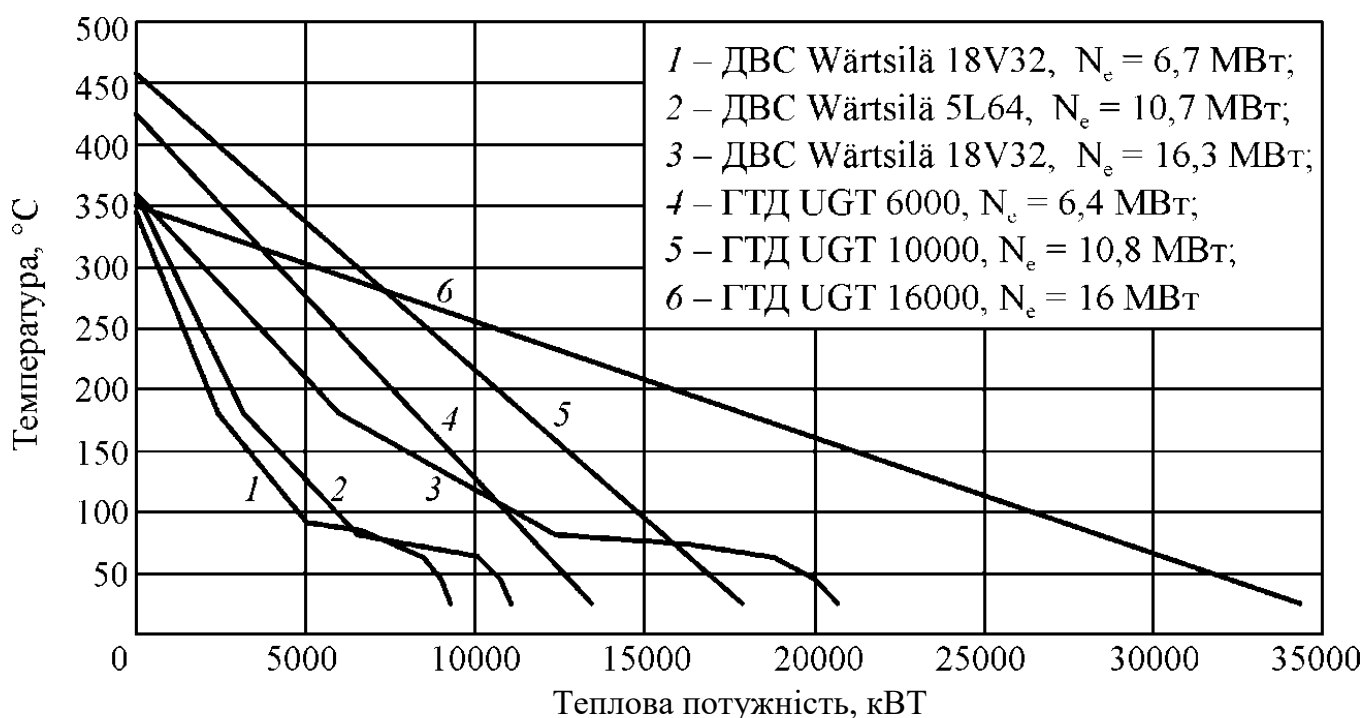


Рисунок 3.8 Залежність між температурою теплоносіїв і тепловою потужністю скидного тепла для ГТД і СОД

В якості основного критерію оцінки енергоефективності процесів термохімічної обробки вуглеводневих палив шляхом парової конверсії запропоновано використовувати коефіцієнт збільшення теплоти згорання базового палива. Запропонований критерій визначається як

$$\overline{H}_U = \frac{\Delta H_U}{H_U^B},$$

де $\Delta H_U = H_U^K - H_U^B$ – зміна теплотворної здатності продуктів конверсії H_U^K (кДж/кг) по відношенню до характеристик базового палива H_U^B (кДж/кг). При цьому теплотворна здатність отриманих в результаті конверсії компонентів синтез-газу перераховується на 1 кг базового палива.

З метою аналізу впливу температури на процес конверсії в [25] був виконаний розрахунок з використанням констант рівноваги основних реакцій при тиску 0,1 МПа. Результати розрахунку оброблені методом регресійного аналізу для наявного діапазону температур і представлені у вигляді залежностей $\Delta H_U = f(T_{THR})$, де $\Delta H_U = H_U^K - H_U^B$.

Для етанолу результат отримано у вигляді:

$$\begin{aligned} \Delta H_U^{Eth} = & (2,3272241 \cdot 10^{-10}) \cdot T_{THR}^5 - (3,2939725 \cdot 10^{-7}) \cdot T_{THR}^4 + \\ & + (1,8092345 \cdot 10^{-4}) \cdot T_{THR}^3 - 0,048113 \cdot T_{THR}^2 + \\ & + 6,231876 \cdot T_{THR} - 315,9218822. \end{aligned}$$

Для основних компонентів природного / попутного газу в роботі [25] отримані наступні залежності:

- бутан

$$\begin{aligned} \Delta H_U^{But} = & (2,5375724 \cdot 10^{-11}) \cdot T_{THR}^5 - (5,1313053 \cdot 10^{-8}) \cdot T_{THR}^4 + \\ & + (3,9415367 \cdot 10^{-5}) \cdot T_{THR}^3 - 0,0142466 \cdot T_{THR}^2 + \\ & + 2,4429205 \cdot T_{THR} - 159,9790408; \end{aligned}$$

- пропан

$$\begin{aligned} \Delta H_U^P = & (5,9146684 \cdot 10^{-14}) \cdot T_{THR}^6 - (1,2891662 \cdot 10^{-10}) \cdot T_{THR}^5 + \\ & + (1,1009637 \cdot 10^{-7}) \cdot T_{THR}^4 - (4,7002096 \cdot 10^{-5}) \cdot T_{THR}^3 + \\ & + 0,0106758 \cdot T_{THR}^2 - 1,2291116 \cdot T_{THR} + 56,2031142; \end{aligned}$$

- етан

$$\begin{aligned} \Delta H_U^E = & (1,3438138 \cdot 10^{-14}) \cdot T_{THR}^6 - (2,9040517 \cdot 10^{-11}) \cdot T_{THR}^5 + \\ & + (2,2812194 \cdot 10^{-8}) \cdot T_{THR}^4 - (7,7418685 \cdot 10^{-6}) \cdot T_{THR}^3 + \\ & + (9,9878204 \cdot 10^{-4}) \cdot T_{THR}^2 + 0,0169935 \cdot T_{THR} - 9,44105; \end{aligned}$$

					КР. ОП135. 6211м. 09. 03. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- метан

$$\begin{aligned}\Delta H_U^M = & -\left(6.0197345 \cdot 10^{-18}\right) \cdot T_{THR}^7 + \left(2.5780853 \cdot 10^{-14}\right) \cdot T_{THR}^6 - \\ & -\left(4.4700353 \cdot 10^{-11}\right) \cdot T_{THR}^5 + \left(4.0253939 \cdot 10^{-8}\right) \cdot T_{THR}^4 - \\ & -\left(2.0191104 \cdot 10^{-5}\right) \cdot T_{THR}^3 + 0.0056732 \cdot T_{THR}^2 - \\ & -0.830873 \cdot T_{THR} + 49.1241714.\end{aligned}$$

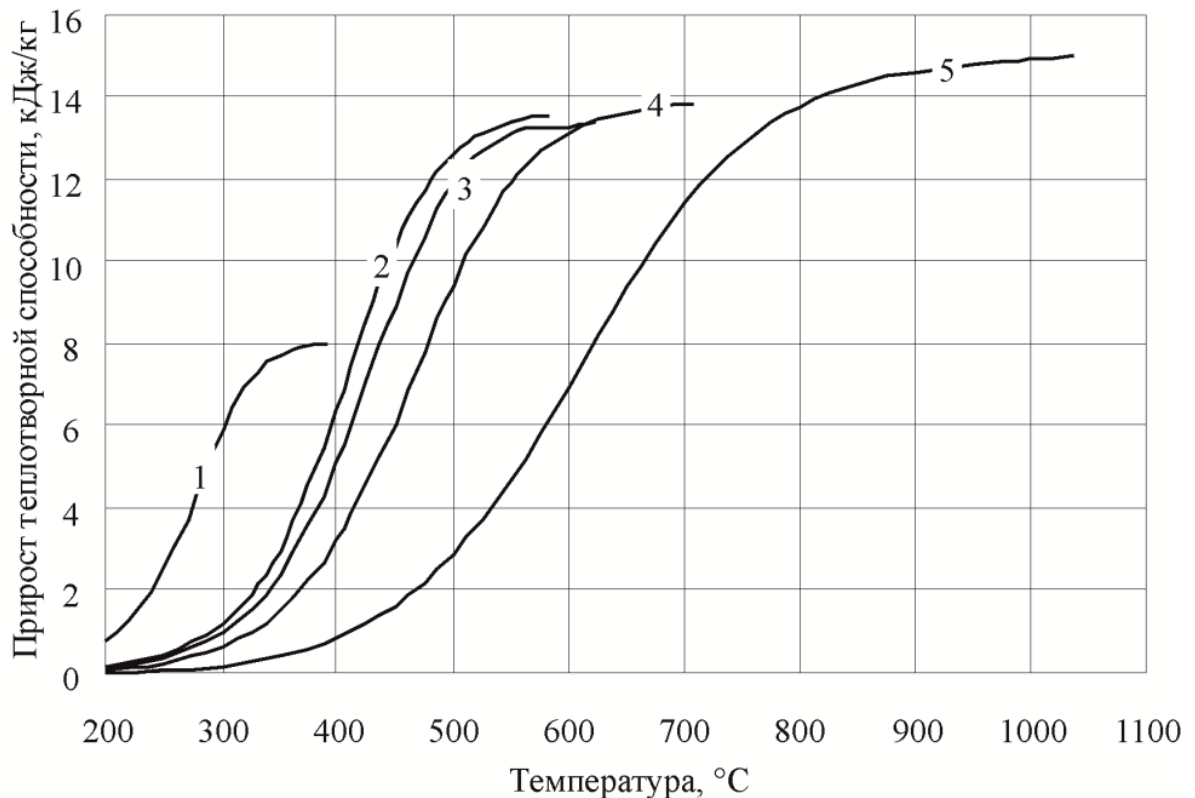


Рисунок 3.9 Залежність приросту теплотворної здатності від температури реакції парової конверсії при термохімічній обробки:

1 – етанол; 2 – бутан; 3 – пропан; 4 – етан; 5 – метан

Склад природного газу, і, відповідно, LNG варіюється в досить широких межах, що може впливати на ефективність термохімічної обробки.

Основними компонентами природного газу є метан, етан, пропан, бутан і азот. Також можуть бути присутніми ізобутан, ізопентан і інші важкі вуглеводні, оксид і діоксид вуглецю, азот і вода.

Для подальшого дослідження використовується підхід [10, 11], що передбачає класифікацію газу за щільністю (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Класифікація LNG і його характеристики

Характеристики	Позначення	Розмірність	Тип LNG		
			Light	Medium	Heavy
Щільність	ρ	кг/м ³	427,7	445,7	464,8
Компоненти:					
метан	Y_M	%	98,0	92,0	87,0
етан	Y_E		1,4	6,0	9,5
пропан	Y_P		0,4	1,0	2,5
бутан	Y_{But}		0,1	0,0	0,5
азот	Y_N		0,1	1,0	0,5

Залежність приросту теплотворної здатності продуктів конверсії природного газу (LNG) від температури реакції $\Delta H_U = f(T_{THR})$ отримана у вигляді

$$\begin{aligned} \sum \Delta H_U = & Y_M \cdot [a_M \cdot T_{THR}^7 + b_M \cdot T_{THR}^6 + c_M \cdot T_{THR}^5 + \\ & + d_M \cdot T_{THR}^4 + e_M \cdot T_{THR}^3 + f_M \cdot T_{THR}^2 + g_M \cdot T_{THR} + h_M] + \\ & + Y_E \cdot [a_E \cdot T_{THR}^6 + b_E \cdot T_{THR}^5 + c_E \cdot T_{THR}^4 + d_E \cdot T_{THR}^3 + \\ & + e_E \cdot T_{THR}^2 + f_E \cdot T_{THR} + g_E] + Y_P \cdot [a_P \cdot T_{THR}^6 + \\ & + b_P \cdot T_{THR}^5 + c_P \cdot T_{THR}^4 + d_P \cdot T_{THR}^3 + e_P \cdot T_{THR}^2 + f_P \cdot T_{THR} + g_P] + \\ & + Y_{But} \cdot [a_{But} \cdot T_{THR}^5 + b_{But} \cdot T_{THR}^4 + c_{But} \cdot T_{THR}^3 + \\ & + d_{But} \cdot T_{THR}^2 + e_{But} \cdot T_{THR} + f_{But}], \end{aligned}$$

де a, b, c, d, e, f, g, h – коефіцієнти, отримані шляхом обробки результатів розрахунків методами регресійного аналізу.

Даний укрупнений підхід досить широко використовується для оцінки ефективності парової конверсії базового палива при термохімічної утилізації, але не дозволяє в повній мірі врахувати вплив на ефективність конверсії як параметрів вторинних енергоресурсів, так і обмежень, що накладаються на процес конверсії параметрами системи подачі газоподібного палива в двигун. Крім того, при такому підході не враховується вплив процесів термохімічної обробки шляхом парової конверсії на вміст вуглецю в отриманому синтез-газі.

Так як основним компонентом газоподібного палива на базі природного / попутного газу є метан, спочатку передбачалося уточнення впливу тиску процесу на склад синтез газу при парової некаталітичної конверсії метану в умовах

					КР. ОП135. 6211м. 09. 03. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

варіювання відношенням водяна пара / газ при фіксованому значенні температури в реакторі.

Склад синтез-газу, отриманого в результаті конверсії, визначався за сухими компонентами. Для цього при моделюванні розглядалися процеси охолодження отриманого в результаті конверсії синтез-газу в конденсаторі при атмосферному тиску, з подальшим видаленням конденсату (рис 3.10).

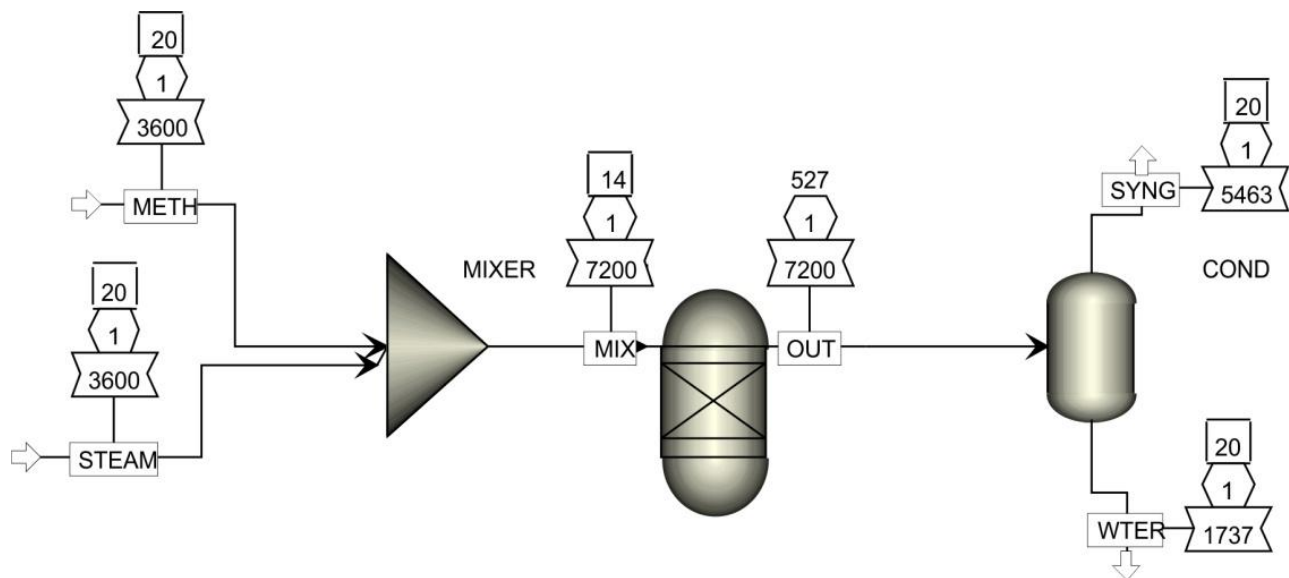


Рисунок 3.10 Спрощена схема математичної моделі процесу парової некаталітичної конверсії метану з подальшою дегідрацією отриманого синтез газу

На рис. 3.11-16 представлені деякі результати математичного моделювання. Дослідження показує, що зростання тиску приводить до зміщення області ефективності конверсії метану в зону більш високих температур. Це збігається з результатами досліджень інших авторів [24]. Виявлено, що ефективна конверсія при підвищеному тиску вимагає збільшення частки пари, що подається в реактор.

