

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

«__» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Підвищення ефективності експлуатації головного двигуна Caterpillar-МАК 12М46DF судна «AIDAprima» за рахунок модернізації системи подачі газового палива

Виконав:

студент групи 61-ТЕМмаг-22з

Федоров Д.В.

(підпис)

Керівник роботи:

професор кафедри ЕМ, д.т.н., професор

(посада, науковий ступень, вчене звання)

Грицук І.В.

(підпис)

Первомайськ - 2023 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)

« ____ » _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту Федорову Дмитро Володимирович

1. Тема роботи: «Підвищення ефективності експлуатації головного двигуна Caterpillar-МАК 12M46DF судна «AIDAprima» за рахунок модернізації системи подачі газового палива».

Керівник роботи Грицук І.В.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 11.09.2023 року за № 49.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедрі 20.11.2023 року.

3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип – головний двигун Caterpillar-МАК 12M46DF судна «AIDAprima».

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів).

Вступ. 1. Загальна характеристика судна і його енергетичної установки. 2. Огляд досвіду технічної 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. Загальний вигляд судна. 2. Розташування механізмів у машино-котельному відділенні судна. 3. Головний судовий двигун МАК 12M46DF. 4. Принципова схема системи живлення двигуна паливним газом. 5. Блок газового палива. 6. Результати теплового розрахунку двигуна 12M46DF фірми Caterpillar-МАК.

6. Консультанти роботи

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

7. Дата видачі завдання «11»вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Підготовка та проробка літературних джерел	18.09.2023	
2	Написання першого розділу	02.10.2023	
3	Написання другого розділу	16.10.2023	
4	Виконання розрахунків та написання третього розділу	30.10.2023	
5	Підготовка і написання розділу охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях	06.11.2023	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі. Оформлення кваліфікаційної роботи	13.11.2023	

Студент _____
(підпис)

Федоров Д.Ф.

Керівник
роботи _____
(підпис)

Грицук І.В.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА І ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	7
1.1 Загальні відомості про судно	7
1.2 Основні характеристики судна «AIDAprima»	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. ОГЛЯД ДОСВІДУ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ	30
2.1 Вплив октанового числа на процес тепловиділення природного газу	30
2.2 Методи визначення метанового числа компонентного складу природного газу	32
2.3 Особливості технічної експлуатації газових двигунів суднових дизелів	38
2.4 Особливості суднової системи забезпечення газом	47
2.5 Обґрунтування режимів експлуатації суднового двигуна	51
РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ГАЗОВИМ ПАЛИВОМ СУДНОВОГО ДВИГУНА	53
3.1 Особливості застосування блоку газового палива суднового двигуна	53
3.2 Розрахунок головного суднового двигуна 12M46DF фірми Caterpillar-МАК при роботі на дизельному і газовому паливі	53

					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Федоров Д.В.								
Перевірів		Грицук І.В.							3	117
Н. контр.		Грицук І.В.								
Затвердив		Нестеренко			61-ТЕМ _{маг} -23					

ВСТУП

Транспорт є одним з ключових елементів сучасної цивілізації. Його стан і перспективи розвитку в величезній мірі залежать від можливостей постачання транспортних енергоустановок паливом. Виснаження запасів рідких вуглеводневих палив і проблеми забруднення навколишнього середовища ставлять людство перед альтернативою - або скоротити транспортні перевезення, або знайти нові шляхи енергопостачання транспорту.

Перспективи вирішення паливної проблеми транспорту, основною енергетичною установкою якого є двигун внутрішнього згоряння, пов'язані із застосуванням газових палив, в першу чергу - природного газу, запаси якого значно перевищують нафтові, в подальшій перспективі - водню.

З цього випливає необхідність більш інтенсивних розробок в області конструювання і дослідження газових двигунів. Поширені на даний момент підходи, пов'язані з конвертацією звичайних двигунів рідкого палива для роботи на газах, не завжди дозволяють в повній мірі використовувати потенціал газових палив. Найбільш ефективним підходом до вирішення цих проблем є комплексна оптимізація, що охоплює конструкцію і налагодження систем подачі повітря і подачі палива, вибір складу робочих сумішей на різних режимах роботи, при яких забезпечуються найкращі показники по економічності двигуна і токсичності відпрацьованих газів.

Розробка, вдосконалення та дослідження двигунів, що працюють на альтернативних паливах, пов'язане з великими труднощами, обумовленими відсутністю емпіричного матеріалу, який зазвичай використовується при аналогічних роботах в разі застосування традиційних палив. Ці труднощі можуть бути найбільш ефективно подолані за допомогою методів математичного моделювання. З урахуванням того, що заміна палива може кардинальним чином вплинути на всі процеси, що відбуваються в двигуні, об'єктивне прогнозування перспектив застосування нових видів палива і

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПІНІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				
Арк				
5				

необхідних для цього змін конструктивних і регулювальних параметрів вимагає, щоб моделювання було комплексним і включало в пов'язану систему розрахунок всіх основних явищ в двигуні. Особлива увага повинна бути приділена процесам сумішоутворення, згоряння і формування токсичних складових відпрацьованих газів. У зв'язку з цим сформулюємо наступне.

Мета дипломного проекту: розробити комплекс заходів для підвищення ефективності головного дизеля Caterpillar-МАК 12М46DF судна «AIDAprima» шляхом модернізації системи подачі газового палива.

Задачі що вирішуються у дипломному проекті:

1. Аналіз стану проблеми подальшого розвитку сучасних суднових двигунів, і зокрема двигунів серії 12М46DF фірми Caterpillar-МАК.
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. Оцінка ефективності запропонованих рекомендацій та технічних рішень, розробка заходів з техніки безпеки при виконанні робіт та екологічної безпеки судна.

