

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

« » 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Удосконалення експлуатації головного двигуна Caterpillar-MAK
12M46DF судна «AIDAperla» в умовах портового застосування

Виконав:

студент групи 61-ТЕМмаг-22з

 Іванов М.Я.
(підпис)

Керівник роботи:

професор кафедри ЕМ, д.т.н., професор

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

 Грицук І.В.
(підпис)

Первомайськ - 2024 р.

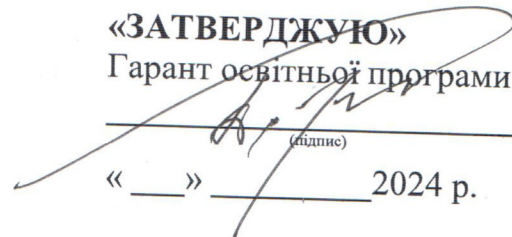
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Факультет - Інженерно-економічний

Кафедра «Енергетичне машинобудування»
Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»
Освітня програма «Технології енергетичного машинобудування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми


(підпис)
« ____ » _____ 2024 р.

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

Студенту Іванову Миколі Яковичу

1. Тема роботи: «Удосконалення експлуатації головного двигуна Caterpillar-МАК 12М46DF судна «AIDAperla» в умовах портового застосування». Керівник роботи Гричук І.В.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 09.09.2024 року за № 52.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедрі 25.11.2023 року.

3. Вихідні данні по роботі: Суднова енергетична установка судна «AIDAperla». Двигун прототип – головний двигун Caterpillar-МАК 12М46DF.

4. Вступ. 1. Загальна характеристика судна та його енергетичної установки. 2. Аналіз досвіду експлуатації газових двигунів судових дизелів. 3. Обґрунтування доцільності модернізації системи подачі газовим паливом судового двигуна 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1. Розташування механізмів у машинно-котельному відділенні судна. 2. Головний судовий двигун МАК 12М46DF. 3. Принципова схема системи живлення двигуна газовим паливом. 4. Подвійний блок подачі газового палива в умовах портового застосування. 5. Результати розрахунку двигуна 12М46DF Caterpillar-МАК при 100% $N_{еп}$

6. Консультанти роботи

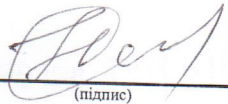
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «09» вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

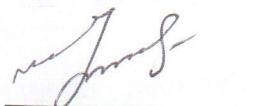
Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Прим.
1	Вступ. Підготовка та проробка літературних джерел	18.09.2024	
2	Написання першого розділу	02.10.2024	
3	Написання другого розділу	16.10.2024	
4	Виконання розрахунків та написання третього розділу	30.10.2024	
5	Підготовка і написання розділу охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях	06.11.2024	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі. Оформлення кваліфікаційної роботи	15.11.2024	

Студент


(підпис)

Іванов М.Я.

Керівник
роботи


(підпис)

Грицук І.В.

Анотація

Під час підготовки та написання магістерської роботи було досліджено основні конструктивні риси сучасного суднового двигуна марки МАК 12M46DF. За результатами аналізу розроблено заходи для покращення подачі газового палива та умов роботи двигуна при його використанні. Було вивчено вплив октанового числа на тепловиділення природного газу, методи визначення метанового числа складових природного газу, особливості експлуатації газових суднових дизелів, а також систему забезпечення газом на судні. Проведено обґрунтування експлуатаційних режимів суднового двигуна, враховано особливості роботи з блоком подачі газового палива, виконано тепловий розрахунок основного суднового дизеля на дизельному і газовому паливі. Розроблено комплекс заходів для забезпечення безпеки персоналу в надзвичайних ситуаціях.

Отримані результати розрахунків дають підстави сподіватися на ефективність запропонованих технічних рішень, що сприяють покращенню характеристик двигуна. Зокрема, модернізація системи подачі газового палива, обумовлена зміною умов експлуатації з портової мережі, забезпечить повноцінну роботу судна під час пасажирських перевезень.

Крім того, використання додаткового блоку подачі газу сприятиме більш стабільній та надійній роботі двигуна на газовому паливі від портової мережі. Це дасть змогу використовувати бортову систему підготовки палива лише для заходу та виходу з порту, а додаткову — для роботи з різними за складом газовими паливами. Такий підхід дозволить зменшити витрати на обслуговування газової системи.

Ключові слова: газовий двигун, шатун, надлишок повітря, розрахунок робочого циклу, індикаторна діаграма, шум, система впрскування.

Abstract

During the preparation and writing of the master's thesis, the main design features of the modern MAK 12M46DF marine engine were investigated. Based on the results of the analysis, measures were developed to improve the supply of gas fuel and the operating conditions of the engine when using it. The influence of the octane number on the heat release of natural gas, methods for determining the methane number of natural gas components, the features of the operation of gas marine diesel engines, as well as the gas supply system on the ship were studied. The operational modes of the marine engine were substantiated, the features of working with the gas fuel supply unit were taken into account, a thermal calculation of the main marine diesel engine on diesel and gas fuel was performed. A set of measures was developed to ensure the safety of personnel in emergency situations.

The obtained calculation results give reason to hope for the effectiveness of the proposed technical solutions that contribute to improving the engine characteristics. In particular, the modernization of the gas fuel supply system, due to changes in operating conditions from the port network, will ensure the full operation of the ship during passenger transportation.

In addition, the use of an additional gas supply unit will contribute to more stable and reliable operation of the engine on gas fuel from the port network. This will allow using the onboard fuel preparation system only for entering and leaving the port, and the additional one for working with gas fuels of different composition. This approach will reduce the cost of servicing the gas system.

Keywords: gas engine, connecting rod, excess air, calculation of the duty cycle, indicator diagram, noise, flushing system.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА ТА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	7
1.1 Основні характеристики судна «AIDAperla»	7
1.2 Основні характеристики судна «AIDAperla»	9
1.3 Морехідні якості	11
1.4 Суднові системи	11
1.5 Пропульсивна система судна	16
1.6 Характеристика суднової енергетичної установки	22
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ДОСВІДУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ	30
2.1 Аналіз передумов використання природного газу в якості суднового палива	30
2.2 Вплив октанового числа на процес тепловиділення природного газу	35
2.3 Методи визначення метанового числа компонентного складу природного газу	36
2.4 Особливості використання СПГ в якості палива на морському транспорті	42
2.5 Особливості суднової системи забезпечення газом	49
2.6 Обґрунтування режимів експлуатації суднового двигуна	53
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ГАЗОВИМ ПАЛИВОМ СУДНОВОГО ДВИГУНА	55
3.1. Особливості застосування блоку газового палива суднового двигуна	55

					ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Іванов В.Я.			Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів		
Перевірів		Грицук І.В.								3	111	
Н. контр.		Грицук І.В.						61-ТЕМ _{маг} -23з				
Затвердив		Чабанов І.І.										

3.2 Розрахунок головного суднового двигуна 12M46DF фірми Caterpillar-МАК при роботі на дизельному і газовому паливі	56
3.3. Підбір і розрахунок елементів блоку газового палива	82

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 92

4.1 Охорона праці	92
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	99

ВИСНОВКИ	107
-----------------------	-----

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	108
--------------------------------	-----

ДОДАТКИ	111
----------------------	-----

1. Розташування механізмів у машинно-котельному відділенні судна
2. Головний судновий двигун МАК 12M46DF
3. Принципова схема системи живлення двигуна газовим паливом
4. Подвійний блок подачі газового палива в умовах портового застосування
5. Результати розрахунку двигуна 12M46DF Caterpillar-МАК \при 100% N_{еп}

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										4

ВСТУП

Транспорт є важливим елементом сучасного суспільства. Його стан і розвиток залежать від можливості постачання енергетичних установок транспортних засобів необхідним паливом. Виснаження запасів рідких вуглеводневих палив і екологічні проблеми створюють для людства дилему: або зменшити обсяги транспортних перевезень, або знайти нові джерела енергії для транспорту.

Можливості вирішення паливної проблеми транспорту, де основною енергетичною установкою є двигун внутрішнього згоряння, пов'язані з використанням газових видів палива, передусім природного газу, запаси якого значно більші, ніж нафти, а в майбутньому — водню. Це вимагає більш активних досліджень і розробок в галузі конструкції та тестування газових двигунів. Поточні методи, що передбачають конверсію традиційних двигунів, що працюють на рідкому паливі, для використання газу, не завжди дозволяють максимально ефективно використовувати потенціал газових видів палива. Найбільш перспективним підходом є комплексна оптимізація, яка охоплює проектування і налаштування систем подачі повітря та палива, а також підбір складу робочих сумішей для різних режимів роботи, що дозволяють досягти найкращих показників економічності та зменшення токсичності відпрацьованих газів.

Розробка та вдосконалення двигунів, що працюють на альтернативних паливах, пов'язані з великими труднощами через відсутність досвідчених даних, що зазвичай використовуються при дослідженнях з традиційними видами палива. Ці труднощі можуть бути подолані через застосування математичного моделювання. Оскільки заміна палива може значно змінити процеси, що відбуваються в двигуні, точне прогнозування застосування нових видів палива і відповідних змін конструкції та параметрів налаштування потребує комплексного підходу, який включає в себе розрахунок всіх основних явищ в двигуні. Особливу увагу слід приділити процесам

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
Арк				
5				

сумішоутворення, згоряння та утворення токсичних компонентів відпрацьованих газів. У зв'язку з цим ставиться наступне завдання.

Мета дипломного проекту: розробити комплекс заходів для удосконалення експлуатації головного двигуна Caterpillar-МАК 12М46DF судна «AIDAperla» в умовах портового застосування.

Задачі що вирішуються у дипломному проекті:

1. Аналіз стану проблеми удосконалення експлуатації головного двигуна Caterpillar-МАК 12М46DF судна «AIDAperla» в умовах портового застосування.

2. Проведення аналізу для вибору найбільш ефективних методів удосконалення суднових систем подачі газового палива.

3. Розроблення технічних рішень та розрахункова перевірка їх ефективності експлуатації, визначення шляхів втілення запропонованих рішень.

4. Розробка заходів з техніки безпеки при виконанні робіт та екологічної безпеки судна.

Об'єкт дослідження – головний судновий двигун – дизель Caterpillar-МАК 12М46DF судна «AIDAperla» в умовах портового застосування.

Апробація результатів дослідження – автор прийняв участь в Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасне автомобілебудування, автотехнічна експертиза, експлуатація автомобільного транспорту та підготовка фахівців галузі транспорт", яка проводилася Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом (м. Харків) 22-23 жовтня 2024 р. з доповіддю «Особливості функціонування системи теплової підготовки на основі багатосекційного фазоперехідного акумулятора в процесах забезпечення оперативної готовності енергетичної установки портового буксиру» [23].

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата

										Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						6

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА ТА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Загальні відомості про судно

1.1.1 Тип судна

Судно «AIDAperla» (IMO 9636967) - пасажирське (тип судна - 132 - Passenger ship, MMSI-номер: 247385300) сучасне та достатньо екологічне судно, побудоване на суднобудівній верфі MHI NAGASAKI SHIPYARD & ENGINE WORKS - Nagasaki, Japan, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Nagasaki Shipyard & Machinery Works (Mitsubishi Heavy Industries) 14 березня 2015 року (номер проекту корпусу 2300). Судно було доставлене і передано власнику 07 травня 2016 р. Costa Crociere S.p.A. (145624) (Номер ІМО: 0196718) і відповідає всім сучасним стандартам ІМО з безпеки і надійності проведення пасажирів [1 - 3].

«AIDAperla» обладнали розробленою МНІ системою зниження тертя корпусу об воду – Mitsubishi Air Lubrication System (MALS), яка забезпечує скорочення споживання палива та, відповідно, шкідливих викидів, на 7 % [1 - 3]. Іншою спрямованою на зменшення впливу на довкілля новацією стало використання ЗПГ для виробництва електроенергії під час стоянок, коли не працюють основні двигуни. Всього на судні встановлено три головні двигуни MaK 12V M43C та один двопаливний MaK M46DF. В рамках захисту навколишнього середовища на нових судах компанія «AIDA Cruises» буде використовувати два види палива для двигунів, і застосувала систему фільтрації вихлопних газів, яка здатна розпізнати всі частинки сажі, оксидів азоту і оксидів сірки. Судно має півбак, трюми, каюти для перевезення пасажирів, та баластні танки з водою, подвійна обшивка борту відводиться на паливні танки, з подвійним дном і подвійними бортами, щоб зменшити ризик

Підп. і дата	Інв. № дубл.	Взам. інв. №	Підп. і дата	Інв. № подл.	«AIDAperla» обладнали розробленою МНІ системою зниження тертя корпусу об воду – Mitsubishi Air Lubrication System (MALS), яка забезпечує скорочення споживання палива та, відповідно, шкідливих викидів, на 7 % [1 - 3]. Іншою спрямованою на зменшення впливу на довкілля новацією стало використання ЗПГ для виробництва електроенергії під час стоянок, коли не працюють основні двигуни. Всього на судні встановлено три головні двигуни MaK 12V M43C та один двопаливний MaK M46DF. В рамках захисту навколишнього середовища на нових судах компанія «AIDA Cruises» буде використовувати два види палива для двигунів, і застосувала систему фільтрації вихлопних газів, яка здатна розпізнати всі частинки сажі, оксидів азоту і оксидів сірки. Судно має півбак, трюми, каюти для перевезення пасажирів, та баластні танки з водою, подвійна обшивка борту відводиться на паливні танки, з подвійним дном і подвійними бортами, щоб зменшити ризик	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	7

витоку мазуту відповідно до останніх нормативно правових актів МАРПОЛ. Судно складається з бака і юта, транцевої корми, з кормовим розташуванням машинного відділення, житлових приміщень для пасажирів [1 - 3].

Автономність плавання за запасами сухої провізії становить 75 діб, за запасами палива, води та масла складає - 55 діб. В різні роки судно мало такі назви: AIDAPY FAST (2018, Italy), AIDAPPBHMP (2018, Italy), AIDAPP (2018, Italy), AIDAPPD (2018, Italy) [1 - 3].

1.1.2 Призначення судна

«AIDAprera» - пасажирське судно (Passenger vessel) - спеціалізоване судно тільки для пасажирських перевезень (рис. 1.1). Судно вміщує 5300 пасажирів, в тому числі відпочиваючих пасажирів – 4350 осіб і 950 членів екіпажу [1 - 3]. «AIDAprera» - перший круїзний лайнер, оснащений двопаливними двигунами, які можуть працювати на СПГ при стоянці в порту. Влітку судно виконує тижневі круїзи з Кіля. Взимку - по Перській затоці з посадкою в Дубай і Абу-Дабі [1 - 3].



Рисунок 1.1. - Загальний вигляд пасажирського судна «AIDAprera» [1 - 3]

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
						8

1.1.3 Клас судна

Клас судна згідно - 100 A5 Passenger ship BWM (D2) ERS IW і MC AUT EP-D RP(3, 50%) [1 - 3].

Судно працює під прапором Італії, порт реєстрації Genova. Район плавання судна – необмежений [1 - 3].

1.2 Основні характеристики судна «AIDAperla»

1.2.1 Розмірення судна

Основні розмірення судна «AIDAperla» наведені в табл. 1.1. На судні передбачені цистерни суднових запасів, які забезпечують прийом палива і мастила для забезпечення дальності плавання 11 000 морських миль.

Загальна схема судна наведена на рис.1.2 [1 - 3].

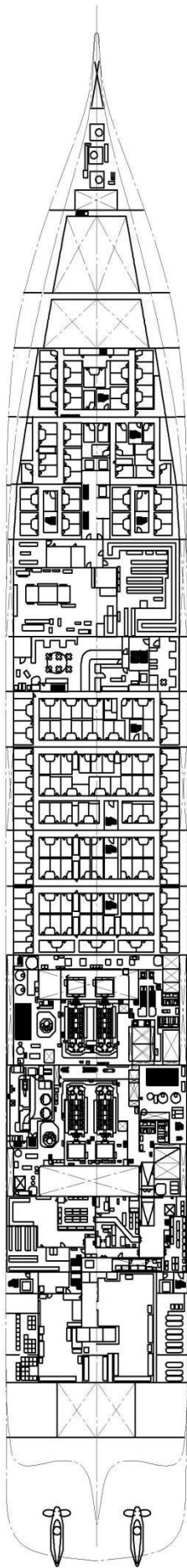
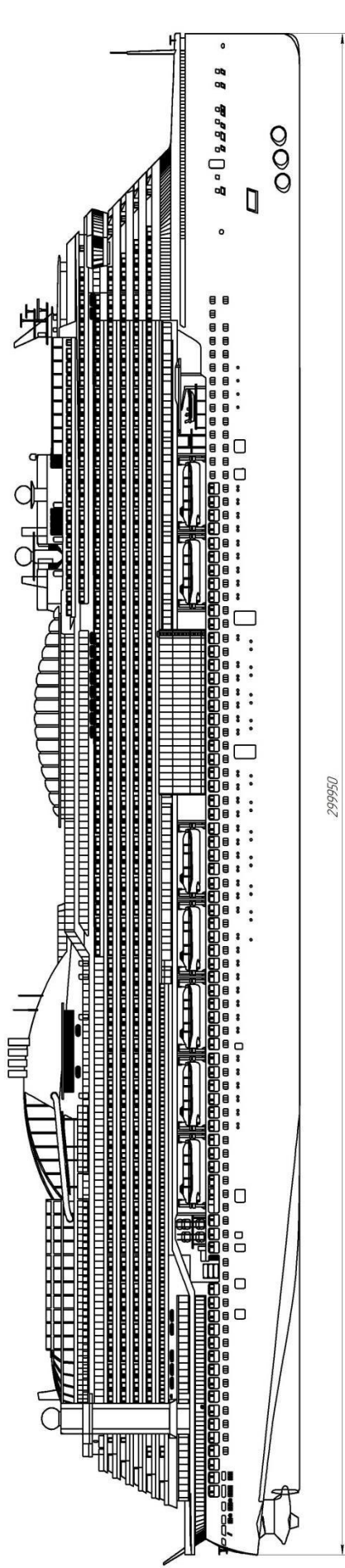
Таблиця 1.1 – Основні розмірення судна [1 - 3]

Параметр	Значення
Загальна довжина, м	299,95 (300,00)
Довжина між перпендикулярами, м	290,90
Ширина, м	37,6
Висота по переборній палубі, м	11,4
Осадка судна, м	8,3
Кількість палуб	17
Дедвейт судна, т	9200
Валова місткість, т	125572
Швидкість судна, вузла	21,8 (14)
Прапор	Італія

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПІННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
						9
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата



Основні відомості про судно

IMO number	9636967
UNV GL id	G117144
MMSI number	247385300
Назва судна	AIDAregia
Попередні назви	MITSUBISHI NAGASAKI
Тип судна	132 - Passenger ship
Флаг	Italy
Рік побудови	2017
Builder	MHI NAGASAKI SHIPYARD & ENGINE WORKS
Class society	- NAGASAKI JAPAN
Home port	GERMANISCHER LLOYD
Owner	GENOVA
Manager	COSTA CROCIERE - GENOVA, ITALY
	AIDA CRUISES - ROSTOCK, GERMANY

Основні характеристики судна

Довжина найбільша	299.95 м
Довжина за перпендикулярами	290.9 м
Ширина	37.65 м
Максимальна швидкість	21.8 кп
Осадка проектна	8.25 м
Дедвейт проектний	9200 т
Валовий тонаж	125572 т
Висота на передній палубі	14, 13

Основні характеристики СЕУ

Тип ГД	Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG
Дизель-генератор	3 x 12M43C
Потужність	12000 кВт
Дизель-генератор	1 x 12M46DF
Потужність	12000 кВт
Підрулюючеє устройство (наст.)	2
Аварійне джерело електроенергії - дизель -генератор	Caterpillar, Inc. зсчсд

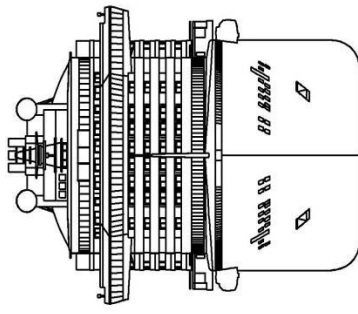


Рисунок 1.2. – Загальний вигляд судна «AIDAregia» [1 - 3]

1.3 Морехідні якості

Швидкість судна при повному завантаженні, посадці на рівний кіль та осадці 8,3 метра на глибокій воді за умов хвилювання не більше двох балів та вітрі не більше трьох балів за шкалою Бофорта, при чистому корпусі та потужності головних двигунів, що складає 85% від максимальної, становить приблизно 21,8 вузлів. Період хитавиці судна при будь-якому режимі завантаження забезпечується в межах 11–20 секунд. Остійну характеристику судна в усіх умовах експлуатації відповідають вимогам морського реєстру для суден необмеженого району плавання. Для покращення маневреності судна на малих швидкостях в обмежених просторах, а також при швартуванні до причалу, на судні встановлено три носові підрулюючі пристрої типу гвинт в трубі потужністю 1460 кВт кожен [1 - 3].

1.4 Суднові системи

Для забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов праці та відпочинку екіпажу, судно оснащено наступними системами: паровим опаленням; системою постачання прісної води, яка виробляє 2500 тонн на добу [1]; системою стічних та господарсько-побутових вод; холодильним обладнанням для зберігання провізії; системою кондиціонування повітря та вентиляції судна. Всі житлові приміщення, кают-компанія, санвузли, їдальня та інші зони обладнані швидкісною системою кондиціонування, що дозволяє індивідуально регулювати температуру в кожному приміщенні [1 - 3].

1.4.1 Система генерації пари

Парове опалення використовується в господарських, санітарних та побутових приміщеннях судна, що не обслуговуються системою кондиціонування. Парогенератор складається з двох систем тиску: одна для високого тиску (9 бар), інша – для низького (4 бар). Допоміжний котел №1

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					
					ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				Арк
									11

FMB-VF Saacke є вертикальним, циліндричним масляно-газовим котлом примусового тяги, потужністю 4600 кг/год (за умов подачі води при температурі 60 °C і максимальному випаровуванні), оснащений пальником SKVG 60. Допоміжний котел №2 FMB-VF Saacke має аналогічні характеристики: вертикальний, циліндричний, масляний котел витяжного типу з такою ж потужністю та пальником SKVG 60 [1 - 3]. Загальний вигляд установки представлений на рис. 1.3.



а)



б)

Рисунок 1.3 – Загальний вигляд пальника допоміжного котла №1 FMB-VF Saacke на паливі NG-HFO-MGO (а); системи подачі води в бойлер (б) [1 - 3]

Дві системи в MFZ4 та MFZ5 побудовані надмірно та повністю ізольовані одна від одної. Між котлами прокладена з'єднувальна труба з ізоляційними клапанами, яка дозволяє з'єднати їх у разі необхідності, за винятком конденсатора для зливу надлишкового пари, що знаходиться лише в MFZ4 (відсік 12, головне переднє машинне відділення). Допоміжний котел №1 має дуельний тип палива (мазут та природний газ), і розташований у передній частині машинного відділення, відсік 12. Допоміжний котел №2, що працює на мазуті, знаходиться в кормовій частині машинного відділення, відсік 14. Також встановлено кілька типів економайзерів для вихлопних газів HP та LP, які розміщені в MFZ4 та MFZ5. Обидва допоміжні барабани котла призначені для використання як парові сепаратори для економайзера вихлопних газів HP [1 - 3].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										12
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

У портовому режимі зазвичай працює хоча б один дизель-генератор, що забезпечує можливість генерувати пар через пов'язаний економайзер вихлопних газів. Однак цього може бути недостатньо для повного задоволення потреб у парі, тому, як правило, хоча б один основний котел працює [1 - 3].

1.4.2 Система кондиціонування та вентиляції повітря

У пасажирських та службових приміщеннях судна передбачена як штучна, так і природна вентиляція для забезпечення необхідного повітрообміну згідно з санітарними нормами. Всі житлові приміщення, кают-компанія, стернова та штурманська рубка обладнані системою кондиціонування повітря з можливістю індивідуального регулювання температури. Влітку в житлових приміщеннях температура повітря не повинна перевищувати 23°C, а в службових приміщеннях — 24°C при розрахунковій температурі 35°C за бортом [1 - 3].

1.4.3 Система побутового водопостачання

На судні є системи забортної води та прісної води з централізованим гарячим водопостачанням. Запас прісної води (приблизно 3500 тонн) зберігається в цистернах, розташованих у трюмі. Вода надходить з берегового джерела або закачуються з водо-опріснювальної установки. Вода очищується та знезаражується озоном в установці ультрафільтрації ENWA BIN-X, яка забезпечує бактеріологічну безпеку для пиття [1 - 3]. Система забортної води обслуговується агрегатом, що складається з електричних насосів MDVC Naniwa Pump Mfg.Co. Ltd, модель FBWV-350, продуктивністю 760 м³/год, а також ежекторного насоса FWG тієї ж компанії, модель FBWV-450, продуктивністю 1250 м³/год. Вода використовується для промивання стічних цистерн, прибирання приміщень та живлення опріснювальної установки Hitachi Appliances типу HAU-CL600EXE2TM низького тиску продуктивністю 270 м³ на добу [1 - 3].

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
Арк				
13				

1.4.4 Пожежні системи

Для забезпечення пожежної безпеки на судні передбачені наступні системи:

Водяна пожежна система, яка забезпечує подачу води до гідрантів, систем гасіння піною, а також до ежектора системи осушення і очищення баластних танків. Система обслуговується 12/6 пожежними відцентровими електронасосами фірми Minimax, моделлю Pump unit 5+1 потужністю 2 x 222 кВт і 2 x 180 кВт, із максимальною продуктивністю 110 м³/год при напорі 5 МПа. Насоси розташовані в машинно-котельному відділенні. Система водяного туману застосовується для гасіння пожеж шляхом впорскування дрібнодисперсного водяного туману в приміщення і відсіки для розміщення обладнання [1 - 3].

Система вуглекислотного гасіння застосовується для ліквідації пожеж у машинному відділенні, вантажних трюмах і приміщеннях аварійного дизель-генератора. Для спеціалізованих відділень машинного приміщення та приміщень середньої напруги передбачено фіксоване пожежогасіння CO₂. Для системи машинного відділення передбачено два комплекти CO₂ для забезпечення резерву. Кількість балонів з CO₂ у кожній кімнаті розрахована на гасіння пожежі в найбільших приміщеннях [1 - 3].

Система піногасіння є основним засобом гасіння пожеж на судні. Зазвичай на судні є дві станції піногасіння: основна — на кормі і аварійна — в надбудові бака. Для гасіння пожежі на відкритих палубах судно обладнане лафетними повітряно-пінними стволами, які встановлюються на палубі надбудов. Лафетні стволи здатні подавати струмінь піни довжиною понад 50 метрів.

Судно також оснащено системою виявлення і сигналізації диму виробництва компанії Danfoss/Semco, моделлю Scantec ST-990, яка використовується для виявлення диму (SDS) у вантажних трюмах і на палубі за допомогою спеціальних димових сповіщувачів — Smoke Detector Fan

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
						14
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Exhaust — Mooring Deck. Система також контролює і може направляти CO₂ у трюми при необхідності [1 - 3].

Система об'ємного хімічного гасіння групи приміщень передбачає блок автоматичного набору балонів з вогнегасною рідиною для кожного відсіку, а також блок управління для послідовного підриву піропатронів.

Ця система забезпечує постійний контроль і сигналізацію стану піропатронів шляхом контролю струму, що протікає через нитки піропатронів під час пожежогасіння [1 - 3].

1.4.5 Баластна система

Баластна система призначена для переміщення та видалення води з баластних резервуарів судна. Вона дозволяє заповнювати та зливати морську воду з внутрішніх танків, що необхідно для підтримання стабільності судна і контролю за його положенням на воді [1 - 3].

На палубі 0 розташований один основний баластний танк, який з'єднаний з аварійним і основним баластними насосами. Останні мають дві точки розряду: звичайну в FZ6 і передню аварійну в FZ1 (рис. 1.5). Також насос для зняття баласту в FZ5 підключений до основної лінії баласту і використовується для очищення цистерн [1 - 3].

У разі необхідності він може виконувати резервну роль для основних баластних насосів. Аварійний насос може служити резервом для охолодження морської води в аварійному чилері [1 - 3].