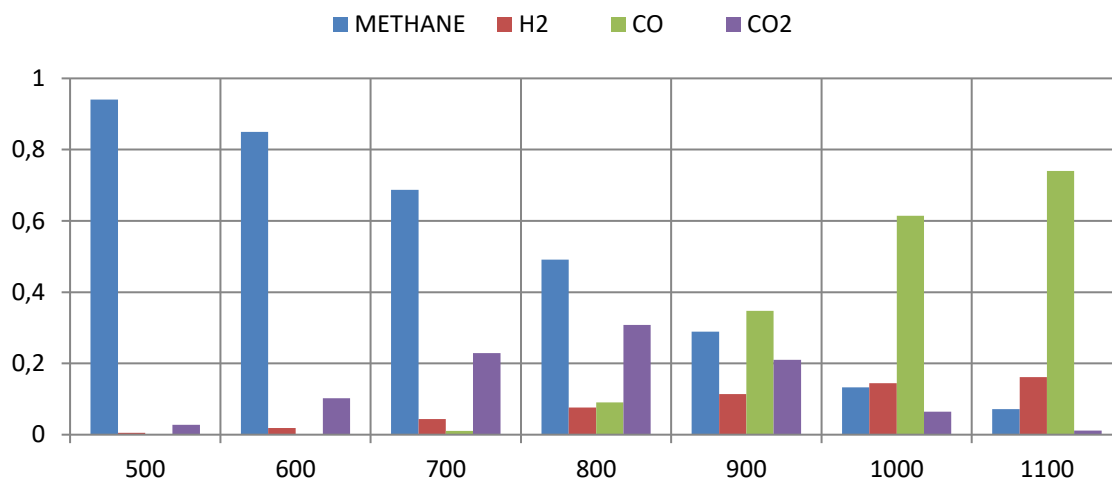


Рисунок 3.11 Тиск 0,1 МПа, Відношення $H_2O/CH_4 = 1$ Масові частки

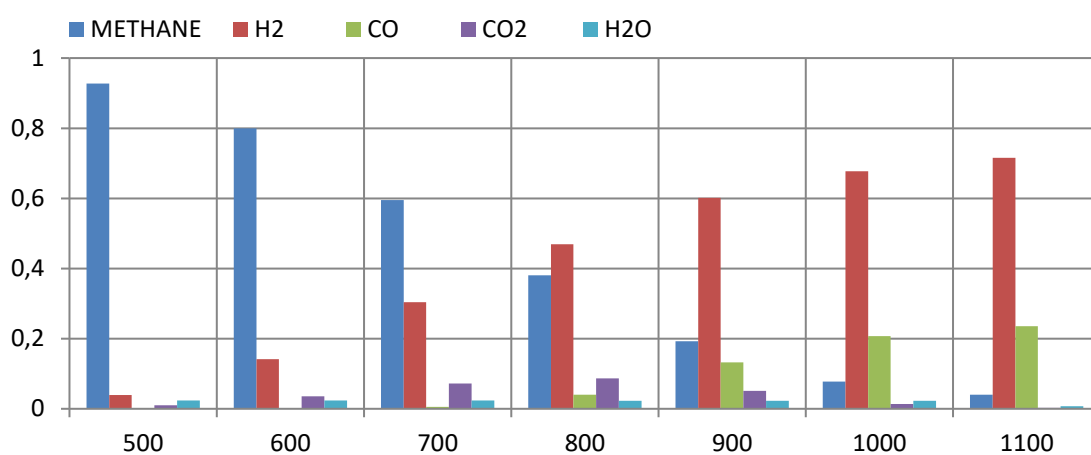


Рисунок 3.12 Тиск 0,1 МПа, Відношення $H_2O/CH_4 = 1$ Молярні частки

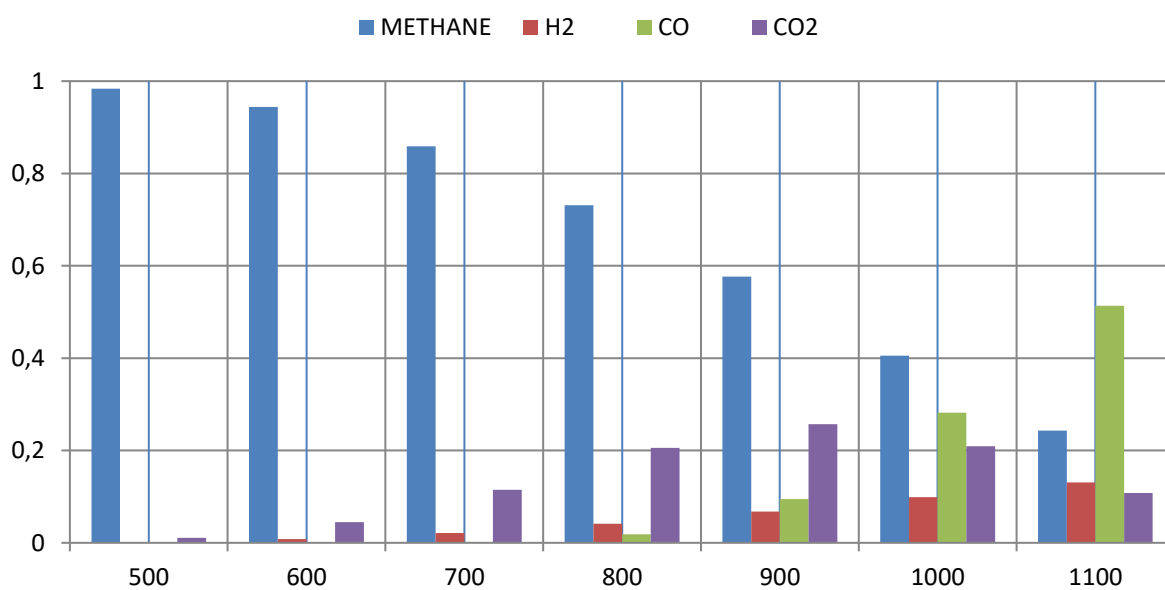


Рисунок 3.13 Тиск 1,0 МПа, Відношення $H_2O/CH_4 = 1$ Масові частки

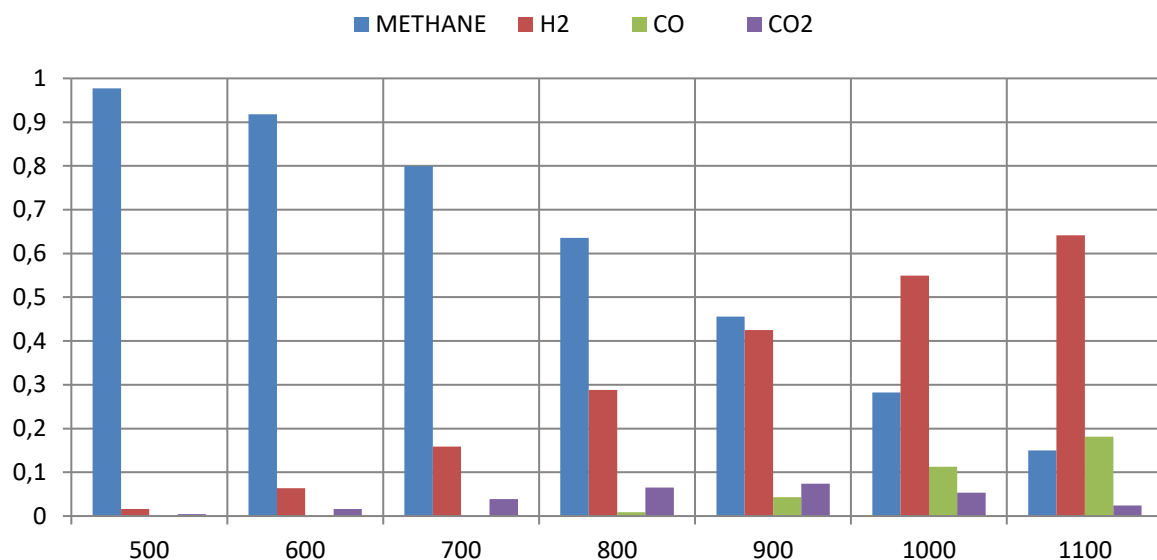


Рисунок 3.14 Тиск 1,0 МПа, Відношення $H_2O/CH_4 = 1$ Молярні частки

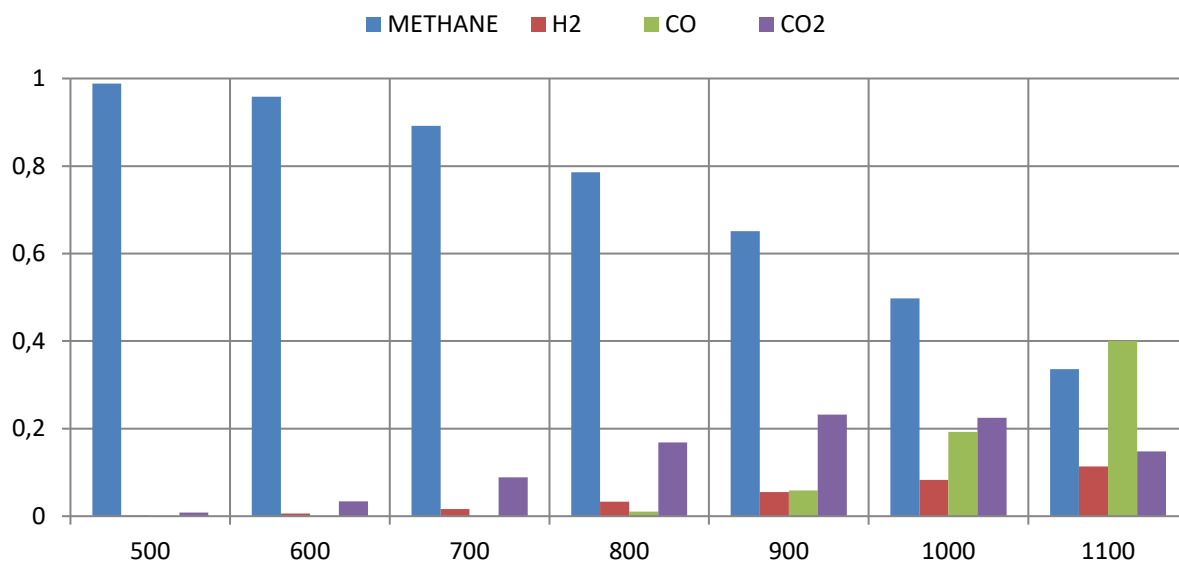


Рисунок 3.15 Тиск 2,0 МПа, Відношення $H_2O/CH_4 = 1$ Масові частки

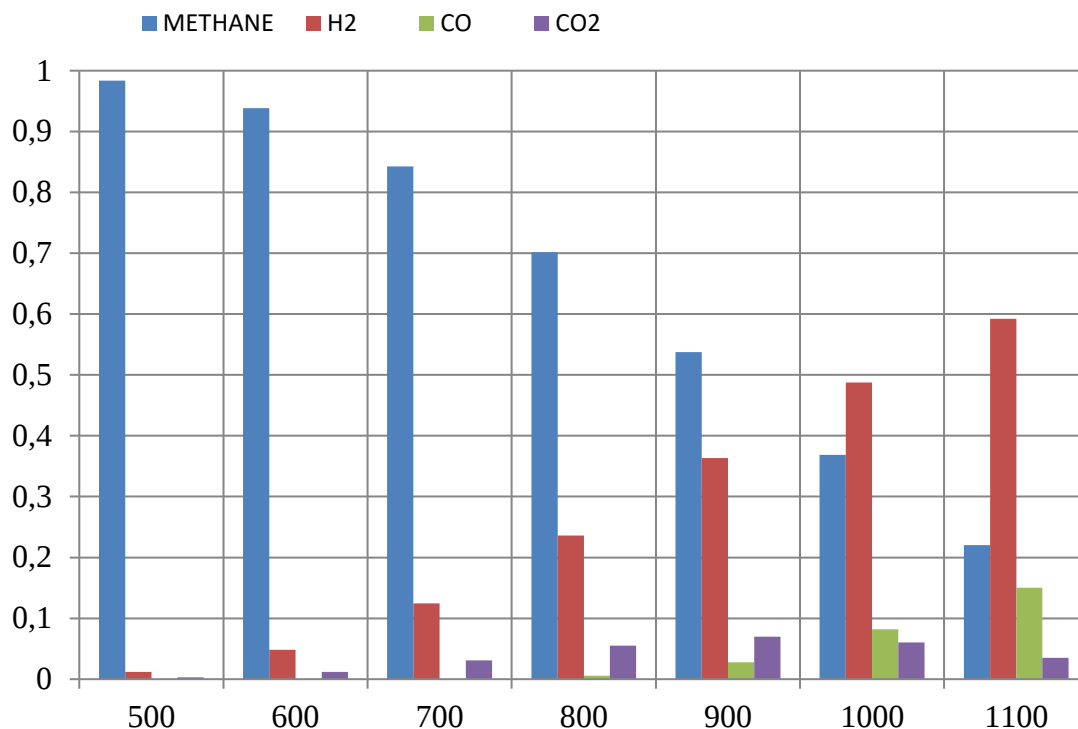


Рисунок 3.16 Тиск 2,0 МПа, Відношення $H_2O/CH_4 = 1$ Молярні частки

Аналіз потенціалів скидного тепла газотурбінного двигуна (ГТД) і чотиритактних середньообертових дизельних двигунів (СОД) дозволяє зробити висновок, що для наявного температурного діапазону відхідних газів сучасних серійних ГТД (до 450 °C) можлива помірна конверсія природного газу і ефективна конверсія метанолу, етанолу, бутану, пропану і етану. Тепловий потенціал вторинних енергоресурсів ДВС дає можливість помірної конверсії етанолу та метанолу, але не дозволяє ефективно здійснити конверсію інших вуглеводнів.

Це дозволило зробити висновок про перспективність варіанта комбінованої дизель-газотурбінної установки (ДДТУ) з термохімічною регенерацією тепла відхідних газів ГТД шляхом парової конверсії вуглеводневого палива.

Стосовно до розглянутого газовозу LNG запропонована двовальна комбінована дизель-газотурбінна установка з ТХР (рис. 3.17). До складу установки входить газотурбогенератор на базі ГТД *Siemens SGT 400*, потужністю 12,9 МВт і два двопаливних чотиритактних середньообертових дизельних двигуна *Wärtsilä 16V50DF* потужністю 15,6 МВт кожен.

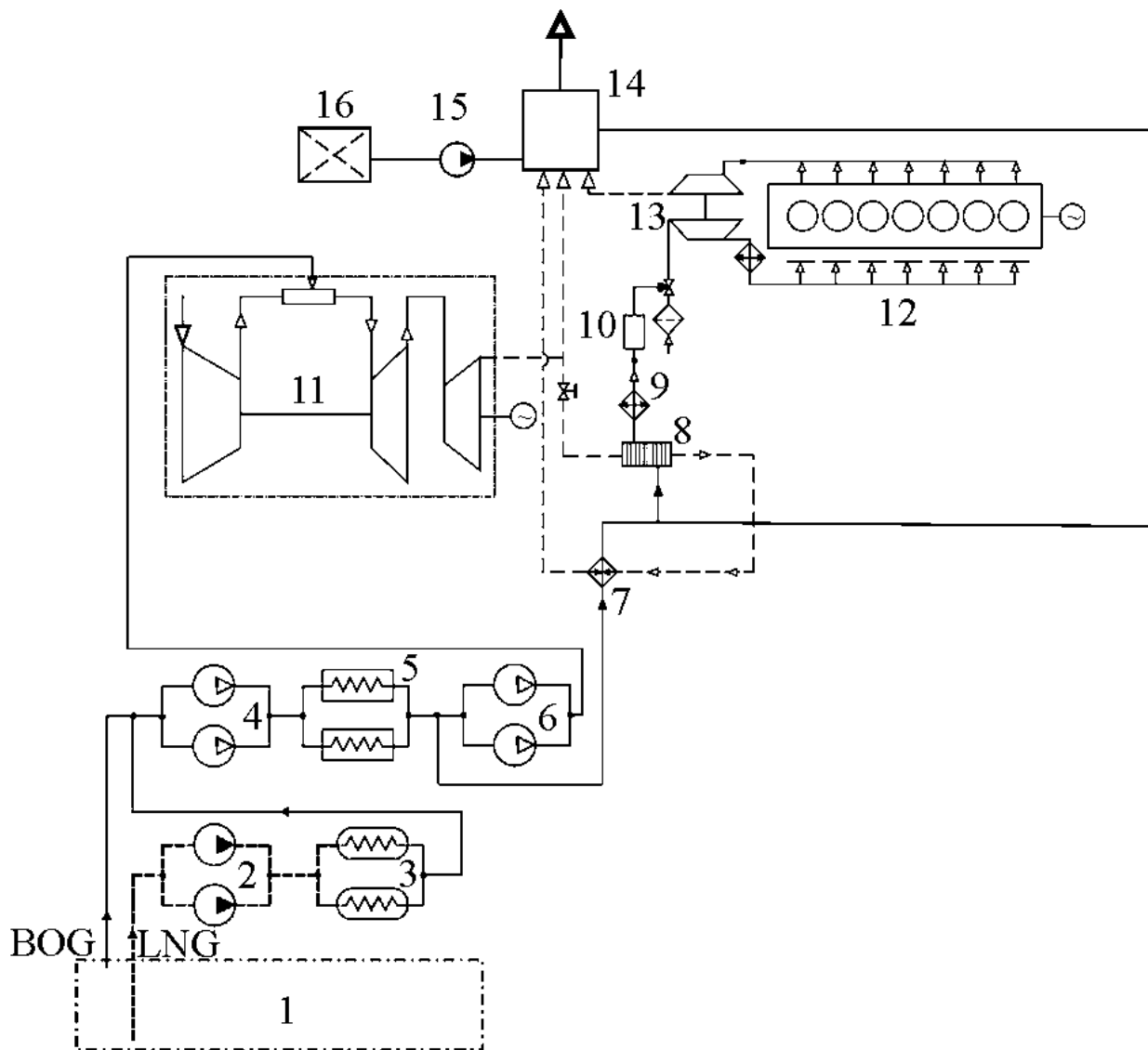


Рисунок 3.17 Схема ДДТУ з ТХР газозова LNG:

1 – танк LNG; 2 – насоси LNG; компресор ТНА; 3 – випарники LNG; турбіна ТНА; 4 – компресори низького тиску; ДВС; 5 – підігрівачі; охолоджувач наддувочного повітря; 6 – компресори високого тиску; 7 – утилізаційний підігрівач; 8 – термохімічний реактор; 9 – охолоджувач синтез газу; 10 – нейтралізатор; 11 – ВМД; 12 – ДВС; 13 – турбонаддувочний агрегат ДВС; 14 – КК; 15 – насос; 16 – водяний танк

Моделювання схеми ВЗ дозволило визначити, що при температурі відхідних газів, відповідних номінальному режиму роботи SGT 400 ($\sim 555^{\circ}\text{C}$), технічно досяжна в суднових умовах ступінь конверсії BOG становить 0,25. Проаналізовано два варіанти:

ВЗ-1 – ВМД працює на природному газі, ДВС на конвертованому синтез-газі;

ВЗ-2 – спільна робота ВМД і ДВС на конвертованому синтез-газі.

В якості критерію оцінки ефективності використання енергії палива прийнятий ККД установки

$$\eta = \frac{N_{combi}}{m_{\Sigma f} \cdot LCV}$$

де: $m_{\Sigma f}$ – масова витрата палива, N_{combi} – вихідна потужність, LCV – нижча теплотворна здатність палива

$$N_{combi} = nN_{GT} + mN_{ICE} ,$$

$$m_{\Sigma f} = m_{\Sigma GT} + m_{\Sigma ICE} .$$

Результати математичного моделювання пропульсивних установок різного складу представлені в табл. 3.3. Проведене зіставлення значень конструктивного індексу енергетичної ефективності судна EEDI для модельованих схем і базового варіанту. За базовий варіант прийнята установка з МОД, яка працює на паливі НФО і системою повторного зрідження випарувуваного вантажу.

Таблиця 3.3 Зіставлення параметрів пропульсивних установок

Параметр	Варіант 3	
	В1	В2
ККД, %	46	47
SFC , г/(кВт год)	158	153
Добова витрата газу т/доб	167,5	162,3
Зміна <i>Attained EEDI</i> , %	–35,0	–38,4

Результати представлені на рис. 3.18 Там же представлені вимоги ІМО по *Required EEDI*, що вступають в силу в різні часові фази.