Об'єкт дослідження – головний судновий двигун – дизель Caterpillar-МАК 12М46DF судна «AIDAprima» в процесі модернізації системи подачі газового палива.

Апробація результатів дослідження – автор прийняв участь в Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців", яка проводилася Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом (м. Харків) 23-25 жовтня 2023 р. з доповіддю «Підвищення ефективності експлуатації енергетичної установки судна «AIDACOSMA» за рахунок використання газових палив в умовах портової інфраструктури» [22].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					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 «AIDAprima» (IMO 9636955) - пасажирське (тип судна - 132 - Passenger ship, MMSI-номер: 247353800) 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 ИМО: 0196718) і відповідає всім сучасним стандартам IMO з безпеки і надійності проведення пасажирів [1, 15, 16].

«AIDAprima» 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, 15, 16]. 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 «Аїда Круїз» 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

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										7
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

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, 15, 16].

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, 15, 16].

1.1.2 Призначення судна

«AIDAprima» - 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, 15, 16]. «AIDAprima» - 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, 15, 16].



Рисунок 1.1. - Загальний вигляд пасажирського судна «AIDAprima» [1, 15, 16]

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

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. 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, 15, 16].

Судно працює під прапором Італії, порт реєстрації Genova. Район плавання судна – необмежений [1, 15, 16].

1.2 Основні характеристики судна «AIDAprima»

1.2.1 Розмірення судна

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

Загальна схема судна наведена на рис.1.2 [1, 15, 16].

Таблиця 1.1 – Основні розмірення судна [1, 15, 16]

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

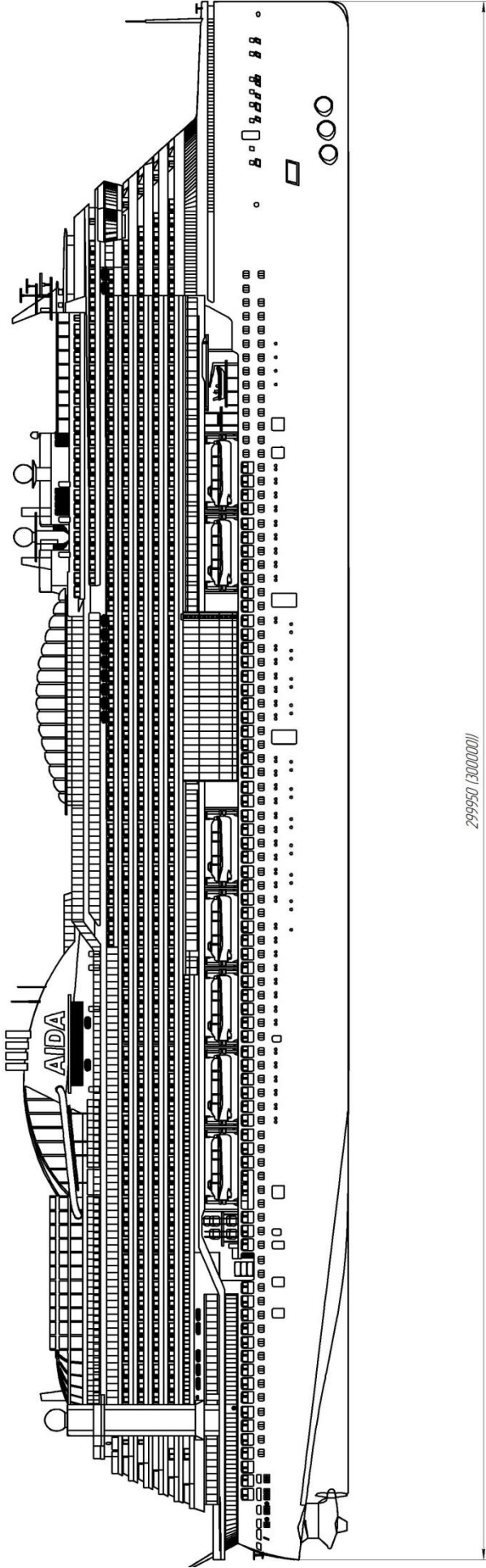
Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПІННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						9
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ

Арк
10



Осно́вні відомості про судно

IMO number	9636955
MMSI number	247353800
Назва судна	AIDA Argonia
Попередні назви	AIDARY FAST (2018, Italy), AIDARPRIMR (2018, Italy), AIDAPP (2018, Italy), AIDARPD (2018, Italy)
Тип судна	Passenger
Флаг	Italy (IT)
Рік побудови	2016
Builder	MHI NAGASAKI SHIPYARD & ENGINE WORKS – NAGASAKI, JAPAN
Class society	GERMANISCHER LLOYD
Home port	GENOVA
Owner	COSTA CROCIERE – GENOVA, ITALY
Manager	AIDA CRUISES – ROSTOCK, GERMANY

Осно́вні характеристики СЕСУ

Тип ГД	Caterpillar–MAK
Дизель–генератор	3 x 12M43C
Потужність	12000 кВт
Дизель–генератор	1 x 12M46DF
Потужність	12000 кВт
Подрулювальне уст-р-ство (нос)	3
Аварійне джерело електроенергії – дизель –генератор	1 x 1700 кВт

Осно́вні характеристики судна

Довжина найбільша	299.95 (300) м
Довжина за перпендикулярами	290.9 м
Ширина	37.6 м
Максимальна швидкість	21.8 kn
Осадка проектна	8.3 м
Дедвейт проектний	9200 т
Вологий тонаж	125572 т
Висота на передарній палубі	11.4

Рисунок 1.2. – Загальна схема судна «AIDA Argonia» [1, 15, 16]