Система включає: трюмовий насос FBSV (тип MDVC) від Naniwa Pump Mfg. Co. Ltd потужністю 300 м³/год при 3 бар і двигуном потужністю 45 кВт, 1482 об/хв; аварійний гвинтовий насос FBSV-250 (тип MDVC) від Naniwa Pump Mfg. Co. Ltd такої ж потужності; насос для закачування/зняття баласту NDP-80-BSN Yamada Corporation, пневматичний діафрагменного типу потужністю 25 м³/год [1 - 3].

Інв.№ подп.	Підп. і дата				Інв.№ дубл.	Підп. і дата				Інв.№ дубл.

з'єднаний з аварійним і основним баластними насосами. Останні мають дві точки розряду: звичайну в FZ6 і передню аварійну в FZ1 (рис. 1.5). Також насос для зняття баласту в FZ5 підключений до основної лінії баласту і використовується для очищення цистерн [1 - 3].

У разі необхідності він може виконувати резервну роль для основних баластних насосів. Аварійний насос може служити резервом для охолодження морської води в аварійному чилері [1 - 3].

Система включає: трюмовий насос FBSV (тип MDVC) від Naniwa Pump Mfg. Co. Ltd потужністю 300 м³/год при 3 бар і двигуном потужністю 45 кВт, 1482 об/хв; аварійний гвинтовий насос FBSV-250 (тип MDVC) від Naniwa Pump Mfg. Co. Ltd такої ж потужності; насос для закачування/зняття баласту NDP-80-BSN Yamada Corporation, пневматичний діафрагменного типу потужністю 25 м³/год [1 - 3].

					ІННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		15

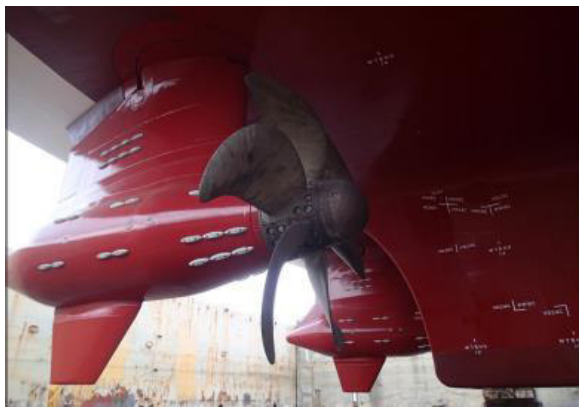
1.5 Пропульсивна система судна

Судно має дві основні системи приводу: аzipодний і тяговий приводи [1 - 3].

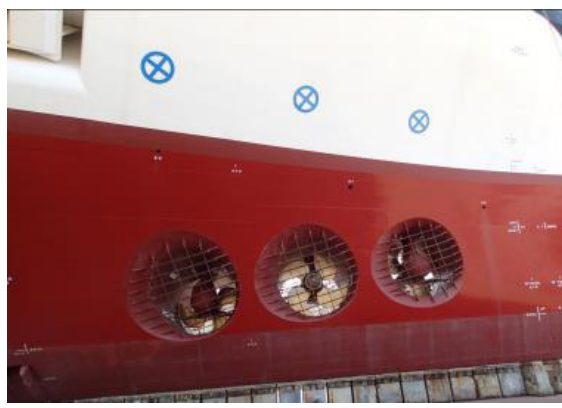
Аzipодний привід є основною рушійною системою. Він поєднує електродвигуни та гвинти з рулями в єдиний блок, який підвішений на кормі судна (рис. 1.4 а) [1 - 3].

Тяговий привід служить для допомоги основній системі при маневруванні на малих швидкостях, зазвичай під час швартування або прив'язки. Він складається з трьох гвинтів, встановлених у тунелях на носі судна, які приводяться в рух електродвигунами, розташованими всередині (рис. 1.4 б) [1 - 3].

Електрична енергія для основної рушійної системи та гвинтів подається від загальної електричної мережі судна через головні розподільчі щити 11 000 В, які також забезпечують інші електричні потреби судна [1 - 3].



а)



б)

Рисунок 1.4 – Складові пропульсивної системи судна: аzipоди (а) і рушії (б)

Основна система рушії складається з чотирьох приводів перетворювачів частоти, які постачають різні частоти живлення від основної мережі до двох синхронних електродвигунів. Перетворювачі частоти для приводів А і В з'єднані через силові трансформатори, що забезпечують перетворення напруги в основному розподільчому щиті з 11000 В до 1690 В. Двигуни мають

Інв. № подп.	Підп. і дата				Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Взам. інв. №											
Підп. і дата											
Інв. № подп.											
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк	
										16	



а)



б)

Рисунок 1.4 – Складові пропульсивної системи судна: аzipоди (а) і рушії (б)

Основна система рушії складається з чотирьох приводів перетворювачів частоти, які постачають різні частоти живлення від основної мережі до двох синхронних електродвигунів. Перетворювачі частоти для приводів А і В з'єднані через силові трансформатори, що забезпечують перетворення напруги в основному розподільчому щиті з 11000 В до 1690 В. Двигуни мають

потужність 14 МВт і встановлені в підвішених азимутуючих рушіях, відомих як «азіподи». Двигуни безпосередньо з'єднані з гвинтовими валами і нерухомими гвинтами. Кожен двигун є двомоторним і містить дві трифазні обмотки, які позначаються як «напівсигнальні» двигуни в системі. Перетворювачі частоти дозволяють працювати в «чотирьох квадрантах», що дає можливість запускати і гальмувати двигун в будь-якому напрямку [1 - 3].

Система приведення в рух кожного валу складається з двох силових трансформаторів, підключених до основного 11кВ розподільчого щита (MSB-MV); двох приводів перетворювачів частоти А і В; одного синхронного безщіткового електродвигуна з двома окремими обмотками; двох трансформаторів збудження (робочий і резервний); системи збудження та системи управління [1 - 3].

1.5.1 Гвинто-рульові колонки

Гвинто-рульова колонка (рис.1.4 а) — це пристрій для забезпечення маневрування, зміни курсу і утримання судна на заданому напрямку [1 - 3].

На судні встановлено дві гвинто-рульові колонки фірми АВВ, призначені для азимутації та електричного приводу. Потужність двигуна азіпода становить 2 x 7 МВт (14 МВт/Под), забезпечуючи швидкість обертання 120 об/хв. Дві азимутіві гвинто-рульові колонки відповідають за рух і управління судном. Обидві колонки однакові і складаються з внутрішньої частини, яка знаходиться в корпусі судна, і підвісної частини, що включає корпус азіподу, двигун привідного гвинта, вал, ущільнювачі та гвинти [1 - 3].

Стерно, стернова машина та елементи управління складають кермовий пристрій судна. Стерновий електропривод дозволяє змінювати положення стерна, його зупинку, реверсування і регулювання швидкості. На судні встановлені два навпіл балансирні, підвісні стерна профілю НАСА площею 60,078 м². Стернова машина фірми Yoowon-Mitsubishi, модель YDFT-475-4 x 2 з крутним моментом 5 394 кН/м при 35°, забезпечує перекладання стерна при

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						17

повному передньому ході за 28 секунд при роботі одного насосного агрегату з 35° одного борту на 30° іншого борту [1 - 3].

Керування стерною машиною може здійснюватися дистанційно, авторульовим з навігаційної рубки або вручну — з румпельного приміщення та приміщення аварійного насоса стернової машини. У румпельному приміщенні є стаціонарна цистерна з маслом для заправки гідросистеми стернового приводу. Система управління стерною машиною оснащена електричними обмежувачами повороту пера руля, а також механічними обмеженнями в конструкції пера стернової машини [1 - 3].

1.5.2 Рушії

Для покращення маневреності на низьких швидкостях та при швартуванні на судні встановлюються два тунельні підрулюючі рушії, які розташовані в носовій частині (див. рис. 1.4 б). Основне призначення цих рушіїв — підвищити маневреність судна при роботі на малих швидкостях або в обмежених просторах, а також утримувати судно в заданому положенні при впливі бічного вітру на стоянці або рейді, а також забезпечувати його переміщення під час швартових операцій. Три тунельні рушії фірми Brunvoll AS встановлені в носовій частині судна. Внутрішній діаметр тунелю складає 3054 мм, а швидкість обертання пропелера — 214 об/хв. Пропелери мають три лопаті, а коефіцієнт передачі — 12/42. Рушії обладнані еластичною муфтою Revolex KX-D 215 для з'єднання з тягою або двигуном. Для управління рушієм застосована сервосистема ВРА PV7 40-71 потужністю 3 x 690 В, 7,5 кВт. В системі рушія використовується електродвигун фірми АВВ, призначений для безперервної роботи (тип S1). Двигун має вертикальне кріплення, напругу 11 000 В, швидкість 739 об/хв і потужність 3000 кВт. У двигуні використовується кульковий підшипник, а також є нагрівач на 230 В потужністю 470 Вт [1 - 3].

Тунельні тяги створюють бічну тягу, яка необхідна для маневрування на низьких швидкостях та для точного позиціонування. Сила бічного поштовху і

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ

Арк
18

момент повороту тунельного рушія залежать від форми корпусу, швидкості судна та занурення корпусу [1 - 3].

Експлуатація тунельного рушія при підвищених швидкостях (понад 5...7 вузлів) може призвести до різких змін навантаження. Тому на таких швидкостях рушії не повинні працювати в максимальному режимі, щоб уникнути перевантажень. Також механізм не повинен працювати на повну потужність за несприятливих погодних умов, коли існує ймовірність всмоктування повітря в систему [1 - 3].

1.5.3 Якірний пристрій

Судно обладнане двома якорями типу «Висока потужність утримування» масою по 14100 кг кожен. Якірні ланцюги для станових якорів — електрозварні, з підвищеною міцністю та розпіркою з сталі 3 класу, діаметром 107 мм. Довжина ланцюгів складає 385 м для правого борту та 358 м для лівого. Ланцюги зберігаються в спеціальних ящиках, що забезпечують їх автоматичне укладання. Підйом і віддача якорів здійснюються за допомогою гідравлічних лебідок, що забезпечують швидкість підйому якоря з глибини до 110 м. Управління якірними механізмами може здійснюватися вручну або дистанційно з рульової рубки, а гальмування лебідок — ручне або дистанційне. Для стоянки на якорях передбачені стопори для якорних ланцюгів [1 - 3].

1.5.4 Швартовий та буксирний пристрої

Судно обладнане двома електричними лебідками, які встановлені разом з причальними лебідками, а також чотири швартовими лебідками на передній причальній палубі та п'ятьма швартовими лебідками на кормовій швартовій палубі. Електричні пускові панелі і гідравлічний силовий агрегат для передніх вітрових стекол і лебідки розміщені в приміщенні для спорядження причалу, що знаходиться на передньому борту на палубі 5. Пускові панелі лебідок розташовані в приміщенні для обладнання причалу і бортового спорядження

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						19

на палубі 4 зліва. Лебідки можуть працювати як в ручному, так і в автоматичному режимі. Автоматично вони підтягують судно до причалу, усуваючи слабіну тросу, або ж розслабляють занадто натягнутий трос при зміні положення судна щодо причалу під час вантажних операцій. Загальна схема розташування швартових лебідок представлена на рис. 1.5 [1 - 3].

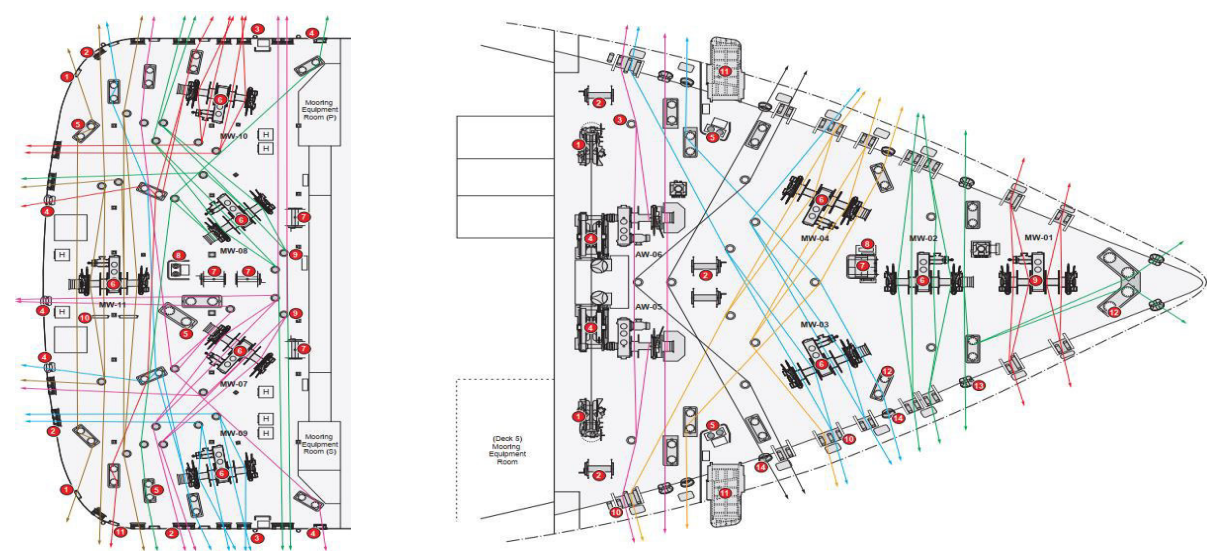


Рисунок 1.5 – Схема розміщення швартових лебідок

На судні також є швартові кнехти та троси (канати). Швартові троси фіксуються на кнехтах шляхом накладення ряду шлагів у вигляді вісімки, при цьому ходовий кінець троса розташовується зверху. Для того, щоб пропускати швартові троси з судна на берег, використовуються універсальні клюзи з поворотною обоймою та роульсами. Ці клюзи забезпечують захист троса від перетирання. Швартовні та буксирні лебідки оснащені такими канатами, як показано на рис. 1.6: швартовні нейлонові канати: 10 одиниць; D = 75 мм, L кожного 210 м; матеріал — синтетичний; розривне зусилля 570 кН; буксирний трос: 1 одиниця; D = 65 мм; L = 280 м; матеріал — сталь; розривне зусилля 1690 кН, зберігається в носовій тросовій коморі.

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата



а)

б)

Рисунок 1.6 – Швартові лебідки (а) в причальному приміщенні (б) [1 - 3]

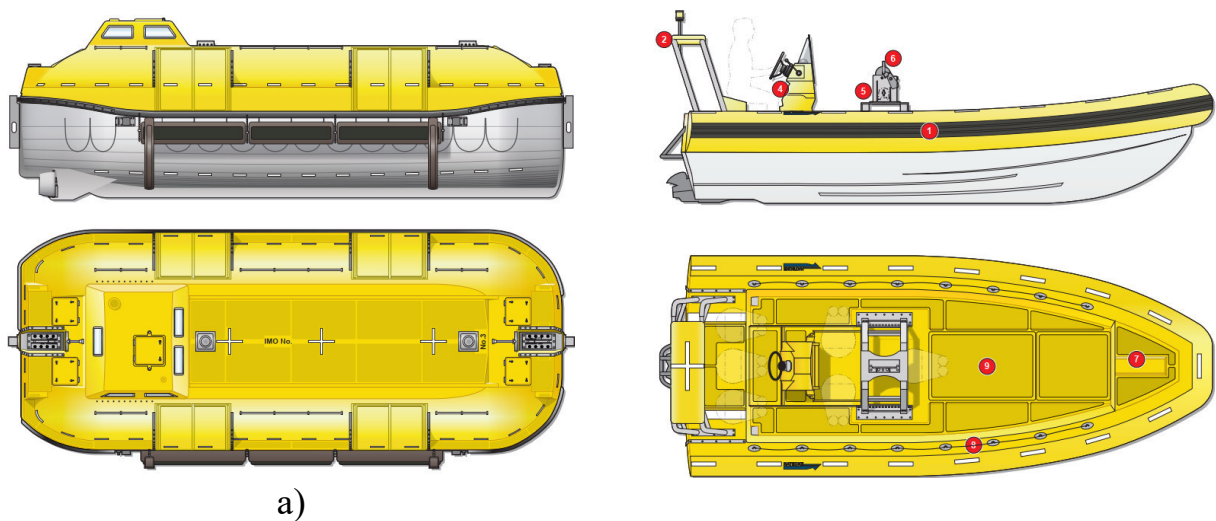
1.5.5 Рятувальне та шлюпочне обладнання

Корабель «AIDAperla» оснащений індивідуальними засобами порятунку та обладнанням, що відповідає вимогам СОЛАС та кодексу LSA. До складу цього оснащення входять рятувальні круги, морські рятувальні жилети, гідротермо костюми, страховочні жилети, засоби індивідуального захисту шкірних покривів та судові аптечки. На борту судна встановлено 14 моторних рятувальних шлюпок (PEL 12.5, Hatecke) (рис. 1.7 а), 18/2 евакуаційних систем (Viking 100DKS, тип SOLAS A pack) і 2 швидкісні рятувальні човни (рис. 1.7 б), кожен з яких має місткість на 34 особи і виготовлений компанією Hatecke. Вони оснащені дизельними двигунами Nanni Kubota з електричним стартером та двома акумуляторами для запуску. Загальне забезпечення евакуації в шлюпках становить 4382 (82,7%) пасажирів, а в евакуаційних засобах — 1010 (19,1%) пасажирів відповідно [1 - 3]

Рятувальні човни мають розміри L 13,41 м х В 5,42 м х D 4,19 м, оснащені трьох- і чотирициліндровими дизелями Nanni Kubota потужністю 2 х 29 к.с. та 2 х 39 к.с. відповідно. Виготовлені з поліестеру, армованого скловолокном (ВРП), вони можуть розвивати швидкість понад 6 вузлів. Швидкі рятувальні катери: FRB 650 IB FF, Hatecke, розміри L 6,72 м х В 2,60 м, оснащені дизельними двигунами Bukh Steyr потужністю 236 к.с., мають місткість до 15 осіб і здатні розвивати швидкість до 30 вузлів (6 осіб). Ці

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										21
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

катори спеціально призначені для пошуково-рятувальних робіт, буксирування та забезпечення евакуаційних шляхів [1 - 3].



а)
Рисунок 1.7 - Рятувальна шлюпка (а) і рятувальний швидкісний човен (б) фірми Hateske

Рятувальні плоти Viking 100 DKS, SOLAS A pack може вміщувати по 101 людині для набору з 3-х плотів. Рятувальні плоти на 18 осіб і на 101 особу зберігаються на стелажах для розгортання на палубах 6 і 7 з кожного боку судна. Вони розташовані одразу перед Морськими системами евакуації (МНС). Вони розроблені для використання спільно з системами евакуації. Усі рятувальні планки побудовані з двомісними камерами плавучості, одна над одною [1 - 3].

1.6 Характеристика суднової енергетичної установки

1.6.1 Головна енергетична установка

Судно оснащено (рис. 1.8) трьома звичайними морськими дизельними двигунами та одним подвійним паливним двигуном (№2), який може працювати на важкому, дизельному паливі (MGO) та природному газі (NG), щоб забезпечити енергію для судна, перебуваючи в порту, коли забезпечений підхід до доступних берегових споруд [1 - 3].

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
	22

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

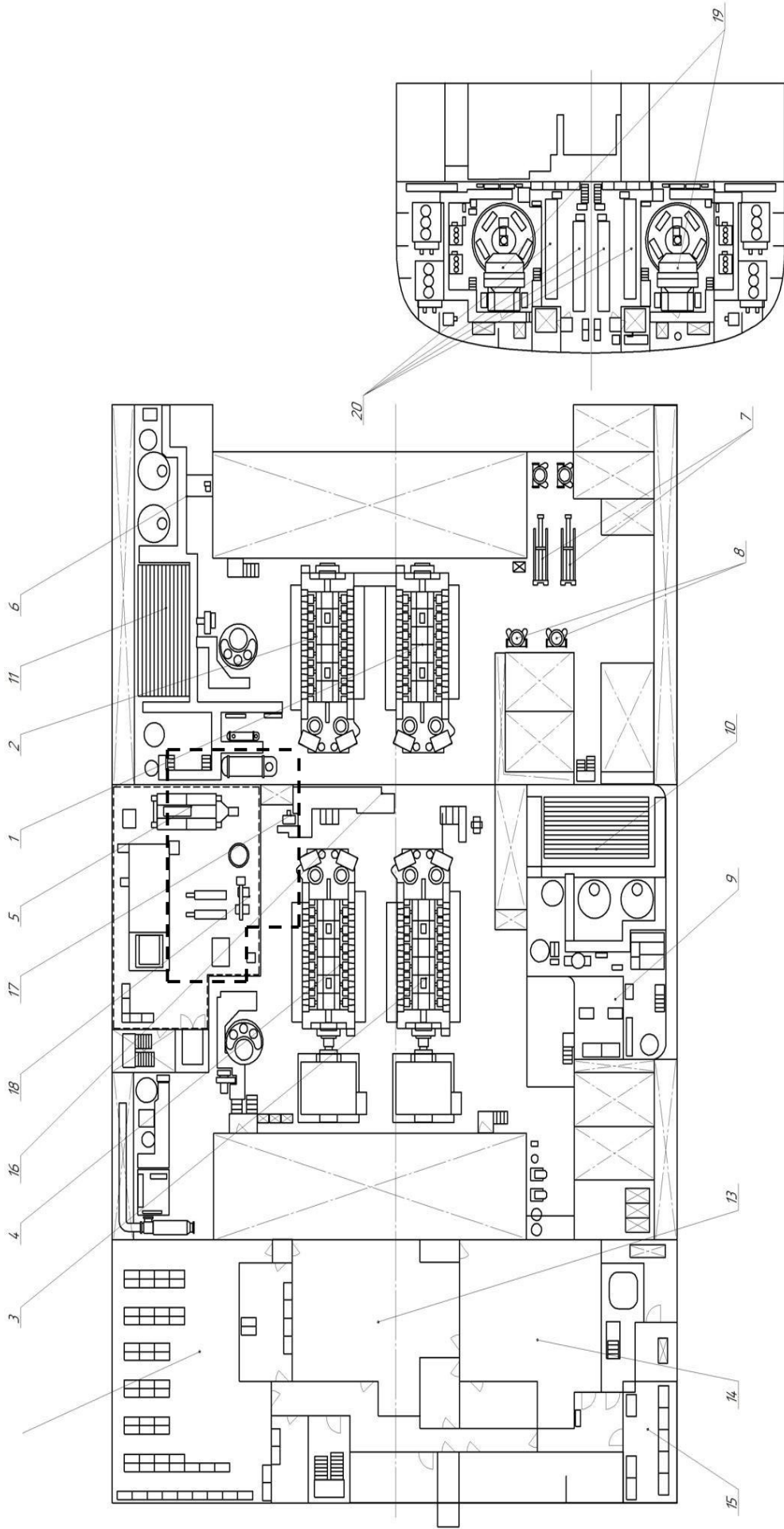


Рисунок 1.8 – План розташування механізмів у машинотельному відділенні судна «AIDAprera»: 1 – головний двигун №1; 2 – головний двигун №2; 3 – головний двигун №3; 4 – головний двигун №4; 5 – шламозбирач; 6 – повітряний шлюз циркуляційного вентилятору з фільтром; 7 – головний кулер; 8 – головний охолоджувач циркуляційного насосу; 9 – акумуляторне приміщення з вентиляційною установкою; 10, 11 – головний масляний теплообмінник №1 і №2 відповідно; 12 – електрична майстерня; 13 – моторне відділення; 14 – відділення контролюючих засобів моторного відділення; 15 – ємність газового аналізу (N_2 і CO_2); 16 – підігрівач вихлопних газів; 17 – випускний газовий вентилятор; 18 – система підготовки газового палива; 19 – трансформатор збудження; 20 – панель перетворювачів [1 - 3]

Чотиритактні двигуни працюють на сталому рівні обертів 500 хв-1. На кожному з них встановлено турбокомпресор з постійним тиском. Температура очищеного повітря зменшується завдяки внутрішньому охолоджувачу, розташованому між турбокомпресором і колектором зарядного повітря [1 - 3].

Циліндрові сорочки і головки охолоджуються за допомогою циркулюючої прісної води, тоді як нижня частина циліндрової втулки не піддається охолодженню. Водяна сорочка розташована у верхній частині вкладиша, де вона виступає за межі блоку двигуна, що свідчить про відсутність холодних каналів у блоці циліндрів для охолодження водою. Система охолодження двигуна і головки циліндрів працює на прісній воді (НТ), в той час як кожен двигун має окрему систему охолодження для низьких температур (LT), яка відповідає за відведення тепла від мастила та зарядного повітря. Система охолодження води НТ оснащена теплообмінником і циркуляційним насосом, який приводиться в рух основним двигуном. Додатково є ще один насос з електричним приводом, що забезпечує циркуляцію води при зупиненому двигуні. Для попереднього прогріву двигуна використовуються два типи підігрівачів: електричний і за рахунок відведення тепла з гарячої води [1 - 3].

Підшипники двигуна змащуються маслом (LO) через насос, керований двигуном, що забирає масло з циркуляційного бака LO, рівень якого має бути контрольованим. Масло подається до основних, нижніх та верхніх підшипників, а також до вкладишів циліндрів за допомогою бризок з картера. LO також постачається в систему розподільного вала, механізми клапанів і турбокомпресора. Температура масла підтримується на оптимальному рівні через пластинчастий охолоджувач [1 - 3].

Циліндрові кришки оснащені охолодженням через отвори на нижній стороні, а кожна головка має два випускних і два впускних клапани. Для запуску двигуна використовується стиснене повітря під тиском 30 бар, яке зберігається в двох резервуарах. Подача повітря в циліндри контролюється спеціальними проходками в насосах для впорскування палива [1 - 3].

[illegible]

На судні «AIDAperla» встановлено три дизельні головні двигуни Caterpillar-МАК моделі 12М43С, дванадцятициліндрові, чотиритактні, з тронковим поршневим механізмом у V-подібному виконанні, оснащені турбонаддувом постійного тиску. Ці двигуни мають діаметр циліндра 430 мм і хід поршня 610 мм, максимальна потужність складає 12 000 кВт при частоті обертання колінчатого валу 500 хв-1 [1 - 3].

Також на судні є один двигун Caterpillar-МАК моделі 12М46DF, дванадцятициліндровий, чотиритактний, з тронковим поршневим механізмом у V-подібному виконанні, з турбонаддувом постійного тиску, здатний працювати на двох паливах. Діаметр циліндра цього двигуна становить 460 мм, хід поршня - 610 мм, максимальна потужність 12 000 кВт при обертів 500 хв-1 [1 - 3].

Для запуску двигунів використовують систему повітряного пуску з робочим тиском від 14,0 до 30,0 бар. Регулювання роботи двигунів здійснюється за допомогою регуляторів Viking: 35 від компанії Regulators Europa. Турбокомпресори моделей TPL від компанії АВВ встановлені по два комплекти на кожен двигун. Маса витрати випускних газів становить 81,342 кг/год – 78,017 кг/год при температурі 310 ... 360 °С [1 - 3].

1.6.1.1 Головні двигуни суднових електростанцій на судні

Судно оснащене чотирма основними дизельними генераторами: трьома моделями 12М43С, що працюють лише на рідкому паливі, та одним 12М46DF, здатним працювати як на рідкому, так і на газовому паливі. Всі ці генератори мають однакові системи управління, за винятком двигуна з подвійним паливом, який оснащений додатковим модулем для контролю газового палива [1 - 3].