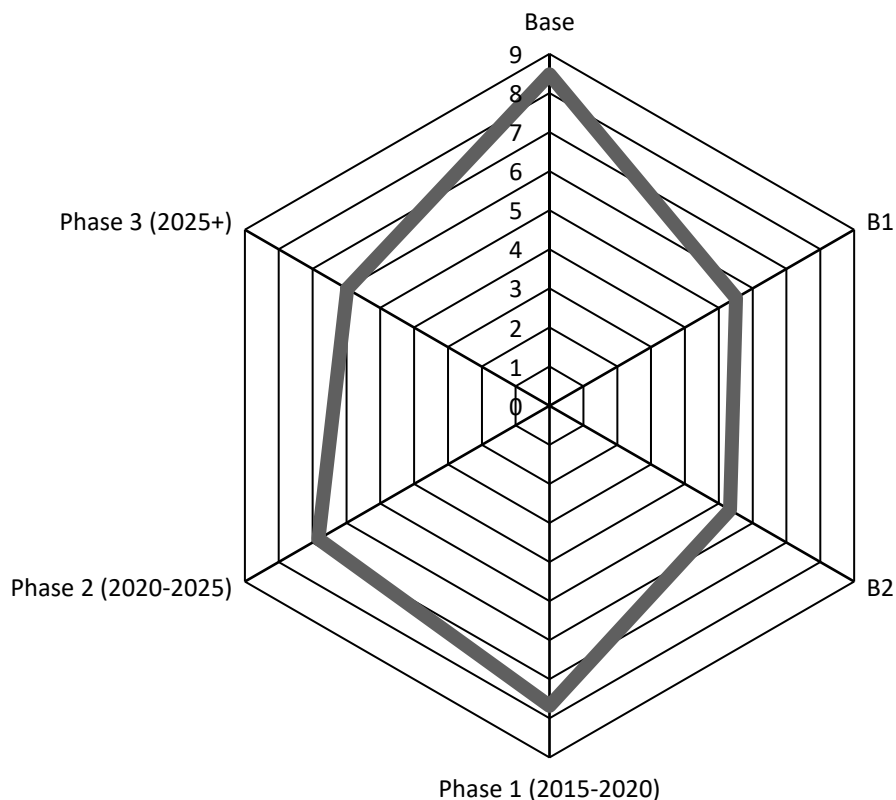


Рисунок 3.18 Attained EEDI для модельованих пропульсивних установок газовозів і Required EEDI, що діють і вступають в силу з 2020 року

3.4 Перспективні напрямки та рекомендації щодо подальших досліджень

Застосування в енергетичній установці газовоза *LNG* термохімічних технологій утилізації вторинних енергоресурсів теплових двигунів, дозволяє знизити досяжний конструктивний індекс енергетичної ефективності судна на 35-40% і забезпечити перспективні вимоги ІМО з енергоефективності.

Помірна ефективність застосування ДДТУ з ТХР в пропульсивної установці газовоза *LNG* пов'язана з низьким ступенем конверсії метану.

Становлять інтерес подальші дослідження процесів термохімічної обробки палива з використанням вторинних енергоресурсів дизельних двигунів та перспективних газотурбінних двигунів з температурою газів перед турбіною більш ніж 1500°C.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 04. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комплектація судна технічними засобами для забезпечення вимог конвенцій СОЛАС-74 та МАРПОЛ-73/78	Лім.	Арк.	Аркушів
Студент		Пастушенко Д.О.						
Керівник		Чередніченко О.К.						
Консульт.								
Зав. каф.		Личко Б.М.				НУК ім. адм. Макарова		

РОЗДІЛ 4 Комплектація судна технічними засобами для забезпечення вимог конвенцій СОЛАС-74 та МАРПОЛ-73/78

4.1 СОЛАС-74 та МАРПОЛ-73/78, основні положення

Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі – СОЛАС-74, є, мабуть, найважливішою з усіх міжнародних угод з безпеки торгових суден. Кожне судно, що здійснює міжнародний рейс і яке підпадає під дію цього нормативного документа (Правила 3 і 4 Розділу I), повинно виконувати її вимоги (якщо вимоги не можуть бути виконані з об'єктивних причин, то на судно повинно бути оформлене вилучення за згодою морської адміністрації прапора судна). В іншому випадку воно може бути затримане, а за деякими позиціями і не допущене в порт.

Головною метою даного нормативного документа є встановлення мінімальних стандартів, що відповідають вимогам з безпеки при будівництві, обладнанні та експлуатації суден.

Чинний текст Конвенції СОЛАС включає Статті, у яких викладено загальні зобов'язання, процедури внесення змін і супроводжується Додатком, який розбитий на 12 Розділів:

Розділ I Загальні положення.

Розділ II-1 Конструкція — поділ на відсіки та остійність, механічне та електричне устаткування.

Розділ II-2 Конструкція — протипожежний захист, виявлення і гасіння пожежі.

Розділ III Рятувальні засоби та обладнання.

Розділ IV Радіозв'язок.

Розділ V Безпека мореплавання.

Розділ VI Перевезення вантажів.

Розділ VII Перевезення небезпечних вантажів.

Розділ VIII Ядерні судна.

Розділ IX Управління безпечною експлуатацією.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 04. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ Х Заходи безпеки на високошвидкісних суднах.

Розділ XI-1 Спеціальні заходи з підвищення безпеки на морі.

Розділ XI-2 Спеціальні заходи з підсилення охорони на морі.

Розділ XII Додаткові заходи безпеки для навалочних суден.

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

У конвенції МАРПОЛ-73/78 передбачені заходи для скорочення і запобігання забруднення моря як нафтою і нафтопродуктами, так і іншими шкідливими речовинами, що перевозяться на судні або утворюються в процесі експлуатації.

Конвенція містить два протоколи.

Протокол 1 – положення, що стосується повідомлень про інциденти, зв'язаних зі скиданням шкідливих речовин.

Протокол 2 – арбітраж.

Основні правила конвенції МАРПОЛ-73/78 утримуються в п'ятьох додатках.

Додаток 1 – правила запобігання забруднення нафтою.

Додаток 2 – правила запобігання забруднення шкідливими рідкими речовинами, перевезеними наливом.

Додаток 3 – правила запобігання забруднення шкідливими речовинами, перевезеними морем в упакованні, вантажних контейнерах, об'ємних танках.

Додаток 4 – правила запобігання забруднення стічними водами суден.

Додаток 5 – правила запобігання забруднення сміттям із суден.

Додаток 6 – правила запобігання забруднення повітряного середовища з суден.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 04. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Комплектація судна технічними засобами для забезпечення вимог конвенцій СОЛАС-74 та МАРПОЛ-73/78

Комплектація судна технічними засобами для забезпечення вимог конвенцій СОЛАС-74

Індивідуальні рятувальні засоби – це засоби, розраховані на використання однією людиною. На даному судні встановлені наступні індивідуальні рятувальні засоби:

- рятувальні круги;
- рятувальні жилети;
- гідрокостюми та теплозахисні засоби.

Рятувальний круг – це плавучий круг еліптичної форми в перетині з прикріпленим до нього в чотирьох точках рятувальним леєром. Повинні бути розподілені таким чином, щоб бути легкодоступними на обох бортах судна. Повинні зберігатися таким чином, щоб їх можна було швидко скинути, і не повинні кріпитися наглухо. Рятувальний круг повинен мати: зовнішній діаметр не більше 800 мм і внутрішній не менше 400 мм; щонайменше один рятувальний круг на кожному борту судна повинен бути забезпечений плавучим рятувальним лінем, довжиною, що не менше ніж у два рази перевищує висоту місця його установки над ватерлінією при найменшій експлуатаційній осадці судна, або 30 м, залежно від того, що більше. Не менше половини загальної кількості рятувальних кругів повинні бути забезпечені самозапалювальними вогнями, не менше двох з них повинні бути також забезпечені автоматично діючими димовими шашками і мати можливість швидко скидатися з ходового містка; рятувальні круги з вогнями, а також рятувальні круги з вогнями і димовими шашками повинні бути рівномірно розподілені по обох бортах судна і не повинні бути рятувальними кругами, забезпеченими лінями. На кожному рятувальному крузі повинні бути нанесені друкованими літерами латинського алфавіту назва судна і порт приписки.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 04. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.1 Рятувальний круг

Рятувальний жилет – засіб для підтримання людини на воді. По одному жилету на кожного члена екіпажу. Конструкція рятувального жилета повинна забезпечувати: спливання людини, що знаходиться в несвідомому стані, і його переверт обличчям вгору не більше ніж за 5 секунд; підтримання людини в такому положенні, щоб тіло було відхилено назад не менш ніж на 20° , а рот знаходився на висоті не менше ніж 12 см над рівнем води; при стрибку у воду з висоти 4,5 метра жилет не повинен завдавати ушкоджень, для цього необхідно схрестити руки і утримувати верхній край жилета, який при торканні ним води різко зміщується вгору і наносить травму обличчю людини.

Гідрокостюм – костюм з водонепроникного матеріалу, що забезпечує плавучість людини і служить для запобігання людини від переохолодження в холодній воді. Гідрокостюм повинен задовольняти наступні вимоги: щоб будь-який член екіпажу міг самостійно надіти костюм протягом не більше 2 хвилин разом з одягом і рятувальним жилетом, якщо гідрокостюм вимагає носіння жилета; температура тіла людини не повинна знижуватися більше ніж на 2°C протягом 6 годин при температурі води $0-2^\circ\text{C}$; не підтримувати горіння і не плавитися, якщо

					КР. ОП135. 6211м. 09. 04. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

був охоплений відкритим полум'ям; має володіти міцністю, щоб забезпечити стрибок з висоти 4,5 м; забезпечувати свободу переміщення при спуску рятувальних засобів, при підйомі по вертикальному трапу на висоту до 5-ти метрів, а також людина могла пропливти невелику відстань і забратися в шлюпку або пліт.



Рисунок 4.2 Індивідуальні рятувальні засоби:

а – рятувальний жилет; б – гідрокостюм

Теплозахисний засіб – виготовлено з водонепроникного матеріалу з низькою теплопровідністю у вигляді пакетів чи мішків і призначений для відновлення температури тіла людини, що побувала в холодній воді, або для зігрівання при знаходженні в рятувальній шлюпці або надувному плоту.

Колективні рятувальні засоби – це засоби, які можуть використовуватися групою людей.

Пункти вимог конвенцій СОЛАС-74 з колективних рятувальних засобів:

1. Рятувальні шлюпки і плоти

1.1 Вантажні судна повинні мати:

на кожному борту судна одну або більше повністю закритих рятувальних шлюпок, що відповідають вимогам розділу 4.6 Кодексу, загальною місткістю, достатньою для розміщення загального числа людей що знаходяться на борту;

крім того, один надувний або жорсткий рятувальний пліт, або більша їх кількість, що відповідають вимогам розділів 4.2 або 4.3 Кодексу, розміщені так,

					КР. ОП135. 6211м. 09. 04. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

щоб забезпечувалося їх вільне переміщення з борту на борт на рівні однієї відкритої палуби, які мають достатню загальну місткість для розміщення загального числа людей, що знаходяться на борту. Якщо ж рятувальний пліт або плоти не встановлені в такому місці, яке забезпечує їх вільне переміщення з борту на борт на рівні однієї відкритої палуби, загальна місткість наявних на кожному борту рятувальних плотів повинна бути достатньою для розміщення загального числа людей, що знаходяться на борту.

1.2 Замість дотримання вимог пункту 1.1, вантажні судна можуть мати:

одну або більше рятувальних шлюпок, що відповідають вимогам розділу 4.7 Кодексу, які можуть бути спущені методом вільного падіння з корми судна, загальною місткістю, достатньою для розміщення загального числа людей, що знаходяться на борту;

крім того, на кожному борту судна один або більше надувних або жорстких рятувальних плотів, що відповідають вимогам розділів 4.2 або 4.3 Кодексу, загальною місткістю, достатньою для розміщення загального числа людей, що знаходяться на борту. Щонайменше, на одному борту судна рятувальні плоти повинні обслуговуватися спусковими пристроями.

1.4 Вантажні судна, на яких відстань по горизонталі від країв судна до найближчого кінця самої прилеглої рятувальної шлюпки або плоту більше 100 м, повинні на додаток до рятувальних плотів, необхідним пунктами 1.1 і 1.2, мати рятувальний пліт, встановлений якомога далі в ніс або в корму, або один рятувальний пліт, встановлений якомога далі в ніс, а інший – як можна далі в корму, наскільки це практично можливо і може бути здійснено. Такий рятувальний пліт або плоти можуть бути надійно закріплені так, щоб їх кріплення можна було віддати вручну, і немає необхідності, щоб вони були такого типу, який може спускатися за допомогою схваленого спускового пристрою.

1.5 Всі рятувальні шлюпки і плоти, які потрібні для забезпечення залишення судна усіма людьми що знаходяться на борту, за винятком рятувальних шлюпок і плотів, згаданих у правилі 16.1.1, повинні мати можливість спуску на воду з усіма

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 04. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

людьми та їх повним комплектом постачання протягом періоду часу, що не перевищує 10 хв з моменту подачі сигналу про залишення судна.

1.6 Танкери-хімовози і газовози, що перевозять вантажі, які виділяють токсичні пари або гази, повинні замість повністю закритих рятувальних шлюпок, що відповідають вимогам розділу 4.6 Кодексу, мати рятувальні шлюпки з автономною системою подачі повітря, що відповідають вимогам розділу 4.8 Кодексу.

1.7 Нафтові танкери, танкери-хімовози і газовози, що перевозять вантажі з температурою спалаху не вище 60 °С (при випробуванні в закритому тиглі), повинні замість повністю закритих рятувальних шлюпок, що відповідають вимогам розділу 4.6 Кодексу, мати вогнезахищені рятувальні шлюпки, що відповідають вимогам розділу 4.9 кодексу.

2. Чергові шлюпки

Вантажні судна повинні мати щонайменше одну чергову шлюпку, що відповідає вимогам розділу 5.1 Кодексу. Рятувальна шлюпка може бути прийнята в якості чергової за умови, що вона відповідає також вимогам, що пред'являються до чергової шлюпки.

3. Вантажні судна повинні мати:

один або більше рятувальних плотів, які можуть бути спущені з будь-якого борту судна, що мають загальну місткість, достатню для розміщення загального числа людей, що знаходяться на борту. Рятувальний пліт або плоти повинні бути обладнані найтовими або рівноцінними їм засобами кріплення, що забезпечують автоматичне роз'єднання рятувального плоту з потопаячим судном;

якщо відстань по горизонталі від країв судна до найближчого кінця самої прилеглої рятувальної шлюпки або рятувального плоту більше 100 м, то на додаток до рятувальних плотів, необхідним пунктом 3.1, рятувальний пліт, встановлений якомога далі в ніс або в корму, або один рятувальний пліт, встановлений якомога далі в ніс, а інший – як можна далі в корму, наскільки це практично можливо і може бути здійснено. Такий рятувальний пліт або плоти можуть бути надійно закріплені так, щоб їх кріплення можна було віддати вручну.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 04. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

На судні використано дві рятувальні негорючі шлюпки повністю закритого типу вільного падіння *Hyundai Lifeboats* розраховані на 32 чоловіка кожна.



Рисунок 4.2 Рятувальна шлюпка вільного падіння Hyundai Lifeboats HDL71CTA

Корпус шлюпки має більш міцну конструкцію і добре обтічні плавні обводи, що запобігають сильному удару при вході шлюпки в воду. Так як при ударі об воду виникають значні перевантаження, в шлюпці встановлені спеціальні крісла, що мають амортизуючі прокладки.

Перед сходом шлюпки з рампи-елінгу люди що знаходяться в шлюпці повинні надійно закріпити себе ременями безпеки і спеціальним фіксатором голови. Велике значення для безпечного сприйняття динамічних навантажень має правильне положення тіла в кріслі, що має відпрацьовуватися на тренуваннях – під час навчальних шлюпочних тривог.

Шлюпки вільного падіння гарантують безпеку людей при відстані від посадкової платформи до поверхні води 20 м. Ще більш надійної вважається комбінована модель шлюпки. Залежно від умов командир шлюпки може дистанційним пультом задати один з двох варіантів:

1. Вільне падіння (рис. 4.4, а, б) – подається попереджувальний сигнал для людей, що знаходяться в шлюпці, розмикається вузол кріплення каната, шлюпка

					КР. ОП135. 6211м. 09. 04. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

зісковзує з похилої елінгу та при падінні на короткий час занурюється у воду («пірнає» під кутом до поверхні води); при цьому шлюпка відходить від судна і спливає в стороні від нього;

2. За допомогою шлюпочного пристрою, який автоматично виконує всі операції за командою з пульта командира шлюпки (рис. 4.4, в, г). При виході з ладу системи автоматики вільне падіння або спуск шлюпки можна здійснити ручним пультом.

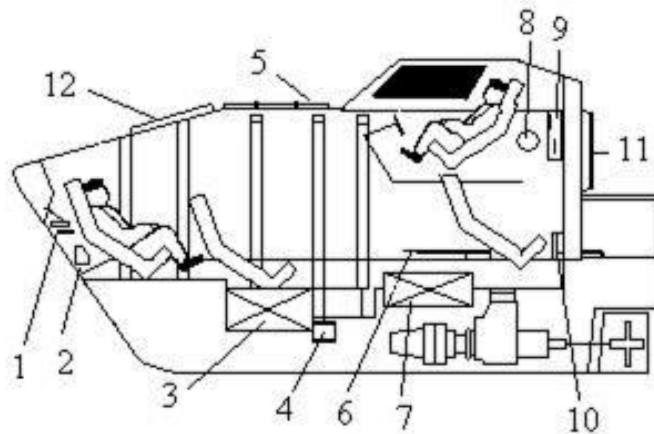


Рисунок 4.3 Шлюпка вільного падіння.

1 – фаліні; 2 – плавучий якор; 3 – питна вода, провізія, постачання; 4 – акумуляторна батарея; 5 – весло; 6 – аварійний румпель; 7 – паливна цистерна; 8 – вогнегасник; 9 – радіоустановка УКХ; 10 – осушувальна установка; 11 – люк для посадки; 12 – носовий форлюк.

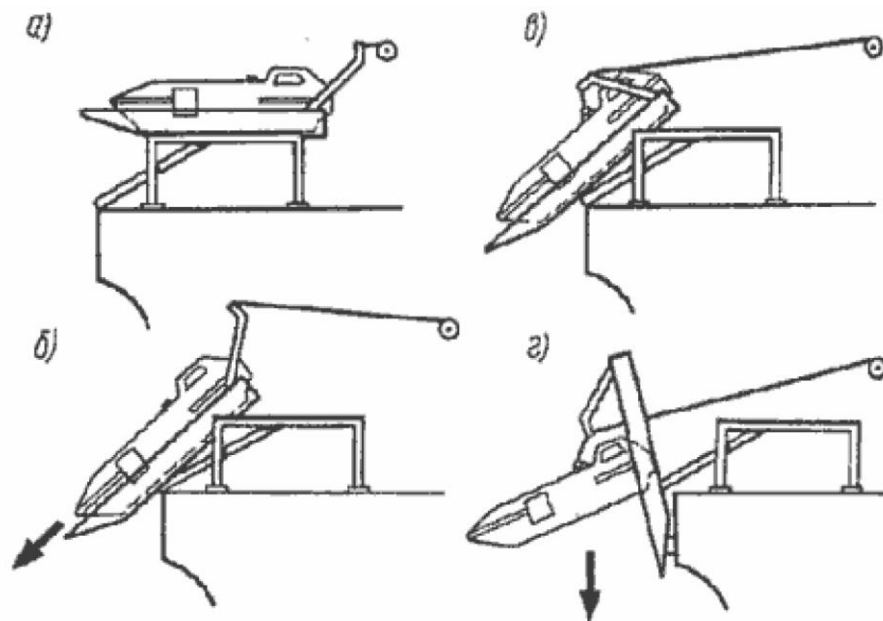


Рисунок 4.4 Схема падіння шлюпки

Комплектація судна технічними засобами для забезпечення вимог конвенцій МАРПОЛ-73/78

Запобігання забруднення атмосфери з суден. Згідно новим вимогам вводиться триступінчата система стандартів викидів оксидів азоту: перший ступінь – для суден, побудованих до 01.01.2011 р. (діючі в даний час нормативи для суден побудови 2000 р. і пізніше). Друга – для суден побудованих після 01.01.2011 р. (зниження нормативів по оксидах азоту на 20%). Третя – для суден побудованих після 01.01.2016 р. (зниження викидів оксидів азоту на 80%).