1.3 Морехідні якості

Швидкість судна при повному завантаженні при посадці на рівний кіль і осадку 8,3 метрів на глибокій воді при хвилюванні моря не більше двох балів і вітрі не більше трьох балів за Бофорта і чистому корпусі, потужності головних двигунів, що дорівнює 85 % максимальної потужності, становить близько 21,8 вузлів. Період хитами судна в усіх експлуатаційних випадках завантаження забезпечується в межах 11...20 секунд. Остійність судна в усіх експлуатаційних випадках завантаження задовольняє діючим правилам морського реєстра для суден необмеженого району плавання. Для покращення маневрових якостей судна на малому ході в вузькостях, а також при швартовці до причалу на судні передбачається три носових підрулюючих пристрої потужністю 1460 кВт типу гвинт в трубі [1, 15, 16].

1.4 Суднові системи

Для підтримання та забезпечення необхідних санітарно-гігієнічних умов для праці та відпочинку особового складу, судно обладнане такими системами: система парового опалення; система прісної води яка виробляє 2500 тон на добу [1]; система стічної та господарсько-побутової води; холодильна установка для провізії; система кондиціонування, вентиляції судна тощо.

Усі житлові приміщення, кают-компанія, сан-блок, їдальня, тощо, обладнані високошвидкісною системою кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури в кожному приміщенні [1, 15, 16].

1.4.1 Система генерації пари

Система парового опалення передбачається в господарських, санітарно-побутових та інших приміщеннях судна, що не обслуговуються системою кондиціонування повітря. Парогенеруюча установка складається з двох систем тиску, одна з парів високого тиску 9 бар (НР), а друга - пара низького тиску

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						11
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

4 бар (LP). Допоміжний котел №1 FMB-VF Saacke за типом виконання вертикальний, циліндричний масляний та газовий вимушеної тяги має потужність 4600 кг / год (встановлено при 60 °С подачі води при макс. Випаровуванні) з пальником SKVG 60. Допоміжний котел №2 FMB-VF Saacke за типом вертикальний, циліндричний масляний витяг має потужність 4600 кг / год (встановлено при 60 °С подачі води при макс. Випаровуванні) з пальником SKVG 60 [1, 15, 16]. Загальний вигляд показано 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, 15]

Дві системи сконструйовані надмірно і повністю розділені одна від одної у MFZ4 та MFZ5. Між двома котлами є з'єднувальна труба з ізолюючими клапанами для з'єднання обох разом, якщо це необхідно, за винятком конденсатора для надлишкового парового зливу, який знаходиться тільки в MFZ4 (відсік 12, головне переднє машинне відділення). Допоміжний котел №1 має тип дуельного мазуту та (НГ) типу «природний газ», він розташований у передній частині машинного відділення, відсік 12. Допоміжний масляний котел №2 розташований на кормі частина машинного відділення, відсік 14. Крім того, встановлені різні типи економайзерів вихлопних газів НР та LP, вони також розміщені в MFZ4 та 5. Два допоміжні барабани котла розроблені для використання в якості парових сепараторів для економайзера вихлопних газів НР [1, 15, 16].

Інв. № подп.	Підп. і дата				Арк	
	Взам. інв. №					
	Інв. № дубл.					
	Підп. і дата					
Рисунок 1.3 – Загальний вигляд пальника допоміжного котла №1 FMB-VF Saacke на паливі NG-HFO-MGO (a); системи подачі води в бойлер (б) [1, 15]						
Дві системи сконструйовані надмірно і повністю розділені одна від одної у MFZ4 та MFZ5. Між двома котлами є з'єднувальна труба з ізолюючими клапанами для з'єднання обох разом, якщо це необхідно, за винятком конденсатора для надлишкового парового зливу, який знаходиться тільки в MFZ4 (відсік 12, головне переднє машинне відділення). Допоміжний котел №1 має тип дуельного мазуту та (НГ) типу «природний газ», він розташований у передній частині машинного відділення, відсік 12. Допоміжний масляний котел №2 розташований на кормі частина машинного відділення, відсік 14. Крім того, встановлені різні типи економайзерів вихлопних газів НР та LP, вони також розміщені в MFZ4 та 5. Два допоміжні барабани котла розроблені для використання в якості парових сепараторів для економайзера вихлопних газів НР [1, 15, 16].						
					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	12
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Коли судно знаходиться у порту, зазвичай працює щонайменше один дизель-генератор, що дозволить його пов'язаному економії вихлопних газів генерувати пар. Однак це навряд чи зможе задовольнити попит на пару, і хоча б один основний котел буде працювати [1, 15, 16].

1.4.2 Система кондиціонування та вентиляції повітря

В пасажирських санітарно-побутових та службових приміщеннях передбачена штучна або природна вентиляція, що забезпечує повітрообмін в приміщеннях відповідно до санітарних норм. Всі житлові приміщення судна, а також кают-компанія, стернова та штурманська рубка обладнані системою кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури повітря в приміщеннях. У теплу пору року у всіх житлових приміщеннях, забезпечується температура повітря не вище за 23°C, а в службових приміщеннях - не вище за 24°C при розрахунковій температурі повітря 35°C [1].

1.4.3 Система побутового водопостачання

На судні передбачено системи: забортної води та прісної побутової води з централізованим гарячим водопостачанням. Запас прісної води (у кількості близько 3500 тон) зберігається в цистернах в трюмі судна. Вода в цистерни приймається з берегового джерела або наповнюються водо-опріснювальною установкою. Вода очищується, і знезаражується озоном в установці ультрафільтрації ENWA BIN-X, яка є бактерицидним бар'єром при підготовці води, придатної для пиття [1, 15, 16].