Двигун спроектований для використання важкого палива з в'язкістю до 700 сSt при температурі 50°C, що відповідає класу палива СІМАС Н55 К55, ISO 8217, 1996 (Е), ISO-F-RMH55. Суцільний сухий блок двигуна виготовлений з чавунних елементів конструкції та включає підшипники

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					25

Інв. № подп.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

ИВ.№ 104

					ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

Арк
26

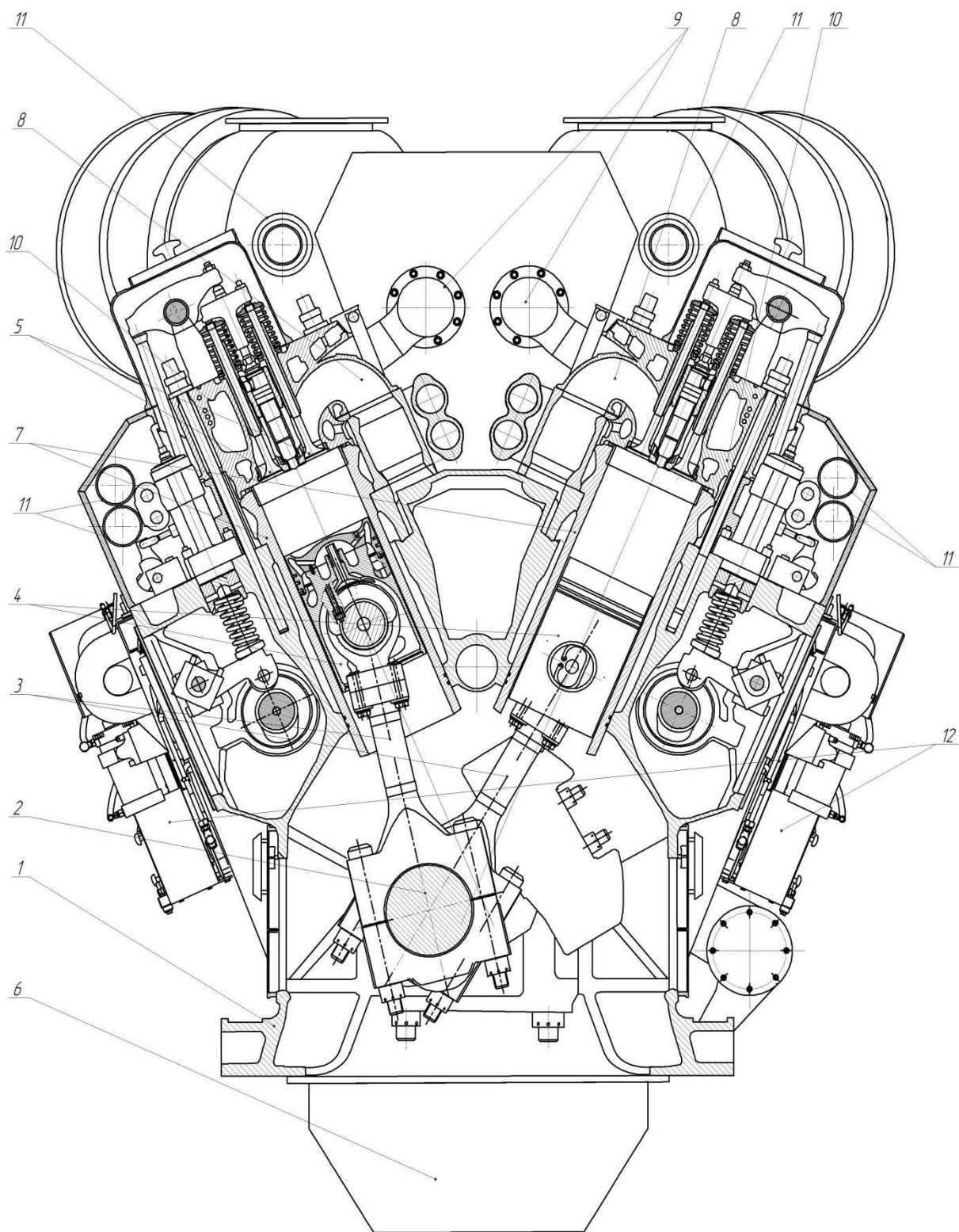


Рисунок 1.9 – Поперечний переріз головного двигуна МАК 12М46ДФ
 [1 - 3]: 1 – фундаментна рама; 2 – колінчастий вал; 3 – шатун; 4 – поршень;
 5 – клапан; 6 – піддон картера; 7 – втулка циліндра; 8 – випускний колектор;
 9 – впускний колектор; 10 – кришка циліндра; 11 – газові комунікації двигуна;
 12 – блоки керування запальною порцією палива

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ Арк 27

1.6.2 Аварійні дизель-генератори суднової електростанції

Аварійний дизель-генератор є самостійною установкою, що включає дизельний двигун і пов'язаний з ним генератор. Він знаходиться в спеціально відведеному приміщенні на палубі 17. Двигун розрахований на автоматичний пуск у разі відключення основного розподільного щита, а також на підключення до аварійного розподільного щита для забезпечення енергопостачання важливих систем [1].

Аварійний дизельний генератор Caterpillar моделі 3516B DITTA-SCAC потужністю 1 717 кВт при обертах 1500 хв-1 має 16 циліндрів і працює за принципом 4-тактного двигуна з турбонаддувом. Діаметр циліндра становить 170 мм, хід поршня - 190 мм (рис. 1.10 а, б). Генератор аварійного живлення MJBM 560 LA 4 від компанії Marelli має потужність 2038 кВА / 1630 кВт при 1500 об/хв. Це горизонтальний безщітковий, стійкий до вологи агрегат, що виробляє трифазну напругу 690 В і струм 1 705 А. Двигун оснащений двома системами запуску: електричною та гідравлічною. Зазвичай електричний пуск використовується для запуску двигуна, але при несправності цієї системи можна застосувати гідравлічний запуск

гідравлічну систему запуску. Система управління спроектована таким чином, щоб забезпечити як автоматичний старт, так і підключення до аварійного розподільного щита, а також можливість ручного запуску і зупинки через пульт управління двигуном. Кімната для аварійних генераторів (рис. 1.10 а) оснащена резервуаром для MDO, який поповнюється насосами для подачі пального. Резервуар для MDO, що використовується аварійним генератором, має підтримувати рівень, який забезпечить роботу генератора протягом 36 годин безперервно [1 - 3].

Дизельний двигун 6СТ8.3D (М) від компанії STX потужністю 164 кВт є 4-тактним 6-циліндровим двигуном з об'ємом 8,3 л у конфігурації Inline. Він має такі характеристики: діаметр циліндра 114 мм, хід поршня 135 мм, при обертах 1500 хв-1. На двигуні встановлено 3-фазний стартовий генератор судна моделі HCM434C2 фірми Stamford, який забезпечує наступні параметри:

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				Арк
				28

напруга 704 В, струм 102,51 А, з вихідною потужністю 125 кВА / 100 кВт при обертах 1500 хв-1. Це горизонтальний безщітковий генератор, стійкий до вологи, оснащений системою замозбудження. Аварійний дизельний генератор надає обмежену потужність (1 963 кВА) для аварійних потреб і розташований у приміщенні аварійного генератора на 17-й палубі [1 - 3].



а)



б)

Рисунок 1.10 – Загальний вигляд відсіку для аварійних дизельних генераторів (а), допоміжного дизель-генератора Caterpillar моделі 3516B DITTA-SCAC (б)

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
Арк				
29				

Інв. № подп.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

2.1 Аналіз передумов використання природного газу в якості суднового палива

За останні десятиліття світове споживання енергії зросло в рази. На рис. 2.1 показана статистика виробництва енергії на прикладі США, як її найбільшого споживача (з різних джерел) за останні 60 років. Крива природного газу показує, що його частка в світовому енергоспоживанні неухильно зростає і стає домінуючою. Це пов'язано не тільки зі зростаючою ціною на нафту і нафтопродукти, а й з прийняттям нових екологічних вимог, жорстко обмежують кількість шкідливих викидів в атмосферу [4 - 22].

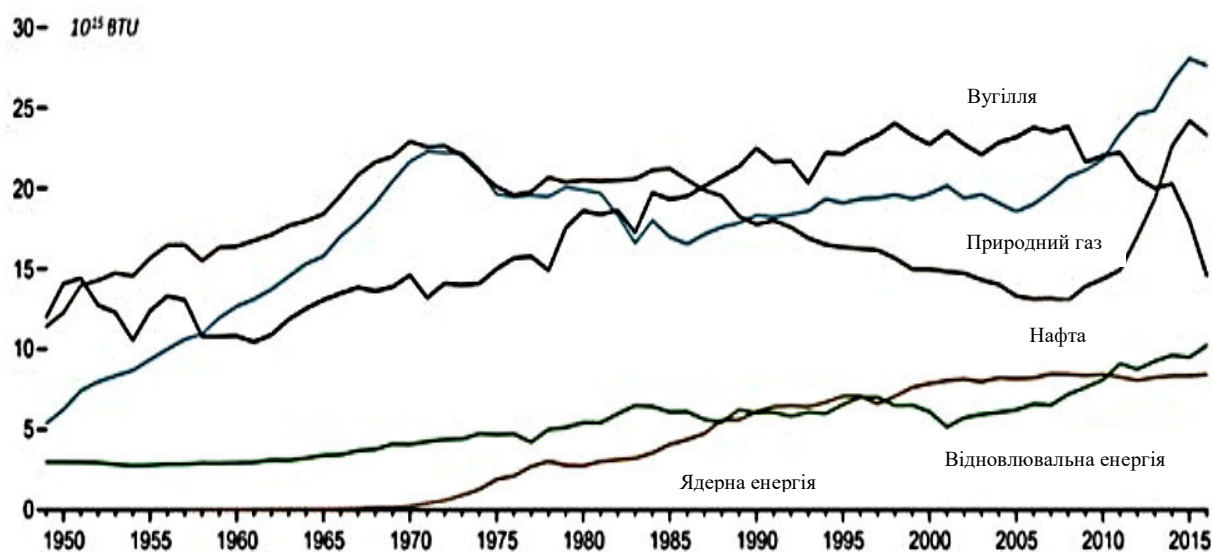


Рисунок 2.1 - Виробництво енергії в США за останні 65 років [4 - 22]

Наразі особлива увага судновласників і суднобудівників зосереджена на додатку VI до морської конвенції МАРПОЛ, що встановлює ліміти на вміст шкідливих речовин, які потрапляють в атмосферу внаслідок спалювання палива в енергетичних установках суден. Це включає викиди оксидів сірки і

азоту, вуглекислого газу та твердих часток. При цьому морські адміністрації окремих країн мають право встановлювати більш суворі норми в своїх портах. Наприклад, Європейська комісія визначила, що з 01.01.2010 року викиди оксиду сірки з будь-якого судна, яке знаходиться в порту ЄС, не повинні перевищувати 0,1% [4 - 22].

Додаток VI до МК МАРПОЛ 73/78 ІМО також визначає спеціальні зони контролю за викидами сірки (SECA – Sulphur Emission Control Areas), такі як Балтійське і Північне моря, протоку Ла-Манш, прибережні води США та ряд інших регіонів, в межах яких передбачено значне зниження викидів сірки від суден. На рисунку 2.2 зображена північноєвропейська зона SECA, що охоплює води Балтійського і Північного морів, а також Ла-Манш. У найближчому майбутньому цей перелік буде значно розширено [4 - 22].



Рисунок 2.2 - Північноєвропейська зона SECA [2], [3]: зелений – акваторія, що входить у зону SECA; блакитний - акваторія, що не входить у зону SECA; червоний – кордон зони SECA з вказівкою координат

У цій зоні сходяться морські транспортні лінії з усього світу. Найбільші порти регіону Роттердам, Антверпен, Гамбург, Бремен, Гавр, Санкт-

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
						31

Петербург, Приморськ, Усть-Луга і інші. Даний морський регіон є одним з перших в світі за кількістю скованих на рік судових рейсів (рис. 2.3) [4 - 22].

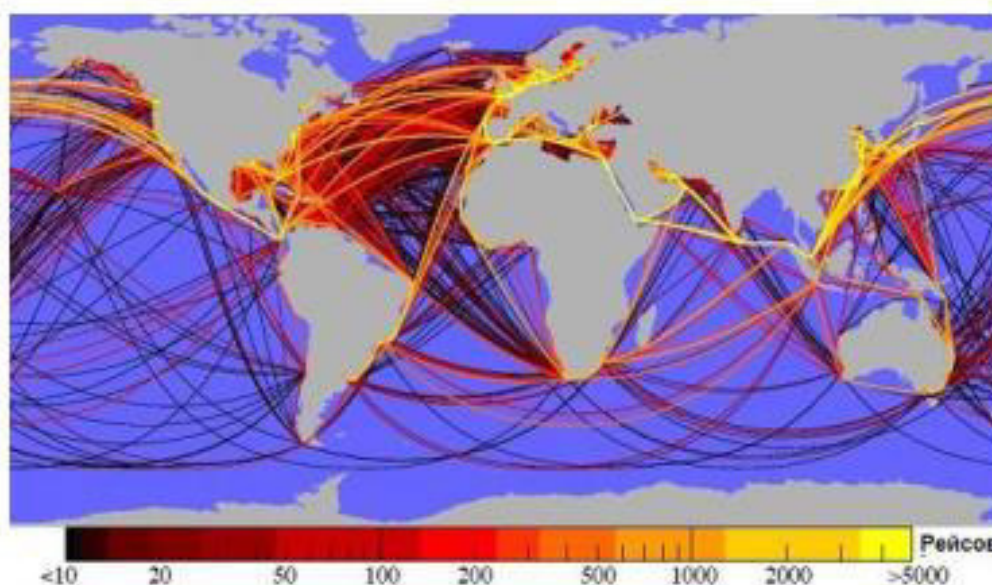


Рисунок 2.3 - Найважливіші світові морські транспортні лінії [4 - 22]

Це призводить до необхідності створення нових суден і модернізації вже існуючих, щоб вони відповідали новим екологічним стандартам, що набирають чинності [4 - 22].

Згідно з дослідженням [4], проблему викидів оксидів сірки, азоту та часток сажі можна вирішити через такі заходи [4 - 22]:

- переведення судових двигунів на дизельне паливо з мінімальним вмістом сірки,
- оснащення судових систем випуску відпрацьованих газів спеціальними каталізаторами (скруберами) для очищення від шкідливих речовин,
- переведення двигунів на природний газ.

Судна, що вже експлуатуються, можна модернізувати для роботи на низькосірчистому дизельному паливі або оснастити системами очищення та каталізації вихлопних газів. Ці методи мають низькі капітальні витрати та є найпростішими для судновласників. Нові або проектовані судна можна розробляти з умовою використання СПГ як палива, оскільки воно є більш екологічним і має вартість, порівнянну з низькосірчистим дизельним паливом.

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
Арк				
32				

Автор огляду [5] доводить, що переваги СПГ дозволяють швидко окупити витрати на розробку таких суден, використання оригінальних технологій та витрати на бункерування зрідженим газом [4 - 16].

Жорсткі вимоги Міжнародної морської організації (ІМО) до викидів парникових газів також впливають на економію палива. ІМО розробила стандарт визначення енергетичної ефективності конструкції судна - EEDI (Energy Efficiency Design Index) [6], який враховує основні складові, характеристики і методи оцінки енергоефективності для різних типів суден. Згідно з EEDI, енергетична ефективність судна визначається масою викидів CO₂ на одиницю пройденого шляху і обчислюється за спрощеною формулою [4 - 22]:

$$EEDI_{ysl} = Rv / (g_{e(c)} \cdot P_{e\Sigma} \cdot Q^p_H), \text{ } \text{гCO}_2 / (t - \text{миль})$$

де R - тяговий опір, кН; v - швидкість ходу, м / с; $g_{e(c)}$ - питома секундна витрата палива на всі генеруючі установки, що працюють на досліджуваному режимі загальною потужністю, кг / Вт · с; Q^p_H - нижча теплотворна здатність палива, кДж / кг.

Ця формула дає уявлення про склад енергетичної установки судна, час її роботи та вид палива. Методика розрахунку енергоефективності представлена в [7]. Результати аналізу енергоефективності світового флоту та рекомендації щодо зниження EEDI для різних суден наведені в [7]. Наприклад, середній EEDI для нафтових танкерів світового флоту становить 8,08 при середньому дедвейті 66,52 тис. тонн, потужності 9,05 МВт і швидкості 14,4 вузла. Різниця в значеннях EEDI по регіонах велика - від 6,56 у Південній Кореї до 9,99 в Європі. Рекомендації щодо зниження EEDI включають як конструктивні зміни (зниження тяглового опору), так і використання СЕУ з меншою витратою палива та застосування палива з низьким вмістом CO₂ в вихлопних газах [4 - 22].

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						33

Норвегія є лідером у розвитку інфраструктури для бункерування СПГ в Європі, також будуються СПГ-термінали у Швеції, Німеччині, Нідерландах, Бельгії, Великобританії, Франції, Іспанії та Греції. Крім того, СПГ використовують у США, Китаї, Сінгапурі та Південній Кореї. Хоча досвід використання СПГ для морських суден вже є в багатьох країнах, наявність терміналів не завжди вирішує проблему забезпечення суден необхідним паливом [4 - 22]. Таким чином, проблема доставки СПГ на борт газопаливного судна довгий час залишалася невирішеною. Кардинально вирішити цю проблему змогли бункерувальники СПГ [4 - 22], які з'явилися сполучною ланкою між СПГ-терміналом і судном, що використовують природний газ як паливо.

2.2 Вплив октанового числа на процес тепловиділення природного газу

Природний газ являє собою багатокомпонентний склад з органічних складових: метан - CH_4 ; етан - C_2H_6 ; пропан - C_3H_8 ; бутан - C_4H_{10} ; і т.д. і неорганічних компонентів: - водень (в невеликих кількостях) - H_2 ; вуглекислий газ - CO_2 ; азот - N_2 ; сірководень - H_2S і т. д [2-14].

Вивчення компонентного складу різних палив, в основному нафтових, проводилися ще в 1962 році в роботах І.І. Вібе, де автор розглядав закономірності характеру швидкості згоряння в двигунах на підставі загальних рівнянь швидкості ланцюгових хімічних реакцій. Авторами [4 - 22] детально представлений розрахунок октановим чисел бензинових сумішей. Аналіз проведеної роботи показав, що багатокомпонентні суміші, що складаються з 4 - 5 і більше компонентів, володіють різною детонаційної стійкістю.

Відповідно до джерела [7] на практиці розрахункове октанове число (ОЧ) сумішей розраховують за правилом адитивності, тобто сума творів кожного компонентів на частку його в суміші дане рівняння має вигляд:

$$\text{ОЧ}_p = \sum_{i=1}^n \beta_i \times x_i ,$$

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										35

де: n - число компонентів в суміші палива;

β_i - частка i -го компонента в суміші палива;

x_i - октанове число i -го компонента палива.

Такий метод у багатьох випадках, як вказують автори, дає не точний результат по відношенню октанового числа бензину. Вивчаючи різні вітчизняні та зарубіжні літературні джерела, в тому числі нормативні стандарти та ДСТУ, були представлені безліч різних методів визначення ОЧ, як розрахунковим, так і моторним (експериментальним) способами.

Згідно з міждержавним стандартом [4 - 22] зі зміною N1 (з поправкою) розрахункове октанове число природного газу становить 105. За різними джерелами октанове число природного газу варіюється від 105 до 119 одиниць, що дає переважну можливість перед традиційними видами палив.

Розрахункова октанове число ($P_{OЧ}$) яке представлено в стандарті обчислюють за формулою:

$$P_{OЧ} = \frac{\sum_i^{nГ} OЧ_i \times C_i}{\sum_i^{nГ} C_i},$$

де: $OЧ_i$ - октанове число i -го компонента природного стисненого газу;

C_i - об'ємна частка i -го компонента природного стисненого газу в суміші;

$nГ$ - кількість компонентів природного стисненого газу.

2.3 Методи визначення метанового числа компонентного складу природного газу

Октанове число палива впливає на детонаційні властивості в процесі згоряння робочої суміші в газовому двигуні. У процесі вивчення даного питання досить мало зустрічається робіт, які детально вивчали вплив метанового числа природного газу на процес згоряння. Аналіз результатів досліджень робіт авторів [4 - 22] показав наскільки сильно впливає якість

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ

Арк 36

газоподібного палива, зокрема при розгляді природного газу з точки зору викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах поршневого двигуна на навколишнє середовище.

З 1960 року фірмою AVL (*Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List*) проводилися дослідження з вивчення властивостей метану з точки зору сумішей газів в складі метану. Згідно з ними кордону якості компримованого природного газу, як газомоторного палива, визначаються теплотворною здатністю і нижнім порогом значення детонаційної стійкості еталонного палива виражається через метанове число (МЧ), яке дорівнює 75 по методу AVL. Розробляється проектний стандарт, де передбачено розрахунок метанового числа [4 - 22]:

$$\text{МЧ} = 1,445 \times (\text{ОЧ}_\text{М}) - 103,42$$

де: $\text{ОЧ}_\text{М}$ - октанове число, отримане моторним методом.

Октанове число обчислюється таким чином:

$$\begin{aligned} \text{ОЧ}_\text{М} = & (137,78 \cdot x_{\text{CH}_4}) + (29,948 \cdot x_{\text{C}_2\text{H}_6}) + (-18,193 \cdot x_{\text{C}_3\text{H}_8}) + \\ & + (-167,062 \cdot x_{\text{C}_4\text{H}_{10}}) + (181,233 \cdot x_{\text{CO}_2}) + (26,994 \cdot x_{\text{N}_2}), \end{aligned}$$

де: x - молярна частка входять до складу газу компонентів: метану, етану, пропану, бутану, CO_2 і N_2 .

Згідно з дослідженнями автора [4 - 22] МЧ показує, скільки об'ємних відсотків метану ($\text{МЧ} = 100$) міститься в суміші метану і водню ($\text{МЧ} = 0$), яка починає детонувати при тому ж ступені стиснення, що і перевіряється газ. Єдиної (загальноновизнаною) методики, яка регламентує умови і режими визначення МЧ, в даний час не існує. Тому МЧ, встановлене за різними розрахунковими методиками, може відрізнятися на 5-8 од. [4 - 22]. Докладний огляд роботи [4 - 22] представлений в першому розділі, де розглядаються залежності нижчої теплотворної здатності палива від детонаційної стійкості метану різних родовищ, а також різних сумішей газів метанового ряду, отриманих органічними і неорганічними способами. В основі досліджень були

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										37
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

використані кілька видів газоподібних палив прийнятих за еталон, такі як: *n*-газу з 33,23 (еталонне паливо *G23*) до 39,55 МДж / м³ (GR), тобто при збільшенні приблизно на 16%, детонаційна стійкість знизиться приблизно з 100 до 72 МЧ [4 - 22].

Відповідно МЧ також впливає на основні експлуатаційні показники ДВС, згідно з проведеними в цій області досліджень і отриманим експериментальним результатам по методикам AVL і CARB (методика розроблена Каліфорнійським комітетом по обмеженню забруднення повітря «California air resources board»). У зв'язку з цим пропонуємо методику визначення МЧ для різних газів метанового ряду різних родовищ, а також сумішей газів в загальному складі метану, отриманих різними способами (природний метан, біометан і синтетичний метан) [4 - 22].

Число Воббе метану при стандартних умовах визначається за такою формулою:

$$W_s(p_{src}, T_{src}) = \frac{\bar{H}_{s,w}(p_{src}, T_{src})}{\sqrt{p_w(p_{src}, T_{src})}},$$

де: p_{src} - тиск при стандартних умовах $p = 0,1$ МПа;

T_{src} - температура при стандартних умовах $T = 20$ ° С;

$\bar{H}_{s,w}$ - вища теплотворна спроможність метану при стандартних умовах;

p_w - відносна щільність метану.

Метанове число згідно «КТН - Промислова інженерія та управління» м. Стокгольм [4 - 22] визначається:

$$МЧ = 1,624 \cdot MON - 119,1,$$

де: MON - октанове число, отримане моторним методом.

Знання про метановому числі важливі, зокрема, тому що виробники можуть оптимізувати двигуни тільки в тому випадку, якщо вони знають про властивості та склад метану, при якому двигун буде ефективно працювати. Високі показники метану означають високу стійкість до детонації, в свою

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
									Арк
									38

чергу, означає високу енергоефективність і, отже, зниження викидів шкідливих речовин (ВВ) у відпрацьованих газах (ОГ). Якщо метанове число занадто низька, то в двигуні робочий процес буде супроводжуватися явною детонацією, що в майбутньому може призвести до пошкодження двигуна або призведе до втрат його ефективності, працездатності і гіршим показниками екологічності [4 - 22].

Було також розроблено кілька методів для класифікації газоподібних палив і їх чутливості до детонації, такі як: AVL, MWM, CARB, GRI, Cummins, Waukesha Knock Index, Wartsila і PKI MN. Всі існуючі методи спрямовані на вивчення і вплив метанового числа на робочий процес ДВС для більш точного регулювання метано-повітряної суміші при проектуванні двопаливного або чисто газового двигуна що працює по циклу Отто.

Компанія AVL розробила свій метод визначення метанового числа, який враховує такі компоненти входить до складу природного газу: CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈, n-C₄H₁₀, H₂, CO₂, N₂ і H₂S. Всі дані методу AVL доступні у вигляді тематичних діаграм, як показано на рис. 2.5 [4 - 22].

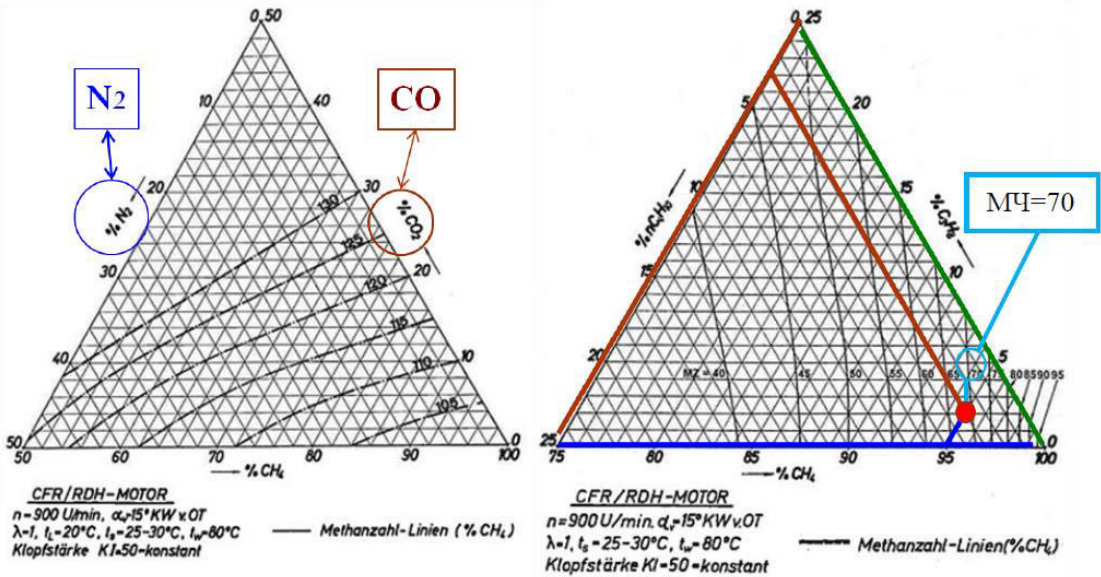


Рисунок 2.5 – Тематична діаграма метанового числа для газів: метану, етану і бутану [4 - 19]

Використовуючи дані номограми можна визначити метанове число теоретично наприклад: $95\% \text{ CH}_4 + 3\% \text{ C}_3\text{H}_8 + 2\% \text{ C}_4\text{H}_{10} \rightarrow \text{MCH} = 72$ [4, 15].

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					39

На території земної кулі видобувається природний газ з різних родовищ, кожен з яких має відмітний компонентний склад вуглеводнів, в об'ємному співвідношенні. Досліджуючи склад кожного газу окремо з метою подальшого використання в якості моторного палива, виявили різні теплотворні особливості, відповідно змінюючи компонентний склад природного газу CH_4 за рахунок розчинення в ньому додаткових інертних газів або (і) газових сумішей вуглеводневої ряду можна змінювати теплотворну здатність в процесі спалювання. Змінюючи компонентний склад природного газу в об'ємних частках необхідно вивчити питання детонаційної стійкості газу, але за основу вибрати не октанове число а співвідношення метану CH_4 і водню H_2 так зване метанове число якому приділено чимало наукових робіт в Європі [4 - 10].

Вибравши для дослідження, кілька видів природних газів, що відрізняються компонентним складом, при цьому ефективним показником їх детонаційної стійкості якого буде метанове число, можна в даному випадку не двигун готувати під газ, а газове паливо під відповідний двигун. Це дозволить класифікувати природний газ по метанових числу (подібно класифікації бензинів за октановим числом AI-95), яким буде заправлятися АТТ укомплектованими різними типами двигунів. Даний підхід суттєво знизить витрати на необгрунтоване зміна в конструкції бензинового або дизельного двигунів для конвертації їх на газомоторне паливо, не маючи при цьому якісних показників теплотворної здатності газу визначається метановим числом [4 - 21].

При дослідженні впливу МЧ на робочий процес газового двигуна був складений концентраційний склад трьох газових сумішей на основі природного газу, які представлені в табл. 2.1 [4 - 22].

Для досліджень були підібрані три склади газових сумішей, використовуваних в якості моторного палива, кожен з різним МЧ [4 - 22].

Таблиця 2.1 - Об'ємний вміст досліджуваних газів в складі природного газу [4 - 22]

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										40
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Дослідження в області багатокомпонентної енергетичної цінності природного газу, який може бути використаний в залежності від фізико-хімічних, температурно-динамічних і геометричних показників робочого процесу і камери згоряння газового двигуна показав, що є серйозні передумови для реалізації їх в практиці [4 - 22].