Вміст сірки в паливі, що використовується на судах, не повинний перевищувати 4,5% по масі до 01.01.2012 р., 3,5% – після 01.01.2012 р. і 0,5% – після 01.01.2020 р. В районах контролю викидів оксидів сірки РКВОС, що призначаються Міжнародною морською організацією (*ІМО*), дозволяється використання палив з наступним вмістом сірки: 1,0% з 01.07.2010 р. до 01.01.2015 р., а після 01.01.2015 р. вміст сірки в паливах не повинен перевищувати 0,1%. При цьому, на відміну від старих правил, на суднах не дозволяється, як раніше, використовувати установки з очищення вихлопних газів до рівня 6 г *SOX*/(кВт·год). В даний час статус РКВОС призначений *ІМО* Балтійському і Північному морям.

Газоочищення – це уловлювання з відводимих з печей газів пилу, оксидів селену, телуру, свинцю та інших елементів. Очищення газів від домішок за допомогою скрубєрів відноситься до мокрих способів очищення. Цей спосіб заснований на промиванні газу рідиною (зазвичай водою) при максимально розвиненою поверхні контакту рідини з частками аерозолію та можливо більш інтенсивному перемішуванні газу що очищується з рідиною. Даний метод дозволяє видалити з газу частки пилу, диму, туману та аерозолів (зазвичай небажані або шкідливі) практично будь-яких розмірів.

Скрубєр – пристрій, що використовується для очищення твердих або газоподібних середовищ від домішок в різних хіміко-технологічних процесах.

На судні встановлено установку очистки нафтовмісних вод *RWO SKIT/S-DEB* (рис. 4.5). Ляльні води подаються з трюму ексцентриковим гвинтовим насосом

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 04. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

через пристрій *SKIT S-DEB*, що дозволяє уникнути зайвого утворення емульсій при змішуванні води та нафтопродуктів. На першому ступені за рахунок різниці щільності нафти та води сепарація відбувається безпосередньо при стіканні суміші через фільтри з відкритими порами, дрібні частки нафти осідають олеофільні поверхні. Ця технологія забезпечує чудову якість роботи сепараторів. Режим роботи контролюється сигналізатором *OMD 24*. Другий ступінь, в якій елементи адсорбера видаляють всі види вуглеводнів з води, активується у випадку перевищення заданого ступеня очищення після першого ступеня.



Рисунок 4.5 Установка очистки нафтовмісних вод RWO SKIT/S-DEB

					КР. ОП135. 6211м. 09. 04. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР. ОП135. 6211м. 09. 05. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Заходи щодо охорони праці та піклування про людей на судні відповідно до МКУБ	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Пастушенко Д.О.						
Керівник		Чередніченко О.К.						
Консульт.								
Зав. каф.		Личко Б.М.				НУК ім. адм. Макарова		

РОЗДІЛ 5 Заходи щодо охорони праці та піклування про людей на судні відповідно до МКУБ

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у МВ судна

У процесі трудової діяльності кожна людина піддається впливу комплексу виробничих факторів, які мають шкідливий вплив на його працездатність і стан здоров'я. Цей комплекс виробничих факторів називається умовами праці. Реальні виробничі умови характеризуються наявністю деяких небезпечних і шкідливих факторів. Небезпечним фактором називається такий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до травми або іншого раптового погіршення здоров'я. Шкідливим фактором називається такий фактор, вплив якого на працюючого приводить до захворювання або зниження працездатності. Між небезпечними і шкідливими факторами найчастіше не можна провести чіткої межі. Один і той же фактор може призвести до нещасного випадку.

Машинне відділення судна в зв'язку з наявністю в ньому різного устаткування та механізмів являє собою об'єкт підвищеної небезпеки зі значною кількістю небезпечних і шкідливих факторів.

При роботі двигуна основними шкідливими факторами, що впливають на обслуговуючий персонал, є підвищені рівні шуму і вібрації, гази, що відводяться від двигуна. Тому повинні прийматися міри, що багаторазово знижують вплив на обслуговуючий персонал [22].

Мікроклімат

Мікроклімат у машинному відділенні характеризується температурою, вологістю, змістом шкідливих домішок і швидкістю повітря, а також випромінюванням навколишніх поверхонь.

Вимоги санітарних норм з вологості і температури повітря в машинному відділенні в залежності від району плавання передбачені в табл. 5.1.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 05. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 Санітарні норми мікроклімату

Район плавання	Літній період		Зимовий період	
	Температура, °С	Вологість, %	Температура, °С	Вологість, %
Північний	20...22	70...40	22	60...40
Помірний	20...23	60...40	22	60...40
Південний	22...25	60...40	22	60...40

Освітленість

Світло являє собою електромагнітні хвилі, випромінювані джерелом світла або предметом, від якого відбиває світло. Потужність світлового випромінювання в межах видимої частини спектра називається світловим потоком.

Джерело світла випромінює світловий потік у різних напрямках нерівномірно, тобто створює неоднакову просторову щільність світлового потоку. Світловий потік, відбиваючи від поверхні предметів, на які він падає, висвітлює них. Як джерела світла на судах використовують лампи накаливання і люмінесцентні лампи. Основні вимоги, пропоновані до штучного висвітлення наступні: достатня і рівномірна освітленість робочих місць; відсутність різних тіней на робочих поверхнях; неприпустимість зміни напруги в мережі і пульсацій світлового потоку люмінесцентних ламп.

Норма освітленості на судах регламентується Нормами штучного висвітлення на судах морського флоту 2506-81.

Шум і вібрація

Насиченість МВ судна різними пристроями і механізмами створює умови для виникнення інтенсивного шуму. Його джерелом може бути будь-яке коливальне тіло, виведене з рівноваги зовнішньою силою. Шум впливає на людину, і слуховий аналізатор, центральну нервову систему, серцево-судинну і травну систему, а, також викликає зміну гормональної регуляції організму.

Припустимі рівні широкополосного шуму на робочих місцях регламентується ГОСТ 12.1.003-83. Основні нормовані параметри широкополосного шуму приведені в табл. 5.2.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 05. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 Нормовані параметри широкополосного шуму

Робоче місце	Рівні звукового тиску (дБ) в октавних смугах середньогометричних частот, Гц								Рівень шуму, дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
МКО суден з постійною вахтою	9	92	86	83	80	78	76	74	85



Рисунок 5.1 Навушники протишумні 3М Peltor X5A

Коливальні процеси, що проходять у корпусних конструкціях судна, і механізмах, називають вібрацією. Головним джерелом вібрації на судні є гребні гвинти, двигуни, валопровод та допоміжні механізми. Вібрацію також може викликати хвилювання моря.

Під впливом вібрацій протягом тривалого часу, можуть виникати різні порушення у функціональному стані організму, такі як: виникнення професійної патології, вібраційної хвороби з появою підвищеної стомлюваності і загальних розладів.

Основним нормативним документом, що встановлює гранично припустимі величини вібрації в місцях перебування екіпажу на судні, є СН 1103-73.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 05. ПЗ				Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Електробезпечність

Відповідно до проектної документації, на судні застосований перемінний струм напругою 380 В, 220 В, частотою 50 Гц, що небезпечно для життя людини. З метою забезпечення безпеки роботи екіпажу передбачені наступні вимоги ПУЕ – 76:

- площа перетину провідника, що заземлює, повинний бути не менш площі перетину кабелю живлення, але не менш 1,5 мм, в електричних системах напругою до 400 В;
- провідник, що заземлює, повинний мати опір не більш 4 Ом в установках з напругою до 400 В и 0,5 Ом в установках понад 1000 В;
- опір ізоляції установки щодо корпусу при потужності машини до 100 кВт, напругою до 500 В и температурі устаткування близької до розрахункового, не повинно бути нижче 0,7 Ом;
- контроль індивідуальних засобів захисту від напруги, контроль ізоляції – щорічний, контроль опору ізоляції – щомісячний.

Пожежонебезпека.

Можливі причини пожежі на судні:

- неправильне збереження ГЗМ;
- виток палива й олії;
- несправності електроустаткування;
- недотримання правил техніки безпеки.

Міри пожежної профілактики й активного пожежного захисту на судні:

- легкозаймисті матеріали конструкцій покриваються вогнетривкими фарбами;
- надійна ізоляція електропроводки;
- заборона використання відкритого вогню в машинному відділенні;
- періодичні перевірки електропроводки;
- оснащення приміщень системами пожежогасіння;
- установка протипожежної сигналізації, що включає в себе систему пожежі, сигнального оповіщення і попереджувальну сигналізацію.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 05. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Розрахунок системи пінного пожежогасіння МВ

Принцип дії системи пінного пожежогасіння заснований на ізоляції вогнища пожежі від кисню повітря шаром піни, крім того, піна володіє й охолодним ефектом. Покриваючи палаючі матеріали й предмети рідкою плівкою, піна охолоджує їх і витісняє із заповнюваного нею приміщення продукти горіння. На морських судах застосовується хімічна й повітряно-механічна піна.

Хімічна піна утвориться в результаті реакції розчинів різних хімічних препаратів (звичайно лугу з кислотою), що входять до складу піно-генераторних порошків, у присутності спеціальних речовин-стабілізаторів, що надають їй клейкість. Діоксид вуглецю, що виділяється при цьому, сприяє утворенню густої стійкої піни, що розбавляє повітря в зоні горіння, знижуючи тим самим концентрацію в ньому кисню.

Повітряно-механічна піна. Недоліки, які властиві хімічній піні, не має повітряно-механічна піна, що повністю замінила на сучасних судах хімічну. Повітряно-механічна піна виходить шляхом механічного перемішування водяного розчину піноутворювача й повітря. По складу ця піна являє собою суміш повітря (90 %), води (9,6...9,8 %) і піноутворювача (0,4...0,2 %). Вітчизняні рідкі піноутворювачі ПО-1, ПО-1А, ПО-1Д й інші мають високі якості: стійкістю, нейтральністю до металів, швидкістю розчинення у воді. Для утворення піни використовується прісна й морська вода.

Вихідні данні:

– площа МВ 3450 м²;

Для одержання високократної піни використовуються вітчизняні піноутворювачі ПО-1 і ПО-1Д при об'ємній частці у воді 4...6 %.

Загальна кількість емульсії в м³, що необхідна для локалізації пожежі в тому чи іншому приміщенні визначається за виразом:

$$V_e = F \cdot q \cdot t,$$

де F – площа, що покривається піною, м²;

q – інтенсивність подачі емульсії, м³/(м²·год);

t – розрахований час безперервної подачі установки, год.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 05. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

В системі піногасіння в якості вогнегасної речовини може вироблятися піна кратності: низької, біля 10:1; середньої, біля 50:1 та 150:1; високої біля 1000:1.

Для машинних та інших приміщень, обладнання яких працює на рідкому паливі інтенсивність подачі розчину при кратності піноутворювача 1000:1 становить $0,06 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$. Тривалість безперервної роботи повинна бути достатньою для забезпечення п'ятикратного заповнення об'єму приміщення, що захищається.

Розрахунковий час безперервної роботи, в залежності від інтенсивності подачі розчину та кратності піноутворення становить 20 хвилин.

$$V_e = 3450 \cdot 0,06 \cdot 0,33 = 751 \text{ м}^3$$

За розрахункову площу необхідно приймати площу горизонтального перерізу найбільшого приміщення судна.

Кількість води, що необхідна для утворення емульсії:

$$V_B = \frac{V_e}{K_{\text{по}}},$$

де $K_{\text{по}}$ – коефіцієнт, що враховує процентний вміст піноутворювача в емульсії (для піни кратністю 1000:1 $K_{\text{по}} = 1,08$).

$$V_B = \frac{751}{1,08} = 695 \text{ м}^3$$

Годинна подача насоса, що подає воду в систему:

$$Q_B = 60 \frac{V_B}{t} \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3/\text{год}.$$

$$Q_B = 60 \cdot \frac{695}{0,33} \cdot 10^{-3} = 126 \text{ м}^3/\text{год}$$

Кількість піни, що подається за період часу t :

$$V_{\text{п}} = V_e \cdot K_{\text{рп}}, \text{ м}^3,$$

де $K_{\text{рп}}$ – коефіцієнт розширення піни, $K_{\text{рп}} = 1000$.

$$V_{\text{п}} = 751 \cdot 1000 = 751000 \text{ м}^3$$

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 05. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрата піноутворювача:

$$V_{\text{по}} = V_{\text{е}} - V_{\text{в}}, \text{ м}^3.$$

$$V_{\text{по}} = 751 - 695 = 56 \text{ м}^3$$

Для ліквідації пожеж у МВ суден, рекомендовано застосовувати генератори, у яких утвориться 1000-кратна піна на основі вітчизняних піноутворювачів. Найбільше поширення на флоті одержали генератори високократної піни наступних марок: ГВПВ-100, ГВПВ-160, ГВПВ-250, ГВПВ-400 та ін.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 05. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Пастушенко Д.О.			Технічне обслуговування, монтаж і ремонт елемента технічного комплексу судна		
Керівник		Чередніченко О.К.					
Консульт.							
Зав. каф.		Личко Б.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
					НУК ім. адм. Макарова		

РОЗДІЛ 6 Технічне обслуговування, монтаж і ремонт елемента технічного комплексу судна

6.1 Технологічна розробка монтажу відцентрового насоса опріснювальної установки

Завдяки конструкції з співвісними патрубками «inline» CNL 65-65/200 насос може бути встановлений в горизонтальній або вертикальній однотрубній системі, де патрубок що всмоктує та напірні патрубки розташовані в одній площині та мають однакові приєднувальні розміри. Ця конструкція робить систему більш компактною.



Рисунок 6.1 Насос CNL 65-65/200

Технічні та технологічні характеристики насосу

1. Продуктивність до 20 м³/год;
2. Робочий тиск: до 16 бар;
3. Висота загальна 651 мм;

					КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Висота електродвигуна 361 мм;

5. Вага 117 кг.

Монтаж і налагодження електронасосних агрегатів здійснювати відповідно до керівництва з експлуатації та за технічною документацією підприємства – виробника електродвигуна.

Після доставки агрегату на місце установки необхідно звільнити його від упаковки, переконатися в наявності заглушок на всмоктуючому і напірному патрубках, штуцерів і збереження консерваційних пломб, а також гарантійного них пломб на гайках стяжних шпильок, перевірити наявність технічної документації і запасних частин.

Видалити консервацію з усіх зовнішніх оброблених механічно поверхонь. Розконсервація проточної частини насоса не проводиться, якщо консервуючий склад не робить негативного впливу на продукт перекачування.

При транспортуванні електродвигуна і насоса окремо, їх необхідно агрегувати, при цьому мітки на напівмуфтах електродвигуна і насоса повинні співпасти.

Встановити агрегат на фундамент і закріпити.

Приєднати нагнітальний і всмоктуючий трубопроводи, а також контрольно-вимірювальні прилади.

Умови експлуатації

Забороняється експлуатація установки в районах портів, пристаней, ремонтних баз, затонів, на мілководді та місцях виходу зливових, промислових та побутових каналізаційних стоків. Не допускається присутність у воді, яка подається на установку, помітних неозброєним оком організмів, зважених часток та поверхневої плівки. Висока каламутність вхідної води, присутність нафтопродуктів і колоїдних забруднень призводить до зменшення продуктивності та селективності мембранного ДТ модуля, вимагає збільшення частоти проведення хімічних промивок, зменшує термін служби та викликає за собою необхідність передчасної заміни модуля.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Заходи безпеки при підготовці агрегату до використання

Забороняється піднімати насос або агрегат за місця не передбачені схемами стропування. Місце установки агрегату повинно відповідати таким вимогам:

- забезпечити вільний доступ до агрегату при експлуатації, а також можливість збирання і розбирання;
- агрегат встановлюється на фундамент, конструкція якого не збільшує рівні вібрації агрегату.

Встановлення електрообладнання повинно відповідати вимогам ПЕУ ("Правил експлуатації електроустановок"), експлуатація повинна проводитися відповідно до "Правил технічної експлуатації електроустановок споживачами" та "Правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачем".

Відповідно після монтажу агрегату та установки всіх електричних з'єднань (перед включенням агрегату в роботу) перевірити ланцюг захисту на безперервність, пропускаючи через неї струм не менше 10 А, частотою 50 Гц, спрямований від джерела безпечної наднизької напруги (БНН) протягом 10 с. Виміряне значення напруги між заземлювальним елементом та контрольними точками повинно бути не більше 2,6 В при поперечному перерізі дроту 1,5 мм² або не більше 1,9 В – при перетині 2,5 мм².

Під час монтажу та експлуатації агрегату опір ізоляції, виміряний при 500 В постійного струму між проводами силового ланцюга та ланцюга захисту не повинно бути менше 1 МОм.

6.2 Монтаж

Монтаж відцентрового насоса слід виконувати відповідно до робочого проекту, а також інструкції виробника.

Маса фундаменту повинна перевищувати масу насоса з електродвигуном мінімум в два рази. Край фундаменту повинен виходити за межі опорної рами по периметру мінімум на 100 мм.

Відстань від торця електродвигуна до найближчої огорожувальної конструкції має перевищувати 500 мм.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплову ізоляцію виконують тільки для корпусу насоса, равлику та приєднувальних патрубків. Теплова ізоляція електродвигуна не допускається.

До підключення трубопроводів до насоса потрібно повернути вал рукою, попередньо знявши захисну кришку. Вал повинен вільно обертатися.

Перед монтажем відцентрового насоса, система підвідних та відвідних трубопроводів повинна бути промита.

Корпус насоса не повинен отримувати навантажень від приєднаних трубопроводів.

Стрілка на корпусі насоса повинна співпадати з напрямом руху води в місці його установки.

На подавальному та зворотному трубопроводі встановлюють, запірну арматуру, антивібраційні вставки та манометри, крім того на підвідному трубопроводі встановлюють сітчастий фільтр.

У нижній точці ділянки, до якої підключений насос, встановлюють дренажний кран.