Система забортної води обслуговується агрегатом забортної води, що складається з електричних насосів – MDVC Naniwa Pump Mfg.Co. Ltd моделі FBWV-350 продуктивністю 760 м³/год, в системі також передбачений ежекторний насос FWG фірми MDVC Naniwa Pump Mfg.Co. Ltd моделі FBWV-450 продуктивністю 1250 м³/год. Вода подається на промивку стічних цистерн і для прибирання приміщень а також на опріснювач марки Hitachi

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				
Арк				
13				

Appliances типу HAU-CL600EXE2TM низького тиску продуктивністю 270 м³ за добу [1, 15, 16].

1.4.4 Пожежні системи

Для забезпечення пожежної безпеки на судні передбачені такі системи:

Водяна пожежна система яка забезпечує подачу води до пожежних гідрантів, до систем гасіння піною, до ежектора системи осушення і зачистки баластних танків. Система обслуговується 12/6 пожежними відцентровими електронасосами фірми Minimax, моделі Pump unit 5+1 потужністю 2 x 222 кВт. і 2 x 180 кВт. максимальною продуктивністю по 110 м³/год. при напорі 5 МПа, розташованими в машинно-котельному відділенні. Система водяного туману забезпечує гасіння пожежі шляхом впорскування дрібнодисперсного водяного туману в приміщення та приміщення для розміщення [1, 15, 16].

Система вуглекислотного гасіння передбачає гасіння пожежі в машинному відділенні, вантажних трюмах, а також в приміщеннях аварійного дизель-генератора. Для спеціалізованих відділень машинного приміщення та приміщень середньої напруги передбачена фіксована система пожежогасіння CO₂. Для системи машинного відділення передбачено два набори CO₂, що забезпечує надмірність. Кількість пляшок з CO₂ у кожній кімнаті здатна захистити найбільший простір [1, 15, 16].

Система піногасіння є основним засобом гасіння пожеж на судах. Зазвичай на судні є дві станції піногасіння: основна - на кормі та аварійна - в надбудові бака. Для гасіння пожежі на відкритих палубах судно обладнують лафетними повітряно-пінними стволами, які встановлюють на палубі надбудов. Лафетні стволи дають струмінь піни довжиною понад 50 метрів. Також судно обладнане системою виявлення та сигналізацією диму виробництва фірми Danfoss/Semco моделі Scantec ST-990. Вона використовується для виявлення диму (SDS) у вантажних трюмах та на палубі за допомогою спеціальних димових сповіщувачів - Smoke Detector Fan Exhaust

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПІНІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						14

- Mooring Deck. Контролює та використовується для направлення CO₂ в трюми, якщо це потрібно [1, 15, 16].

Система об'ємного хімічного гасіння групи приміщень, містить блок автоматичного набору необхідної кількості балонів з вогнегасною рідиною для кожного приміщення, блок управління послідовного підриву піропатронів, Дана система забезпечує сталий (постійний) контроль і сигналізацію стану піропатронів шляхом протікання струму контролю безпечної величини безпосередньо через нитки піропатронів під час пожежогасіння [1, 15, 16].

1.4.5 Баластна система

Баластна система призначена для перекачування по судну та видалення за борт водяного баласту. Баластна система дозволяє заповнювати та вивантажувати морську воду з резервуарів всередині корабля, щоб зберегти стабільність судна та забезпечити контроль над положенням судном [1, 15].

На палубі 0 передбачений один основний баластний танк, який з'єднаний з аварійним насосом / баластним насосом і насосом з трюком / баластом, який має дві точки розряду. Звичайна нормальна точка розряду, розташована в FZ6, і передня точка аварійного розряду в FZ1 (рис. 1.5). Насос для зняття баласту / баласту в FZ5 також підключений до основної лінії баласту, і він використовується для зачистки цистерн. Цей насос може бути використаний як резервний при необхідності для баластних насосів. Аварійний відбійний / баластний насос може бути використаний як резервний насос для охолодження морської води для аварійного чиллера [1, 15, 16].

Система включає в себе: трюмовий / баластний насос моделі: FBSV (тип MDVC) Naniwa Pump Mfg. Co. Ltd потужністю 300м³ / год при 3 бар з параметрами двигуна - 45 кВт; 1482 хв⁻¹; аварійний гвинтовий / баластний насос FBSV-250 (тип MDVC) Naniwa Pump Mfg. Co. Ltd потужністю 300м³ / год при 3 бар з параметрами двигуна - 45 кВт і насос для зняття / закачування баласту NDP-80-BSN Yamada Corporation пневматичний діафрагменного типу потужністю 25м³ / год [1, 15, 16].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				Арк
									15
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

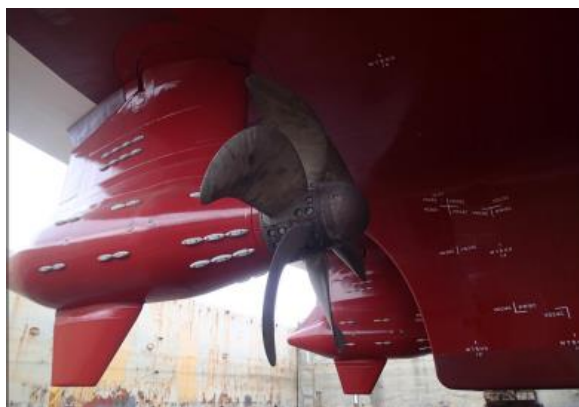
1.5 Пропульсивна системи судна

Судно оснащено двома основними системами приводу, основною руховою системою азипода і системою тяги [1, 15, 16].