Метанове число визначається з метою оптимізації складу природного газу незалежно від його родовища. Використовувати природний газ в чистому вигляді без додавань супутніх газів в двигунах автотракторної техніки першорядне завдання, але розглядати природний газ з точки зору ефективності тепловиділення методом підбору складу газу по метанових числу, причому в якості добавок до основного складу горючої суміші рекомендується використовувати частку залишкових газів таких як CO_2 , N_2 , є більш ніж актуальним завданням [4 - 22].

Узагальнене розуміння складу різних газів добре ілюструє шкала розподілу метанового числа, яка представлена на рис. 2.6 [4 - 22].

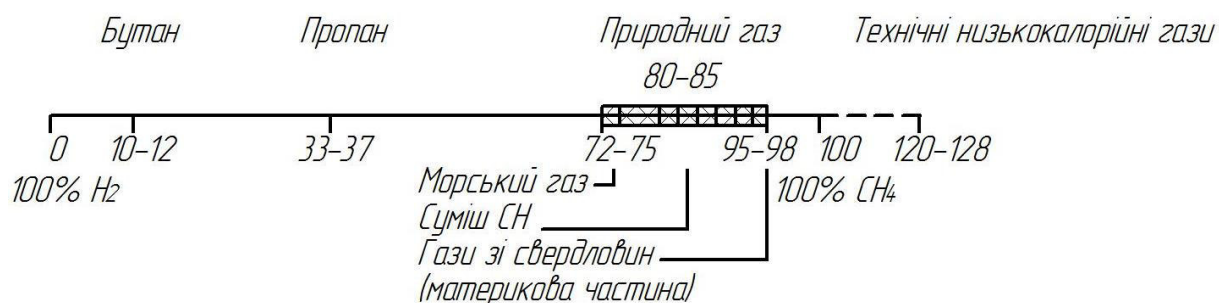


Рисунок 2.6 - Шкала розподілу метанового числа газів

2.4 Особливості використання СПГ в якості палива на морському транспорті

Аналізуючи професійні публікації щодо технологій зелених суден з морським двигуном на СПГ [4 - 22] і розглядаючи деякі екологічні аспекти ефективності морського транспорту [4 - 22], можна зробити такі висновки:

Підп. і дата		Інв. № дубл.		Взам. інв. №		Підп. і дата		Інв. № подл.	
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				Арк
									42

• Зниження викидів CO₂ та інших забруднюючих речовин при використанні СПГ у порівнянні з традиційними мазутами підтверджує необхідність врахування таких ключових чинників: доступність газу, попит на судна, обмеження викидів у зонах ЕСА (зони з контрольованими викидами), вимоги до резервуарів СПГ та безпеки [4 - 22].

• Іншим викликом є безпека зберігання СПГ при надзвичайно низьких температурах. Ізоляція резервуара має важливе значення, оскільки знижені температури можуть призвести до структурної крихкості та обмороження персоналу. Додатково є проблеми, як відсутність необхідної інфраструктури у більшості комерційних портів, обмежений досвід екіпажів у роботі з газовими двигунами, майбутні ціни на газ, вимоги до безпеки тощо. Ці фактори є критичними при впровадженні СПГ у морську індустрію [4 - 22].

• Окремо слід звернути увагу на екологічну проблему, пов'язану з витоками метану, яке називається ковзанням метану. Це відбувається, коли газ витікає без згоряння через двигун. Метан має GWP100 (100-річний потенціал глобального потепління), що в 25 разів вищий за CO₂. Якщо витoki метану не контролюються, екологічні переваги використання природного газу можуть бути суттєво зменшені [4 - 22].

Особливості бункерування паливних двигунів, здатних працювати на різних видах палива (HFO, MGO, MDO), що перетворюють хімічну енергію на механічну [4 - 22]. Перевага транспортування СПГ очевидна: об'єм СПГ містить майже в 600 разів більше енергії, ніж рівний об'єм природного газу (ПГ). Природний газ NG, який живить двигуни з двопаливною системою, транспортується як зріджена рідина на спеціалізованих судах при температурі трохи вище за атмосферну в добре ізольованих резервуарах, щоб підтримувати СПГ у рідкому стані при температурі близько -160°C. Випаровування природного газу (BOG) направляється на спалювання в таких двигунах. Якщо теплоізоляція резервуара не витримує теплових впливів, температура зрідженого газу підвищується, що викликає випаровування з рідини в газ.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										44
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Тиск у резервуарі зростає через випаровування газу (BOG) при надходженні тепла в бак [4 - 22].

Ізоляція резервуарів розроблена за найсучаснішими технологіями, проте навіть зараз, при транспортуванні СПГ, вона все ще піддається тепловому впливу, і процес випаровування триває під час морських подорожей. Наприклад, під час шторму вантаж СПГ переміщується та бризкає в резервуарах. Википання газу може складати від 0,1 % до 0,25 % потужності судна за добу. Резервуари повинні працювати під постійним тиском. Якщо тиск не контролюється або клапани не спрацьовують, випаровування потрапляє в атмосферу до зниження тиску. Зараз доведено, що повторне скраплення СПГ на борту є економічно недоцільним для більшості суден [4 - 22]. Замість цього газ, що утворюється внаслідок випаровування, спрямовується на двигун судна і використовуються для живлення електрогенераторів, таких як парові котли чи двопаливні судові дизельні двигуни [28-37]. Це дозволяє знизити витрати на бункерне паливо та обслуговування. Крім того, порівнюючи горючі характеристики природного газу з характеристиками горіння HFO, MDO або MGO, використання СПГ у судноплаванні стає перспективним варіантом для дотримання міжнародних норм IMO та MARPOL [4 - 22].

Сьогодні в судноплавній галузі існує широкий спектр різноманітних рухових систем, таких як двопаливні парові турбіни механічні (DFSM), двопаливні дизельні електричні (DFDE), двопаливні газові турбіни (DFGE), двопаливні дизельні механічні (DFDM) або дизельний механічний двигун з повторним скрапленням (SFDM+R) [4 - 22]. Суднові СПГ-двигуни — це двопаливні установки, які використовують природний газ (ПГ) та рідке паливо. Оцінена ефективність таких установок становить близько 40 % [4 - 22].

Відомі виробники силових установок для комерційних суден, такі як Wartsila (Фінляндія), MAN Diesel & Turbo (Німеччина), Siemens (Японія), Mitsubishi (Японія) та Roll Royce (Велика Британія), виробляють

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										45
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

великокаліберні двопаливні дизельні двигуни, що відповідають усім сучасним вимогам щодо викидів в екологічно чутливих районах та вимогам безпеки для перевізників СПГ. Ці виробники забезпечують поставки СПГ-систем для рухових установок і генерації енергії на будь-які відповідні типи суден чи двигунів [4 - 22].

Незалежно від того, чи це нові судна, чи модернізовані, СПГ-судна без сумніву є шляхом розвитку майбутнього. Згідно з даними вебсайту MAN Diesel & Turbo [4 - 22] станом на грудень 2014 року, MAN B&W Dual Fuel Engines відкривають нову еру в судноплавстві, з 116 замовленими проектами LNG-двигунів. Крім того, нові судна будуються з готовністю до використання СПГ, що дозволяє пізніше модернізувати їх до двопаливних систем. Двигуни MAN B&W ME-GI [4 - 22] забезпечують велику гнучкість у виборі палива, варіюючись від 95 % природного газу до 100 % HFO і більше. Для тестування нафтопродуктів необхідно не менше 5 % HFO, оскільки ці двигуни використовують стиснення для запалювання, а природний газ не є самозаймистим.

Wartsila [4 - 22] також є лідером у виробництві газових двигунів для суден і розробці повного циклу виробництва систем і рішень для СПГ-бункерування як на борту, так і на березі. З 2000 року двигуни Wartsila були обрані для більше ніж 200 суден, що працюють або будується для використання СПГ. Наприкінці 2014 року компанія встановила 14 LNGPac-систем, найстарша з яких успішно працює більше трьох років [4 - 22].

Система LNGPac була розроблена для різноманітних типів суден. До них належать танкери-продуктові, круїзні та морські судна, а також контейнеровози, судна для транспортування скрапленого газу та етилену, а також пороми, наприклад, "Viking Grace", що курсує між Турку (Фінляндія) і Стокгольмом (Швеція) [4 - 22]. Це велике пасажирське судно оснащене двома резервуарами Wartsila LNGPac об'ємом 200 м³, в тому числі запатентованою системою Wartsila, яка використовує приховане тепло від процесу випаровування СПГ для обігріву та вентиляції на борту. У новій системі

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						46

рекуперації холоду Wartsila інтегрує суднові HVAC (системи кондиціонування) до підключення до резервуара, що дозволяє виключити повний контур теплоносія з теплообмінниками, клапанами та насосами. Це призводить до значної економії енергії та підвищує загальну ефективність судна.

Також є можливість покращення енергоефективності, оскільки гази згоряння СПГ є більш чистими, що полегшує впровадження теплової рекуперації: просте відновлення тепла та його використання для обертання турбін (ORC). Дослідження [4 - 22] показують, що це може знизити споживання палива до 15%.

Додавання деяких систем, таких як рекуперація тепла від відпрацьованих газів (WHR) [28-37], дозволяє досягнути значних економій. Одне з досліджень [4 - 22] свідчить, що двигун СПГ з WHR є вигіднішим у порівнянні з дизельним двигуном з тією ж системою. Хоча інвестиції мають вищу початкову вартість, цей метод є економічно вигідним та екологічно чистим.

Система Wartsila LNGPac заснована на резервуарі для зберігання СПГ типу C IMO з тиском 6-9 бар і двостінною вакуумною або одностінною поліуретановою ізоляцією. Бункерування здійснюється через ізольовану трубу від станції бункерування до резервуара СПГ. Все необхідне обладнання для теплоносія та система контролю встановлені в окремому блоці, який можна розмістити безпосередньо або віддалено від резервуара. Технологічне обладнання забезпечує правильний тиск та температуру газу для двигунів та інших споживачів. LNGPac можна налаштувати відповідно до вимог конкретного проекту. Спеціалізоване проектування здійснюється з самого початку, щоб задовольнити вимоги безпеки та класифікаційного суспільства. Система СПГ може бути реалізована як окремий продукт або частина комплексної рухової системи [4 - 22].

Оновлення системи до більш компактної та вдосконаленої версії знижує капітальні та операційні витрати (CAPEX і OPEX). Завдяки меншій кількості

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						47

рухомих частин обслуговування спрощується, а компактний дизайн і покращена інтеграція компонентів пришвидшують монтаж на верфі.

Газовий клапан Wartsila (GVU) розміщується між системою зберігання СПГ і двопаливним двигуном (DF), регулюючи тиск газу та забезпечуючи безпечне відключення газової системи. Завдяки інтеграції LNGPac та GVU в єдину систему економиться простір, а простота установки за принципом "plug and play" зменшує час і витрати на монтаж на станції [4 - 22]. Крім того, шлюз повітря і шафа управління інтегровані у простір для підключення резервуара, що скорочує кількість інтерфейсів і зменшує потребу в електричних кабелях.

Розвиток LNGPac є результатом багаторічного досвіду Wartsila в галузі газових двигунів та суднобудування, що дозволяє усунути проміжні контури теплоносія, зменшуючи кількість монтажних робіт і підвищуючи екологічність судна завдяки меншим енергоспоживанням [4 - 22].

Не зважаючи на те, що зріджений природний газ (СПГ) все ще іноді сприймається як нова технологія, судна, що постачають нафтогазові платформи, вже давно використовують цей вид палива. Наприклад, "Viking Grace" (IMO 9258442), перше судно нового покоління, побудоване для роботи на СПГ, здійснює рейси між Турку і Стокгольмом з 2003 року [4 - 22]. Цей корабель оснащений чотирма 6-циліндровими двопаливними двигунами Wartsila 32DF, які забезпечують економію викидів NOx та можуть працювати як на СПГ, так і на дизельному паливі.

У газовому режимі викиди NOx знижуються на 85 %, а завдяки чистому горінню на СПГ, відсутні викиди SOx, а CO2 зменшується на 30 %. Технічне обслуговування на газі також простіше, з подовженими інтервалами заміни компонентів. Двигуни Wartsila DF вже відповідають стандартам IMO Tier III у газовому режимі без додаткових систем очищення вихлопних газів. У режимі дизеля вони повністю відповідають вимогам IMO Рівня II щодо викидів [4 - 22].

"Viking Grace" показує високу ефективність роботи газової системи: за 13 років експлуатації не було жодного випадку виходу з ладу [4 - 22].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										48
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

З огляду на перше десятиліття використання СПГ у морській галузі, значно покращилась технологія управління метановим ковзанням, що сприяє зниженню цього явища до мінімуму. Також зросла інфраструктура для бункерування СПГ, що дозволяє організувати постачання газу через термінали або бункерні баржі [4 - 22].

2.5 Особливості суднової системи забезпечення газом

Судно «AIDAperla» спроектовано з одним подвійним генератором палива та котлом, який працює на звичайних мазутах і природному газі. Природний газ використовується в порту для забезпечення відповідності вимогам до викидів. Газ може подаватися через берегові з'єднання як у газоподібному (НГ), так і в рідкому (СПГ) вигляді. Подача природного газу контролюється системою постачання газу (FGS), яка також інтегрована з іншими системами, зокрема: Система виявлення газу; Система виявлення витоків газопроводів; Система управління двигуном; Система управління котлом; IAMCS; ESD; SMCS [1-3, 15, 17, 19, 20].

Природний газ (рідкий або газовий) подається на газозаправну станцію, що знаходиться на 3-й палубі (борт з боку порту). Для рідини використовується колектор діаметром 1 дюйм (25 мм), для газу — 4 дюйми (100 мм), а також одна вентиляційна лінія (2 дюйма / 50 мм), що розташовується на щоглі судна. Газопроводи ведуть до приміщення газового клапана (GVU), де встановлено обладнання для конденсації СПГ за допомогою випарника та нагрівача газу. Усі газопроводи мають двосхилу конструкцію і проходять через машинне відділення, де розміщено двигун і інші зони. Кожен GVU оснащений наступними елементами: Ручний запірний клапан; Очищувач з'єднань; Газовий фільтр; Лічильник витрат газу; Регулятор тиску пального газу; Блок автоматичного відключення; Вентиляційні клапани; Датчики/манометри тиску [1-3, 15, 17, 19, 20].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ Арк 49				
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

Датчики температури газу. Вхід в випарник СПГ обладнано ультразвуковим датчиком, який виявляє наявність рідини в трубопроводі та подає сигнал для управління клапанами 033VUN, 034VUN і 035VUN. Основні компоненти системи включають [1-3, 15, 17, 19, 20]:

Випарник СПГ типу Shell and tube потужністю 130 м³/год, 2,750 кг/год (газ), 585 кВт, температурний режим -163°C / -30°C;

Нагрівач газу типу Shell and tube потужністю 130 м³/год, 2,750 кг/год (газ), 85 кВт, температурний режим -30°C / 20°C;

Двостінний вакуумний насосний трубопровід для основного двигуна типу MDH потужністю 8 м³/хв, 500 мбар, 0,55 кВт, 3,000 об/хв;

Двостінний вакуумний насос для газової системи типу MDH потужністю 8 м³/хв, 500 мбар, 0,55 кВт, 3,000 об/хв;

Циркуляційний насос для випарника СПГ FBSV-200 Naniwa Pump Mfg Co Ltd типу MDVC потужністю 130м³ / год при 2,3 бар.

Гнучкі трубопроводи обладнані запобіжними клапанами, що закачують природний газ з нижньої частини до верхньої, аби зменшити викиди в атмосферу [1-3, 15, 17, 19, 20]. На станціях постачання встановлені холодостійкі крапельні піддони, що розташовані під з'єднаннями шлангів для кожної рідини. Вони контролюють витік і активують сигнал тривоги у разі виявлення рідини.

Інертний газ (N2) використовується для очищення та забезпечення інертності на всіх ділянках газопроводів. Газ N2 зберігається у ємностях високого тиску в спеціальному приміщенні для зберігання N2 (приміщення 15 1-3) на борту на палубі 2. Тиск у цих ємностях контролюється, і якщо він зменшується через витік або активацію системи, спрацьовує тривожний сигнал [1-3, 15, 17, 19, 20].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										50
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

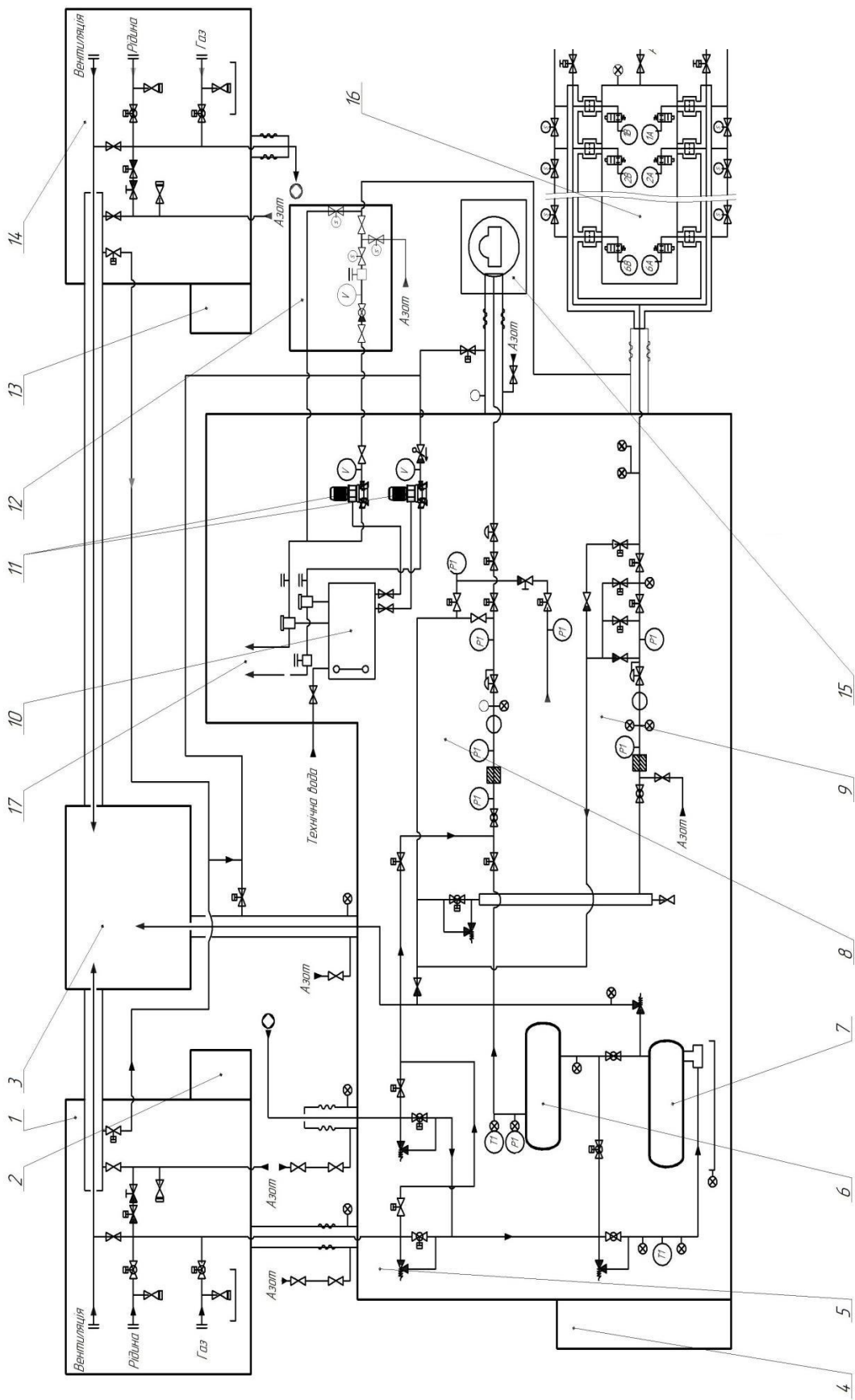


Рисунок 2.7 – Порт станції газопостачання; 2 – простір повітряного блокування; 3 – газова вентиляційна кімната; 4 – простір повітряного блокування; 5 – приміщення для газового клапана; 6 – паливний газовий нагрівач; 7 – випарник стиснутого природного газу; 8 – газова рампa; 9 – блок газового клапана; 10 – бак для охолодження води для вакуумного насоса паливної системи подачі газу; 11 – вакуумний насос; 12 – блок вакуумного насоса; 13 – простір повітряного блокування; 14 – станція газопостачання з правого борту судна; 15 – допоміжний котел; 16 – головний двигун №2; 17 – під'єднання всмоктуючи витяжних вентиляторів [1-3, 15, 17, 19, 20]

На палубі 01 або в порту знаходяться два додаткових набори балонів з аварійним N2, розташовані в передньому машинному відділенні. Вони активуються через IAMCS або LCP у FGS і використовуються лише в екстрених випадках, зазвичай знаходяться в повністю заповненому стані [1]. Якщо тиск у балонах знижується нижче встановленого рівня, спрацьовує сигнал тривоги і будь-яка операція з газом забороняється [1-3, 15, 17, 19, 20].

Магістральна вентиляційна лінія підключена до виходів запобіжного клапана та вентиляційних отворів ГВУ. У разі виникнення небезпеки газ скидається у безпечне місце над палубою 16.

Система виявлення витоків газових труб

Труби FGS, що з'єднують паливно-газову систему, є подвійними (рис. 2.7) [1-3, 15, 17, 19, 20]:

- Система високого вакууму:
 - а) Стартова лінія подачі газу до приміщення ГВУ (UN003);
 - б) Лінія подачі газу в приміщення ГВУ (UN007).
- Вентиляційна система:
 - в) Лінія подачі газу від приміщення ГВУ (UN022) та труба, встановлена двигуном.
- Система помірного вакууму:
 - г) Лінія подачі котлового газу з приміщення ГВУ (UN032);
 - д) Відхідна магістраль від станції газопостачання (UN211);
 - е) Відвідний порт від станції газопостачання (UN212);
 - є) Вентиляційна лінія з приміщення GVU (UN201).

Існують дві системи контролю витоків вакууму:

- Високий вакуум у лініях (а) і (б).
- Помірний вакуум у лініях (в) - (є).

Високий вакуум в системі забезпечує контроль за витоками і теплову ізоляцію труб. Спочатку труби ставляться під вакуум, а потім герметизуються. Вакуум контролюється передавачами тиску (P9977 та P9978), і система FGS активує сигнал тривоги через IAMCS, якщо вакуум перевищує 0,8 бар (а). Це

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	- Вентиляційна система: в) Лінія подачі газу від приміщення ГБУ (UN022) та труба, встановлена двигуном. - Система помірного вакууму: г) Лінія подачі котлового газу з приміщення ГБУ (UN032); д) Відхідна магістраль від станції газопостачання (UN211); е) Відвідний порт від станції газопостачання (UN212); є) Вентиляційна лінія з приміщення GUV (UN201).																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
					Існують дві системи контролю витоків вакууму:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
					- Високий вакуум у лініях (а) і (б). - Помірний вакуум у лініях (в) - (є).																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
					Високий вакуум в системі забезпечує контроль за витоками і теплову ізоляцію труб. Спочатку труби ставляться під вакуум, а потім герметизуються. Вакуум контролюється передавачами тиску (P9977 та P9978), і система FGS активує сигнал тривоги через IAMCS, якщо вакуум перевищує 0,8 бар (а). Це																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													</

викликає закриття всіх віддалених клапанів і блокування режиму через перемикач (H8200) [1-3, 15, 17, 19, 20]:

- 2 - Газифікація та охолодження;
- 3 - Операції FGS;
- 4 - Вивільнення рідкого газу та знезараження.

Помірний вакуум у системі контролюється в межах 0,6 бар (а) до 0,8 бар (а). Лінії (г) - (є) підтримують вакуум через нормально закритий соленоїдний клапан, керований загальним вакуумним насосом в приміщенні ГВУ, який також оснащений детектором газу для контролю підключення. Тиск вакууму підтримується в кожній лінії, і якщо вакуум падає нижче 0,8 бар (а), відкривається відповідний пневматичний клапан (тільки приводний), а вакуумний насос автоматично запускається для підтримки проектного тиску на рівні 0,6 бар (а).

2.6 Обґрунтування режимів експлуатації суднового двигуна

У процесі експлуатації СЕУ та судна «AIDAperla» передбачено використання одного з двигунів №2 СЕУ, що працює на газовому паливі, при стоянці судна в порту [1-3, 15, 17, 19, 20]. Газовий двигун отримує живлення від стисненого або зрідженого газу, основою якого є метан. Під час зупинки судна в порту живлення може здійснюватися від зовнішньої ємності. Згідно з технічними вимогами, такою ємністю може бути автомобіль-газовоз з відповідною ємністю або баржа, яка використовується для заправки газовим паливом [1-3, 15, 17, 19, 20].

Система СЕУ дозволяє використовувати судно на газі від двох невеликих власних ємностей під час входу та виходу з порту або в межах екологічно чистої зони. Очищення газу для живлення двигуна передбачено здійснювати за допомогою власного газового клапана. Однак для тривалої роботи дизельгенератора з двигуном №2 в порту може не вистачити запасу газу.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										53
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Зовнішнє живлення газом на різних етапах маршруту може мати інший склад, що відрізняється від газу в інших портах [1-3, 15, 17, 19, 20].

Для покращення використання газового палива при живленні від зовнішніх джерел в портах, судну «AIDAperla» необхідно встановити додаткову систему підготовки газу у вигляді окремого блоку газового палива. Це дозволить ефективно розподіляти навантаження на газове обладнання під час руху судна до порту і з порту, а також під час роботи одного з двигунів ДГ №2 при стоянці. Такий підхід сприятиме диверсифікації використання обладнання та забезпечить його надійну експлуатацію [1-3, 15, 17, 19, 20].

Висновки: Дослідження вказують на те, що склад газових сумішей для живлення двигуна може значно варіюватися залежно від їх походження. Тому при використанні СЕУ судна в порту від зовнішніх джерел необхідно проводити додаткове очищення газової суміші перед подачею в систему. Для цього слід застосовувати окремий блок газового палива (краще подвійний) для роботи з газом з зовнішнього джерела в порту і для власного газу при вході та виході з порту.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										54
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ГАЗОВИМ ПАЛИВОМ СУДНОВОГО ДВИГУНА

3.1 Особливості застосування блоку газового палива суднового двигуна

Для забезпечення раціонального використання зовнішніх джерел природного газу під час роботи СЕУ судна в порту необхідно обґрунтувати конструкцію додаткового блоку газового палива. Для цього слід здійснити тепловий розрахунок двигуна при використанні як дизельного, так і газового палива, а також виконати розрахунок компонентів додаткового газового блоку [1-3, 15, 17, 19, 20].

На рисунку 3.1 зображено загальний вигляд додаткового блоку газового палива, який планується використовувати під час експлуатації СЕУ судна в порту [1-3, 15, 17, 19, 20].

3.2 Розрахунок головного суднового двигуна 12M46DF фірми Caterpillar-МАК при роботі на дизельному і газовому паливі

Для розрахунку основних параметрів робочого процесу скористаємося методом Гринівецького-Мазінґа [9, 18, 21].

Для побудови розгорнутих діаграм робочого процесу використовуємо метод визначення енергетичного балансу в робочому циліндрі двигуна [9, 18, 21].

Скористаємося даною моделлю, реалізованої у вигляді програми розрахунку з використанням персонального комп'ютера [9, 18, 21].