З'єднувальні фланці повинні бути паралельні, між ними встановлені прокладки з матеріалу відповідного властивостями рідини, а під гайки та стяжні болти встановити шайби.

Діаметр підвідних та відвідних трубопроводів вибирається розрахунком та зазвичай перевищує діаметр патрубків насоса на 1 – 2 типорозміру, тому на підводках до насоса встановлюють перехідники. Діаметр запірної арматури, антивібраційних вставок, фільтра і зворотного клапана вибирається по діаметру трубопроводів.

Приміщення, в якому встановлений насос, має бути обладнане вентиляційною системою що безперервно працює протягом всього часу роботи насоса. Обсяг повітря повинен бути достатній для відводу тепла від електродвигуна.

Корпус насоса необхідно заземлити.

Коробка клем повинна бути захищена від попадання води.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Не допускається монтаж насоса, при якому коробка клем або електродвигун будуть перебувати під корпусом.

Насоси стійкі до струмів блокування та насоси з вбудованим захистом обмотки від перегріву, не потребують додаткового захисту двигуна.

Послідовність з'єднання нарізного сполучення

1. Взяти пасмо льняного волокна з такою кількістю ниток, щоб в скрученому стані її діаметр був приблизно в глибині різьби на елементі що монтується. Довжина пасма повинна забезпечувати кількість підмотки таку що в 1,5-2 рази перевершує число ниток різьби.

2. Відступивши приблизно 50-70 мм від початку пасма, слід злегка скрутити її, укласти в першу нитку різьби та утримуючи її рукою, щільно намотати довгу гілку пасма за годинниковою стрілкою, укладаючи її в кожную нитку різьби.

3. Дійшовши до кінця різьби, продовжити намотування другим шаром, переміщуючи витки до початку різьби. Довжина другого шару намотування повинна приблизно дорівнювати $\frac{2}{3}$ довжини різьби.

4. Кінець пасма що залишився (50-70 мм) намотати аналогічно за годинниковою стрілкою, укладаючи від кінця різьби до її початку.

5. Нанести шар герметика поверх підмотки.

6. Навернути рукою елементи, що сполучаються. При правильній підмотці, елемент, що монтується повинен загорнутися на 1,5-2 оберту.

7. Гайковим ключем або динамометричним продовжити навертання елемента.

6.3 Охорона праці при монтажі

До початку монтажу слід: встановити і змонтувати всі засоби механізації робіт – вантажопідіймальні машини та механізми, передбачені проектом виробництва робіт, підготувати необхідні інструменти, пристосування та матеріали.

Вантажопідйомні пристосування (траверси, стропи тощо) повинні бути розраховані, виготовлені та випробувані відповідно до норм та правил.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Монтажні отвори, залишені в перегородках та перекриттях для транспортування обладнання всередину приміщень, повинні в неробочий час бути закриті.

Розміщення устаткування, що монтується та його складальних одиниць не повинно створювати обмежених умов на робочих місцях. Робоче місце повинно бути добре освітлене та обладнано необхідними захисними та запобіжними пристроями та пристосуваннями.

Забороняється перебувати під обладнанням, що висить на гаку вантажопідйомного механізму.

Стропування деталей та складальних одиниць обладнання повинно проводитися в місцях, зазначених в документації заводу-виготовлювача. Невірне положення деталей або апаратів при підйомі необхідно виправляти тільки перестроповкою, не застосовуючи відтяжок.

До роботи допускаються особи, які пройшли інструктаж з охорони праці для цього виду робіт.

Під час роботи користуватися тільки справним інструментом та пристосуваннями.

6.4 Розрахунки нерухомості змонтованого механізму

Перевіримо нерухомість механізму від дії наступних експлуатаційних навантажень, що зрушують механізм:

P_1 – сила що виникає в нестандартних ситуаціях (при зіткненнях тощо);

P_2 – сила, що виникає при крені судна на 45° ;

P_3 – сила, що виникає при хитавиці;

P_4 – сила, що виникає при сприйнятті механізмом упорному тиску;

P_5 – сила, що виникає при сприйнятті механізмом реактивного моменту.

Початкові данні:

$m = 117$ – маса механізму (кг);

$k_g = 2,9$ – коефіцієнт ударного навантаження;

					КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$g=9,81$ – прискорення сили тяжіння (м/с²);

$T=17$ – період хитавиці судна (с);

$l=5950$ – проекція відстані між центром ваги механізму і центром ваги судна на площину мідельшпангоуту (см).

$$P_1 = m \cdot k_g \cdot g, [\text{H}],$$

$$P_1 = 117 \cdot 2.9 \cdot 9,81 = 3,33 [\text{КН}]$$

$$P_2 = m \cdot \cos(45^\circ) \cdot g, [\text{H}],$$

$$P_2 = 117 \cdot 0,707 \cdot 9,81 = 881 = 0.88 [\text{КН}],$$

$$P_3 = \frac{4 \cdot m}{T^2} \cdot (0.08 \cdot l + 1.75) \cdot g, [\text{H}],$$

$$P_3 = \frac{4 \cdot 117}{17^2} \cdot (0.08 \cdot 5950 + 1.75) \cdot 9.81 = 7,6 [\text{КН}].$$

$$P_4 = P_{\text{упор}} \cdot g = 0 \text{ так як механізм не сприймає упорного тиску;}$$

$$P_5 = \frac{M}{h} \cdot g = 0 \text{ – так як механізм не сприймає реактивного моменту.}$$

Інші навантаження через їхні малі значення допускається не враховувати.

$$P_{\text{сум}} = \sqrt{(P_1 + P_4)^2 + (P_2 + P_3)^2} + P_5, [\text{H}],$$

$$P_{\text{сум}} = \sqrt{(3330 + 0)^2 + (880 + 7600)^2} + 0 = 9100 [\text{H}].$$

Сумарному експлуатаційному навантаженню ($P_{\text{сум}}$) повинна протидіяти сила тертя ($F_{\text{тр}}$), що виникає в стику.

Приймаємо болт М10.

Визначимо зусилля від затягування болтів:

$$V_{\text{зам}} = 0,7 \cdot \sigma_{\text{тек}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{2}, [\text{H}]$$

$$V_{\text{зам}} = 0,7 \cdot 500 \frac{3,14 \cdot 8,2^2}{2} = 2785 [\text{H}].$$

Визначимо силу тертя, що виникає в стику:

$$F_{\text{мп}} = (V_{\text{зам}} \cdot z + m \cdot a) \cdot \mu, [\text{H}],$$

					КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{mp} = (2785 \cdot 4 + 117 \cdot 9,81) \cdot 0,3 = 9841[\text{Н}]$$

де $\sigma_{тек} = 500$ МПа – границю текучості матеріалу болта,

$d_{вн} = 8,2$ мм – внутрішній діаметр різьблення,

μ - коефіцієнт тертя в стику,

$z = 4$ – кількість болтів, що кріплять механізм до фундаменту.

Для компенсації допущень прийнятих у розрахунку, і підвищення надійності нерухомості, сила тертя в стику повинна бути не менш чим у два рази більше сумарного експлуатаційного навантаження, тобто,

$$F_{mp} \geq 2P_{сум};$$

$$9841 \geq 9100.$$

6.5 Технічне обслуговування та ремонт відцентрового насоса

Технічне обслуговування насосів необхідно проводити з періодичністю 700-750 годин роботи. ТО включає в себе наступні роботи:

- перевірка підшипників і їх заміна при необхідності (при необхідності їх зміну або перезаливку);
- чистка і промивання картера;
- заміна масла;
- промивка маслопроводів;
- ревізія сальників і захисних гільз (при необхідності їх заміна);
- перевірка муфти і ущільнень кришок підшипників;
- промивка та продувка паром трубопроводів системи гідрозахисту;
- перевірку центрування насоса і якість його кріплення на фундаменті.
- Поточний ремонт насосів проводиться через кожні 4300 – 4500 години роботи, і включає наступні операції:
 - розбирання;
 - ревізія;
 - перевірка ротора на наявність биття в корпусі;
 - перевірка зазорів в ущільненнях;

					КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- перевірка шийок валу на конусність і еліптичності (при необхідності він проточується і шліфується);
- усунення дефектів всіх деталей і вузлів насоса, помічених при візуальному огляді;
- заміна підшипників кочення;
- перевірка стану корпусу за допомогою дефектоскопії.

Капітальний ремонт проводиться в міру необхідності (зазвичай через 25000-26000 ч роботи), і включає в себе:

- повний обсяг ТО і ТР;
- більш ретельну ревізію всіх вузлів і деталей;
- при необхідності заміну робочих коліс, валів, кілець ущільнювачів корпусу, грандбукс, розпірних втулок, притискних втулок сальника;
- зняття корпусу насоса з фундаменту, наплавка і розточування посадочних місць на корпусі;
- для секційних насосів заміну окремих секцій;
- гідравлічне випробування насоса при надмірному тиску, що перевищує робоче на 0,5 МПа.

Розборка насосу

Після зняття напівмуфти із застосуванням знімача, що поставляється заводом-виробником з насосом, подають ротор в сторону всмоктування до упору розвантажувального диска під втулку п'яти і позначають на валу положення стрілки покажчика вісьового зсуву. Тільки після цього розбирають підшипники і виймають вкладиші.

На валу насосів з розвантажувальним диском є три контрольні риски глибиною 0,2 мм, а на корпусі закріплений покажчик. Перша риска з боку всмоктування є визначення становища ротора при упорі вала під втулку упорну. Середня риска показує, що розвантажувальний диск стосується подушки п'яти. Третя риска – це положення ротора при допустимому зносі гідроуп'яти.

Розвантажувальний диск гідроуп'яти демонтують з вала також спеціальним знімачем. Знімати п'яту з насоса без необхідності не рекомендується. У разі її зносу,

					КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

відгвинчуючи спеціальним ключем гвинти натискного фланця, знімають фланець, а потім впресовують з корпусу розвантажувального пристрою п'яту.

Робочі колеса слід знімати з валу, не допускаючи заїдання, по черзі з секціями, які виводяться з заточки за допомогою віджимних гвинтів, що поставляються з насосом. Направляючі апарати із секцій виймати не рекомендується щоб уникнути ослаблення посадки їх в секціях. При необхідності секції слід підігріти і, скориставшись віджимними гвинтами, вийняти направляючий апарат. При розбиранні ротора і секцій потрібно перевірити наявність клейм, що показують послідовність деталей, міняти деталі місцями категорично забороняється. Перед розбиранням деталей необхідно позначати їх взаємне розташування. Слід також позначати дві сторони симетричних деталей. Категорично забороняється наносити мітки по посадковим, ущільнюючим і стикових поверхнях. Вузли та деталі, зняті з машин, необхідно протерти насухо і змастити антикорозійним мастилом. Кільця ущільнювачів з гуми, міді, пароніту та картону, що були у вжитку, повторному використанню не підлягають.

При розбиранні вузлів і деталей слід контролювати стан посадочних місць і ущільнюючих торців.

Збірка насоса

Перед збіркою необхідно протерти всі деталі.

При заміні деталей запчастинами перевіряють їх відповідність кресленням і при необхідності роблять підгонку за місцем. При виготовленні запасних частин в ремонтній майстерні не допускається заміна матеріалів і ослаблення вимог, що пред'являються кресленнями заводу-виробника.

Перед установкою деталей перевіряють відсутність вибоїн, задирок і рисок на ущільнюючих і посадочних поверхнях. Дефекти усувають шабруванням, шліфуванням або притиранням.

Робочі колеса і секції збирають на валу, перевіряючи вісьові зазори в кожному ступені. Сумарний вісьовий розбіг ротора повинен бути в межах 6–8 мм. Розвантажувальний пристрій має бути зібрано таким чином, щоб після установки диска вісьовий розбіг ротора склав половину заміряного до його установки.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Це може бути досягнуто або установкою металевих прокладок товщиною 0,3 мм під п'яту, або підрізуванням торця розвантажувального диска. Сумарну товщину прокладок, або величину підрізування торця, визначають вимірами після пробної установки напірної кришки з п'ятою та установки розвантажувального диска на вал. З тим, щоб забезпечити перпендикулярність торця п'яти, гвинти натискного фланця змащують антифрикційним маслом, а потім рівномірно затягують, застосовуючи динамометричні ключі. Момент затягування зазвичай обумовлює завод-виробник. Неперпендикулярність торця розвантажувального диска при його обробці не повинна перевищувати 0,02 мм.

Прилягання торця розвантажувального диска до п'яти перевіряють по фарбі. Пляма торкання повинна бути рівномірною по колу і займати не менше 70% опорної площі. Знову встановлюваний розвантажувальний диск повинен бути статично відбалансований. Якщо на роторі насоса змінюють тільки диск, щоб уникнути динамічне балансування всього ротора, а також при відсутності обладнання для динамічного балансування, знову встановлюється розвантажувальний диск статично балансують з замінним. Для цього необхідно виготовити оправку, на яку встановити симетрично замінний і новий розвантажувальний диски.

При цьому шпонки дисків повинні розташовуватися під кутом 180° один до одного. Очевидно що, дисбаланс при статичному балансуванні слід знімати з поставленого нового диска.

Якщо при заміні деталей насоса або перезаливці вкладишів виявилось порушення центрування ротора щодо статора, необхідно знову провести центрування корпусів підшипників. Цю операцію здійснюють при знятих верхніх половинах вкладишів регулювальними гвинтами, при цьому гайки, що кріплять корпус підшипників до кінцевого ущільнення і вхідний кришці, слід послабити так, щоб 0,03-мм щуп між торцями що сполучаються – не проходив. При зміщенні підшипників не допускати вигини ротора зайвим натягом регулювальних гвинтів. Після центрування необхідно заштифувати корпуси підшипників. Якість

					КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

центрування перевіряють обертанням ротора рукою. Без сальникової набивки він повинен легко провертатися.

Кільця м'якої набивки сальників слід встановлювати таким чином, щоб розрізи були зміщені на 90° по відношенню один до одного. Перший пуск насоса рекомендується проводити з ослабленою нажимною втулкою, а її затяжку здійснювати після досягнення повного числа обертів, довівши витік до норми.

Після кожного повороту гайок на $1/6$ обороту необхідна обкатка сальника тривалістю 1–2 хв. При швидкому підтягуванні стискаються тільки зовнішні кільця і не відбувається рівномірного розподілу зусилля затяжки уздовж сальника. Після повного складання насоса слід подати ротор в сторону всмоктування до упору розвантажувального диска в п'яту і встановити показчик осьового положення ротора. Положення ротора має бути таке ж, як перед розбиранням, якщо не замінювалися деталі гідропасти. При заміні деталей гідропасти необхідно встановити показчик проти середньої риски на валу насоса.

Ремонт деталей насоса

Робоче колесо при неправильному регулюванні осьового зазору або внаслідок зносу п'яти відцентрові колеса зміщуються в сторону всмоктування і їх передні диски починають тертися об напрямні апарати і виходять з ладу. Кільцеві вироблення сталевих коліс відновлюють наплавленням з наступною проточкою на токарному верстаті. Сильно зношені диски видаляють механічною обробкою і за допомогою електрозаклепок приварюють нові.

Після цього проводиться чистова токарна обробка відновленої частини колеса.

Чавунні колеса замінюють новими або наплавляються мідним електродом з подальшою проточкою.

Колеса бувають литі зі сталі або сталеві зварні. Крім механічного зносу, колеса схильні до кавітації, корозійного і ерозійного зносу.

Кавітаційні і ерозійні раковини заварюють електрозварюванням. Виявлені тріщини розсвердлюють по кінцях, їх крайки оброблюють і заварюють

					КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

електрозварюванням. При цьому рекомендуються твердосплавні електроди Т590 і Т620.

Дефекти коліс, виготовлених з нержавіючих сталей 2Х13 або 1Х18Н9Т, усувають зварюванням електродами 0Х18Н9Т, Х18Н12М або Х25Н15. Після заварки тріщин і глибоких раковин колесо піддають термічній обробці при наступному режимі: нагрівання до температури 600-650 °С, витримка при цій температурі протягом 2-6 год і охолодження до температури 150 °С.

Після ремонту робоче колесо піддають статичному балансуванню.

Як показує зарубіжний досвід, в абразивних середовищах дуже добре працюють насоси з гумовими робочими органами, що застосовуються спочатку для перекачування кислот.

Захисні гільзи вала є деталями що найбільш швидко зношуються у відцентрових насосів, які оберігають його від руйнування в місцях зіткнення з сальниковими ущільненнями. Захисні гільзи виготовляються в ремонтному цеху з кованих і трубних заготовок, прокатів вуглецевих або легованих сталей.

Для підвищення зносостійкості втулок робочі поверхні гільз наплавляють сормайтм або стелітом. Твердість втулок повинна знаходитися в межах НВ 350-400 для легованих сталей або НВ 260-320 для вуглецевих, досягається вона шляхом термообробки.

Для збільшення довговічності гільз на їх робочу поверхню наплавляють тверді сплави і після цього хромують. Захисні гільзи вимагають високої точності обробки що б биття їх торців щодо осей знаходилися в межах 0,015-0,025 мм. Від цього залежить тривалість і якість роботи сальникових ущільнень. Основні дефекти захисних гільз це зовнішній знос і кільцеві задирки, які усуваються на токарному або шліфувальному верстаті шляхом обробки зовнішньої поверхні. Величина конусності гільзи повинна знаходитися в межах 0,1 мм, а еліптичності або хвилястості в межах 0,03 – 0,04 мм. Товщина наплавленого шару сормайту або сателіту на гільзи становить 1,8 – 2 мм, щоб після обробки на шліфувальному верстаті товщина наплавленого шару була не менше 0,5 – 0,6 мм.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вал робочого колеса перевіряють на наявність викривлень, зносів шийок і різьби, а також наявності тріщин і полумок.

Якщо знос посадочних місць, шпонкових канавок і різьблень вала ротора незначний, то вал перевіряють на вигин. Допустиме биття шийок вала відцентрового насоса під підшипники одно 0,025 мм, биття посадочних місць під захисні гільзи і напівмуфти 0,02, а під робочі колеса – 0,04 мм. Вигнуті вали насоса можна виправити за допомогою наклепу або термомеханічним способом. Після відновлення вал можна допустити до складання в тому випадку, якщо його биття не перевищує 0,015 мм.

Посадочні місця під підшипники ковзання з еліпсністю і конусністю менш 0,04 мм рекомендується шліфувати до зменшення номінального діаметра на 2-3%. При великому спотворенні геометричної форми шийок, а також при ослабленні посадки підшипників кочення і знос інших посадочних місць вал проточують до виведення зносу, а потім наплавляють електрозварюванням і піддають механічній обробці.

Зношені шпонкові канавки наплавляють і фрезерують нові, різьби сточують, наплавляють, а потім після обточування нарізають нормального розміру різьби за кресленням (або по зразку).

При наплавлювальних роботах тип і марку електродів вибирають в залежності від матеріалу вала ротора. Так, для валів, виготовлених зі сталі 40Х, рекомендуються електроди типу Е55А марки УОНИ-13/55, зі сталі 30ХМА – електроди типу ЕП-60 марки ЦЛ-7.