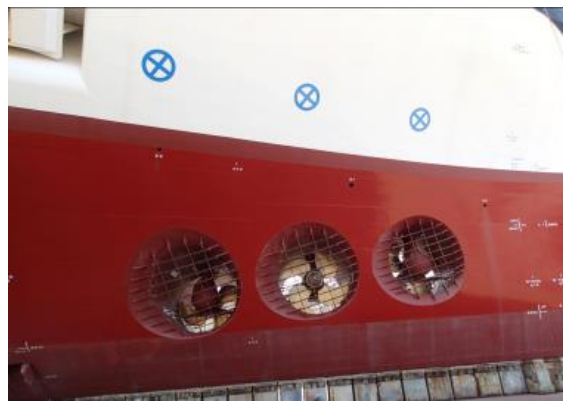
Система приводу азипода є основною системою рушійного руху. Система азипод поєднує основні рушійні електродвигуни та гвинти з рулями в загальний вузол струга, підвішений на кормі судна (рис. 1.4 а) [1, 15, 16].

Система тяги застосовується для надання допомоги основній рушійній системі при маневруванні судном на повільних швидкостях, як правило, при причалі або прив'язці. Система тяги складається з трьох гвинтів, встановлених гвинтами в тунелях на носі судна. Ці гвинти приводяться в рух від електродвигунів, встановлених всередині (рис. 1.4 б) [1, 15, 16].

Електрична потужність для основної рушійної системи та рушіїв подається із загальної електричної мережі, головних розподільних щитів 11 000 В; ця мережа також забезпечує електричне навантаження судна [1].



а)



б)

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

Основна система рушіїв складається з чотирьох приводів перетворювача частоти, що живлять різну частоту живлення від основної електричної мережі до двох синхронних електродвигунів. Перетворювачі частоти приводу А і В подаються через силові трансформатори, які перетворюють в основному розподільному щиті, що забезпечують напруги від 11000 В до 1690 В.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										16
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Двигуни мають потужність 14 МВт і встановлені в підвішених азимутуючих рушіях, що називаються «азиподами». Двигуни безпосередньо приєднані до гвинтових валів і нерухомих гвинтів. Кожен двигун є двомоторним з двома трифазними обмотками, кожна обмотка позначається всистемі як «напівсигнальний» двигун. Перетворювачі частоти дозволяють "працювати в чотирьох квадрантах", що означає, що двигун можна приводити в рух і гальмувати в кожному напрямку [1, 15, 16].

Система приведення в рух кожного валу складається з: двох силових трансформатора, підключених до основного 11кВ розподільного щита (MSB-MV); двох приводів перетворювача частоти А і В; одного синхронного електродвигуна без щіток, розділені на два окремі обмотки; двох трансформаторів збудження (один робочий і один резервний) і рухових систем збудження; однієї системи управління [1, 15, 16].

1.5.1 Гвинто-рульові колонки

Гвинто-рульова колонка (рис.1.4 а) - пристрій призначений для забезпечення керованості судном, зміни курсу, маневрування та утримання на заданому курсі [1, 15, 16].

На судні використовуються 2 гвинто-рульові колонки фірми АВВ, що призначені для азимутації, приводу з електроприводом. Потужність двигуна азиподу: 2 х 7 МВт (14 МВт / Pod) при забезпеченні швидкості (частоті обертання) – 120 хв⁻¹. Два азимутів гвинто-рульові колонки забезпечують приведення в рух і керування судном. Гвинто-рульові колонки однакові і складаються з внутрішньої частини та підвісної частини. Внутрішня частина містить компоненти, розташовані в корпусі судна, такі як рульовий блок і блок управління. Підвісна частина складається з компонентів поза корпусом корабля, які, по суті, є корпусом азиподу, двигуна привідного гвинта, валу, ущільнювачів і гвинтів [1, 15, 16].

Стерно та стернова машина, а також елементи керування в цілому, складають кермовий пристрій судна. Управління стернового електроприводу

Інв. № подп.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Гвинто-рульова колонка (рис.1.4 а) - пристрій призначений для забезпечення керованості судном, зміни курсу, маневрування та утримання на заданому курсі [1, 15, 16].					
					На судні використовуються 2 гвинто-рульові колонки фірми АВВ, що призначені для азимутації, приводу з електроприводом. Потужність двигуна азіподу: 2 х 7 МВт (14 МВт / Rod) при забезпеченні швидкості (частоті обертання) – 120 хв ⁻¹ . Два азимутіві гвинто-рульові колонки забезпечують приведення в рух і керування судном. Гвинто-рульові колонки однакові і складаються з внутрішньої частини та підвісної частини. Внутрішня частина містить компоненти, розташовані в корпусі судна, такі як рульовий блок і блок управління. Підвісна частина складається з компонентів поза корпусом корабля, які, по суті, є корпусом азіподу, двигуна привідного гвинта, валу, ущільнювачів і гвинтів [1, 15, 16].					
					Стерно та стернова машина, а також елементи керування в цілому, складають кермовий пристрій судна. Управління стернового електроприводу					
					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										17
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

забезпечує перекладку стерна, його зупинку, реверсування та регулювання швидкості. На судні встановлено два навіпіл балансирних, підвісних стерна профілю NACA, площею 60,078 м². Стернова машина виробництва фірми Yoowon-Mitsubishi, моделі: YDFT-475-4 х 2 з крутним моментом 5 394 кН/м при 35°, забезпечує перекладання стерна при повному передньому ході і при роботі одного насосного агрегату з 35 ° одного борту на 30 ° іншого борту протягом 28 секунд [1, 15, 16].