Вхідні данні для розрахунку наведено у табл. 3.1 [9, 18, 21].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
										55
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					

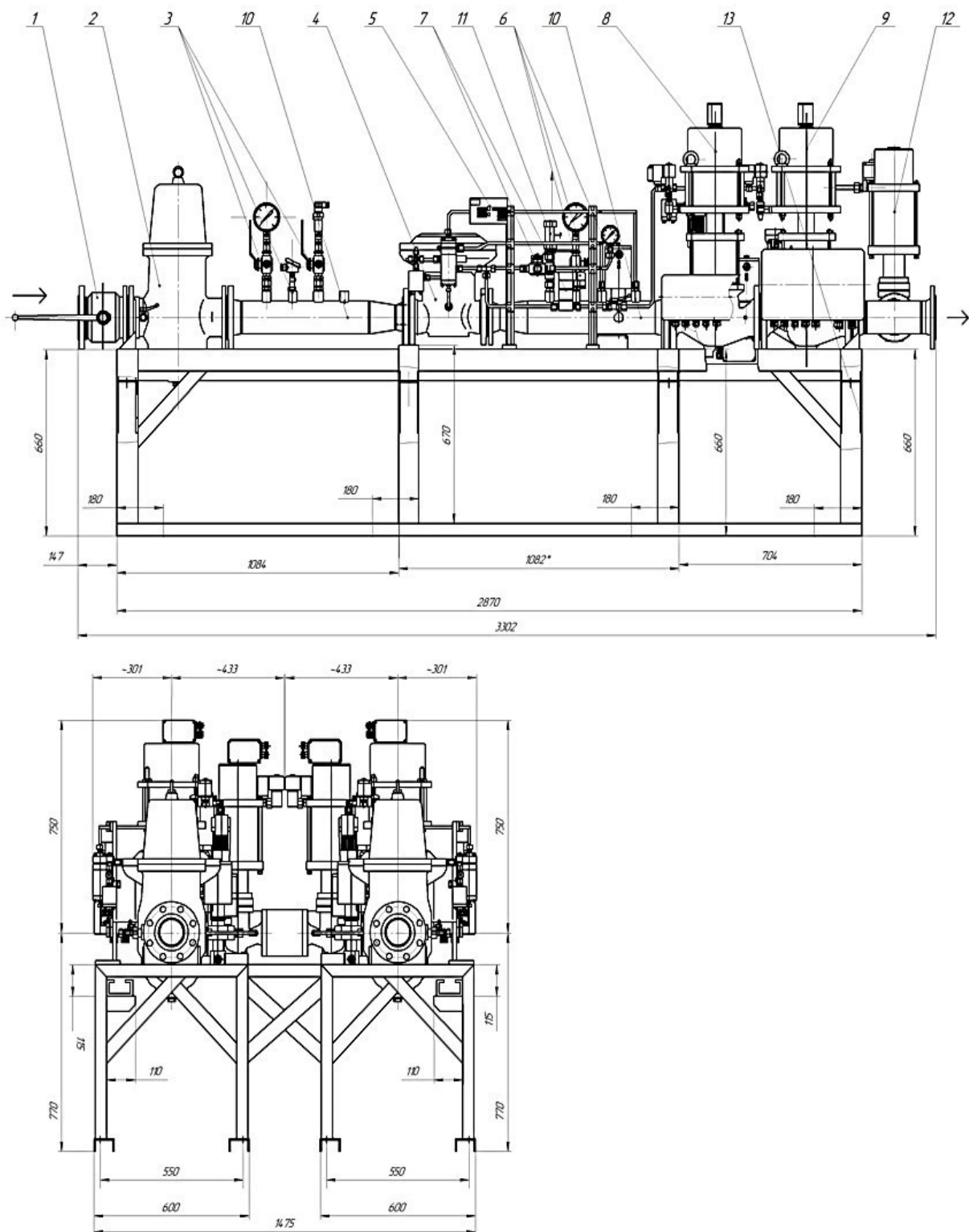


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд блоку газового палива: 1 – вхідна запорна арматура; 2 – фільтр очищення газового палива; 3 - блок вимірювального обладнання; 4 – газовий редуктор; 5 – блок керування з газовим лічильником; 6 – блок вимірювального обладнання; 7 – запірна арматура; 8 – газовий насос; 9 – газовий насос; 10 – теплообмінник; 11 – газовий клапан; 12 – насос газовий; 13 – остов блока газового клапана

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ Арк 56

Таблиця 3.1 – Основні геометричні параметри двигуна

Параметр	Значення
Діаметр циліндра двигуна, мм	460
Хід поршня, мм	610
Число циліндрів, шт.	12
Частота обертання, хв ⁻¹	500
Геометричний ступінь стиску	16,2
Ефективна потужність, кВт (дизель)	12000
Ефективна потужність (80% N_e), кВт (СПГ або ЗПГ)	10560

3.2.1 Вихідні дані для теплового розрахунку

Тепловий розрахунок основного двигуна виконується для визначення робочих характеристик двигуна, що необхідно для обґрунтування заходів з його удосконалення. Це дозволяє вивчити вплив показників робочого процесу на ключові параметри роботи суднового дизеля [9, 18, 21].

3.2.2 Вибір і обґрунтування вихідних даних для теплового розрахунку робочого процесу

Склад і властивості горючої суміші та продуктів згорання.

Тип і марка використовуваного палива. Основні конструктивні відмінності паливної системи суднових дизелів обумовлені її адаптацією до роботи з в'язкими сортами палива, такими як IFO, TFO (Intermediate Fuel Oil, Thin Fuel Oil) і високов'язкими HFO, RFO (Heavy Fuel Oil, Residual Fuel Oil). Для зниження в'язкості таких видів палива до значень 10...14 сСт їх підігрівають до температури 100...140°C [9, 18, 21].

Зазвичай для суднових дизелів використовують паливо IFO-180 і IFO-380 (табл. 3.2), яке відповідає стандарту ISO 3217:1987 і класифікується як RME 25 і RMG 35 [9, 18, 21].

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										57
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Наразі більшість високошвидкісних суднових дизелів працюють на легких видах палива, таких як морський газоіль (MGO) та морське дизельне паливо (MDO). Ці палива не потребують підігріву, оскільки при температурі машинного відділення судна їх в'язкість становить 3...12 сСт [9, 18, 21].

Склад атмосферного повітря складається на 79% з азоту (N₂) і 20,8% з кисню (O₂) за масою. Інші компоненти присутні в дуже малих кількостях, тому їх можна не враховувати [9, 18, 21].

Таблиця 3.2 – Основні характеристики палива що використовується

Параметр	Масова частка	
	дизельне паливо	СПГ або ЗПГ
Елементарний склад (по масі) палива:		
<i>C</i> – вуглець	0,87	0,765
<i>H</i> – водень	0,121	0,233
<i>O</i> – кисень	0,004	0,002
<i>S</i> – сірка	0,005	-
Середня молекулярна маса, кг/моль	230	200
Нижча теплота згоряння, кДж/кг (МДж)	42500 (42,5)	48200 (48,2)

Теоретично необхідна кількість атмосферного повітря для повного згоряння 1 кг палива визначається за формулами [9, 18, 21]:

- для дизельного палива:

$$L_o = \frac{1}{0.208} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) =$$

$$\frac{1}{0.208} \times \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,121}{4} + \frac{0,005}{32} - \frac{0,004}{32} \right) = 0.4941 \text{ кмоль}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
					Арк				
					58				

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O \right) =$$

$$\frac{1}{0,230} \left(\frac{8}{3} 0,87 + 8 \times 0,121 + 0,005 - 0,004 \right) = 14,33 \text{ кг/кг.}$$

- для СПГ або ЗПГ:

$$L_o = \frac{1}{0.208} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) =$$

$$\frac{1}{0.208} \times \left(\frac{0,77}{12} + \frac{0,233}{4} + \frac{0,000}{32} - \frac{0,002}{32} \right) = 0.5862 \text{ кмоль}$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O \right) =$$

$$\frac{1}{0,230} \left(\frac{8}{3} 0,77 + 8 \times 0,233 + 0,000 - 0,002 \right) = 16,98 \text{ кг/ кг.}$$

Коефіцієнт надлишку повітря (α). Для кращого згоряння палива, кількість повітря що поступає у камеру згоряння, значно перевищує стехіометричне відношення. Для сучасних дизелів з наддуванням та охолодженням повітря коефіцієнт надлишку повітря на номінальному режимі лежить у межах $\alpha = 2,25 \dots 4,0$, для розрахунків приймемо значення характерне для прототипу $\alpha = 2,48$ (дизельне паливо) і $\alpha = 2,8$ (газове паливо) [9, 18, 21].

Кількість свіжого заряду, (M_1), для дизеля визначається по формулі:

- для дизельного палива [9, 18, 21]:

$$M_1 = \alpha L_0 = 2,48 \cdot 0,494 = 1,22 \text{ кмоль}$$

- для СПГ або ЗПГ [9, 18, 21]:

$$M_1 = \alpha L_0 = 2,8 \cdot 0,586 = 1,64 \text{ кмоль}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата				ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк 59
	Інв. № дубл.					
	Взам. інв. №					
	Підп. і дата					
	Зм Арк № докум. Підп. Дата					
<i>Коефіцієнт надлишку повітря (α). Для кращого згоряння палива, кількість повітря що поступає у камеру згоряння, значно перевищує стехіометричне відношення. Для сучасних дизелів з наддуванням та охолодженням повітря коефіцієнт надлишку повітря на номінальному режимі лежить у межах $\alpha = 2,25...4,0$, для розрахунків приймемо значення характерне для прототипу $\alpha = 2,48$ (дизельне паливо) і $\alpha = 2,8$ (газове паливо) [9, 18, 21].</i> <i>Кількість свіжого заряду, (M_1), для дизеля визначається по формулі:</i> - для дизельного палива [9, 18, 21]: $M_1 = \alpha L_0 = 2,48 \cdot 0,494 = 1,22 \text{ кмоль}$ - для СПГ або ЗПГ [9, 18, 21]: $M_1 = \alpha L_0 = 2,8 \cdot 0,586 = 1,64 \text{ кмоль}$						

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{C}{12} = \frac{0,765}{12} = 0,064 \text{ кмоль};$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{H}{2} = \frac{0,233}{2} = 0,117 \text{ кмоль};$$

$$M_{\text{s}_2} = \frac{S}{32} = \frac{0,000}{32} = 0,000 \text{ кмоль}$$

$$M_{\text{O}_2} = 0,21(a-1)L_0 = 0,21(2,800-1)0,586 = 0,2216 \text{ кмоль};$$

$$M_{\text{N}_2} = 0,79 \times a \times L_0 = 0,79 \times 2,800 \times 0,586 = 1,2968 \text{ кмоль};$$

$$M_2 = \sum_{i=1}^n M = 0,064 + 0,117 + 0,000 + 0,2216 + 1,2968 = 1,6986 \text{ кмоль}.$$

3.2.3 Процес впуску

Температура й тиск навколишнього середовища (T_0 , p_0). Тиск і температуру навколишнього середовища (атмосферного повітря) приймаємо відповідно $p_0 = 0,103$ МПа й $T_0 = 288$ К [9, 18, 21].

Температура й тиск на вході у двигун. У двигунів з наддуванням параметри навколишнього середовища приймають рівними до параметрів повітря на виході з компресора, а при наявності проміжного охолодження повітря - тиску й температурі повітря за охолоджувачем.

Відповідно до прототипу, у двигуні, застосовується наддування й проміжне охолодження повітря. Прийmemo величину наддування згідно із прототипом [9, 18, 21]:

- для дизельного палива і СПГ або ЗПГ [9, 18, 21]:

$$p_k = 3,495 \times p_0 = 3,495 \times 0,103 = 0,360 \text{ МПа}$$

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										61
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Показник політропи стиску в компресорі (n_k), що залежить від його типу й ступеня досконалості процесу, що протікає в ньому, $n_k = 1,4 \dots 2$. Прийmemo значення показника політропи характерне для більшості сучасних турбокомпресорів $n_k = 1,4$

Температура повітря у двигуна з наддуванням на виході з компресора залежить від ступеня підвищення тиску [9, 18, 21]:

$$T'_k = T_0 \left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{n_k-1}{n_k}} = 288,0 \left(\frac{0,360}{0,103} \right)^{\frac{1,400-1}{1,400}} = 411,8 \text{ K},$$

Ступінь охолодження повітря в повітроохолоджувачі (σ_{ox}). Для водоповітряних охолоджувачів, $\sigma_{ox} = 0,7 \dots 0,90$, прийmemo $\sigma_{ox} = 0,8765$ [9, 18, 21].

У двигуні з охолоджувачем після компресора температура у впускному ресивері [9, 18, 21]:

$$T_k = T'_k - \sigma_{ox} (T'_k - T'_a) = 362,7 - 0,800(362,7 - 288,0) = 303,3 \text{ K},$$

де T'_a - середня температура охолоджувальної води у повітроохолоджувачі, (при використанні для охолодження забортної води $T'_a = T_0 = 288 \text{ K}$);

T'_k - температура повітря перед охолоджувачем, що приймається рівній температурі на виході з компресора.

Тиск залишкових газів (p_r), МПа, Тиск залишкових газів у циліндрі двигуна p_r залежить від числа, розмірів і розташування клапанів, опору впускного й випускного трубопроводів, фаз газорозподілу, ступені наддування, швидкохідності двигуна й інших факторів. Для двигунів з високим наддуванням приймають: $p_r = (0,75 \dots 0,98)p_k$. Враховуючи це приймаємо [9, 18, 21]:

$$p_r = 0,750 \times p_k = 0,750 \times 0,360 = 0,270 \text{ МПа}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
					Арк				62

Температура залишкових газів (T_r) для дизелів – 700...900 К. Слід урахувати, що збільшення α , і ϵ приводить до зниження T_r , а підвищення частоти обертання дизеля збільшує температуру залишкових газів [9, 18, 21].

Прийmemo $T_r = 610,0$ К [9, 18, 21]

Ступінь підігріву (охолодження) заряду у впускному тракті (ЛТ).

Для дизелів з наддуванням $\Delta T = -5...10$ К. Необхідно враховувати, що при збільшенні діаметра циліндра D , частоти обертання колінчастого вала n , і ступені стиску ϵ величина T_r зменшується. Якщо впускний і випускний трубопроводи розміщені поруч або впускний трубопровід обладнаний підігрівом, то величину ΔT слід приймати ближче до верхньої межі. Враховуючи особливості конструкції впускного тракту двигуна-прототипу, прийmemo значення $\Delta T = 7$ К [9, 18, 21]

Тиск наприкінці процесу впуску, (p_a) МПа. Наявність опорів у впускному тракті призводить до зниження тиску p_a , що подається в циліндри, заряду на величину Δp_a .

Для знаходження втрат тиску визначимо щільність заряду в циліндрі:

$$\rho_\kappa = \frac{p_\kappa \cdot 10^6}{R_\epsilon \cdot T_\kappa} = \frac{0,360 \cdot 10^6}{287 \cdot 303,3} = 4,136 \text{ кг/м}^3,$$

де $R_\epsilon = 287$ кДж/(кг х К) газова постійна повітря.

Коефіцієнт опору ($c = \beta^2 + \zeta_{вп}$) враховуючий падіння швидкості свіжого заряду після входу його в циліндр і гідравлічні опори впускної системи двигуна, змінюється в межах 2,5...4,0. β - коефіцієнт загасання швидкості руху заряду, $\zeta_{вп}$ - коефіцієнт опору впускної системи в найбільш вузькому її перетині. Основний вплив на величину c виявляє частота обертання колінчастого вала. При збільшенні n коефіцієнт збільшується. Для розрахунку, враховуючи особливості конструкції базового двигуна, прийmemo $c = 2,5$ [9, 18, 21].

Середня швидкість повітря ($\omega_{вп}$) в прохідних перетинах впускних органів дизелів та лежить у межах $\omega_{вп} = 20...70$ м/с. Ця швидкість залежить від перетину органів газообміну та частоти обертання колінчастого вала. При

Інв. № подп.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	$\rho_{\kappa} = \frac{p_{\kappa} \cdot 10^6}{R_{\epsilon} \cdot T_{\kappa}} = \frac{0,360 \cdot 10^6}{287 \cdot 303,3} = 4,136 \text{ кг/м}^3,$ де $R_{\epsilon} = 287 \text{ кДж/(кг \times К)}$ газова постійна повітря. <i>Коефіцієнт опору</i> ($c = \beta^2 + \zeta_{\text{вп}}$) враховуючий падіння швидкості свіжого заряду після входу його в циліндр і гідравлічні опори впускної системи двигуна, змінюється в межах 2,5...4,0. β - коефіцієнт загасання швидкості руху заряду, $\zeta_{\text{вп}}$ - коефіцієнт опору впускної системи в найбільш вузькому її перетині. Основний вплив на величину c виявляє частота обертання колінчатого вала. При збільшенні n коефіцієнт збільшується. Для розрахунку, враховуючи особливості конструкції базового двигуна, прийmemo $c = 2,5$ [9, 18, 21]. <i>Середня швидкість повітря</i> ($\omega_{\text{вп}}$) в прохідних перетинах впускних органів дизелів та лежить у межах $\omega_{\text{вп}} = 20 \dots 70 \text{ м/с}$. Ця швидкість залежить від перетину органів газообміну та частоти обертання колінчатого вала. При					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										63

зменшенні перетину впускних органів й збільшенні n середня швидкість $\omega_{\text{вп}}$ збільшується. Для розрахунку, враховуючи результати аналізу особливостей конструкції базового двигуна, приймемо $\omega_{\text{вп}} = 20$ м/с [9, 18, 21].

Втрати тиску за рахунок опору впускної системи можна визначити з рівняння Бернуллі. Приймавши нульову швидкість заряду на вході у впускну систему й зневажаючи зміною щільності заряду в процесі його руху, одержимо [9, 18, 21]:

$$\Delta p_a = c \frac{\omega_{\text{вп}}^2}{2} \rho_{\kappa} \cdot 10^{-6} = 2,50 \frac{25,0^2}{2} 4,136 \cdot 10^6 = 0,0032 \text{ МПа.}$$

Тоді

$$p_a = p_{\kappa} - \Delta p_a = 0,360 - 0,0032 = 0,3568 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт залишкових газів (γ_{Γ}). Даний показник характеризує якість очищення циліндра від продуктів згоряння й визначається як відношення числа молей залишкових газів до числа молей свіжого заряду. Без урахування продувки й дозарядки циліндра коефіцієнт залишкових газів для судових дизельних двигунів визначається за допомогою залежності [9, 18, 21]:

$$\gamma_{\Gamma} = \frac{(T_{\kappa} + \Delta T) \cdot p_{\Gamma}}{T_{\Gamma} (\varepsilon_0 \cdot p_a - p_{\Gamma})} = \frac{(303,3 + 7) \cdot 0,357}{610,0 (16,20 \cdot 0,357 - 0,270)} = 0,025 \text{ МПа.}$$

Отриманий коефіцієнт залишкових газів характерний для базового двигуна: дизеля даного типу ($\gamma_{\Gamma} = 0,025 \dots 0,06$) [9, 18, 21].

Температура наприкінці процесу впуску (T_a) залежить від температури повітря після компресора T_{κ} , підігріву заряду ΔT , температури T_{Γ} і коефіцієнта залишкових газів γ .

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										64
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{303,3 + 7,0 + 0,025 \cdot 610,0}{1 + 0,025} = 317,6 \text{ К.}$$

Температура кінця впуску для дизелів з наддуванням $T_a = 320...450 \text{ К.}$

Коефіцієнт наповнення (η_v) є одним з ключових параметрів, що характеризують ефективність газообміну під час впуску. Він визначається як співвідношення фактичної кількості свіжого заряду, що потрапляє в циліндр, до обсягу заряду, який теоретично міг би заповнити циліндр за умови заданих тиску та температури навколишнього середовища, з якого надходить цей заряд [9, 18, 21]:

$$\eta_v = M_d / M_0,$$

де M_d – дійсне число молів свіжого заряду в циліндрі;

M_0 - число молів свіжого заряду, що могло б поміститися в циліндрі при p_k і T_k .

Без врахування продувки й дозарядки циліндра для суднових дизельних двигунів коефіцієнт наповнення дорівнює [9, 18, 21]:

$$\begin{aligned} h_v &= \frac{T_k}{(T_k + \Delta T)(e_0 - 1)} \left(\frac{e_0 p_a}{p_k} - \frac{p_r}{p_k} \right) = \\ &= \frac{303,3}{(303,3 + 7)(16,20 - 1)} \left(\frac{16,20 \times 0,357}{0,360} - \frac{0,270}{0,360} \right) = 0,984. \end{aligned}$$

3.2.4 Процес стискування

У реальному двигуні теплоємність заряду в циліндрі змінюється залежно від температури, оскільки відбувається теплообмін зі стінками циліндра. Крім того, на процес впливають витоки газів через неповні герметичні з'єднання клапанів і поршневих кілець, дозарядка циліндра перед закриттям впускного клапана, випаровування палива та згоряння палива на кінцевій стадії стиснення. У зв'язку з цим, точний термодинамічний опис процесу стиснення

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
Арк				
65				

в реальному двигуні є складним. На практиці припускають, що процес стиснення відбувається по політропі з показником p_1 , значення якого дає таку ж роботу в процесі стиснення, як і при змінному показнику в реальному процесі [9, 18, 21].

Показник політропи стиснення (n_1). Розрахунок параметрів процесу стиснення здійснюється за умовним середнім показником політропи n , що варіюється в межах $n_1 = 1,32 \dots 1,40$ [9, 18, 21].

При виборі величини n_1 слід враховувати наступне [9, 18, 21]:

- зі збільшенням частоти обертання колінчатого валу p_1 зростає;
- підвищення середньої температури процесу стиснення призводить до зменшення p_1 ;
- зі зменшенням інтенсивності охолодження двигуна p_1 зростає;
- зі зменшенням відносної поверхні охолодження до об'єму циліндра p_1 збільшується;

Враховуючи аналіз конструкції прототипу, приймаємо значення політропи, характерне для дизельних двигунів з нерозділеними камерами згоряння, $p_1 = 1,32 \dots 1,42$, та використовуємо для розрахунку: $n_1 = 1,354$ [9, 18, 21].

Тиск наприкінці процесу стиску (p_c) [17, 21]:

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon_0^{n_1} = 0,357 \cdot 16,20^{1,354} = 15,490 \text{ МПа.}$$

Для розглянутого у проекті класу сучасних МОД з високим наддуванням $p_c = 12 \dots 17$ МПа. Отримане значення відповідає даному діапазону [9, 18, 21].

Температура наприкінці процесу стиску, (T_c) [9, 18, 21]:

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon_0^{n_1-1} = 317,6 \cdot 16,20^{1,354-1} = 851,2 \text{ К.}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
					Арк				
					66				

$$\mu = \frac{M_2 + \gamma \cdot M_1}{M_1 + \gamma \cdot M_2} = \frac{1,252 + 0,025 \cdot 1,223}{1,223 + 0,025 \cdot 1,252} = 1,023.$$

- для СПГ або ЗПГ:

$$\mu = \frac{M_2 + \gamma \cdot M_1}{M_1 + \gamma \cdot M_2} = \frac{1,699 + 0,025 \cdot 1,641}{1,641 + 0,025 \cdot 1,699} = 1,033.$$

Для дизелів $\mu = 1,03...1,06$. Отримане значення відповідає даному діапазону.

Коефіцієнт ефективного тепловикористання (ξ_z) визначається як параметр, що враховує теплові втрати під час процесу згорання. Це значення змінюється в межах $\xi_z = 0,7...0,85$ для дизельних двигунів при номінальному режимі роботи. При виборі даних для розрахунків слід враховувати взаємозв'язок цих величин з режимом роботи двигуна. Зі збільшенням частоти обертання колінчатого вала дизеля значення ξ_z зростає завдяки покращенню процесу сумішоутворення та згорання палива [9, 18, 21].

Для двигунів ξ_z збільшується зі зростанням параметра p до тих меж, поки підвищення втрат тепла через збільшення фази догорання палива не перевищить зменшення теплообміну через скорочення часу контакту гарячих газів із стінками циліндра. Для розрахунку дизеля візьмемо $\xi_z = 0,950$, а для газу $\xi_z = 0,900$ [9, 18, 21].

Середнє значення молекулярної теплоємності продуктів згорання в температурному діапазоні $t_b = 1000...2800$ °C можна наближено оцінити за допомогою апроксимуючих рівнянь для продуктів згорання дизельного двигуна [9, 18, 21].

$$c_v'' = 27,0211 + 0,002039t_z - 2,234\alpha,$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										68
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Підставивши у рівняння згорання для дизелів відповідні значення параметрів, а замість c_v'' його рівняння отримаємо [9, 18, 21]:

- для дизельного палива:

$$\frac{0,950 \cdot 42500}{1,223(1 + 0,025)} + (1,023 \cdot 22,07 + 8,314 \cdot 1,355) \cdot 578,0 =$$

$$= (1,020(27,0211 + 0,002039t_z - 2,234 \cdot 2,475) + 8,314)t_z.$$

Для газу

$$\frac{0,900 \cdot 48200}{1,641(1 + 0,025)} + (1,033 \cdot 22,07 + 8,314 \cdot 1,452) \cdot 578,0 =$$

$$= (1,031(27,0211 + 0,002039t_z - 2,234 \cdot 2,800) + 8,314)t_z.$$

Рівняння згорання після підстановки вищенаведених величин перетворюється у квадратне, відносно t_z вигляду [9, 18, 21]:

$$A \cdot t_z^2 + B \cdot t_z - C = 0.$$

$$0,002080t_z^2 + 30,39923t_z - 51617,56 = 0.$$

Вирішуючи квадратне рівняння, знаходимо температуру t_z в точці z:

$$t_z = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4A \cdot C}}{2A} =$$

$$\frac{-30,39923 + \sqrt{30,39923^2 + 4 \cdot 0,002080 \cdot 51617,56}}{2 \cdot 0,002080} = 1529,570 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
					Арк				
					69				

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата

залежить головним чином від типу сумішоутворення й форми камери згоряння й змінюється в дизелях з безпосереднім упорскуванням й об'ємним сумішоутворенням – 1,1...1,4 [9, 18, 21].

При виборі λ варто пам'ятати, що при збільшенні ступеня підвищення тиску збільшується жорсткість роботи двигуна, ростуть навантаження деталей кривошипно-шатунного механізму, збільшуються втрати на тертя, зростає зношування двигуна. Для розрахунку задамо ступінь підвищення тиску характерну для прототипу: λ дизеля = 1,35; λ газу = 1,45 [9, 18, 21].

Тоді:

Тоді для дизеля:

$$p_z = p_c \cdot \lambda = 15,49 \cdot 1,355 = 20,99 \text{ МПа.}$$

Для газу

$$p_z = p_c \cdot \lambda = 15,49 \cdot 1,452 = 22,49 \text{ МПа.}$$

Для дизельних двигунів p_z обмежується виходячи з міцності матеріалів елементів КШМ й у зв'язку зі зростанням механічних втрат у двигуні.

Максимально припустимим прийнято вважати значення $p_z = 23 \text{ МПа}$, для газу $p_z = 25 \text{ МПа}$ [9, 18, 21].

Розрахункове значення нижче максимально допустимого [9, 18, 21].

Ступінь попереднього розширення (ρ) у суднових дизельних двигунів з комбінованим підведенням теплоти [9, 18, 21]:

$$\rho = \frac{\mu}{\lambda} \cdot \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,020}{1,355} \cdot \frac{1802,720}{851,169} = 1,5944.$$

Для дизелів $\rho = 1,2 \dots 1,7$. Отримане значення характерно для даного типу двигуна [9, 18, 21].

Для газу

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										71
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

$$\rho = \frac{\mu}{\lambda} \cdot \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,031}{1,452} \cdot \frac{1654,984}{851,169} = 1,3808.$$

3.2.6 Процес розширення

Показник політропи розширення (n_2). Розрахунок параметрів процесу розширення здійснюється з умовно сталим (середнім) значенням n_2 . Для дизельних двигунів n_2 знаходиться в межах 1,18...1,28. Варто зауважити, що цей показник залежить від режиму роботи двигуна, розмірів циліндра, типу охолодження та багатьох інших чинників. У випадках, коли час догорання палива збільшується, спостерігається зниження відносного теплообміну і витоків газів, що веде до зменшення значення n_2 . З огляду на це приймаємо: $n_2 = 1,270$ для дизельного двигуна та $n_2 = 1,248$ для газу [9, 18, 21].

Тиск на завершенні розширення (p_v), МПа. Для дизельного двигуна, щоб визначити тиск p_v , спершу необхідно обчислити ступінь наступного розширення δ . Цей параметр знаходиться за допомогою формули [9, 18, 21]:

$$\delta = \frac{\varepsilon_0}{\rho} = \frac{16,20}{1,594} = 10,16.$$

Тоді

$$p_v = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{20,99}{10,16^{1,270}} = 1,104 \text{ МПа.}$$

Тиск наприкінці розширення для суднових дизелів $p_v = 0,9 \dots 1,2$ МПа

Температура наприкінці розширення (T_v), К для дизельного ДВЗ [9, 18, 21]:

$$T_v = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{1802,720}{10,16^{1,270-1}} = 963,956 \text{ К.}$$

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
Арк				
72				

$$D = \frac{602,7 - 610,0}{(610/100)} = -1,19\%$$

Вказана похибка може бути прийнята при попередньому розрахунку циклу двигуна [9, 18, 21].