У відцентрових насосах застосовують як опори кочення, так і опори ковзання. Ревізію опор кочення повинні робити через кожні 700-750 год роботи насоса.

Підшипники підлягають заміні, якщо зазор між обоймою і кулькою перевищує 0,1 мм при його діаметрі 50 мм, 0,2 мм – для підшипників $\varnothing$ 50–100 мм, 0,3 мм – для $\varnothing$ понад 100 мм.

При діаметральному зазорі між обоймою і корпусом підшипників більше 0,1 мм їх також замінюють. Якщо такий захід є недостатнім, то корпус підшипників

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

розточують і в нього запресовують гільзу. Гільзи виготовляють зі сталі або чавуну і на легкопресованій посадці на сурику збирають з картером. Для проходу масла в гільзі на довбальних або стругальному верстаті роблять канавку. Провертання гільзи в картері запобігають кріпленням її стопорною шпилькою МЗ або М5.

При ревізії підшипників необхідно ретельно перевірити поверхню обойм і кульок на відсутність пошкоджень (тріщин, викришування, слідів іржі). При наявності їх і появи кольорів мінливості, що вказує на перегрів підшипників, їх замінюють.

Замість оптичного методу контролю якості притирання в умовах ремонтних цехів поверхні, що сполучаються перевіряють «на олівець». Для цього на робочі торці деталей торцевого ущільнення наносять вісім-дванадцять радіальних рисок. Потім одну з деталей під легким натиском повертають щодо іншої на півоберта. Деталі вважаються добре притертими, якщо риси олівця витираються по всьому колу. Торцеві ущільнення, як правило, випробують безпосередньо на насосах.

Корпус насоса перевіряється на наявність таких дефектів: корозійний знос окремих місць внутрішньої поверхні; знос посадочних місць; забоїни і риси на площині роз'єму, місцеві тріщини.

Корозійний знос усувається за допомогою наплавлення металу електрозварюванням. Риски, забоїни і вм'ятини на площинах роз'єму корпусів насосів усувають зачисткою шабером або заваркою окремих місць з подальшою зачисткою. При значному зносі привалочних поверхонь або великому числі дефектів площини роз'єму слід проточити або профрезерувати. Після виправлення дефектів корпусу всі посадочні місця в ньому перевіряють на розточувальному або токарному верстаті і, якщо потрібно, розточують до зазначених в кресленні розмірів. Корозійний знос посадочних місць корпусу відновлюють аналогічно.

Обов'язково перевіряють співвісність гнізд під опори ротора.

Перед установкою зібраного ротора необхідно переконатися що в корпусі насоса немає сторонніх предметів, прочистити і промити гасом його внутрішні поверхні. Посадочні місця корпусу, кілець і підшипників не повинні мати вм'ятин і задирок.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідно, щоб площини роз'єму кілець і підшипників у насосів з горизонтальним роз'ємом корпусу були притерті та точно збігалися з площиною роз'єму, що перевіряють за допомогою щупа і спеціальної лінійки. Після установки ротора в корпус спочатку підганяють вкладиші підшипників ковзання по ліжках їх корпусів, а потім бабітовий залив по шийках вала. Далі контролюють зазори в проточній частині насоса, а так само між ротором і грандбуксою.

При правильній збірці підшипників зазори на сторону повинні бути однаковими по двох взаємно перпендикулярним діаметрам. Обов'язкова також перевірка осьового переміщення ротора в корпусі і легкості його обертання. При установці кришок корпусу необхідно строго дотримуватися порядку затягування гайок. Заключні операції зборки – посадка на вал напівмуфти, центрування насоса з двигуном і остаточне закріплення його на рамі. Приєднання до трубопроводів не повинно викликати перенапруг в корпусі насоса. Після обкатки насос випробовують на стенді з метою отримання його комплексної характеристики, таких залежностей як натиск – подача, споживана потужність – подача, ККД – подача при постійній частоті обертання. Випробування зазвичай проводять на воді. Комплексна характеристика дозволяє оцінити якість ремонту насоса, а після випробування на валу, поверхні повинні бути обезводненні і просушенні, перш ніж відправити в зборку, чи замовнику.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 06. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР. ОП135. 6211м. 09. 07. ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Техніко-економічний та екологічний аналіз технічних рішень		
Студент		Пастушенко Д.О.					
Керівник		Чередніченко О.К.					
Консульт.							
Зав. каф.		Личко Б.М.					
					Літ.		
					Арк.		
					Аркушів		
					НУК ім. адм. Макарова		

РОЗДІЛ 7 Техніко-економічний та екологічний аналіз технічних рішень

7.1 Виявлення критерію оцінки

Згідно з резолюціями International Maritime Organization (IMO) для кожного нового судна валовою місткістю 400 і більше тон необхідно визначати необхідний (Required) і досяжний (Attained) конструктивний індекс енергетичної ефективності судна EEDI (Energy Efficiency Design Index), а також операційний індекс EEOI (Energy Efficiency Operational Index) при проектуванні, будівництві та експлуатації судна.

Required EEDI обчислюється в залежності від типу судна і дедвейту з урахуванням коефіцієнта, який поступово буде посилюватися аж до 2025 р Attained EEDI обчислюється відповідно до методики, наведеної в резолюції IMO MEPC.212 (63) і наступних уточнень, і повинен бути менше або дорівнює Required EEDI.

Фізичний сенс індексів ідентичний і являє собою відношення маси виробленого енергетичною установкою судна парникового газу CO₂ до величини транспортної роботи судна за певний період часу, регламентований при проектуванні нових судів (EEDI) і в процесі експлуатації (EEOI):

$$\begin{aligned} EEDI &= \frac{CO_2 \text{ emission}}{\text{Transport_work}} = \\ &= \frac{\text{Engine power} \times SFC \times C_F}{DWT \times \text{speed}}, \end{aligned} \quad \begin{matrix} (\text{гCO}_2 / \text{тонн-миль}) \\ \end{matrix} \quad (1)$$

Скорочення викидів CO₂ які утворюється при роботі енергетичної установки, може бути досягнуто як зменшенням витрат палива так і застосуванням палива, з низьким вмістом вуглецю, що враховується коефіцієнтом вмісту вуглецю в паливі (рис. 7.1).

Використання в якості палива скрапленого природного газу (LNG) дозволяє знизити на 12% в порівнянні з традиційним для транспортних судів паливом HFO. Крім того, більш висока теплотворна здатність природного газу (≈ 50 МДж / кг) дозволяє знизити питомі витрати палива (SFC) головного двигуна.

					КР. ОП135. 6211м. 09. 07. ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

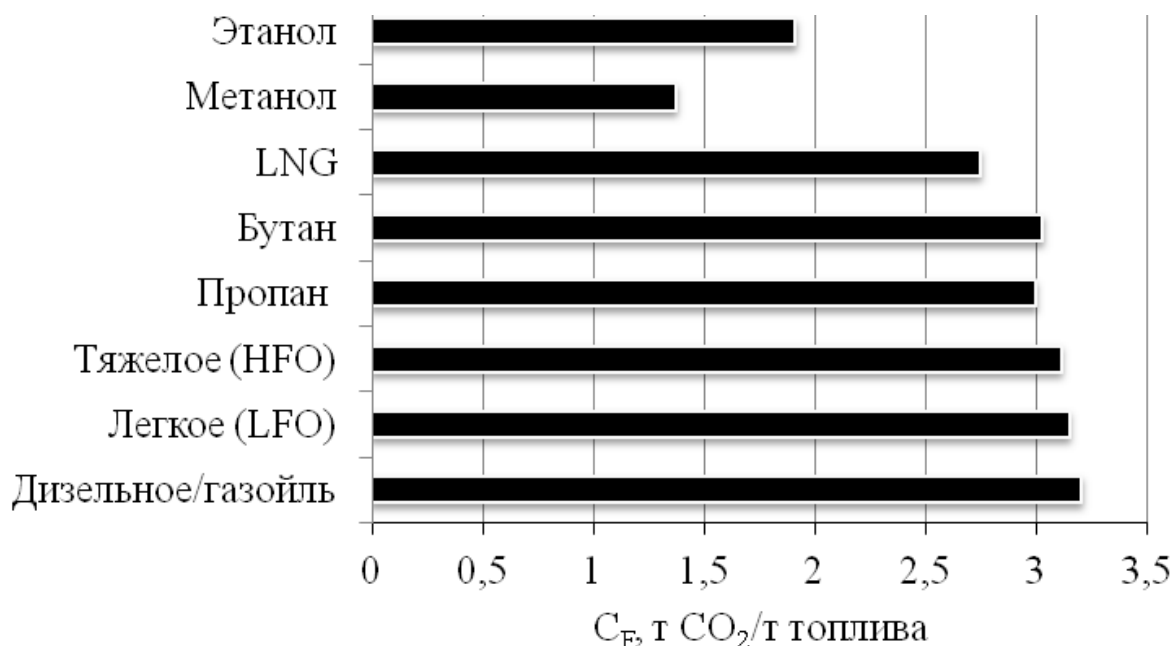


Рисунок 7.1 Коефіцієнт вмісту вуглецю для основних і альтернативних суднових палив

Таким чином, розрахунок індексу EEDI дозволить оцінити відповідність даної енергетичної установки вимогам ІМО при застосуванні в якості палива LNG

7.2 Результати розрахунку EEDI

Для розрахунку індексу енергоефективності скористаємося on-line калькулятором розміщеному на сайті <https://www.thenavalarch.com/>.

Результати розрахунку представлені нижче в Додатку 7.1.

Висновки

Застосування в енергетичній установці газозова *LNG* в якості палива частини вантажу надає можливості виконати вимоги ІМО з енергоефективності.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання кваліфікаційної роботи, згідно завдання, були розглянуті питання виявлення впливу обмежень, які пов'язані з параметрами системи газоподібного палива на ефективність термохімічної утилізації скидної теплоти енергетичної установки танкеру *LNG*. Приділена увага аналізу суднового електрообладнання, електронної апаратури та систем управління, діагностування й контролю СЕУ. Розглянуті питання комплектації судна технічними засобами для забезпечення вимог конвенцій СОЛАС-74 та МАРПОЛ-73/78, заходи щодо охорони праці та піклування про людей на судні відповідно до МКУБ. Виконана технологічна розробка монтажних та ремонтних операцій з обслуговування обладнання СЕУ.

У дослідній частині стосовно підвищення енергетичної ефективності СЕУ *LNG*-газовозу «Dapeng Sun» шляхом модернізації пропульсивного комплексу з'ясовано, що застосування в енергетичній установці газовоза *LNG* термохімічних технологій утилізації вторинних енергоресурсів теплових двигунів, дозволяє знизити досяжний конструктивний індекс енергетичної ефективності судна на 35-40% і забезпечити перспективні вимоги ІМО з енергоефективності. Помірна ефективність застосування ДДТУ з ТХР в пропульсивної установці газовоза *LNG* пов'язана з низьким ступенем конверсії метану.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 00. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Alves LG, Nebra SA (2003). Thermoeconomic Evaluation of a Basic Optimized Chemically Recuperated Gas Turbine Cycle. Int.J. Thermodynamics, Vol.6 (No.1), pp.13-22.
2. Benito A (2009). Accurate determination of LNG quality unloaded in Receiving Terminals An Innovative Approach. IGU. Buenos Aires. 1–23.
3. BP Energy Outlook 2035 (2016).
4. Burel F, Taccani R, Zuliani N (2013). Improving sustainability of maritime transport through utilization of liquefied natural gas (LNG) for propulsion. Energy 57:412–20.
5. Chang D, Rhee T, Nam K, Chang K, Lee D, Jeong S (2008). A study on availability and safety of new propulsion systems for LNG carriers. Reliability Engineering System Safety, 93 (12),1877–85. DOI:10.1016/j.res.2008.03.013
6. Cherednichenko O (2015). Analysis of efficiency of diesel-gas turbine power plant with thermo-chemical heat recovery. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin-Rzeszow, vol. 17, № 2, pp. 25–28.
7. Cwilewicz R, Górski Z (2011). Proposal of ecological propulsion plant for LNG carries supplying liquefied natural gas to Świnoujście terminal. Journal of Polish Cimac, Energetic aspects, Vol. 6, No. 1, Gdańsk. 25–31.
8. Dean JA (1999). LANGE'S HANDBOOK OF CHEMISTRY. Fifteenth Edition. McGrawHill, Inc.
9. Dobrota D, Lalik B, Komar V (2013). Problem of Boil - off in LNG Supply Chain. TRANSACTIONS ON MARITIME SCIENCE, 02. 91–100. DOI: 10.7225/toms.v02.n02.001
10. Dzida M, Olszewski W (2011). Comparing combined gas turbine/steam turbine and marine low speed piston engine/steam turbine systems in naval applications. POLISH MARITIME RESEARCH, 4(71), Vol 18, 43–48. DOI: 10.2478/v10012-011-0025-8

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 00. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Fernández IA, Gómez MR, Gómez JR, Insua AB (2017). Review of propulsion systems on LNG carriers. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 1395–1411 DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.095

12. Głomski P, Michalski R (2011). Problems with Determination of Evaporation Rate and Properties of Boil-off Gas on Board LNG Carriers. Journal of Polish CIMAC, Energetic aspects, Vol. 6, No. 1, Gdańsk, 133–140.

13. GE Marine (2013). Gas Turbine-Based Power & Propulsion systems for LNG Carriers. LNG 17.

14. GE Marine (2014). Compact GE Marine Gas Turbines for Next Generation LNG Carrier...More Cargo, Same Size Hull. (10-15) AE 71856

15. IMO (2014). Guidelines on the method of calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships (2014). MEPC 66/21/Add.1 p: 1.

16. IMO (2016). Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines.

17. Kesser KF, Hoffman MA, Baughn JW (1994). Analysis of a basic chemically recuperated gas turbine power plant. ASME J. Eng. Gas Turbines Power, 116(2), 277–84.

18. Korobitsyn MA (1998). New and advanced energy conversion technologies. Analysis of cogeneration, combined and integrated cycles. Printed by Febodruk BV, Enschede, pp. 54-55.

19. Lloyd's List Intelligence (2017). Available from <https://www.lloydslistintelligence.com/llint/gas/index.htm> [Accessed on Feb. 27, 2017]

20. MAN Diesel A/S (2007). LNG Carriers ME-GI Engine with High Pressure Gas Supply System, Copenhagen, Denmark.

21. MAN Diesel & Turbo (2013). Propulsion Trends in LNG Carriers, Copenhagen, Denmark. DOI: 10.1109/TPS.2014.2352275.

22. Nosach VG (1989). Jenergija topliva .Printed by Naukova dumka, Kiev, 148.

23. Oka M, Hiraoka K, Tsumura K (2004). Advanced LNG Carrier with Energy Saving Propulsion Systems: Two Options. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. LNG 14. DOI:10.1016/j.energy.2013.05.002

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 00. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

24. Pan F, Zheng H, Luo P, Yang R (2015). Configuration Discussions of the Chemically Recuperated Gas Turbine Powering a Ship. International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Industrial Informatics, 1701-1707.DOI: 10.2991/ameii-15.2015.316

25. Tartakovsky L., Baibikov V., Gutman M., Mosyak A., Veinblat M. (2011). Performance analysis of SI engine fuelled by ethanol steam reforming products. SAE Technical Paper, 2011-01-1992. DOI:10.4271/2011-01-1992

26. Tartakovsky L., Baibikov V., Gutman M., Poran M., A., Veinblat, M., (2014). Thermo-Chemical Recuperation as an Efficient Way of Engine's Waste Heat Recovery. Applied Mechanics and Materials, Vol. 659 (2014), pp. 256-261 DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.659.256

27. Wärtsilä 50DF Product Guide – Wartisila Engines

28. Артемов Г.А., Горбов В.М. Суднові енергетичні установки: Навчальний посібник. - Миколаїв: УДМТУ, 2002. - 356 с.

29. Проектне керівництво до двигуна MTU 16V 2000 P82

30. Проектне керівництво до котла MISSION™ OS 6000.

					<i>КР. ОП135. 6211м. 09. 00. ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI) CALCULATION

FOR

Dapeng Sun

INPUTS: PRINCIPAL PARTICULARS			
Parameter	Symbol	Value	Unit
Type of Vessel		LNG Carrier	
Length between Perpendiculars	L_{PP}	274	m
Breadth Moulded	B	43	m
Depth Moulded	D	11	m
Draft at Summer Load Line	T	12	m
Lightship Weight	LWT	31739	MT
Displacement at Summer Load Line	Δ_{SWL}	75093	MT
Displacement at 70% Summer Load Line draft <i>(only for Container ships)</i>	Δ_{70}	NA	MT
Deadweight at Summer Load Line	DWT_{SWL}	43354	MT
Deadweight at 70% Summer Load Line draft <i>(only for Container ships)</i>	DWT_{70}	NA	MT
Gross Tonnage	GT	97871	MT
Speed at EEDI Conditions	V_{ref}	19,5	knots
Iced Class Vessel?		No	
Ice Class Notation	Please select Not Applicable	Not Applicable	
Design Stage of the Vessel (Preliminary or Final)		Preliminary	
INPUTS: KEY DATES			
Building Contract Date of the vessel (yyyy-mm-dd)	If not available, leave blank	2013-07-01	
Keel Laying date of the Vessel (yyyy-mm-dd)	If building contract date is not available		
Date of Delivery of the Vessel (yyyy-mm-dd)		2018-05-16	
INPUTS: LIMIT TO PROPULSION POWER			
Is propulsion power limited by verified technical means to a value lower than rated power output of the Engine? If yes, please input the Shaft power limit in kW. If no, leave blank	$P_{SHAFTLIMIT}$		kW