Керування стерною машиною передбачається дистанційне, авторульовим з навігаційної рубки, ручне - з румпельного приміщення та приміщення аварійного насоса стерної машини. У румпельному приміщенні передбачена стаціонарна цистерна запасу масла, достатня для заправки гідросистеми стерного приводу. Також передбачені електричні обмежувачі повороту пера руля в системі управління стерної машини та механічні в конструкції пера стерної машини [1, 15, 16].

1.5.2 Рушії

Для поліпшення керованості на малому ході та при швартуванні як засіб активного управління на судні встановлюється два тунельних підрулюючих рушія, які розташовуються в носовій частині судна (рис. 1.4 б). Основне призначення рушіїв: покращити маневровість судна при роботі на маленькій швидкості, або у вузьких місцях; утримувати судно у заданому положенні при бічному вітрі на стоянці (рейді); переміщувати судно при швартових операціях в заданому напрямку. Три рушії тунельного типу фірми Brunvoll AS розташовані в носовій частині судна. Внутрішній діаметр тунелю: 3054 мм. Швидкість (частота обертання) пропелера: 214 хв⁻¹. Кількість лопатей: 3. Коефіцієнт передач: 12/42. Рушій оснащено муфтою для тяги / двигуна: Еластична муфта - Revolex KX-D 215. Для керування рушієм використана сервосисема моделі ВРА PV7 40-71, потужністю 3 х 690В, 7,5 кВт. В системі рушія застосовано електродвигун фірми АВВ. Він призначений для безперервної роботи (тип S1). Кріплення двигуна: вертикальне. Напряга

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				
Арк				
18				

двигуна: 11 000В. Швидкість двигуна: 739 хв⁻¹. Потужність двигуна: 3000 кВт. В двигуні використовується кульковий підшипник. Нагрівач в системі двигуна: 230 В, 470 Вт [1, 15, 16].

Тунельні тяги призначені для забезпечення бічної тяги для маневрування на низькій швидкості та для позиціонування. Бічний поштовх і поворотний момент, передбачений тунельним дроселем, залежать від форми корпусу і швидкості корабля, а також занурення корпусу [1, 15, 16].

Експлуатація тунельного дроселя при підвищеній швидкості, вперед або вперед, може призвести до різких змін навантаження тяги. Для швидкості судна вище 5...7 вузлів, тягар не повинен працювати в повному діапазоні потужності, щоб уникнути можливих перевантажень. Крім того, механізм не повинен працювати в повному діапазоні потужності при несприятливих погодних умовах, коли існує ризик всмоктування повітря [1, 15, 16].

1.5.3 Якірний пристрій

Судно забезпечується двома стоянковими якорями типу «Висока потужність утримування» масою 14100 кг кожен. Якірні ланцюги для станових якорів - електрозварні з розпівкою особливої міцності зі сталі 3 класу, діаметром 107 мм, довжиною 385 м правого борту і 358 м лівого борту. Ланцюги зберігаються в спеціальних ящиках, що забезпечують само укладку. Віддача та підйом якорів здійснюється гідравлічними якірно-швартовими лебідками, які забезпечують швидкість підняття якоря з номінальної глибини стоянки 110 м. Управління роботою якірними механізмами місцеве, а гальмами приставок - місцеве (ручне) або дистанційне з рульової рубки. Для стоянки судна на якорях передбачені стопора якірних ланцюгів [1, 15, 16].

1.5.4 Швартовий та буксирний пристрої

Судно оснащено двома електрично приведеними в комплекті лебідками / причальними лебідками з ще чотирма швартовими лебідками на передній

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						19

причальній палубі та п'ятьма швартовими лебідками на кормовій швартовій палубі. Електричні пускові панелі та гідравлічний силовий агрегат для передніх вітрових стекол і лебідки розташовані в приміщенні спорядження для причалу, розташованому переднім бортом вперед на палубі 5. Електричні пускові панелі лебідки лебідки розташовані в приміщенні пристосування для причалу та бортового спорядження на палубі 4 зліва. вони можуть працювати як в ручному режимі так і в автоматичному. Лебідки автоматично підтягують судно до причалу, вибираючи слабіну тросу, або попускають занадто сильно натягнутий трос при зміні положення судна відносно причалу в процесі вантажних операцій. Загальна схема розміщення швартових лебідок показана на рис. 1.5 [1, 15, 16].