Газу

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}} = \frac{898,6}{\sqrt[3]{\frac{1,104}{0,27}}} = 573,1 \text{ К.}$$

Вихначемо похибку прийнятого допущення:

$$\Delta = \frac{573,1 - 610,0}{(610/100)} = -6,04\%$$

Дана похибка може бути прийнята при попередньому розрахунку циклу двигуна

3.2.8 Індикаторні показники циклу

Середній індикаторний тиск (p_i), МПа,

Для дизелів:

$$p'_i = \frac{p_c}{\epsilon_0 - 1} \left[\frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\epsilon_0^{n_1 - 1}} \right) + \lambda (\rho - 1) \right] =$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ 74
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

$$\frac{15,490}{16,20-1} \left[\frac{1,35 \cdot 1,594}{1,270-1} \left(1 - \frac{1}{10,16^{1,270-1}} \right) - \frac{1}{1,354-1} \times \right. \\ \left. \times \left(1 - \frac{1}{16,20^{1,354-1}} \right) + (1,35 \cdot 1,460) - 1 \right] = 2,809 \text{ МПа.}$$

Для газу:

$$p'_i = \frac{p_c}{\varepsilon_0 - 1} \left[\frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_0^{n_1-1}} \right) + \lambda(\rho - 1) \right] =$$

$$\frac{15,490}{16,20-1} \left[\frac{1,45 \cdot 1,381}{1,248-1} \left(1 - \frac{1}{11,73^{1,248-1}} \right) - \frac{1}{1,354-1} \times \right. \\ \left. \times \left(1 - \frac{1}{16,20^{1,354-1}} \right) + (1,45 \cdot 1,381) - 1 \right] = 2,523 \text{ МПа.}$$

Реальний середній індикаторний тиск циклу дещо менший за теоретичний через відмінності між реальною та теоретичною індикаторними діаграмами. Ця різниця коригується за допомогою коефіцієнта повноти індикаторної діаграми φ . З урахуванням значення коефіцієнта φ , реальний середній індикаторний тиск циклу визначається за формулою [9, 18, 21]:

$$p_i = \varphi \cdot p'_i = 0,924 \cdot 2,809 = 2,596 \text{ МПа.}$$

Індикаторний ККД для суднових двигунів, що працюють на рідкому нафтовому паливі (η_i) [9, 18, 21]

$$\eta_i = \frac{p_i \cdot l_0 \cdot \alpha}{\rho_k \cdot H_u \cdot \eta_v} = \frac{2,596 \cdot 14,28 \cdot 2,48}{4,136 \cdot 42500 \cdot 0,984} = 0,537.$$

Для дизелів на номінальному режимі $\eta_i = 0,42 \dots 0,55$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ Арк 75
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

Питома індикаторна витрата рідкого палива (g_i), г/(кВт·год.) [9, 18, 21]:

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i} = \frac{3600}{42,50 \cdot 0,537} = 157,83,$$

де H_u підставляємо в МДж/кг.

Межі зміни питомої витрати палива g_i на номінальному режимі для середньообертових дизелів $g_i = 150 \dots 170$ г/(кВт·год.) [9, 18, 21].

Отримане значення відповідає даному діапазону [9, 18, 21].

Для газу

$$p_i = \varphi \cdot p'_i = 0,920 \cdot 2,523 = 2,321 \text{ МПа.}$$

Індикаторний ККД для суднових двигунів, що працюють на рідкому нафтовому паливі (η_i) [9, 18, 21]

$$\eta_i = \frac{p_i \cdot l_0 \cdot \alpha}{\rho_k \cdot H_u \cdot \eta_v} = \frac{2,321 \cdot 16,97 \cdot 2,80}{4,136 \cdot 48200 \cdot 0,984} = 0,543.$$

Для дизелів на номінальному режимі $\eta_i = 0,42 \dots 0,55$

Питома індикаторна витрата рідкого палива (g_i), г/(кВт·год.):

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i} = \frac{3600}{48,200 \cdot 0,543} = 156,03$$

де H_u підставляємо в МДж/кг.

Межі зміни питомої витрати палива g_i на номінальному режимі для середньообертових дизелів $g_i = 150 \dots 160$ г/(кВт·год.).

Отримане значення відповідає даному діапазону.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										76
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

3.2.9 Ефективні показники двигуна

Середній ефективний тиск робочого циклу (p_e) визначається як різниця середнього індикаторного тиску циклу p_i середнього тиску механічних втрат p_m [9, 18, 21]:

$$p_e = p_i - p_m.$$

Середній тиск механічних втрат представляє собою потужність, затрачувану на подолання тертя в КШМ, привод допоміжних механізмів, здійснення впуску й випуску, віднесену до одиниці робочого об'єму циліндра. Для визначення величини p_m використовується емпірична формула, що має загальний вигляд [9, 18, 21]:

$$p_m = A_p + B_p \cdot V_{n.c.p.}, \text{ МПа,}$$

де $V_{n.c.p.}$ – середня швидкість поршня, м/с;
 A_p, B_p – коефіцієнти.

Залежно від конструктивних особливостей двигунів коефіцієнти A_p і B_p приймають різні значення. Для середньообертових дизелів з нерозділеною камерою згоряння $A_p = 0,105$; $B_p = 0,0120$.

Знайдемо тиск механічних втрат [9, 18, 21]:

Середню швидкість поршня $V_{n.c.p.}$ приймемо – 10,20 м/с

$$p_m = 0,105 + 0,012 \cdot 10,20 = 0,227 \text{ МПа.}$$

Визначимо середній ефективний тиск p_e [9, 18, 21]:

Для дизеля

$$p_e = p_i - p_m = 2,596 - 0,227 = 2,368 \text{ МПа.}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
						77
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Питома витрата рідкого палива (g_e), г/(кВт·год.) [9, 18, 21]:

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{156,030}{0,902} = 172,982 \text{ / (кВт} \times \text{год.)}.$$

3.2.10 Уточнення вихідних параметрів дизеля за результатами розрахунку робочого процесу

Уточнюємо основні параметри і показники двигуна:

- робочий об'єм двигуна [9, 18, 21]:

$$V_{лц} = \frac{\pi D^2 S}{4 \times 10^6} = 101,3 \text{ дм}^3$$

- повний об'єм двигуна [9, 18, 21]:

$$V_l = V_{лц} i = 11999,02 \text{ кВт}$$

- ефективна потужність одного циліндра:

$$N_{e_ц} = \frac{p_e V_l n}{30 \tau} = \frac{2,368 \times 101,3 \times 500}{30 \times 4} = 999,918 \text{ кВт}$$

- повну потужність при 40% N_e [9, 18, 21]:

$$N_e = N_{e_ц} i = 999,918 \times 12 = 11999,02 \text{ кВт}$$

- обертовий момент [9, 18, 21]:

$$M_e = \frac{3 \times 10^4 \times N_e}{\pi n} = \frac{3 \times 10^4 \times 11999,02}{3,142 \times 500} = 229281 \text{ Н} \times \text{м}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
					Арк				
					79				

- годинна витрата палива [9, 18, 21]:

$$G_T = N_e \times g_e \times 10^{-3} = 11999,02 \times 172,99 \times 10^3 = 2075,7 \text{ кг / год}$$

- середня швидкість поршня, м/с:

$$V_{п.ср.} = \frac{Sn}{30000} = \frac{610 \times 500}{30000} = 10,2 \text{ м / с}$$

Перевіримо похибку прийнятого раніше допущення середньої швидкості поршня [9, 18, 21]:

$$\Delta = \frac{10,2 - 10,2}{(10,20 / 100)} = -0,3\%$$

Дана похибка цілком припустима для попередніх розрахунків.

Газ

Уточнюємо основні параметри і показники двигуна:

- літраж двигуна:

$$V_{лц} = \frac{\pi D^2 S}{4 \times 10^6} = 101,4 \text{ дм}^3$$

- повний об'єм двигуна:

$$V_l = V_{лц} i = 1216,7 \text{ кВтм}$$

- ефективна потужність одного циліндра [9, 18, 21]:

$$N_{e_ч} = \frac{p_e V_l n}{30 \tau} = \frac{2,094 \times 100,9 \times 500}{30 \times 4} = 883,914 \text{ кВтм}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм

Арк

№ докум.

Підп.

Дата

ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ

80

-повну потужність при 40% N_e :

$$N_e = N_{e_q} i = 883,914 \times 12 = 10606,96 \text{ кВт}$$

- обертовий момент [9, 18, 21]:

$$M_e = \frac{3 \times 10^4 \times N_e}{\pi n} = \frac{3 \times 10^4 \times 10606,96}{3,142 \times 500} = 202681 \text{ Н} \times \text{м}$$

- годинна витрата палива [9, 18, 21]:

$$G_T = N_e \times g_e \times 10^{-3} = 10606,96 \times 172,98 \times 10^{-3} = 1834,8 \text{ кг / год}$$

- середня швидкість поршня, м/с:

$$V_{п.ср.} = \frac{S n}{30000} = \frac{610 \times 500}{30000} = 10,2 \text{ м / с}$$

Перевіримо похибку прийнятого раніше допущення середньої швидкості поршня:

$$\Delta = \frac{10,2 - 10,2}{(10,20 / 100)} = -0,3\%$$

Дана похибка цілком припустима для попередніх розрахунків [9, 18, 21].

3.2.11 Побудова індикаторної діаграми

Для наочного відображення процесу робочого циклу в циліндрі аналізованого двигуна побудуємо індикаторну діаграму. Для цього використаємо аналітичний метод. Розрахунок і побудова основних та проміжних точок циклу буде виконана в комп'ютерному форматі Excel.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										81
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

– об'єм камери стиску:

$$V_c = \frac{V\mathcal{L}_q}{\varepsilon - 1} = 101,33 / (16,20 - 1) = 6,67 \text{ дм}^3.$$

– об'єм циліндра на початку стиску:

$$V_a = V_c + V_s = 6,67 + 101,3 = 108,0 \text{ дм}^3.$$

Газ

– об'єм камери стиску:

$$V_c = \frac{V_{\mathcal{L}_y}}{\varepsilon - 1} = 100,88 / (16,20 - 1) = 6,64 \text{ дм}^3.$$

– об'єм циліндра на початку стиску:

$$V_a = V_c + V_s = 6,64 + 100,9 = 108,0 \text{ дм}^3.$$

Після чого розрахункові значення наносять на вісь абсцис.

За віссю ординат – у відповідному масштабі тисків відкладемо координати характерних точок циклу: $a, c, c', c'', z, z', b, b', b''$.

Дані для побудови політропи стиску й розширення знайдемо аналітичним способом. Для цього весь робочий об'єм поділимо на частині й

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	І аз – об'єм камери стиску: $V_c = \frac{V_{\text{л}_y}}{\varepsilon - 1} = 100,88 / (16,20 - 1) = 6,64 \text{ дм}^3.$ – об'єм циліндра на початку стиску: $V_a = V_c + V_s = 6,64 + 100,9 = 108,0 \text{ дм}^3.$ Після чого розрахункові значення наносять на вісь абсцис. За віссю ординат – у відповідному масштабі тисків відкладемо координати характерних точок циклу: $a, c, c', c'', z, z', b, b', b''$. Дані для побудови політропи стиску й розширення знайдемо аналітичним способом. Для цього весь робочий об'єм поділимо на частини й
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ

визначимо проміжне значення об'ємів V_i . Для забезпечення точності побудови візьмемо відносно невеликі проміжки між V_i розбивши весь об'єм на 40 ділянок. Проміжне значення тисків визначимо по формулах [9, 18, 21]:

– на лінії стиску:

$$p_{ci} = p_a \left(\frac{V_a}{V_i} \right)^{n_1};$$

– на лінії розширення:

$$p_{bi} = p_b \left(\frac{V_a}{V_i} \right)^{n_2}.$$

Розрахунки проміжних значень тисків і температур представимо у табл. 3.3 – 3.4. Для скорочення табличних даних представимо отримані значення із кроком розбивки всього об'єму на 40 ділянок.

Таблиця 3.3 – Дані для побудови індикаторної діаграми (дизель)

Точка	Геометричні данні		Лінія стиску	Лінія розшир
	ε	V_i	p_{ci}	p_{vi}
1	2	3	4	5
0	1,00	108,00	0,357	1,10
1.	1,02	105,47	0,368	1,14
2.	1,05	102,93	0,381	1,17
3.	1,08	100,40	0,394	1,21
4.	1,10	97,87	0,408	1,25
5.	1,13	95,33	0,422	1,29
6.	1,16	92,80	0,438	1,34
7.	1,20	90,27	0,455	1,39
8.	1,23	87,73	0,473	1,44
9.	1,27	85,20	0,492	1,49
10.	1,31	82,67	0,512	1,55
11.	1,35	80,14	0,534	1,61
12.	1,39	77,60	0,558	1,68
13.	1,44	75,70	0,584	1,75
14.	1,49	72,54	0,612	1,83
15.	1,54	70,00	0,642	1,92
16.	1,60	67,47	0,675	2,01
17.	1,66	64,94	0,710	2,11
18.	1,73	62,40	0,750	2,22
19.	1,80	59,87	0,793	2,34

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
										83
					Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПІННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
20.	1,88	57,34	0,841	2,47
21.	1,97	54,80	0,894	2,61
22.	2,07	52,27	0,953	2,78
23.	2,17	49,74	1,019	2,96
24.	2,29	47,20	1,094	3,16
25.	2,42	44,67	1,179	3,39
26.	2,56	42,14	1,276	3,65
27.	2,73	39,61	1,388	3,95
28.	2,91	37,07	1,518	4,30
29.	3,13	34,54	1,671	4,70
30.	3,38	32,01	1,852	5,18
31.	3,67	29,47	2,071	5,75
32.	4,01	26,94	2,339	6,44
33.	4,43	24,41	2,674	7,30
34.	4,94	21,87	3,101	8,40
35.	5,59	19,34	3,664	9,82
36.	6,43	16,81	4,432	11,73
37.	7,57	14,27	5,529	14,44
38.	9,20	11,74	7,205	18,51
39.	11,74	9,21	10,015	20,99
40.	16,20	6,67	15,490	20,99

Таблиця 3.4 – Дані для побудови індикаторної діаграми (газ)

Точка	Геометричні данні		Лінія стиску	Лінія розшир
	ε	V_i	p_{ci}	p_{vi}
1	2	3	4	5
0	1,00	107,51	0,357	1,04
1.	1,02	104,98	0,368	1,07
2.	1,05	102,45	0,381	1,11
3.	1,08	99,91	0,394	1,14
4.	1,10	97,38	0,408	1,18
5.	1,13	94,85	0,422	1,22
6.	1,16	92,31	0,438	1,26
7.	1,20	89,78	0,455	1,30
8.	1,23	87,25	0,473	1,35
9.	1,27	84,71	0,492	1,40
10.	1,31	82,18	0,512	1,45
11.	1,35	79,65	0,534	1,51
12.	1,39	77,12	0,558	1,57
13.	1,44	74,58	0,584	1,64
14.	1,49	72,05	0,612	1,71
15.	1,54	69,52	0,642	1,79
16.	1,60	66,98	0,675	1,87

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5
17.	1,66	64,45	0,710	1,96
18.	1,73	61,92	0,750	2,06
19.	1,80	59,38	0,793	2,17
20.	1,88	56,85	0,841	2,29
21.	1,97	54,32	0,894	2,43
22.	2,07	51,78	0,953	2,57
23.	2,17	49,25	1,019	2,74
24.	2,29	46,72	1,094	2,92
25.	2,42	44,18	1,179	3,13
26.	2,56	41,65	1,276	3,37
27.	2,73	39,13	1,388	3,64
28.	2,91	36,59	1,518	3,95
29.	3,13	34,05	1,671	4,32
30.	3,38	31,52	1,852	4,75
31.	3,67	28,99	2,071	5,26
32.	4,01	26,45	2,339	5,89
33.	4,43	23,92	2,674	6,66
34.	4,94	21,39	3,101	7,64
35.	5,59	18,85	3,664	8,91
36.	6,43	16,32	4,432	10,61
37.	7,57	13,79	5,529	13,02
38.	9,20	11,25	7,205	16,61
39.	11,74	8,72	10,015	22,49
40.	16,20	6,19	15,490	22,49

Ми заокруглюємо розрахункову індикаторну діаграму, оскільки в реальному двигуні завдяки випередженню самозапалювання робоча суміш запалюється ще до досягнення поршнем верхньої мертвої точки, що призводить до підвищення тиску наприкінці стискання. Процес згоряння відбувається при збільшенні об'єму. Відкриття випускного клапана до досягнення поршнем верхньої мертвої точки спричиняє зниження тиску наприкінці розширення, а також відбувається процес випуску та наповнення робочого циліндра. Положення точки c' залежить від кута початку впорскування палива c'' , а положення точки c можна орієнтовно визначити за допомогою формули [9, 18, 21]:

$$p_{c''} = (1,15 \dots 1,25) p_c = 1,067 \cdot 12,34 = 13,17 \text{ МПа.}$$

Положення крапки z' залежить від ступеня попереднього розширення.

38.	9,20	11,25	7,205	16,61
39.	11,74	8,72	10,015	22,49
40.	16,20	6,19	15,490	22,49

Ми заокруглюємо розрахункову індикаторну діаграму, оскільки в реальному двигуні завдяки випередженню самозапалювання робоча суміш запалюється ще до досягнення поршнем верхньої мертвої точки, що призводить до підвищення тиску наприкінці стискування. Процес згоряння відбувається при збільшенні об'єму. Відкриття випускного клапана до досягнення поршнем верхньої мертвої точки спричиняє зниження тиску наприкінці розширення, а також відбувається процес випуску та наповнення робочого циліндра. Положення точки c' залежить від кута початку впорскування палива c'' , а положення точки c можна орієнтовно визначити за допомогою формули [9, 18, 21]:

$$p_{c'} = (1,15 \dots 1,25) p_c = 1,067 \cdot 12,34 = 13,17 \text{ МПа.}$$

Положення крапки z' залежить від ступеня попереднього розширення.

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм

Арк

№ докум.

Підп.

Дата

ПІННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ

Арк

85

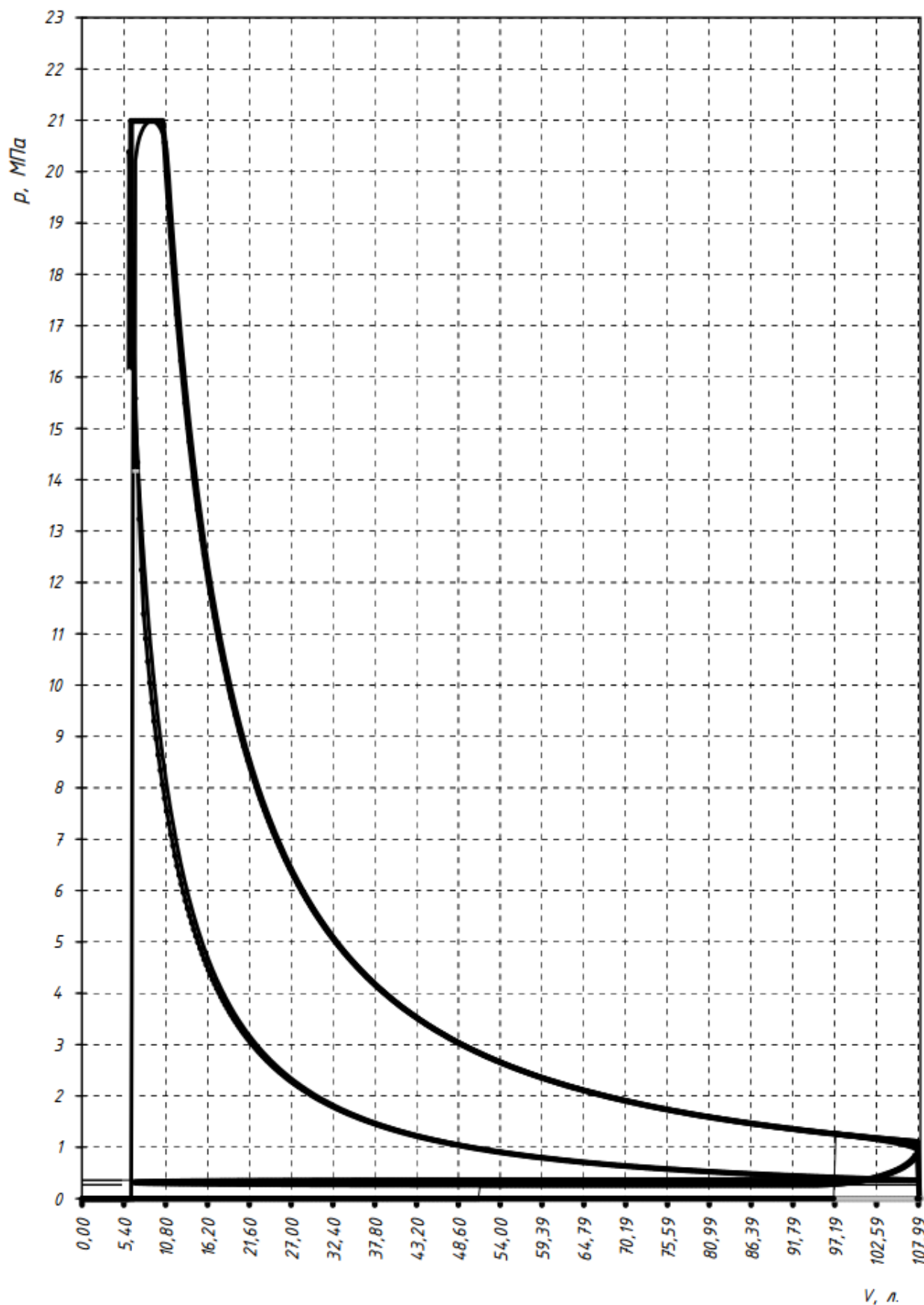


Рисунок 3.3 – Індикаторна діаграма робочого процесу в pV –координатах
(для дизельного палива)

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ

Арк

86

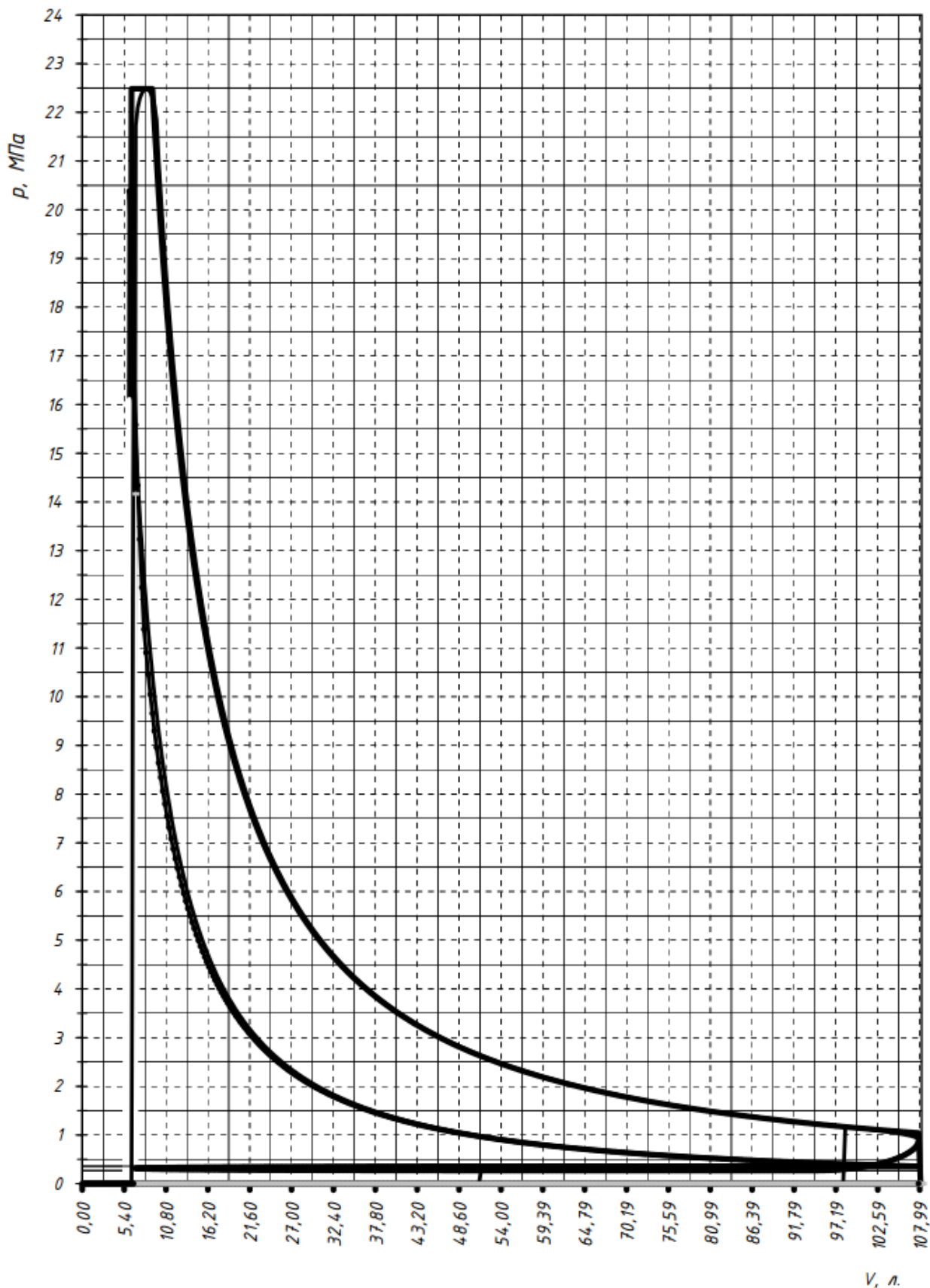


Рисунок 3.4 – Індикаторна діаграма робочого процесу в pV -координатах (для СПГ або ЗПГ)

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ

Арк

87

Положення крапки b визначає кут випередження випуску, крапку b' як правило розташовують між крапками b і a [9, 18, 21].

Зводимо результати розрахунку (рис. 3.2 і 3.3) у табл. 3.5 [9, 18, 21].

Таблиця 3.5 - Результати виконаного розрахунку

Параметр	Значення	
	дизельне паливо	СПГ або ЗПГ
Температура робочого тіла, К		
Температура повітря після ТКР, T_k	303,3	303,3
Температура наприкінці процесу впуску, T_a	317,6	317,6
Температура залишкових газів, T_r	602,7	573,1
Температура наприкінці стиску, T_c	851,2	851,2
Температура (максимальна) згорання, T_z	1802,72	1654,984
Температура наприкінці розширення, T_b	963,956	898,645
Питома витрата палива (g_e), г/(кВт·год)	172,99	172,98
Ефективна повна потужність, кВт	11999,02	10606,96
Годинна витрата палива, кг/год	2075,7	1834,8

3.3. Підбір і розрахунок елементів блоку газового палива

Необхідно здійснити підбір і розрахунок компонентів блоку газового палива при заданих умовах, зокрема витраті газу $V_p=1009,6$ м³/год, тиску на вході в систему $P_{вх}=0,3319$ МПа, та щільності газу $\rho_0=0,7448$ кг/м³ [9, 18, 21]. Газ з блоку газового палива подається через газопроводи до ємностей палива на судні та до входу в двигун №2, де тиск газу перед пальниками складає $P_r=43195,1$ Па [9, 18, 21].

Фільтр. Тискова втрата в чистому фільтрі ΔP_f , Па, розраховується за такою формулою:

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
					Арк				
					88				

$$\Delta P = \Delta P_m \left(\frac{V_p}{V_m} \right)^2 \times \frac{\rho_0}{\rho_m} \times \frac{P_\phi}{P_{\phi m}}, \text{ Па}$$

Опір фільтра ΔP_m (МПа) в залежності від пропускної здатності при $p_0 = 0,101$ МПа (абс.) і $\rho_m = 0,73$ кг/м³ приймається за паспортними даними. Приймаємо перепад тиску в фільтрі для витрати $V_m = 1600$ м³/ч, $\Delta P_m = 4000$ Па. Дійсний перепад тиску в фільтрі для заданих вихідних даних складе [9, 18, 20, 21]:

$$\Delta P_\phi = 4000 \left(\frac{1009,6}{1600} \right)^2 \times \frac{0,7448}{0,4} \times \frac{0,3319}{0,73} = 1348,8 \text{ Па (0,0013 МПа)}$$

Розрахунок показує, що фільтр підходить до установки ΔP_ϕ чистого фільтра не повинен бути більше 4000 Па) [9, 18, 20, 21].