INPUTS: ADDITIONAL INPUTS				
A. Shuttle Tanker				
Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Is it an Oil Tanker?			No	
Is it a Shuttle Tanker with following conditions met - (Yes/No) a. Assigned Class Notations for Dynamic Positioning & Propulsion Redundancy b. DWT between 80000 & 120000 c. Equipped with Twin propellers and Dual Engines		Not Applicable(please select No)	No	
B. Voluntary Structural Enhancements				
Does the vessel have any Voluntary Structural Enhancements (Yes/No)			No	
Lightweight of Reference Design	LWT _{reference}	Not Applicable(Leave Blank)		MT
Lightweight of Enhanced Design	LWT _{enhanced}	Not Applicable(Leave Blank)		MT
Displacement of Vessel	DISP	Not Applicable(Leave Blank)		MT
C. Bulk Carriers and Oil Tankers built as per CSR				
Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Is the vessel a bulk carrier/oil tanker?			No	
Is the built as per CSR?		Not Applicable(please select No)	No	
Lightweight of Ship as per CSR	LWT _{CSR}	Not Applicable(Leave Blank)		MT
Deadweight of Ship as per CSR	DWT _{CSR}	Not Applicable(Leave Blank)		MT
D. Cubic Capacity for Chemical Tankers				
Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Is the vessel a Chemical Tanker?			No	
Total cubic capacity of Cargo Tanks	Capacity _{cubic}	Not Applicable(Leave Blank)		m ³
E. Cubic Capacity for Gas Carriers and LNG Carriers defined in 2.26 of MARPOL Annex VI				
Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Is this vessel a Gas Carrier or LNG Carrier?			Yes	
Does the vessel satisfy the following: 1. It is a Gas Carrier with direct diesel driven propulsion, constructed or adapted and used for carriage in bulk of LNG OR 2. It is a LNG Carrier defined as Gas Carrier as per MARPOL Annex VI Reg. 2.26		Not Applicable(please select No)	No	
Total cubic capacity of Cargo Tanks	Capacity _{cubic}	Not Applicable(Leave Blank)		m ³
F. Inputs for General Cargo Ships Equipped with Cranes and other Cargo-related Gear				
Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Is this vessel a General Cargo Ship?			No	
Are sideloaders present? (Yes/No)		Not Applicable(please select No)	No	
Vessel Capacity with sideloaders	Capacity _{sideloader}	Not Applicable(Leave Blank)		
Is a Ro-Ro ramp present? (Yes/No)		Not Applicable(Please select No)	No	
Vessel Capacity with Ro-Ro ramp	Capacity _{RoRo}	Not Applicable(Leave Blank)		
Are cranes present? (Yes/No)		Not Applicable(Leave Blank)	No	
Number of Cranes (1 to 6)	n _{cranes}	Not Applicable(Leave Blank)		
Safe Working Load of Crane 1	SWL ₁	Not Applicable(Leave Blank)		MT
Reach at SWL of Crane 1	Reach ₁	Not Applicable(Leave Blank)		m
Safe Working Load of Crane 2	SWL ₂	Not Applicable(Leave Blank)		MT
Reach at SWL of Crane 2	Reach ₂	Not Applicable(Leave Blank)		m
Safe Working Load of Crane 3	SWL ₃	Not Applicable(Leave Blank)		MT
Reach at SWL of Crane 3	Reach ₃	Not Applicable(Leave Blank)		m
Safe Working Load of Crane 4	SWL ₄	Not Applicable(Leave Blank)		MT
Reach at SWL of Crane 4	Reach ₄	Not Applicable(Leave Blank)		m
Safe Working Load of Crane 5	SWL ₅	Not Applicable(Leave Blank)		MT
Reach at SWL of Crane 5	Reach ₅	Not Applicable(Leave Blank)		m
Safe Working Load of Crane 6	SWL ₆	Not Applicable(Leave Blank)		MT
Reach at SWL of Crane 6	Reach ₆	Not Applicable(Leave Blank)		m

INPUTS: MAIN ENGINE PARTICULARS								
Parameter	Symbol	Engine 1	Engine 2	Engine 3	Engine 4	Engine 5	Engine 6	Unit
MCR	MCR_i	5850	5850	5850	11700			kW
SFC(corrected) at 75% MCR	SFC_{MEi}	190	190	190	190			g/kWh
Fuel Type used for NOx certification		LNG	LNG	LNG	LNG			
Conversion Factor- Fuel Oil to CO ₂	C_{FMEi}	2,75	2,75	2,75	2,75			t-CO ₂ /t-fuel
Is a Shaft Generator installed?		Yes	Yes	Yes	Yes			
Rated Electrical Output of of Shaft Generator	P_{SGi}	5700	5700	5700	11000			kW
Efficiency of Shaft Generator	η_{SGi}	0,92	0,92	0,92	0,92			
INPUTS: AUXILIARY ENGINE PARTICULARS								
Parameter	Symbol	Engine 1	Engine 2	Engine 3	Engine 4	Engine 5	Engine 6	Unit
MCR	MCR_{AEi}	500						kW
SFC(ISO corrected) at 50% MCR	$SFC_{AEicorr}$	215						g/kWh
Fuel Type used for NOx certification		Diesel/Gas Oil						
Conversion Factor- Fuel Oil to CO ₂	C_{FAEi}	3,206						t-CO ₂ /t-fuel
Efficiency of Genset	η_{AEi}	0,93						
INPUTS: SHAFT MOTOR PARTICULARS								
Parameter	Symbol	Shaft Motor 1	Shaft Motor 2	Shaft Motor 3	Shaft Motor 4	Shaft Motor 5	Shaft Motor 6	Unit
Rated Power Consumption	$P_{SM,max(i)}$	12650	12650					kW
Efficiency	$\eta_{PTI(i)}$	0,94	0,94					
INPUTS: INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR PROPULSION								
Parameter	Symbol	Innovative Tech 1	Innovative Tech 2	Innovative Tech 3	Innovative Tech 4	Innovative Tech 5	Innovative Tech 6	Unit
Name of Technology								
Mechanical Output	$P_{eff(i)}$							kW
Availability Factor	$f_{eff(i)}$							
INPUTS: INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR ELECTRICAL POWER (AUXILIARY)								
Parameter	Symbol	Innovative Tech 1	Innovative Tech 2	Innovative Tech 3	Innovative Tech 4	Innovative Tech 5	Innovative Tech 6	Unit
Name of Technology								
Mechanical Output	$P_{AEff(i)}$							kW
Availability Factor	$f_{AEff(i)}$							

CORRECTION FACTORS CALCULATION

A. Correction Factor for Ship Specific Design Elements, f_j A.1 Correction Factor f_j for Finnish-Swedish Ice Class Vessels

Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Ice Class Notation (See Table 1)			Not Applicable	
Length between Perpendiculars	L_{pp}		Not Applicable	m
Type of Vessel			LNG Carrier	
Total power of Main Engines	ΣP_{MEI}		Not Applicable	kW
Minimum Value of f_j	f_{jmin}	See Table 1	Not Applicable	
Value of f_j from formula	f_{j0}	See Table 1	Not Applicable	
Final Value of f_j	f_j	Higher of f_{jmin} and f_{j0} , $f_j \leq 1.0$	1,0000	

A.2 Correction Factor $f_{jShuttle}$ for Shuttle Tankers

Is it a Shuttle Tanker with following conditions met - (Yes/No) a. Assigned Class Notations for Dynamic Positioning & Propulsion Redundancy b. DWT between 80000 & 120000 c. Equipped with Twin propellers and Dual Engines		Yes/No	No	
Value of $f_{jShuttleTanker}$	$f_{jShuttleTanker}$	$f_{jShuttleTanker} = 0.77$	1,0000	

A.3 Correction Factor f_{jRo-Ro} for Ro-Ro Vessels

Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Type of Vessel			LNG Carrier	
Length between Perpendiculars	L_{pp}		Not Applicable	m
Moulded Breadth	B		Not Applicable	m
Draught at Summer Load Line	T_s		Not Applicable	m
Weight Displacement at Summer Load Line	Δ		Not Applicable	MT
Volumetric Displacement at Summer Load Line	D	$D = \Delta / \rho$, $\rho = 1.025$	Not Applicable	m ³
Reference Speed for EEDI	V_{ref}		Not Applicable	knots
Froude Number	F_n	$0.5144 \times V_{ref} / \sqrt{(g \times L_{pp})}$, $g = 9.81$	Not Applicable	
Exponential factor α	α	See Table 2	Not Applicable	
Exponential factor β	β	See Table 2	Not Applicable	
Exponential factor γ	γ	See Table 2	Not Applicable	
Exponential factor δ	δ	See Table 2	Not Applicable	
Calculated value of f_{jRo-Ro}	f_{jRo-Ro}	$1 / \{F_n^\alpha (L_{pp}/B_m)^\beta (B_m/T_s)^\gamma (L_{pp}/VD)^\delta\}$	1,0000	

A.4 Correction Factor f_{jGEN} for General Cargo Vessels

Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Type of Vessel			LNG Carrier	
Length between Perpendiculars	L_{pp}		Not Applicable	m
Moulded Breadth	B		Not Applicable	m
Draught at Summer Load Line	T_s		Not Applicable	m
Displacement at Summer Load Line	Δ		Not Applicable	MT
Volumetric Displacement at Summer Load Line	D	$D = \Delta / \rho$, $\rho = 1.025$	Not Applicable	m ³
Reference Speed for EEDI	V_{ref}		Not Applicable	knots
Volumetric Froude Number	F_{nD}	$0.5144 \times V_{ref} / \sqrt{(g \times D^{1/3})}$, $g = 9.81$	Not Applicable	
Block Coefficient	C_b	$C_b = D / (L_{pp} \times B \times T)$, $\rho = 1.025$	Not Applicable	
Calculated value of f_{jGEN}	f_{jGEN}	$0.174 / \{F_{nD}^{2.3} \times C_b^{0.3}\}$	1,0000	

Table 1 - Factor f_j calculation

Finnish-Swedish Ice Class GL Ice Class Notation	f_{j0}	f_{jmin} depending on Ice Class			
		IA Super	IA	IB	IC
		E4	E3	E2	E1
Tanker	0,6727	0,8080	0,8776	0,9335	0,9803
Bulk Carrier	0,5497	0,7789	0,8592	0,9138	0,9734
Refrigerated Cargo Carrier	0,5497	0,7789	0,8592	0,9138	0,9734
General Cargo Ship	1,1689	0,7610	0,8433	0,9281	0,9925

Table 2 - Factors for f_{jRo-Ro} calculation

	α	β	γ	δ	
Ro-Ro Cargo Ship	2,00	0,50	0,75	1,00	
Ro-Ro Passenger Ship	2,50	0,75	0,75	1,00	

Go Back

CORRECTION FACTORS CALCULATION

B. Capacity Factor for technical/regulatory limitation on Capacity f_i

B.1 Capacity Correction Factor for Ice-classed Ships f_i

Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Ice Class Notation (See Table 1)			Not Applicable	
Length between Perpendiculars	L_{pp}		Not Applicable	m
Type of Vessel			Not Applicable	
Vessel Capacity	Capacity		Not Applicable	MT
Maximum Value of f_i	f_{imax}	See Table 2	Not Applicable	
Value of f_i from formula	f_{i0}	See Table 2	Not Applicable	
Final Value of f_i	f_i	Lower of f_{imax} and f_{i0} , $f_i > 1.0$	1,0000	

B.2 Capacity Correction Factor for Ship Specific Voluntary Structural Enhancement f_{iVSE}

Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Does the vessel have any Voluntary Structural Enhancements (Yes/No)			No	
Weight Displacement of Ship	Δ_{ship}		Not Applicable	MT
Lightweight of Reference Design	$LWT_{reference}$	Not Applicable	Not Applicable	MT
Lightweight of Enhanced Design	$LWT_{enhanced}$	Not Applicable	Not Applicable	MT
Deadweight of Reference Design	$DWT_{reference}$	Not Applicable	Not Applicable	MT
Deadweight of Enhanced Design	$DWT_{enhanced}$	Not Applicable	Not Applicable	MT
Final Value of f_{iVSE}	f_{iVSE}	$f_{iVSE} = DWT_{reference}/DWT_{enhanced}$	1,0000	

B.3 Capacity Correction Factor for Bulk Carriers and Oil Tankers built as per CSR, f_{iCSR}

Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Is the vessel a bulk carrier/oil tanker as per CSR?			No	
Lightweight of Ship as per CSR	LWT_{CSR}	Not Applicable	Not Applicable	MT
Deadweight of Ship as per CSR	DWT_{CSR}	Not Applicable	Not Applicable	MT
Final Value of f_{iCSR}	f_{iCSR}	$1 + 0.08 \times LWT_{CSR}/DWT_{CSR}$	1,0000	

CORRECTION FACTORS CALCULATION

C. Cubic Capacity Correction Factor f_c

C.1 Cubic Capacity Correction Factor for Chemical Tanker f_c

Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Type of Vessel			LNG Carrier	
Deadweight of the Vessel	DWT		Not Applicable	MT
Total cubic capacity of Cargo Tanks	Capacity _{cubic}	Not Applicable	Not Applicable	m ³
Capacity Ratio	R	$DWT/Capacity_{cubic}$	Not Applicable	
Capacity Correction Factor for Chemical Tanker	f_c	$f_c = R^{-0.7} - 0.014$ for $R < 0.98$, $f_c = 1.0000$ for $R \geq 0.98$	1,0000	

C.2 Cubic Capacity Correction Factor for Gas Carriers and LNG Carriers defined in 2.26 of MARPOL Annex VI, f_{cLNG}

Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Type of Vessel			LNG Carrier	
Does the vessel satisfy the following: 1. It is a Gas Carrier with direct diesel driven propulsion, constructed or adapted and used for carriage in bulk of LNG OR 2. It is a LNG Carrier defined as Gas Carrier as per MARPOL Annex VI Reg. 2.26			No	
Deadweight of the Vessel	DWT		Not Applicable	MT
Total cubic capacity of Cargo Tanks	Capacity _{cubic}		Not Applicable	m ³
Capacity Ratio	R	$DWT/Capacity_{cubic}$	Not Applicable	
Capacity Correction Factor for Gas Carriers	f_{cLNG}	$f_{cChem} = R^{-0.56}$	1,0000	

C.3 Cubic Capacity Correction Factor for Ro-Ro Passenger ships with DWT.GT < 0.25 , f_{cRoPax}

Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Type of Vessel			LNG Carrier	
Deadweight of the Vessel	DWT		Not Applicable	MT
Gross Tonnage of the Vessel	GT		Not Applicable	m ³
DWT/GT Ratio		DWT/GT	Not Applicable	
Capacity Correction Factor for Ro-Ro Passenger Vessels	f_{cRoPax}	$f_{cRoPax} = \{(DWT/GT)/0.25\}^{-0.8}$	1,0000	

Table 2 - Factor f_i calculation for Ice Classed Ships

	f_{i0}	f_{imax} depending on Ice Class			
Finnish-Swedish Ice Class		IA Super	IA	IB	IC
GL Ice Class Notation		E4	E3	E2	E1
Tanker	4,1976	1,1326	1,0914	1,0497	1,0146
Bulk Carrier	3,8139	1,1326	1,0861	1,0396	0,9894
General Cargo Ship	2,1798	1,1757	1,1297	1,0782	1,0226
Container Ship	1,1339	1,1326	1,0914	1,0497	1,0146
Gas Carrier	2,2518	1,2500	1,0708	1,0212	0,9986

2 f_{iVSE}^2 for ship specific voluntary structural enhancement is expressed by the following formula:

$$f_{iVSE} = \frac{DWT_{reference}}{DWT_{enhanced}}$$

where:

$$DWT_{reference} = \Delta_{ship} - lightweight_{reference}$$

$$DWT_{enhanced} = \Delta_{ship} - lightweight_{enhanced}$$

$$f_{iCSR} = 1 + (0.08 \cdot LWT_{CSR} / DWT_{CSR})$$

Where DWT_{CSR} is the deadweight determined by paragraph 2.4 and LWT_{CSR} is the light weight of the ship.

$$f_c = R^{-0.7} - 0.014, \text{ where } R \text{ is less than } 0.98$$

or

$$f_c = 1.000, \text{ where } R \text{ is } 0.98 \text{ and above;}$$

$$f_{cLNG} = R^{-0.68}$$

where: R is the capacity ratio of the deadweight of the ship (tonnes) as determined by paragraph 2.4 divided by the total cubic capacity of the cargo tanks of the ship (m³).

For ro-ro passenger ships having a DWT/GT-ratio of less than 0.25, the following cubic capacity correction factor, f_{cRoPax} , should apply:

$$f_{cRoPax} = \left(\frac{(DWT/GT)}{0.25} \right)^{-0.8}$$

CORRECTION FACTORS CALCULATION

D. Correction Factor f_i for General Cargo Ships Equipped with Cranes and other Cargo-related Gear				
Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Type of Vessel			LNG Carrier	
Vessel Capacity	Capacity		Not Applicable	MT
Are sideloaders present? (Yes/No)			Not Applicable	
Vessel Capacity with sideloaders	Capacity _{sideloader}		Not Applicable	
Is a Ro-Ro ramp present? (Yes/No)			Not Applicable	
Vessel Capacity with Ro-Ro ramp	Capacity _{RoRo}		Not Applicable	
Are cranes present? (Yes/No)			Not Applicable	
Number of Cranes	n_{cranes}		Not Applicable	
Safe Working Load of Crane 1	SWL ₁		0	MT
Reach at SWL of Crane 1	Reach ₁		0	m
Safe Working Load of Crane 2	SWL ₂		0	MT
Reach at SWL of Crane 2	Reach ₂		0	m
Safe Working Load of Crane 3	SWL ₃		0	MT
Reach at SWL of Crane 3	Reach ₃		0	m
Safe Working Load of Crane 4	SWL ₄		0	MT
Reach at SWL of Crane 4	Reach ₄		0	m
Safe Working Load of Crane 5	SWL ₅		0	MT
Reach at SWL of Crane 5	Reach ₅		0	m
Safe Working Load of Crane 6	SWL ₆		0	MT
Reach at SWL of Crane 6	Reach ₆		0	m
$\Sigma(SWL_n, Reach_n)$		$\Sigma(SWL_n, Reach_n)$	0	MT-m
Factor for cranes	f_{cranes}	$[1 + \Sigma(0.0519 \cdot SWL_n \cdot Reach_n + 32.11)] / Capacity$	1,0000	
Factor for sideloader	$f_{sideloader}$	$Capacity_{nosideloader} / Capacity_{sideloader}$	1,0000	
Factor for Ro-Ro	f_{RoRo}	$Capacity_{noRoRo} / Capacity_{RoRo}$	1,0000	
Final Factor for cranes and other cargo-gear	f_i	$f_i = f_{cranes} \times f_{sideloader} \times f_{RoRo}$	1,0000	

f_i is the factor for ships equipped with cranes and other cargo-related gear to compensate in a loss of deadweight of the ship.

$$f_i = f_{cranes} \cdot f_{sideloader} \cdot f_{ro-ro}$$

f_{cranes} : 1 If no cranes are present.