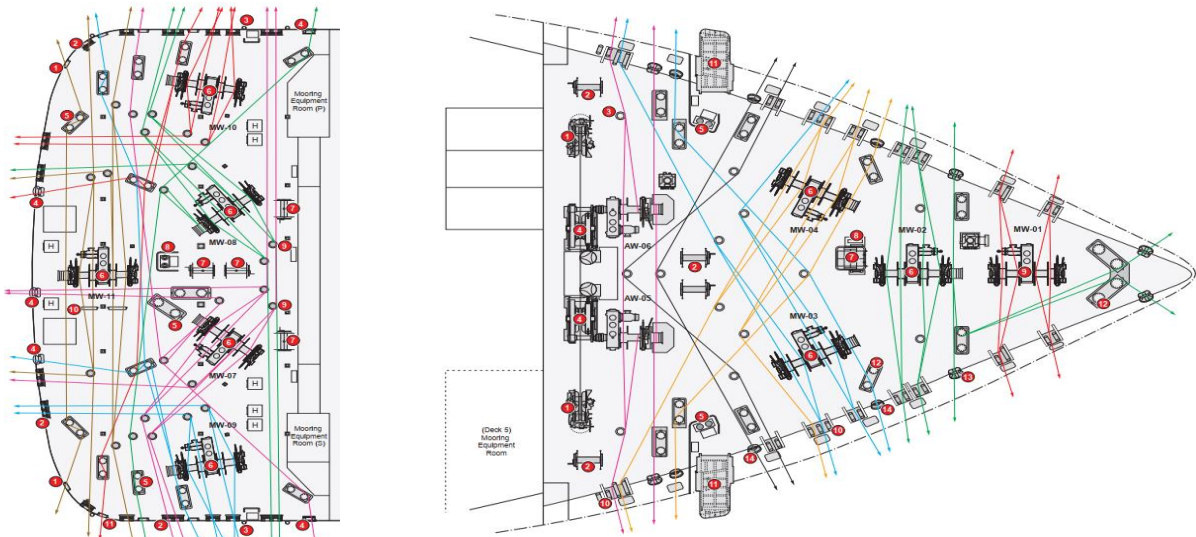


Рисунок 1.5 – Схема розміщення швартових лебідок

Також на судні передбачені швартові кнехти, швартовні троси (канати). Швартовні троси на кнехтах закріплені накладенням ряду шлагів у вигляді вісімки таким чином, щоб ходовий кінець троса знаходився зверху. Для пропуску швартових тросів з судна на берег застосовуються універсальні ключи, які мають поворотну обойму і роульси. Такі ключи оберігають трос від перетирання. Швартовні та буксирні лебідки обладнані наступними канатами рис. 1.6: швартовні нейлонові канати: 10 шт.; D = 75 мм, L кожного 210м. - матеріал синтетичний; розривне зусилля 570 кН; буксирний трос: 1 шт.;

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

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						20

$D = 65 \text{ мм}$; $L = 280 \text{ м}$; матеріал - сталь; розривне зусилля 1690 кН, який зберігається в носовій тросовій коморі [1, 15, 16].



а) б)
Рисунок 1.6 – Швартові лебідки (а) в причальному приміщенні (б) [1, 15, 16]

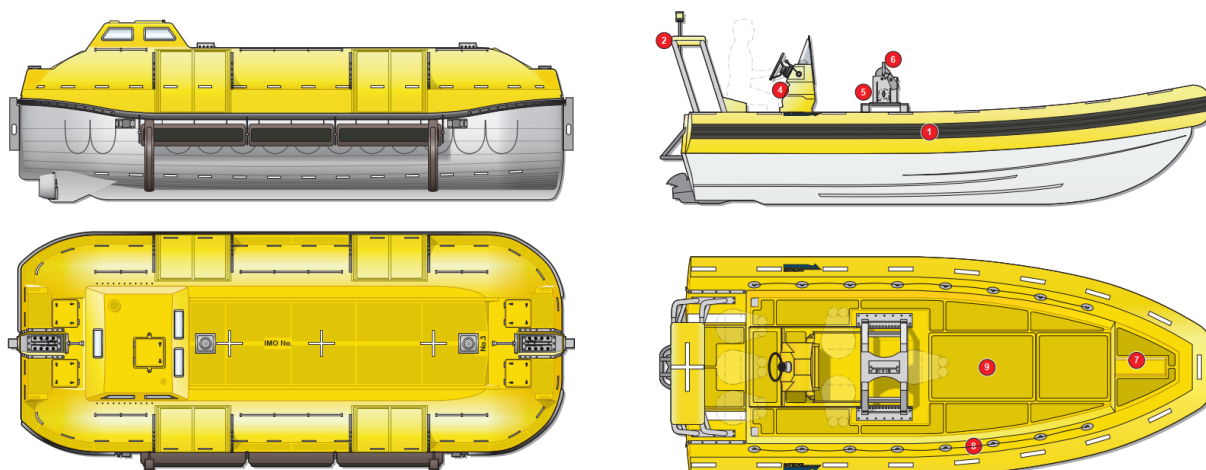
1.5.5 Рятувальне та шлюпочне обладнання

Судно «AIDAprima» забезпечене індивідуальним рятувальними засобами та обладнанням у відповідності з СОЛАС та кодексу LSA: рятувальними кругами; морськими рятувальними жилетами; гідротермо костюмами; страховочними жилетами; засобами індивідуального захисту шкірних покривів; судновими аптечками. На судні 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 швидкісних рятувальних човна (рис. 1.7 б), місткістю на 34 особи виробництва фірми Hatecke. Вони мають дизельні двигуни Nanni Kubota з електричним стартером і двома акумуляторами для запуску. Загальне забезпечення евакуації в лодках 4382 (82,7%) пасажирів і в евакуаційних засобах 1,010 (19,1%) пасажирів відповідно [1, 15, 16].

Рятувальні човни розмірами $L\ 13,41\text{м}$ х $B\ 5,42\text{м}$ х $D\ 4,19\text{м}$, оснащені 3-х і 4-х циліндровими дизелями Nanni Kubota, потужністю 2 х 29 к.с. і 2 х 39 к.с. відповідно, виготовлені з поліестеру, армованого скловолокном (ВРП), можуть розвивати швидкість > 6 вузлів. Швидкі рятувальні катери : FRB 650

Підп. і дата	рятувальними кругами; морськими рятувальними жилетами; гідротермо костюмами; страховочними жилетами; засобами індивідуального захисту шкірних покривів; судновими аптечками. На судні 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 швидкісних рятувальних човна (рис. 1.7 б), місткістю на 34 особи виробництва фірми Hatecke. Вони мають дизельні двигуни Nanni Kubota з електричним стартером і двома акумуляторами для запуску. Загальне забезпечення евакуації в лодках 4382 (82,7%) пасажирів і в евакуаційних засобах 1,010 (19,1%) пасажирів відповідно [1, 15, 16].																							
Інв. № дубл.																								
Взам. інв. №																								
Підп. і дата	Рятувальні човни розмірами L 13,41м х В 5,42м х D 4,19м, оснащені 3-х і 4-х циліндровими дизелями Nanni Kubota, потужністю 2 х 29 к.с. і 2 х 39 к.с. відповідно, виготовлені з поліестеру, армованого скловолокном (ВРП), можуть розвивати швидкість > 6 вузлів. Швидкі рятувальні катери : FRB 650																							
Інв. № подп.																								
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3">ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ</td><td>Арк</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>21</td></tr><tr><td>Зм</td><td>Арк</td><td>№ докум.</td><td>Підп.</td><td>Дата</td><td></td></tr></table>											ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк						21	Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	
					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк																		
						21																		
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата																				