Лічильник. Втрати тиску в лічильнику визначаються за формулою [20]:

$$\Delta P_{сч} = \Delta P_{сч}^B \times \frac{\rho_0}{\rho_B}$$

де $\Delta P_{сч}^B$ - перепад тиску в лічильнику, Па, при вимірюванні витрати повітря з $\rho_B = 1,293$ кг/м³; $\Delta P_{сч}^B$ - приймається з урахуванням дійсної завантаження лічильника [9, 18, 20, 21].

Завантаження лічильника в розрахунковому режимі складе:

$$Q = \frac{V_d}{V_{\max}} \times 100\% = \frac{292,6}{400} \times 100\% = 73\%$$

$$P_{сч} = P_{вх} - \Delta P_\phi \quad P_{сч} = 0,341 - 0,002 = 0,339 \text{ Мпа}$$

$$V_d = \frac{V_p \times P_0 (273 + t_d)}{293 \times P_{сч}} = \frac{1009,6 \times 0,101 \times (273 + 5)}{293 \times 0,3306} = 292,6 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
						89

$V_{\max} = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$, приймається по таблиці в залежності від типу лічильника [20];

Тоді маємо; $\Delta P_{\text{сч}} = 230 \text{ Па}$

$$\Delta P_{\text{сч}} = 230(0,7448/1,293) = 132,4 \text{ Па (0,00013 МПа)}$$

Регулятор тиску. Максимальна пропускна здатність регулятора тиску для зазначених умов при входному тиску 1,2 МПа (надл.) (1,3 МПа (абс.)) становить не більше 7200 м³/год.

Проводиться визначення пропускної здатності регулятора з урахуванням заданих параметрів та перевірка стабільності його роботи.

Для обчислення пропускної здатності регулятора тиску застосовуються такі формули [9, 18, 20, 21]:

$$\text{При } \frac{P_z}{P_1} \geq 0,5 \quad V = 0,855 \times V_m \times \sqrt{\frac{\Delta P \times P_z}{\Delta P_m \times P_{zm} \times P_0}}$$

$$\text{При } \frac{P_z}{P_1} < 0,5 \quad V = 0,855 \times \frac{V_m \times P_1}{P_{1m} \times \sqrt{\rho}}$$

де «m» - табличне значення параметра;

V, V_m – пропускна здатність регулятора, м³ / год;

ρ - щільність газу, кг / м³;

$\Delta P_1, \Delta P_T$ – перепад тиску в регуляторі, МПа;

P_1, P_{1T} – абсолютний тиск газу на вході в регулятор, МПа;

P_2, P_{2T} – абсолютний тиск газу на виході з регулятора, МПа;

$$P_1 = P_{\text{вх}} - \Delta P_{\text{ф}} - \Delta P_{\text{сч}} = 0,3319 - 0,001348 - 0,00013 = 0,3304 \text{ МПа}$$

$$P_2 = P_{\text{гор}} + \Delta P_{\text{с}} + P_0$$

де $\Delta P_{\text{с}}$ - втрати тиску в системі газопостачання до входу в двигун, МПа

P_0 – нормальний атмосферний тиск. ($P_0 = 0,101 \text{ МПа}$)

Газопроводи в машинному відділенні розраховують на тиск, що становить 25...30% від тиску газу перед входом в двигун [20]:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	
Зм	Арк
№ докум.	Підп.
Дата	
ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	
Арк	
90	

$$\Delta P_c = (0,25 \dots 0,3) P_{\text{Гор}} = 0,3 \cdot 0,043195 = 0,0129 \text{ МПа};$$

$$P_2 = 0,043195 + 0,0129 + 0,101 = 0,157 \text{ МПа}$$

Знаходимо відношення тисків [19]:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{0,157}{0,3304} = 0,47$$

Отже пропускну здатність будемо вважати за формулою (2):

$$V = 0,855 \times \frac{7200 \times 0,3304}{1,3 \times \sqrt{0,7448}} = 1812,9 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Межі стійкості роботи регулятора [20]:

$$V_y = (0,2 / 0,8) \cdot V = (0,2/0,8) \cdot 1812,9 = 362,6/1450,3$$

Прийнятий до установки регулятор тиску буде працювати стійко при розрахунковій витраті газу $V_p = 1009,6 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Запобіжний скидний клапан. Необхідна пропускна здатність визначається за формулою [20]:

$$V_{\text{ПСК}} \geq 0005 V \cdot = 0,0005 \cdot 358,2 = 0,18 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Приймаємо щодо встановлення в блоці газового палива, що має діапазон настройки тиску спрацьовування $0,02 \dots 0,058 \text{ МПа}$ [20].

Висновок. У процесі модернізації системи постачання газового палива були отримані основні теплові та витратні характеристики газового двигуна при використанні дизельного і газового палива. Ці дані є необхідними для розрахунку елементів додаткового блоку газового палива суднового двигуна під час його експлуатації в порту від зовнішнього джерела.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										91
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

4.1.1 Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах. Закон України «Про охорону праці» визначає основні принципи забезпечення конституційного права громадян на захист їхнього життя та здоров'я під час трудової діяльності. Він регулює, з урахуванням участі відповідних органів, відносини між керівництвом підприємства або організації та працівниками у питаннях безпеки праці, виробничої гігієни та середовища, встановлюючи єдиний порядок з охорони праці в Україні [24, 25].

До нормативно-технічних документів з охорони праці на суднах МКВ відносяться такі спеціально розроблені інструкції [24, 25]:

1. Правила технічної експлуатації суднових енергоустановок;
2. Правила технічної експлуатації суднових електроустановок;
3. Правила влаштування і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів, а також судин під тиском;
4. Правила безпечної експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння;
5. Правила з техніки безпеки при експлуатації тепломеханічного та електричного обладнання суден.

Міжнародні документи: ІМО 2011 — міжнародний нормативно-правовий акт, що набрав чинності у 2011 році та посилив вимоги до обмеження викидів в атмосферу у порівнянні з 2000 роком. Марпол 2006 — міжнародна конвенція, що спрямована на запобігання забрудненню морського середовища суднами. СОЛАС 74 — конвенція, що регулює захист життя на морі, встановлюючи мінімальні стандарти щодо конструкції, обладнання та плавання суден, забезпечуючи їхню безпеку. Додатково до цього переліку

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										92
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

можна включити МКУБ (ISMcode), ПДНВ, STCW та інструкції, розроблені роботодавцем [24, 25].

4.1.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у машинному відділенні. У процесі діяльності на людину можуть впливати численні небезпечні та шкідливі фактори. Судно, оснащене різноманітним обладнанням і механізмами, є об'єктом підвищеної небезпеки, який включає значну кількість таких факторів [24, 25].

Таблиця 4.1 - Потенційні небезпеки й шкідливі фактори на судні

Види потенційно можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів				
1. Фізичні виробничі фактори:				
1.1. Шкідливі:				
- шум;				
- вібрація;				
- наявність електромагнітних полів;				
- підвищена загазованість;				
- підвищене виділення тепла;				
- підвищена вологість.				
1.2. Небезпечні:				
- небезпека вибуху;				
- небезпека виникнення пожежі;				
- небезпека ураження електрострумом;				
- відкрито рухаються й обертаються частини машин.				
2. Хімічні виробничі фактори:				
2.1. Шкідливі:				
- подразнюючі речовини: кислоти, луги, розчинники, кислі гази.				
2.2. Небезпечні:				
- канцерогенні речовини: сполуки алюмінію, бензин, гас, 3,4-бенз(α)пирен (міститься у вихлопних газах двигунів).				
3. Біологічні виробничі фактори:				
3.1. Небезпечні:				
- бактерії.				

Дані фактори включають обладнання та засоби, за допомогою яких людина обробляє об'єкт, сам об'єкт і умови праці. Основними джерелами небезпечних і шкідливих факторів під час експлуатації валогенераторної

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
										93
					Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПІНІ НУК 131.61.23.09. ПЗ

установки на судах СТМ є електричні машини та системи автоматичного керування. Розглянемо ці фактори детальніше [24, 25].

Одним із таких факторів є живлення електродвигунів напругою 380 В трифазного змінного струму та 220 В однофазного змінного струму для системи автоматизації. Електричні машини є джерелом вібрації, що негативно впливає на персонал у приміщенні, де можливе виникнення вібраційної хвороби у працівників. Відповідно до нормативів, рівень шуму повинен відповідати октавній смузі в межах 92...108 дБ, а обладнання має функціонувати безвідмовно за частот вібрацій від 3 до 50 Гц та амплітудою 1 мм. Шкідливим фактором також є шум, норми якого визначаються ГОСТ 12.1.003-83 [24, 25].

Для забезпечення сприятливого мікроклімату передбачені системи вентиляції та опалення. Оптимальні умови для роботи передбачають відносну вологість 40...60% та температуру 18...22 °С. Освітленість робочого місця також є важливою умовою, і нормальним показником вважається освітленість у 200 лк. Згідно з ГОСТ 12.2.032-78 та ГОСТ 12.2.033-78, робоче місце повинне забезпечувати зручність виконання робіт як у сидячому, так і у стоячому положенні, а кут зору для охоплення інформаційного поля не повинен перевищувати 120°. Мінімальна робоча зона — 1 м. Завдяки математичному моделюванню можна значно знизити вплив небезпечних та шкідливих факторів на персонал при випробуваннях і подальшій експлуатації валогенераторної установки, шляхом підбору оптимального режиму роботи [24, 25].

Підвищена запиленість і загазованість також є шкідливими факторами. Основні забруднення, які можуть бути в робочій зоні, включають вуглеводні, сірчаний та сірчистий ангідрид, які у концентраціях, що перевищують ГДК, шкідливо впливають на організм людини. Відповідно до ГОСТ 12.1.005-76 встановлено ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Захист від них забезпечується вентиляцією та використанням газопиловловлюючих засобів індивідуального захисту [24, 25].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ

Арк

94

Температура повітря, вологість та швидкість його руху також мають велике значення. Підвищена температура у робочому приміщенні спричиняє швидку втому та перегрів, що може призвести до зниження працездатності і травматизму. Низька температура, у свою чергу, може викликати місцеве або загальне переохолодження організму. Для підтримання нормальної температури використовується вентиляція з підігрівом та охолодженням повітря. Важливим є також температура поверхонь огорожувальних конструкцій, яка повинна бути не нижчою за температуру повітря у приміщенні на 6°C і не меншою від точки роси [24, 25].

Освітлення. На судах використовують штучне освітлення. Нерівномірне освітлення робочих зон викликає підвищене навантаження на зір через часту переадаптацію при переключенні погляду з яскраво освітлених ділянок на темніші. Тіні на робочих поверхнях, а також відблиски від устаткування створюють несприятливі умови для зорової роботи. Оптимальні умови забезпечує загальне освітлення. У разі аварійного освітлення яскравість робочих поверхонь має бути не менше 25% встановленої норми, а на сходах і проходах – не менш ніж 5 лк. Норми освітленості регламентуються вимогами ГОСТ 2506-81 для суден морського флоту. На палубі загальне освітлення повинне бути не менше 20 лк, для шкал приладів – 75 лк, а для сходинок – 20 лк [24, 25].

Запобігання пожежі на судні. Головною метою боротьби з пожежею є швидке її локалізування та гасіння, що можливе лише при швидкому й достатньому поданні вогнегасного засобу. Це забезпечується стаціонарними системами пожежогасіння [24, 25].

Вуглекислий газ є поширеним засобом гасіння пожеж на судах. Гасіння пожеж у суднових приміщеннях вуглекислим газом здійснюється за методом об'ємного впливу. Для підвищення ефективності рекомендується герметизувати приміщення, куди подають вуглекислоту. Завдяки своїй густині (1,5 рази важчий за повітря), вуглекислий газ здатний проникати у

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					95

важкодоступні місця, такі як підлоги машинних і котельних відділень, вантажні трюми, паливні цистерни та інші обмежені простори [24, 25].

На суднах вуглекислий газ зберігається у сталевих балонах об'ємом 30-40 літрів у рідкому стані. Для систем пожежогасіння з робочим тиском близько 12,5 МПа використовують балони об'ємом 40 літрів, що вміщують 25 кг вуглекислоти. Балони встановлюються групами по 8-16 штук у вертикальному положенні, подалі від житлових і службових зон, оскільки вуглекислий газ є задушливим і небезпечним при концентрації в повітрі 22% і більше [24, 25].

При виході з балонів вуглекислота випаровується й перетворюється на газ, збільшуючись у об'ємі більше ніж у 500 разів. Частина вуглекислоти внаслідок переохолодження переходить у твердий стан – утворюються сніжні пластівці, які, потрапляючи до джерела пожежі, швидко перетворюються у газ. Обволікаючи палаючі предмети й витісняючи повітря, вуглекислий газ знижує рівень кисню в зоні горіння, що призводить до припинення пожежі. Для ефективного гасіння концентрація вуглекислоти повинна досягати 22-23% у повітрі приміщення [24, 25].

4.1.3 Розрахунок приточно-витяжної вентиляції в машинно-котельному відділенні

Вибір виду вентиляції залежить від типу й призначення судна, району його плавання, а також від потужності суднової енергетичної установки. Тип вентиляції й кратність повітрообміну залежать від призначення приміщень, що обслуговуються вентиляцією, і визначаються часом перебування в них людей, а також рівнем загазованості й надлишкових тепловиділень [24, 25].

Кратність повітрообміну n показує, скільки разів переміняється повітря в приміщенні за одну годину і визначається за рівнянням [1-3, 16, 17, 24, 25]:

$$n = L/V, \quad (4.1)$$

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										96

де L — обсяг подаваного в приміщення або видаленого з нього повітря, м³/год;

V — об'єм робочого приміщення, $V = 19000$ м³.

Подача повітря розраховується за виразом [1-3, 16, 17, 24, 25]:

$$L = Q_{\text{заг}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T), \quad (4.2)$$

де $Q_{\text{заг}}$ — сумарні явні тепловиділення від обладнання, що знаходиться в машинному відділенні, Вт;

c — питома теплоємність повітря, Дж/(кг·К), $c = 1,01 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К);

γ — густина повітря, при 20 °С і нормальному атмосферному тиску $\gamma = 1,3$ кг/м³;

ΔT — допустима різниця повітря між зовнішнім повітрям та повітрям у машинному відділенні, $\Delta T_{\text{літо}} = 12^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{зима}} = 27^\circ\text{C}$.

Кількість тепла, що потрапляє до машинного відділення від головного двигуна розрахуємо за виразом [1-3, 16, 17, 24, 25]:

$$Q_T = K_T \cdot N_e \cdot B \cdot g_e, \quad (4.3)$$

де K_T — коефіцієнт, що враховує кількість тепла, що виділяється дизелем.

При водо-водяній системі охолодження $K_T = 0,02$. В залежності від моделей двигуна, необхідна кількість відведеного тепла може досягати до 5 % від тепла, що підводиться паливом [1-3, 16, 17, 24, 25];

N_e — ефективна потужність дизелів, кВт, $N_e = 48000$ кВт;

B — нижча теплота згоряння, $B = 42500$ кДж/кг;

g_e — питома витрата палива, кг/(кВт·год), $g_e = 0,173$ кг/(кВт·год).

Тоді:

$$Q_T = 0,02 \cdot 42500 \cdot 48000 \cdot 0,173 = 7058400 \text{ кДж/год.}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
					Арк				
					97				

Кількість витяжного повітря з МО підраховується як різниця приточного повітря й повітря, споживане працюючими головними двигунами (якщо двигуни забирають повітря з МВ) [1-3, 16, 17, 24, 25]:

$$L'_e = L_b - L_d, \text{м}^3/\text{год} \quad (4.4)$$

Кількість повітря, споживаного двигунами:

$$L_d = 14,6 \cdot g_e \cdot \alpha \cdot N_e, \text{м}^3/\text{год} \quad (4.5)$$

де α – коефіцієнт надлишку повітря, $\alpha = 2,4$.

Тоді $L_d = 14,6 \cdot 0,173 \cdot 2,48 \cdot 48000 = 300671,2 \text{ м}^3/\text{год}$.

Підставляємо отримані значення в (4.2), проводимо розрахунок:

$$L_{\text{літо}} = Q_{\text{заг}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T) = 7058400 / (1,01 \cdot 1,3 \cdot 12) \approx 447981,7 \text{ м}^3/\text{год}.$$

$$L_{\text{зима}} = Q_{\text{заг}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T) = 7058400 / (1,01 \cdot 1,3 \cdot 27) \approx 199102,98 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Підставляємо отримані значення до (4.4), та проводимо розрахунок:

– для літа $L'_e = 447981,7 - 300671,2 = 147310,5 \text{ м}^3/\text{год}$;

– для зими $L'_e = 199102,98 - 300671,2 = -101568,22 \text{ м}^3/\text{год}$.

Згідно з (4.1) розрахункова кратність вентиляції машинного відділення становить для літа [1-3, 16, 17, 24, 25]

$$n_{\text{літо}} = L_{\text{літо}} / V = 147310,5 / 19000 \approx 7,75 \text{ год}^{-1}.$$

На судні встановлена система вентиляції машинного відділення, яка забезпечує комфортні умови праці. Цей розрахунок виконано для визначення

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				
					Арк				
					98				

необхідного об'єму циркуляції повітря в машинному відділенні відповідно до загальних санітарно-гігієнічних норм. Визначена кількість циркулюючого повітря достатня для підтримки оптимальних метеорологічних умов, а вентилятори моделі SMC8 – 100 забезпечують відповідні параметри на рівні 40...60% при наявності повітряного опалення, нормалізуючи клімат у літню пору. Для забезпечення необхідних показників у МКВ на судні використовуються системи припливно-витяжної вентиляції та обігріву [1-3, 16, 17, 24, 25].

Мікроклімат у машинному відділенні визначається такими параметрами, як вологість, температура, рухливість і тиск повітря, а також теплова енергія, що виділяється нагрітим повітрям, устаткуванням і механізмами. Підвищена температура у робочому приміщенні спричиняє швидку втому і перегрів організму, що знижує працездатність і може призвести до травм. Низька температура може викликати локальне чи загальне охолодження. Для підтримки оптимальної температури використовується вентиляція з підігрівом і охолодженням повітря. Важливу роль для самопочуття людей відіграє температура робочих поверхонь; вона має бути не нижче допустимої температури повітря у приміщенні і не меншою за точку роси, щоб уникнути небажаного впливу на персонал [1-3, 16, 17, 24, 25].

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Основні принципи безпеки суден, що працюють на газовому паливі. Якщо судно вважається об'єктом підвищеної небезпеки, то рівень ризику для кораблів, що працюють на горючому газі, зростає ще більше. Тому при їх будівництві та експлуатації застосовуються більш суворі правила і стандарти, ніж для інших типів суден [24, 25].

Під час перевезення небезпечних вантажів автоцистернами виділяють три основні види небезпек: пожежну безпеку, загрозу для здоров'я персоналу та ризик для довкілля [24, 25].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					
					ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ				Арк
									99

Зниження ризиків у кожному з цих аспектів досягається як за допомогою конструктивних, так і організаційних заходів [24, 25].

Конструктивні вимоги до пожежної безпеки викладені в Конвенції SOLAS 74 і в нормативних кодексах, що регулюють будівництво та обладнання суден для перевезення зріджених газів (МКГ) [24, 25].

Основними принципами забезпечення пожежної безпеки є зменшення ймовірності виникнення пожежі, обмеження її поширення, забезпечення безпечних шляхів евакуації для екіпажу, оснащення танкера засобами гасіння, а також встановлення адекватних систем сигналізації і сповіщення [24, 25].

Зниження ймовірності пожежі досягається через використання негорючих матеріалів, що не накопичують статичну електрику під час побудови судна, а також раціональне облаштування житлових та службових приміщень, застосування вибухобезпечного обладнання та належної вентиляції на палубі. Використання легкозаймистих матеріалів на судні обмежене. Конструкція повинна виготовлятися з вогнетривких матеріалів класів А або В [24, 25].

Вогнезахисні матеріали (сталь або інші стійкі матеріали) забезпечують затримку поширення вогню та диму до 60 хвилин, при цьому ізоляція має обмежувати підвищення температури з іншого боку конструкції не більше ніж на 139 °С. Відповідно, перегородки на танкерах повинні відповідати класам: А-0, А-15, А-30, А-60 [24, 25].

Вогнезахисний матеріал повинен гарантувати захист від проникнення вогню та диму протягом 30 хвилин після випробувань. Зростання температури не має перевищувати 139 °С [24, 25].

Усі житлові та офісні приміщення мають бути відокремлені від вантажного простору перегородками класу А-60, а шляхи евакуації повинні бути захищені протипожежними перегородками [24, 25].

Пожежа може виникнути лише при одночасній наявності кисню, горючих матеріалів і джерела займання [24, 25].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПІНІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
						100
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Вимкнення хоча б одного з цих компонентів робить виникнення пожежі неможливим. Тому важливо передбачити в конструкції судна заходи ізоляції цих компонентів для різних зон [24, 25].

Зона вантажних робіт є найбезпечнішим застосуванням захисних матеріалів у світі. Тому важливо уникати використання схем з відкритим доступом. Наразі усі силові агрегати на вантажній палубі подібних суден здебільшого забезпечують роботу електродвигунів. Через це електродвигуни та інше електрообладнання, що застосовується у зонах завантаження, мають бути сконструйовані так, щоб виключити можливість виникнення відкритих платежів або іскор [24, 25].

Існують два типи електрообладнання, яке допускається для використання у вантажних зонах. Однак його застосування обмежене тільки системами моніторингу та контролю вантажних і допоміжних операцій, а також у системах сигналізації, оскільки дане обладнання не призначене для роботи з великими струмами. Це не стосується електродвигунів, що приводять у дію вантажні насоси на судах [24, 25].

Наприклад, у реле конструктивно безпечного типу використовується суднова мережа з напругою 220 вольт, але це реле працює лише з ланцюгами, де напруга не перевищує 12 вольт, а струм — 5 мА [24, 25].

Джерело живлення такого реле має бути встановлене таким чином, щоб запобігати зворотному току і іскроутворенню, і бути оснащено стабілітроном, який працює у складі спеціальних діодів, резисторів та запобіжників. Раніше обладнання без такого бар'єру не використовували [24, 25].

Таке обладнання застосовується для приводу вантажних насосів, а також для розподільних коробок і вимикачів на вантажній палубі. Воно має бути вибухозахищеного типу [24, 25].

Під час експлуатації необхідно підтримувати належний стан обладнання, проводити контроль фізичного стану ізоляції та регулярно перевіряти її опір [24, 25]. Це забезпечує безперервність функціонування систем, які відповідають за безпеку під час вантажних робіт та безпеку судна.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк	
										ПІНІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	101
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата							

Якщо ремонт таких систем стає необхідним, це має бути зафіксовано у журналі [24, 25].

Найбільш небезпечною ділянкою зони завантаження є відсік компресора. Він зазвичай складається з двох частин: відділення електродвигуна і самого відсіку компресора [24, 25].

Електродвигунне відділення є освітленим, тому в ньому дозволено використовувати стандартне електрообладнання. Охолодження цього відділення забезпечується за рахунок покращеної вентиляції, завдяки якій повітря оновлюється 30 разів на годину, що запобігає накопиченню парів [24, 25].

Система повітряного шлюзу — це невелика кімната з постійним тиском, обладнана подвійними дверима з герметичним закриттям, розміщеними на відстані 2 метрів одна від одної. При відкритті однієї двері активується світлова та звукова сигналізація. Якщо відкриваються обидві двері одночасно, спрацьовує сигналізація і відбувається знеструмлення електродвигунного відсіку. Така конструкція унеможливорює формування трикутника займання у електродвигунному залі [24, 25].

Компресорні відсіки обладнуються примусовою вентиляцією, яка забезпечує зміну повітря у приміщеннях 30 разів за годину. Така висока інтенсивність повітрообміну запобігає накопиченню вибухонебезпечних та токсичних парів вантажу, гарантуючи безпечну експлуатацію [24, 25].

Житлові та службові зони надбудови. Розташування надбудови, де знаходяться численні джерела тепла та освітлення (електропідстанція, камбуз, побутова техніка, підсобні приміщення тощо), має забезпечувати захист внутрішніх приміщень від проникнення вибухонебезпечних газів. З цією метою на кораблях встановлюють повітряні камери на входах до надбудови і підтримують невеликий надлишковий тиск всередині [24, 25].

Шляхи евакуації екіпажу повинні бути ізольовані негорючими перегородками [24, 25].

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата

					ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
						102
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Обмеження поширення пожежі. Поширення вогню обмежується поділом горизонтальних та вертикальних проходів на протипожежні зони. Структурно виділяються зони на судні: приміщення басейну, зона завантаження, житлові й адміністративні приміщення надбудови, машинне відділення [24, 25].

Активне пожежне обладнання судна. Передбачені заходи активного пожежогасіння для суден, що транспортують газоподібне паливо. Всі вони мають систему аварійної зупинки вантажних насосів, що може бути активована спеціальними вимикачами або автоматично. Автоматична зупинка насосів відбувається за допомогою запобіжників, що розташовані над куполами баків, у зонах колекторів та компресорних приміщеннях. При нагріванні до 100°C запобіжники плавляться, перериваючи контур керування та активуючи систему аварійної зупинки насосів, а також запуск системи подачі води [24, 25].

До активних засобів пожежогасіння на газовозі належать: система водопостачання, система порошкового гасіння, зрошувальна система та системи об'ємного гасіння [24, 25].

Режим куріння. На судні, яке транспортує горючий газ, куріння дозволяється лише у спеціально обладнаних приміщеннях, визначених розпорядженням капітана. Курильні кімнати повинні мати [24, 25]: окрему вентиляційну систему з можливістю її вимкнення поруч з приміщенням; перегородки та обробку з негорючих матеріалів; огорожі в надбудові з перегородками класу А-60; вихід лише до внутрішніх приміщень надбудови.

Під час стоянки у порту куріння дозволяється тільки в одному визначеному приміщенні, позначеному як «зона для куріння». Під час дегазації або вантажних робіт куріння на борту заборонено [24, 25].

Особливу увагу приділяють зберіганню та використанню запальничок та сірників на сучасних суднах. Забороняється тримати ці предмети в салонах. Деякі компанії забороняють використання запальничок через ризик виникнення іскри при падінні. Сірники на суднах мають бути лише безпечного типу («сірники безпеки») [24, 25].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
										103
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					

Боротьба з пожежами на суднах Сучасні судна насичені легкозаймистими матеріалами та електрообладнанням, тому забезпечення пожежної безпеки (запобігання пожежам) і вміння діяти під час пожежі є обов'язковими для всього екіпажу. Капітан судна зобов'язаний створити атмосферу співпраці, необхідну для підтримання належного рівня пожежної безпеки [24, 25].

На судні розробляється "Програма попередження пожеж", яка включає такі розділи: тренування і бесіди; регулярні перевірки; технічне обслуговування і ремонт; оцінка ефективності та заохочення. Місця для куріння визначає капітан і обладнує їх належним чином. Необхідно враховувати місцеві правила портів щодо куріння та протипожежних заходів, про що екіпаж інформується завчасно [24, 25].

Капітан судна визначає порядок використання електронагрівальних приладів, побутових пристроїв і техніки, призначаючи відповідальних осіб для контролю їхньої безпеки. Проведення всіх робіт, застосування механізмів і електроінструментів можливе тільки з дозволу відповідальних осіб та з відома вахтової служби. Електроінструменти після закінчення роботи зберігаються на визначених місцях [24, 25].

Зберігання легкозаймистих рідин, обтиральних матеріалів та інших горючих речовин здійснюється у спеціально відведених місцях під контролем відповідальних осіб. Використані обтиральні матеріали та інше сміття збирають у спеціальні контейнери для передачі на берегові служби. Спалювання сміття в інсинераторах проводиться з дозволу відповідальної особи та за участі вахтової служби з обов'язковим оформленням документів [24, 25].

Роботи, що потребують відкритого вогню (зварювання або різання металів), дозволяються капітаном у письмовому вигляді під контролем старшого механіка та вахтової служби. Системи пожежогасіння, пожежної сигналізації й виявлення загорянь мають завжди бути в справному стані, і вахтова служба контролює їхню функціональність [24, 25].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										104

Кожен член екіпажу, особливо командний склад, повинен знати правила використання протипожежного обладнання на судні; особливості вогнегасних речовин, їхню токсичність та обмеження; основи хімічних процесів горіння; причини та шляхи поширення пожежі на судні; класи пожеж (А, В, С і D) та їх комбінації; небезпечні фактори пожеж (полум'я, тепло, гази та дим), а також правила користування засобами індивідуального захисту органів дихання та шкіри, конструкцію вентиляційної системи та місця вимикання вентиляційних пристроїв [24, 25].