$f_{sideloader}$: 1 If no side loaders are present.

f_{ro-ro} : 1 If no ro-ro ramp is present.

$$f_{cranes} = 1 + \frac{\sum_{n=1}^n (0.0519 \cdot SWL_n \cdot Reach_n + 32.11)}{Capacity}$$

SWL : Safe Working Load in metric tonnes

Reach : Reach at the Safe Working Load in metres

N : Number of cranes

$$f_{sideloader} = \frac{Capacity_{No_sideloader}}{Capacity_{sideloader}}$$

$$f_{RoRo} = \frac{Capacity_{No_RoRo}}{Capacity_{RoRo}}$$

$$\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) + \left(\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AE,eff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right) \\ f_i \cdot f_c \cdot f_1 \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}$$

*NA = Not Applicable

STEP 1 - GENERAL									
STEP 1.1 - Main Engine Parameters									
Parameter	Symbol	Formula	Engine 1	Engine 2	Engine 3	Engine 4	Engine 5	Engine 6	Unit
MCR	$MCR_{ME(i)}$		5850	5850	5850	11700	NA	NA	kW
SFC(corrected) at 75% MCR	$SFC_{ME(i)}$		190	190	190	190	NA	NA	g/kWh
Conversion Factor- Fuel Oil to CO ₂	$C_{FME(i)}$		2,75	2,75	2,75	2,75	NA	NA	t-CO ₂ /t-fuel
Power of Main Engine	$P_{ME(i)}$	$0.75 \times MCR_{ME(i)}$	4387,5	4387,5	4387,5	8775	NA	NA	t-CO ₂ /t-fuel
$P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}$		$P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}$	2292468,75	2292468,75	2292468,75	4584937,5	NA	NA	t-CO ₂ /t-fuel
STEP 1.2 - Auxiliary Engines Particulars									
Parameter	Symbol	Formula	Engine 1	Engine 2	Engine 3	Engine 4	Engine 5	Engine 6	Unit
MCR of each Auxiliary Engine	$MCR_{AE(i)}$		500	NA	NA	NA	NA	NA	kW
SFC(corrected) at 75% MCR	$SFC_{AE(i)}$		215	NA	NA	NA	NA	NA	g/kWh
Conversion Factor- Fuel Oil to CO ₂	$C_{FAE(i)}$		3,206	NA	NA	NA	NA	NA	t-CO ₂ /t-fuel
Efficiency of Generator	$\eta_{GEN(i)}$		0,93	NA	NA	NA	NA	NA	
STEP 1.3 - Shaft Generator Parameters									
Is a Shaft Generator installed?			Yes	Yes	Yes	Yes	NA	NA	
Rated Mechanical Output of Shaft Generator	P_{SGMI}		5700	5700	5700	11000	NA	NA	kW
Efficiency of Shaft Generator	η_{SGI}		0,92	0,92	0,92	0,92	NA	NA	
Electrical Output of Shaft Generator	P_{SGEI}	P_{SGMI} / η_{SGI}	6195,65	6195,65	6195,65	11956,52	NA	NA	kW
Power Take-off by Shaft Generator	P_{PTOI}	$P_{SGEI} \times 0.75$	4646,74	4646,74	4646,74	8967,39	NA	NA	kW
STEP 1.4 - Shaft Motor Parameters									
Rated mechanical power of each Shaft Motor	$P_{SM,max(i)}$		12650	12650	NA	NA	NA	NA	kW
Efficiency of Shaft Motor	η_{PTI}		0,94	0,94	NA	NA	NA	NA	
Shaft power from Shaft Motor	$P_{PTI(i),shaft}$	$0.75 \times P_{SM,max(i)} \times \eta_{PTI(i)}$	8918,25	8918,25	NA	NA	NA	NA	kW
STEP 1.5 - Calculation of P _{AE}									
Weighted Average Efficiency of Generators	η_{GENAV}	$\Sigma[MCR_{AE(i)} \times \eta_{SGI}] / \Sigma MCR_{AE(i)}$	0,93						
$\Sigma P_{PTI(i)}$	$\Sigma P_{PTI(i)}$	$\Sigma \{0.75 \times P_{SM,max(i)}\} / \eta_{GENAV}$	20403,23						kW
$\Sigma MCR_{ME(i)}$	$\Sigma MCR_{ME(i)}$		29250,00						kW
Term S = $\Sigma MCR_{ME(i)} + \Sigma P_{PTI(i)} / 0.75$	S	$S = \Sigma MCR_{ME(i)} + \Sigma P_{PTI(i)} / 0.75$	56454,30						
Required Auxiliary Engine Power, P _{AE}	P _{AE}	$P_{AE} = 0.025 \times S + 250, S \geq 10000kW$ $P_{AE} = 0.05 \times S, S < 10000kW$	1661,36						kW
STEP 2 - CALCULATION OF TERM A = $\Sigma P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}$									
STEP 2.1a - Calculation of average C _{FME} and SFC _{ME}									
Average Main Eng. Conversion Factor- Fuel Oil to CO ₂	C_{FME}	$\Sigma[P_{ME(i)} \times C_{FME(i)}] / \Sigma P_{ME(i)}$	0,00						t-CO ₂ /t-fuel
Average Main Eng. SFC(corrected) at 75% MCR	SFC_{ME}	$\Sigma[P_{ME(i)} \times SFC_{ME(i)}] / \Sigma P_{ME(i)}$	190,00						g/kWh
STEP 2.1b - Calculation without Shaft Generators									
$\Sigma P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}$		$\Sigma P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}$	11462343,75						
STEP 2.1c - Calculation with Shaft Generators									
$\Sigma P_{ME(i)}$	$\Sigma P_{ME(i)}$	$0.75 \times \Sigma MCR_{ME(i)}$	21937,50						kW
$\Sigma P_{PTOI(i)}$	$\Sigma P_{PTOI(i)}$		22907,61						kW
Required Auxiliary Engine Power, P _{AE}	P _{AE}		1661,36						kW
Shaft power limit	P _{SHAFTLIMIT}		NA						kW
Total Power of Main Engine used for EEDI - Option 1	ΣP_{ME1}	$\Sigma P_{ME(i)} - 0.75 \times \Sigma P_{PTOI(i)},$ $0.75 \times \Sigma P_{PTOI(i)} \leq P_{AE}$	20276,14						kW
Total Power of Main Engine used for EEDI - Option 2	ΣP_{ME2}	$0.75 \times P_{SHAFTLIMIT}$	NA						kW
Final value of Total Main Engine Power used for EEDI	ΣP_{ME}		20276,14						kW
$(\Sigma P_{ME}) \times C_{FME} \times SFC_{ME}$		$(\Sigma P_{ME}) \times C_{FME} \times SFC_{ME}$	0,00						
STEP 2.2 - FINAL VALUE OF TERM A = $\Sigma P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}$									
$A = \Sigma P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}$	A		0,00						

STEP 3 - CALCULATION OF TERM B = $P_{AE} \times C_{FAE} \times SFC_{AE}$									
STEP 3.1 - CALCULATION OF C_{FAE} & SFC_{AE}									
Average Aux. Eng. SFC(corrected) at 75% MCR	SFC_{AE}	$\Sigma[MCR_{AE(i)} \times SFC_{AE(i)}] / \Sigma MCR_{AE(i)}$	215						g/kWh
Average Aux. Eng. Conversion Factor- Fuel Oil to CO ₂	C_{FAE}	$\Sigma[MCR_{AE(i)} \times C_{FAE(i)}] / \Sigma MCR_{AE(i)}$	3,206						t-CO ₂ /t-fuel
STEP 3.2 - CALCULATION OF TERM $P_{AE} \times C_{FAE} \times SFC_{AE}$									
Required Auxiliary Engine Power, P_{AE}	P_{AE}		1661,36						kW
$0.75 \times \Sigma P_{PTO(i)}$	$0.75 \times \Sigma P_{PTO(i)}$		17180,71						kW
$B = P_{AE} \times C_{FAE} \times SFC_{AE}$	B	$P_{AE} \times C_{FME} \times SFC_{ME}$, if $0.75 \times \Sigma P_{PTO(i)} \geq P_{AE}$ $(P_{AE} - 0.75 \times \Sigma P_{PTO(i)}) \times C_{FAE} \times SFC_{AE} + 0.75 \times \Sigma P_{PTO(i)} \times C_{FME} \times SFC_{ME}$ if $0.75 \times \Sigma P_{PTO(i)} < P_{AE}$	0,00						
STEP 4 - CALCULATION OF TERM C = $\Sigma P_{PTI} \times C_{FAE} \times SFC_{AE}$									
Parameter	Symbol	Formula							Unit
$\Sigma P_{PTI(i)}$	$\Sigma P_{PTI(i)}$		20403,23						kW
Average Aux. Eng. SFC(corrected) at 75% MCR	SFC_{AE}		215,00						g/kWh
Average Aux. Eng. Conversion Factor- Fuel Oil to CO ₂	C_{FAE}		3,206						t-CO ₂ /t-fuel
$C = (\Sigma P_{PTI}) \times C_{FAE} \times SFC_{AE}$	C	$(\Sigma P_{PTI}) \times C_{FAE} \times SFC_{AE}$	14063739,52						
STEP 5 - INNOVATIVE TECHNOLOGIES(ELECTRICAL) - CALCULATION OF TERM D = $\Sigma(f_{AEeff} \times P_{AEeff(i)}) \times C_{FAE} \times SFC_{AE}$									
STEP 5.1 - CALCULATION OF $f_{AEeff} \times P_{AEeff(i)}$									
Parameter	Symbol	Formula	Innovative Tech 1	Innovative Tech 2	Innovative Tech 3	Innovative Tech 4	Innovative Tech 5	Innovative Tech 6	Unit
Innovative Technologies - Electrical (Output)	$P_{AEeff(i)}$		NA	NA	NA	NA	NA	NA	kW
Innovative Technologies - Electrical (Availability)	$f_{AEeff(i)}$		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
$f_{AEeff(i)} \times P_{AEeff(i)}$		$(f_{AEeff(i)} \times P_{AEeff(i)})$	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
STEP 5.2 - CALCULATION OF TERM $\Sigma(f_{AEeff} \times P_{AEeff(i)}) \times C_{FAE} \times SFC_{AE}$									
$\Sigma(f_{AEeff} \times P_{AEeff(i)})$		$\Sigma(f_{AEeff} \times P_{AEeff(i)})$	0,00						
Average Aux. Eng. SFC(corrected) at 75% MCR	SFC_{AE}		215						g/kWh
Average Aux. Eng. Conversion Factor- Fuel Oil to CO ₂	C_{FAE}		3,21						t-CO ₂ /t-fuel
$D = \Sigma(f_{AEeff} \times P_{AEeff(i)}) \times C_{FAE} \times SFC_{AE}$	D	$\Sigma(f_{AEeff} \times P_{AEeff(i)}) \times C_{FAE} \times SFC_{AE}$	0,00						
STEP 6 - INNOVATIVE TECHNOLOGIES(PROPULSION) - CALCULATION OF TERM E = $\Sigma(f_{eff} \times P_{eff(i)}) \times C_{FME} \times SFC_{ME}$									
STEP 5.1 - CALCULATION OF $f_{eff} \times P_{eff(i)}$									
Parameter	Symbol	Formula	Innovative Tech 1	Innovative Tech 2	Innovative Tech 3	Innovative Tech 4	Innovative Tech 5	Innovative Tech 6	Unit
Innovative Technologies - Propulsion (Output)	$P_{eff(i)}$		NA	NA	NA	NA	NA	NA	kW
Innovative Technologies - Electrical (Availability)	$f_{eff(i)}$		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
$f_{AEeff(i)} \times P_{AEeff(i)}$		$(f_{AEeff(i)} \times P_{AEeff(i)})$	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
STEP 5.2 - CALCULATION OF TERM $\Sigma(f_{eff} \times P_{eff(i)}) \times C_{FME} \times SFC_{ME}$									
$\Sigma P_{PTI(i)}$	$\Sigma P_{PTI(i)}$		20403,22581						
$\Sigma(f_{eff} \times P_{eff(i)})$		$\Sigma(f_{eff} \times P_{eff(i)})$	0,00						
Average Main Eng. SFC(corrected) at 75% MCR	SFC_{ME}		190,00						g/kWh
Average Main Eng. Conversion Factor- Fuel Oil to CO ₂	C_{FME}		0,00						t-CO ₂ /t-fuel
$C_{FME} \times SFC_{ME}$		$C_{FME} \times SFC_{ME}$	0,00						
Average Aux. Eng. SFC(corrected) at 75% MCR	SFC_{AE}		215,00						g/kWh
Average Aux. Eng. Conversion Factor- Fuel Oil to CO ₂	C_{FAE}		3,21						t-CO ₂ /t-fuel
$C_{FAE} \times SFC_{AE}$		$C_{FAE} \times SFC_{AE}$	689,29						
$C_F \times SFC(Avg)$		$(C_{FAE} \times SFC_{AE} + C_{FME} \times SFC_{ME}) / 2$	344,65						
$E = \Sigma(f_{eff} \times P_{eff(i)}) \times C_{FME} \times SFC_{ME}$	E	$\Sigma(f_{eff} \times P_{eff(i)}) \times C_{FME} \times SFC_{ME}$, if $\Sigma P_{PTI} = 0$, $\Sigma(f_{eff} \times P_{eff(i)}) \times \{C_F \times SFC(Avg)\}$, if $\Sigma P_{PTI} > 0$	0,00						
STEP 7 - CALCULATION OF FACTOR F = Πf_i									
Parameter	Symbol	Formula	Value						Unit
Vessel Type			LNG Carrier						
Ice Class of Vessel			Not Applicable						
Factor f_i for Ice Class Ships	f_i		1,0000	Not Applicable					
Factor $f_{ShuttleTanker}$ for Shuttle Tankers	$f_{ShuttleTanker}$		1,0000						
Factor f_{Ro-Ro} for Ro-Ro Vessels	f_{Ro-Ro}		1,0000	Not Applicable					

STEP 8 - CALCULATION OF TRANSPORT WORK $W = f_i \times f_c \times f_l \times \text{Capacity} \times f_w \times V_{ref}$									
STEP 8.1 - Capacity Correction Factor f_i									
Parameter	Symbol	Formula	Value						Unit
Vessel Type			LNG Carrier						
Ice Class of Vessel			Not Applicable						
Factor f_i for Ice Class Ships	f_i		1,0000	Not Applicable					
Factor f_{IVSE} for Voluntary Structural Enhancements	f_{IVSE}		1,0000	Not Applicable					
Factor f_{ICSR} for Bulkers & Tankers as per CSR	f_{ICSR}		1,0000	Not Applicable					
Applicable value of Capacity Factor	f_i	$f_i \times f_{IVSE} \times f_{ICSR}$	1,0000						
STEP 8.2 - Cubic Capacity Correction Factor f_c									
Parameter	Symbol	Formula	Value						Unit
Vessel Type			LNG Carrier						
Capacity Correction Factor for Chemical Tanker	f_c	Applicable only to Chemical Tanker	NA	Not Applicable					
Capacity Correction Factor for Gas Carriers	f_{cLNG}	Applicable only to Gas Carriers	NA	Not Applicable					
Capacity Correction Factor for Ro-Ro Passenger Vessels	f_{cRoPax}	Applicable only to Ro-Ro Pax Vsls	NA	Not Applicable					
Applicable value of Capacity Correction Factor	f_c		1						
STEP 8.3 - Correction Factor for General Cargo Ships Equipped with Cranes and other Cargo-related Gear f_l									
Parameter	Symbol	Formula	Value						Unit
Vessel Type			LNG Carrier						
Correction Factor f_l for General Cargo Ships Equipped with Cranes and other Cargo-related Gear	f_l	Applicable only to Gen Cargo ships equipped with Cranes and other Cargo-related gear	1,0000	Not Applicable					
STEP 8.4 - Calculation of Capacity									
Parameter	Symbol	Formula	Value						Unit
Vessel Type			LNG Carrier						
Capacity	Capacity	For pass./cruise pass. ships, Capacity = GT For Container ships, Capacity = 70% DWT at SWL For all other ships, Capacity = DWT at SWL	43354						MT
STEP 8.5 - Correction Factor for decrease of speed in representative sea conditions, f_w (Calculated as per MEPC 1 Circ 796)									
Parameter	Symbol	Formula	Value						Unit
Vessel Type			LNG Carrier						
f_w for <i>EEDI_{attained}</i>	f_{w1}		1,0000						
f_w for " <i>attained EEDI_{weather}</i> "	f_{w2}	See MEPC 1 Circ 796 Part 2	1,0000						
STEP 8.6 - Calculation of Total Transport Work									
Parameter	Symbol	Formula	Value						Unit
Total Transport Work for <i>EEDI_{attained}</i>	W	$f_i \times f_c \times f_l \times \text{Capacity} \times f_{w1} \times V_{ref}$	845403,00						
Total Transport Work for " <i>attained EEDI_{weather}</i> "	W _{weather}	$f_i \times f_c \times f_l \times \text{Capacity} \times f_{w2} \times V_{ref}$	845403,00						
STEP 9 - CALCULATION OF Attained EEDI = (F x A + B + F x C - D - E)/W									
Parameter	Symbol	Formula	Value						Unit
Attained Energy Efficiency Design Index (Attained EEDI)	EEDI _{attained}	$EEDI_{attained} = (F \times A + B + F \times C - D - E)/W$	16,6355						
Attained Energy Efficiency Design Index (Attained EEDI) - Weather	attained EEDI _{weather}	$EEDI_{weather} = (F \times A + B + F \times C - D - E)/W_{weather}$	16,6355						

Go Back

Required EEDI = $(1 - X/100) \times a \cdot b^c$, X = Reduction Factor in percent ; a,b & c - See Table 1				
STEP 1 - Parameters a, b & c				
Parameter	Symbol	Formula	Value	Unit
Vessel Type			LNG Carrier	
Deadweight at Summer Load Line	DWT		43354	MT
Gross Tonnage	GT		97871	MT
Value of parameter a	a	See Table 1	2253,7	
Value of parameter b	b	See Table 1	43354	
Value of parameter c	c	See Table 1	0,474	
STEP 2 - Reduction Factor X				
Building Contract Date of the vessel (yyyy-mm-dd)			2013.07.01	
Keel Laying date of the Vessel (yyyy-mm-dd)				
Date of Delivery of the Vessel (yyyy-mm-dd)			2018.05.16	
Applicable Phase (See Table 3)			Phase 0	
Maximum Reduction Factor for LNG Carrier (See Table 2)	X_{max}		0,00	
Actual Reduction Factor Applicable	X		0,00	
STEP 3 - Required EEDI				
Calculated Required EEDI	$EEDI_{required}$	$EEDI = (1 - X/100) \times a \cdot b^c$	14,2871	
Attained EEDI	$EEDI_{attained}$		16,6355	
Attained EEDI(weather)	$attained\ EEDI_{weather}$		16,6355	
Check: Is Attained EEDI < Required EEDI?			No	
Check: Is Attained $EEDI_{weather}$ < Required EEDI?			No	

Table 1 - Factors a,b,c				
Ship	Formula	a	b	c
Bulk Carrier	b = DWT	961,79	43354	0,477
Gas Carrier	b = DWT	1120,2	43354	0,456
Oil Tanker	b = DWT	1218,8	43354	0,488
Chemical Tanker	b = DWT	1218,8	43354	0,488
Container Ship	b = DWT	174,22	43354	0,201
General Cargo Ship	b = DWT	107,48	43354	0,216
Refrigerated Cargo Carrier	b = DWT	227,01	43354	0,244
Combination Carrier	b = DWT	1219	43354	0,488
Ro-Ro Vehicle Carrier	$a = (DWT/GT)^{0.7} \times 780.36$, DWT/GT < 0.3 $(DWT/GT)^{0.7} \times 1812.63$, DWT/GT $\geq$ 0.3 b = DWT	3205,14	43354	0,471
Ro-Ro Cargo Ship	b = DWT	1405,15	43354	0,498
Ro-Ro Passenger Ship	b = DWT	752,16	43354	0,381
LNG Carrier	b = DWT	2253,7	43354	0,474
Passenger ship	b = GT	170,84	97871	0,214
Cruise Passenger ship	b = GT	170,84	97871	0,214