Дії для боротьби з пожежами на судні. Основна мета гасіння пожеж на судні полягає в наступному: порятунок пасажирів і екіпажу; обмеження поширення пожежі (недопущення розповсюдження вогню та вибухонебезпечних речовин, таких як легкозаймисті рідини, балони з газом під тиском і небезпечні вантажі); використання всіх наявних засобів для гасіння пожежі; збереження стійкості судна і підтримання запасу плавучості [24, 25].

Тактика дій при пожежі включає такі кроки: оголошення пожежної тривоги; якщо можливо, огляд зони пожежі для уточнення місця та характеру вогню, визначення типу речовини, що горить, і рівня небезпеки пожежі; планування дій з порятунку пасажирів і екіпажу, локалізації вогню, видалення накопиченої під час гасіння води [24, 25].

Огляд зони пожежі проводиться лише тоді, коли необхідно знайти постраждалих або затримка з використанням засобів гасіння не вплине на розвиток пожежі (наприклад, у разі задимлення приміщень і поступового підвищення температури повітря). Порядок огляду визначається командиром аварійної партії за наказом капітана. Спорядження розвідників (захисні засоби для дихання та шкіри, страхувальні засоби, аварійний інструмент і обладнання для евакуації постраждалих) підбирається командиром залежно від обстановки [24, 25].

Час є вирішальним фактором у боротьбі з вогнем. Після виявлення загоряння необхідно негайно приступити до його гасіння. Невірна оцінка

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
										105

небезпеки чи зволікання при пожежі на судні зазвичай призводить до поширення вогню, матеріальних втрат і загибелі людей [24, 25].

Щоб прискорити гасіння, капітан може змінити організацію збору аварійної партії і негайно направити перших готових пожежників до місця загоряння [24, 25].

Методи, прийоми і засоби для гасіння вибираються залежно від місця пожежі, її масштабу і інтенсивності, властивостей горючих матеріалів, наявних засобів гасіння, а також кількості екіпажу з метою загасити пожежу якомога швидше [24, 25].

Висновок. Таким чином, цей розділ присвячений аналізу шкідливих і небезпечних чинників, що діють у машинних приміщеннях судна, параметрам мікроклімату в цих приміщеннях, діям екіпажу щодо запобігання впливу зазначених факторів і дотримання чинних норм, а також виконанню розрахунків для системи припливно-витяжної вентиляції.

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
											106
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата							

ВИСНОВКИ

Під час підготовки та написання магістерської роботи було досліджено основні конструктивні риси сучасного суднового двигуна марки МАК 12М46DF. За результатами аналізу розроблено заходи для покращення подачі газового палива та умов роботи двигуна при його використанні. Було вивчено вплив октанового числа на тепловиділення природного газу, методи визначення метанового числа складових природного газу, особливості експлуатації газових суднових дизелів, а також систему забезпечення газом на судні. Проведено обґрунтування експлуатаційних режимів суднового двигуна, враховано особливості роботи з блоком подачі газового палива, виконано тепловий розрахунок основного суднового дизеля на дизельному і газовому паливі. Розроблено комплекс заходів для забезпечення безпеки персоналу в надзвичайних ситуаціях.

Отримані результати розрахунків дають підстави сподіватися на ефективність запропонованих технічних рішень, що сприяють покращенню характеристик двигуна. Зокрема, модернізація системи подачі газового палива, обумовлена зміною умов експлуатації з портової мережі, забезпечить повноцінну роботу судна під час пасажирських перевезень.

Крім того, використання додаткового блоку подачі газу сприятиме більш стабільній та надійній роботі двигуна на газовому паливі від портової мережі. Це дасть змогу використовувати бортову систему підготовки палива лише для заходу та виходу з порту, а додаткову — для роботи з різними за складом газовими паливами. Такий підхід дозволить зменшити витрати на обслуговування газової системи.

Інв. № подп.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	
					характеристик двигуна. Зокрема, модернізація системи подачі газового палива, обумовлена зміною умов експлуатації з портової мережі, забезпечить повноцінну роботу судна під час пасажирських перевезень. Крім того, використання додаткового блоку подачі газу сприятиме більш стабільній та надійній роботі двигуна на газовому паливі від портової мережі. Це дасть змогу використовувати бортову систему підготовки палива лише для заходу та виходу з порту, а додаткову — для роботи з різними за складом газовими паливами. Такий підхід дозволить зменшити витрати на обслуговування газової системи.

					ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк 107
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. AIDAperla Technical Operating Manual IMO: 9636955 Issue 1 - April 2017, Produced by Worldwide Marine Technology Limited / www.wmtmarine.com. info@wmtmarine.com. - 966 p.
2. <https://vesselregister.dnvgl.com/VesselRegister/vesseldetails.html?vesselid=G117060>.
3. <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9636955>
4. Чепаліс І. В., Козьмініх Н. А. Багаторазове зрідження газів, як метод стабілізації тиску у вантажних цистернах метанових локомотивів. - 2014. - No 33. - С. 41-48.
5. The world's newest LNG carriers // LNG shipping news. – 2014. – P. 6–7.
6. Кости́лев І. І. Закордонне суднобудування. Стан і тенденції / І. І. Кости́лев, М. К. Овсянніков // Вісник Державного університету морського і річного флоту імені адмірала С. О. Макарова. – 2013. – No 3 (22). P. 66–70
7. Jean-François Castel, Jérémie Leriche. Feedback on the operation of the dual fuel diesel electric propulsion on LNG carriers: impact of gas fuel quality on propulsion efficiency.
8. Arto Sarvi, Jorma Jokiniemi, Jussi Lyyränen, Ron Zevenhoven. Combustion in dual fuel gas engines. The effect of LCV-gases and detonation sensitivity // International Flame Research Foundation. – Naantali, Finland. – 2009. – 17 p.
9. Ваншейдт В. А. Дизелі / В. А. Ваншейдт. – Л.: Машинобудування, 1964. – 600 с.
10. Фастовский В. Г. Метан / В. Г. Фастовский. – К., 1947. – 156 с.
11. Талантов А. Є. Основи теорії горіння. КАІ, 1975. – 253 с.
12. Возницький І. В. Практичні рекомендації по змащуванню судових дизелів. СПб., Видавництво «Моркніга», 2007. 64 с.

Інв. № дубл.	Інв. № дубл.	Взам. інв. №	Підп. і дата	Підп. і дата	Інв. № подл.						Арк
											108
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата							

13. Michael Wenninger, Sokrates Tolgos. LNG carrier power Flexibility and Maintainability with 51/60 DF electric propulsion MAN Diesel SE. Augsburg, Germany, 2008. – 22 с.

14. ДСТУ 31369-2008. Природний газ. Розрахунок теплотворної здатності, щільності, відносної щільності та числа Воббе на основі компонентного складу. – М.: Стандартиформ, 2009. – 59 с.

15. Чепаліс І.В. Проблеми сталої роботи газодизелів при використанні в якості палива природно випарованих вантажів метановозів // Вісник Державного університету морського і річкового флоту імені адмірала С. О. Макарова. - 2014. - № 1. - С. 68–75.

16. <https://vesselregister.dnvgl.com/VesselRegister/vesseldetails.html?vesselid=G117060>.

17. <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9636955>

18. Белоусов Є.В. Суднові двигуни внутрішнього згоряння. Тепловий, кінематичний, динамічний і міцнісний аналіз двигунів внутрішнього згоряння. Методичний посібник до виконання курсового проекту. Херсон: Вид. ХДМА– 2008 рік. – 138 с..

19. Технічна експлуатація суднових дизельних установок. Підручник для вищих навчальних закладів. М., Транспортне видавництво, 1985. – 288 с..

20. Стаскевич Н.Л., Северинець Г.М., Вігдогорчик Д.Ю. «Довідник з газопостачання та використання газу » - К: Надра, 1990. -762 с.

21. . Двигуни внутрішнього згоряння: теорія поршневих і комбінованих двигунів. Підручник для вищих навчальних закладів за спеціальністю Двигуни внутрішнього згоряння / Вирубов Д.М., Іващенко Н.А., Івін В.І. та ін.; За редакцією А.С. Орліна, М.Г. Круглова – 4-е вид., перероблене і доповнене – М., Видавництво машинобудування, 1983. 372 с.

22. Чепаліс І. В. Аналіз наслідків та критичності відмов газоутилізаційних установок метанонасичених / І. В. Чепаліс, Н. А. Козьмініх // Технічні гази. – 2014. – № 3. – С. 38–42.

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ					Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						109

23. Особливості функціонування системи теплової підготовки на основі багатосекційного фазоперехідного акумулятора в процесах забезпечення оперативної готовності енергетичної установки портового буксиру / Грицук І.В., Кальченко В.В., Іванов М.Я., Костюков В.М., Куровська С.Ю. - Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасне автомобілебудування, автотехнічна експертиза, експлуатація автомобільного транспорту та підготовка фахівців галузі транспорт", 22-23 жовтня 2024 р., (Посвідчення УкрІНТЕІ № 572 від «19» грудня 2022 р.), Харків, ХНАДУ, 2024, 284 с., С. 110-115

24. Кахте І.О., Ковтур Р.І., Новіков Г.М. Охорона праці на морському транспорті. – М.: Транспорт, 1975. – 263 с.

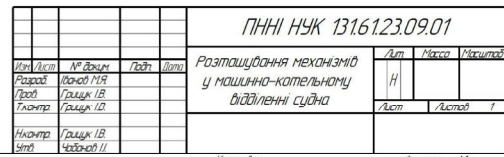
25. Юдицький Ф.П. Охорона навколишнього середовища при експлуатації суден. - Миколаїв, 1978. – 85 с.

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
						110

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата

					ПННІ НУК 131.61.23.09. ПЗ	Арк
						111
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		



Тип двигуна	4-тактний, дизельний, 12-циліндровий
Форма двигуна	V – подібна
Особливість двигуна	двохпальниковий
Турбонаддув	турбонагнітач постійного тиску
Діаметр циліндра, мм	460
Хід поршня, мм	610
Номинальна потужність, кВт	12000
Частота обертання колінчастого валу при номінальній потужності, хв ⁻¹	500
Швидкість поршня, м/с	10,2 / 10,5

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	Фундаментальні релі	1	
2	Колінчастий вал	1	
3	Шатун	12	
4	Поршень	12	
5	Клапан	14	
6	Піддон картера	1	
7	Втулка циліндра	12	
8	Впускний колектор	12	
9	Впускний колектор	1	
10	Кришка циліндра	12	
11	Газові комунікації двигуна	4	
12	Блоки керування запальною порцією палива	4	

5700

φ460

4570

ПІНІ НУК 1316123.09

Головний судновий

Лист	№ Всього	Лист	Всього
1	1	1	1

					ЛПНИ НУК 1316123.09.02			
Матр.Акт	№ докум.	Полн.	Адрес	Головний судновий двигун МАК 12М46ДФ		Акт	Менес	Масштаб
Розпод.	Кодовий МІД					Н		1:10
Розрах.	Розрах. ІВ					Акт	Адрес	1
Розрах.	Розрах. ІВ							
Масштаб	Розрах. ІВ							
Матр.								

1. Газове паливо повинно відповідати наведеним нижче вимогам

Температура газу перед входом в двигун °C 0...60

Тиск газу перед засобами регулювання палива (2) 6...10

Максимальне коливання тиску газу кПа ± 5

Мінімальне нижнє значення нагріву (LHV) MJ / m³ 28

Математика (всего заданий) 100	80
--------------------------------	----

Методоме число (для номинальной продукции) ГИП	80
Методоме число (для номинальной продукции) ГИП	80

Максимальна сірка як H_2S мг / м³ 20

Максимальний зміст $(\text{NH}_4)^+$ мз / м³ 25

МАКРОМАЛЪНАОО АМЛАК (NNA4) M2 / M 25

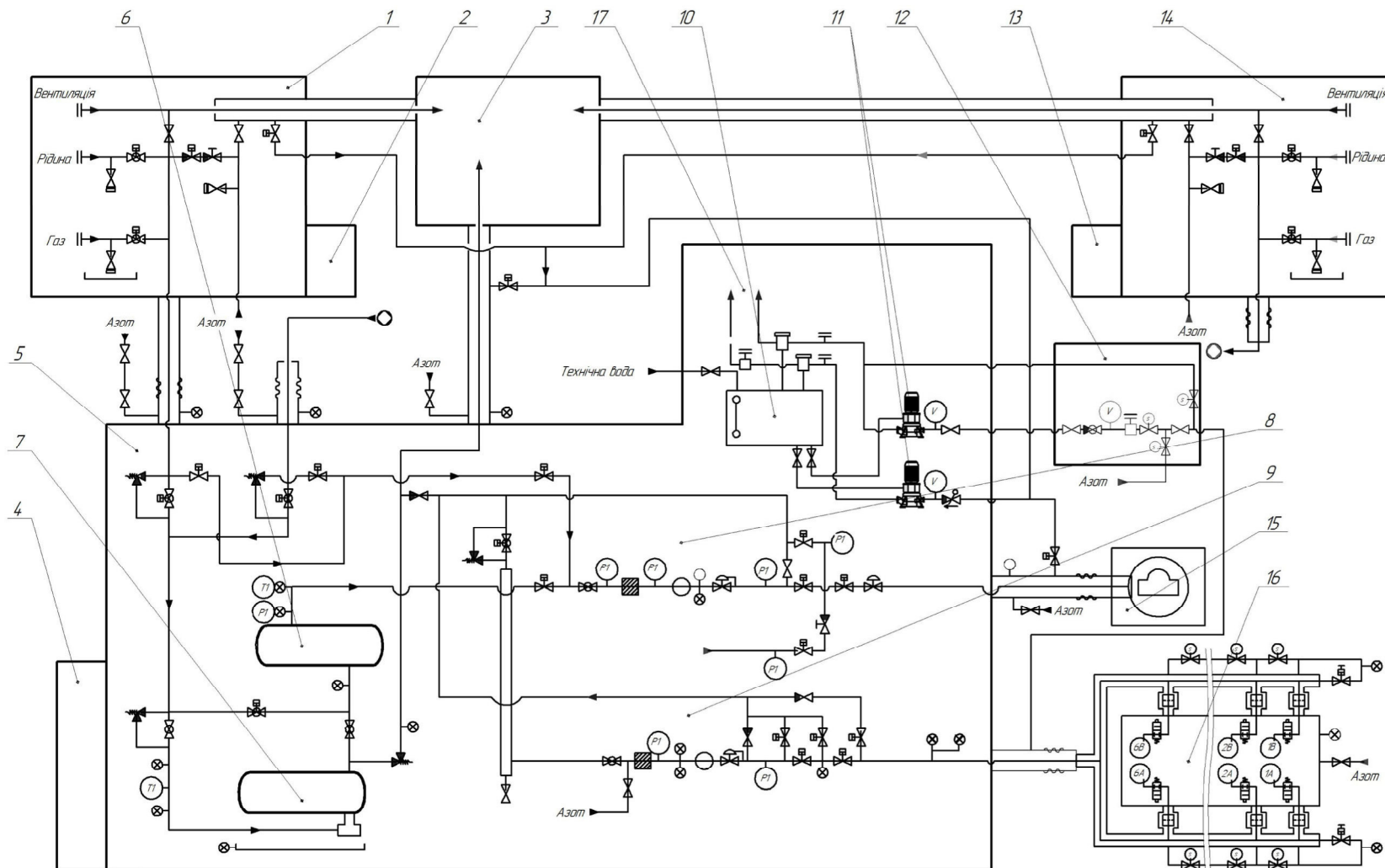
Максимальний вміст фтору мг / м³ 50Максимальный удар мз / м³ 50

Максимальний вміст оливи мг / м³ 50

Максимальний вміст частинок $\text{мг} / \text{м}^3$ 50

Максимальний розмір частинок рт 5

Максимальний вміст дьогтю, мг / м³ 10

Максимальний кремній мг / м³ 10

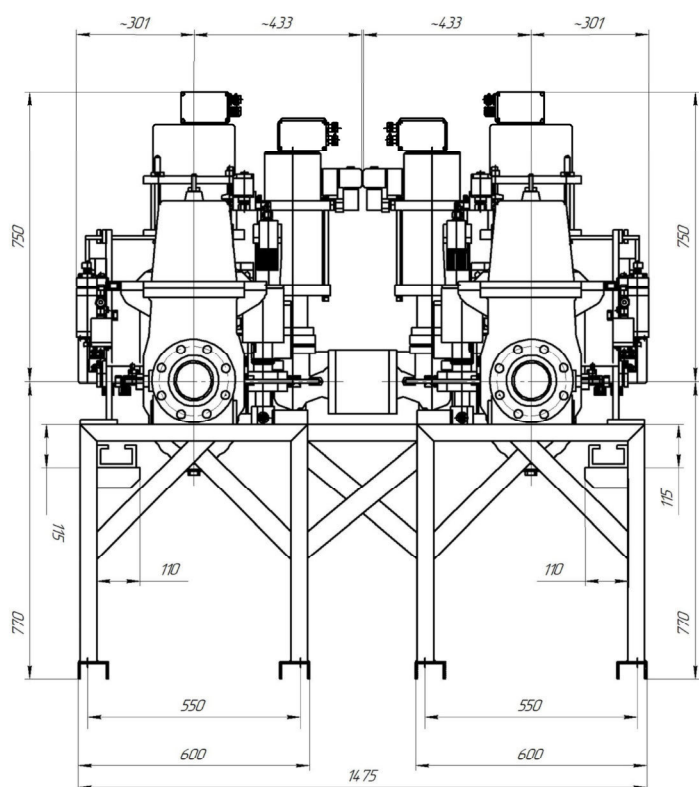
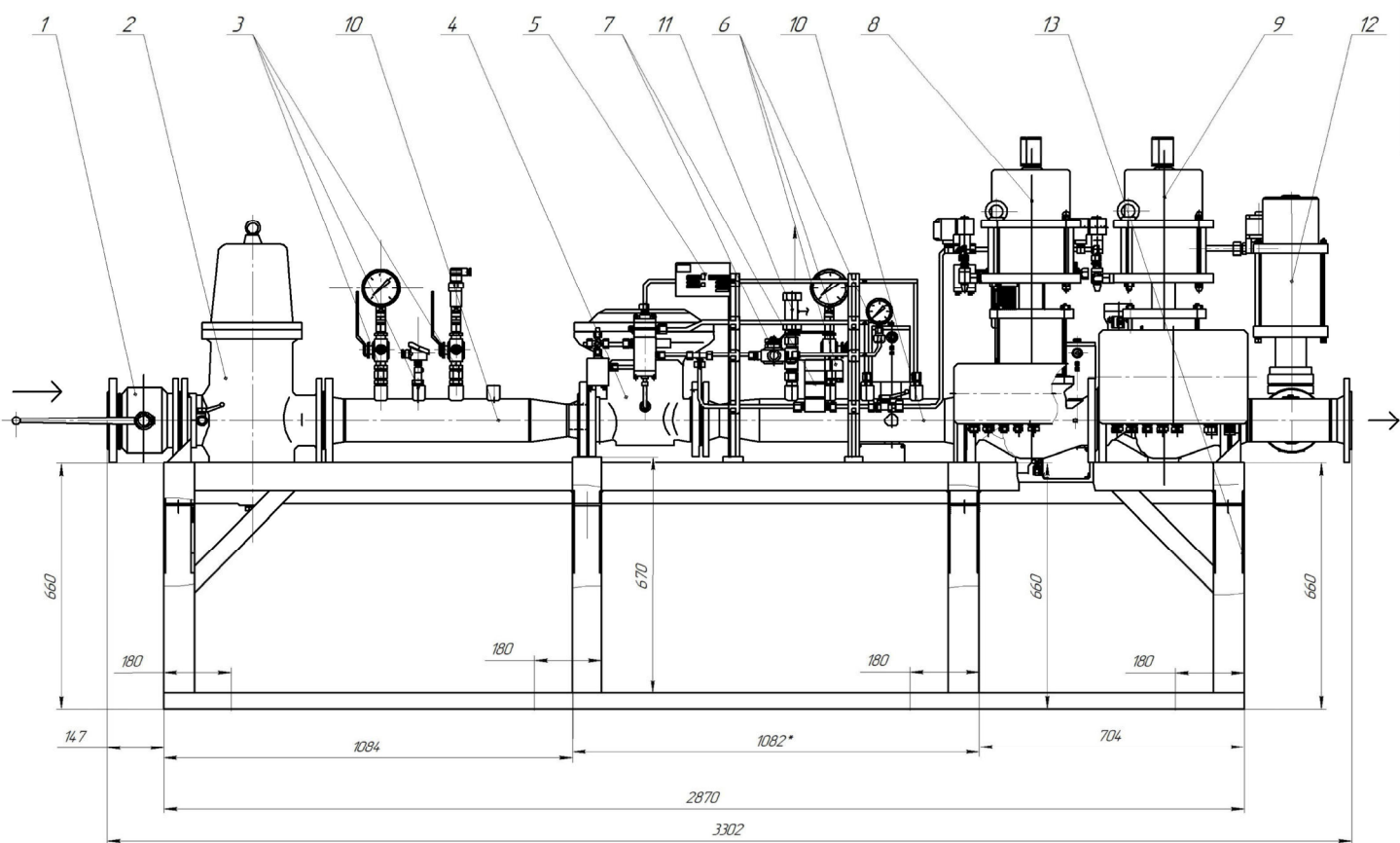
Технологічні приміщення і блоки

Технологічні магістралі

Технічні умови

1. Використання насиченого водою палива та конденсатів на газовій клапанній установці заборонено
2. Один індивідуальний блок газового клапана повинен надаватися на двигун. При використанні декількох різновидів палива, як опція
3. Максимальна довжина труби між блоком газового клапаната і двигуном не повинна перевищувати 10 м.
4. При застосуванні блоку газового клапану розташованого безпосередньо в машинному просторі, газонепроникне покриття доступне як опція для дотримання вимог щодо газодозпечного обладнання.

					ПНН НУК 1316123.09.03					
					Принципова схема системи живлення двигуна газовим паливом			Лист	Корект	Міжкорект
								Н		
Вид	Акт	№ докум.	Розд.	Лист				Лист	Листов 1	
Розроб		Лист 1/8								
Проєк		Лист 1/8								
Техніч		Лист 1/8								
Нормат.		Лист 1/8								
Стат.		Червоний 11								



- Технічні умови
- Використання насиченого водою газового палива та газових конденсатів на газовій клапанній установці заборонено
 - Один індивідуальний блок газового клапана повинен надаватися на двигун. При використанні декількох різновидів палива, як опція
 - Максимальна довжина труби між блоком газового клапана та двигуном не повинна перевищувати 10 м.
 - У разі накопичення газового палива інертний газ через блок клапана спрямовується на систему вентиляції судна.

Технічні вимоги

1 Газове паливо повинно відповідати наведеним нижче вимогам

Діапазон температур газу на інтерфейсах до двигуна (°C) 0 ... 60

Мінімальна різниця тиску в системі (бар (г)) 1

Максимальний тиск інертного газу (бар (г)) 10

Дозволені гази:

Азот > 95%

Вуглекислий газ 2,5

Максимальна сірка (H₂S) (%) 0,05

Максимальний аміак (NH₃) (мг / м³) 25

Максимальний вміст фтору (мг / м³) 50

Максимальний хлор (мг / м³) 50

Максимальний вміст олії (мг / м³) 50

Максимальний вміст частинок (мг / м³) 50

Максимальний розмір частинок 5

Максимальна точка роси (°C) -20

Поз	Найменування	Кіл	Примітка
1	Вхідна запорна арматура	1	
2	Фільтр очищення газового палива	1	
3	Блок вимірального обладнання	1	
4	Газовий редуктор	1	
5	Блок керування з газовим лічильником	1	
6	Блок вимірального обладнання	1	
7	Запорна апаратура	1	
8	Газовий насос	1	
9	Газовий насос	1	
10	Теплообмінник	2	
11	Газовий клапан	1	
12	Насос газовий	1	
13	Остат блоку газового клапана	1	

ПНН НУК 1316123.09.04			
Лист	№ докум	Лист	Лист
Розроб	Водов МЯ		
Проєкт	Гришук ІВ		
Лист	Гришук ІВ		
Нормат	Гришук ІВ		
Уніт	Модерніз II		
Підвісний блок подачі газового палива в умовах партового застосування			
Лист	Лист	Лист	Лист
1	1	1	1

P, МПа

24

22

20

18

16

14

12

10

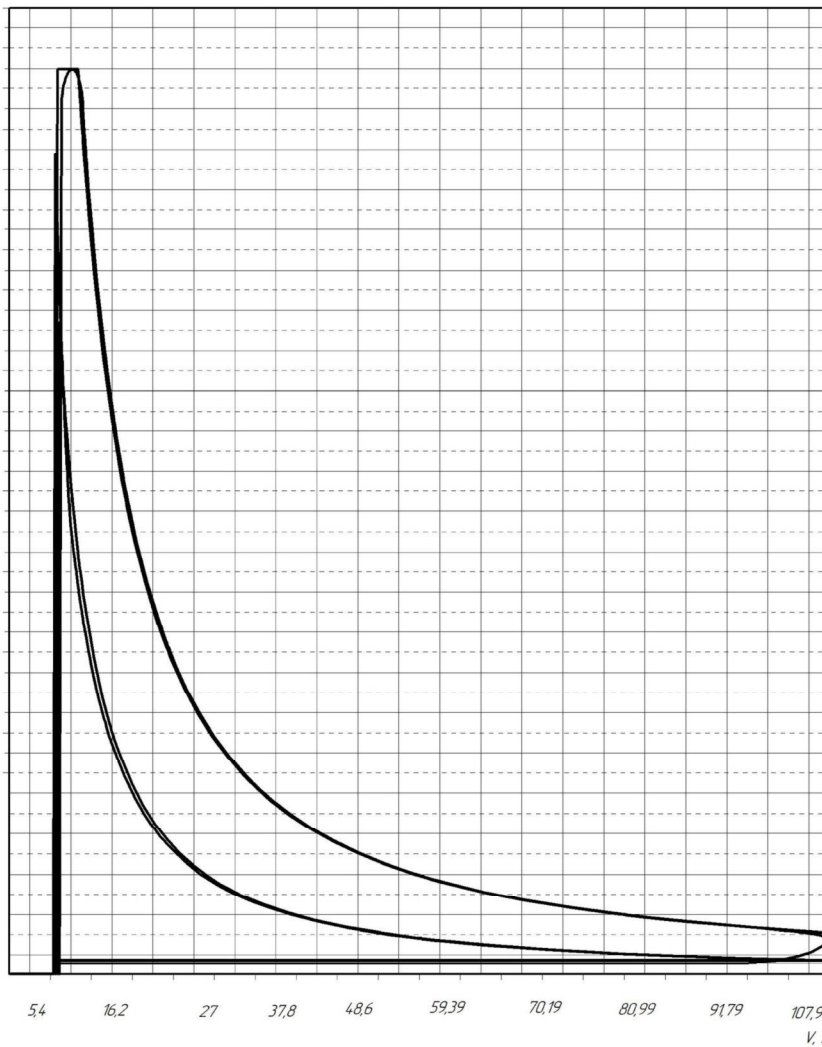
8

6

4

2

0



Шкала розподілу метанового числа газів



Результати виконаного розрахунку

Параметр	Значення	
	Дизельне паливо	СПГ або ЗПГ
Температура робочого тіла		
Температура повітря після ТКР, Тк	303,3	303,3
Температура наприкінці процесу впуску, Та	317,6	317,6
Температура залишкових газів, Тг	602,7	573,1
Температура наприкінці стиску, Тс	851,2	851,2
Температура (максимальна) згоряння, Тz	1802,72	1654,984
Температура наприкінці розширення, Тb	963,956	898,645
Літання витрата палива, gс / (кВт год)	172,99	172,98
Ефективна потужність, кВт	11999,02	10606,96
Годинна витрата палива, кг/год	2075,7	1834,9

ПННІ НУК 1316123.09.05			
Результати розрахунку двигуна 12M-60F фірми Caterpillar-MAK при 100% N _н			
Лист	№ докум	Лист	Лист
Розроб	Варіант М.А		
Проб	Гришук ІВ		
Лектор	Гришук ІВ		
Нормир	Гришук ІВ		
Уніт	Чайковий ІІ		
Лист	Листов	Лист	Лист
Лист	Листов	Лист	Лист

Копіювати

Формат А1

Лист 1 з 1

Лист 1 з 1