ІВ FF, Hatecke розмірами L 6,72м x В 2,60м, оснащені дизелями Bukh Steyr, потужністю 236 к.с., здатні вміщувати до 15 осіб кожен, можуть розвивати швидкість до 30 вузлів (6 осіб). Швидкі рятувальні катери призначені спеціально для пошукових та рятувальних робіт, а також для буксирування та пошкодження рятувальних шляхів [1, 15, 16].



а)

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

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, 15, 16].

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),

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				
Арк				
22				

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

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

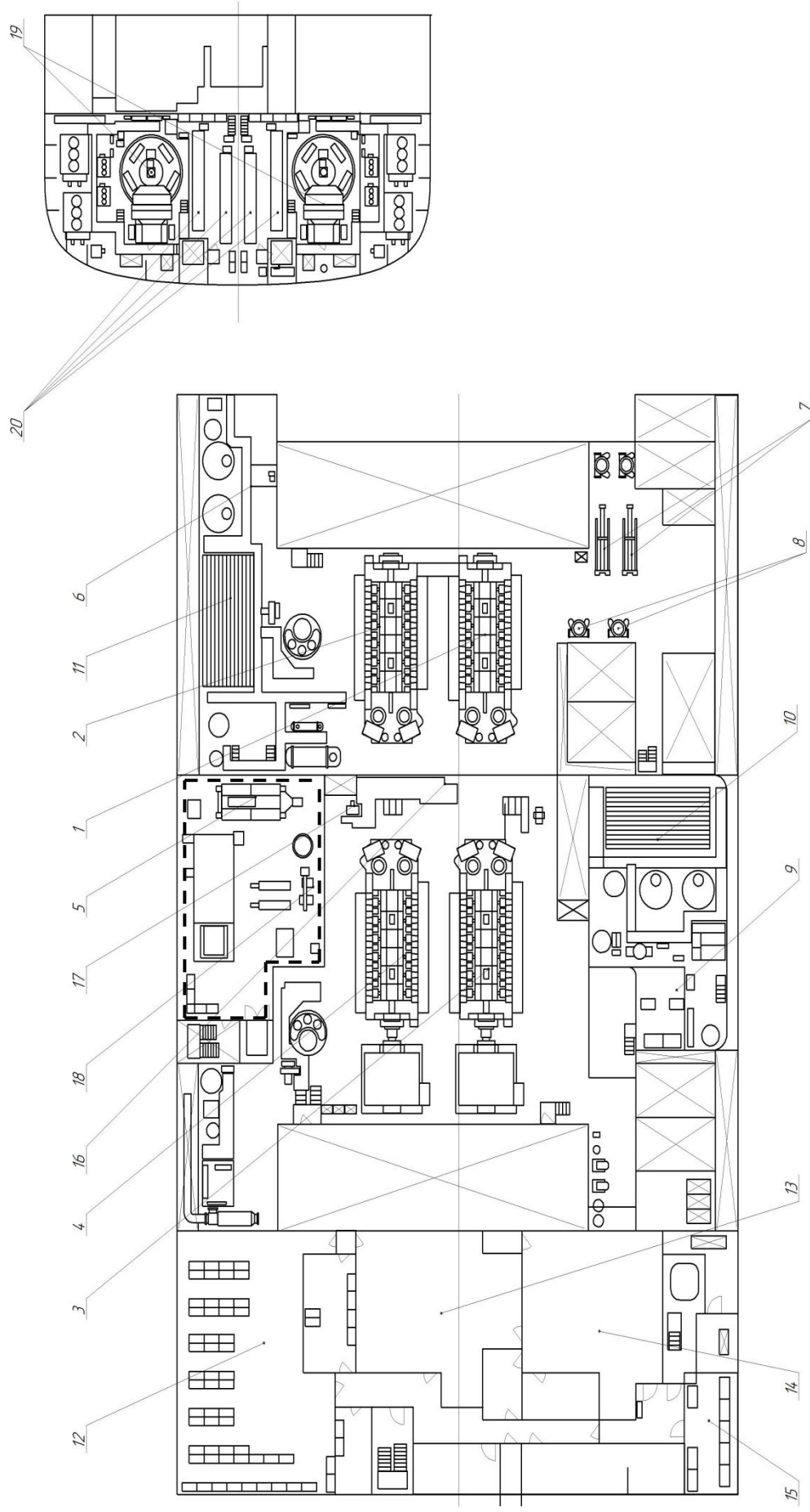


Рисунок 1.8 – План розташування механізмів у машинотельному відділенні судна «AIDArima»: 1 – головний двигун №1; 2 – головний двигун №2; 3 – головний двигун №3; 4 – головний двигун №4; 5 – шламозбирач; 6 – повітряний шлюз циркуляційного вентилятору з фільтром; 7 – головний кулер; 8 – водяний охолоджувач 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 (N₂ і CO₂); 16 – підігрівач вихлопних газів; 17 – випускний газовий вентилятор; 18 – система підготовки газового палива; 19 – трансформатор збудження; 20 – панель перетворювачів [1, 15, 16]

щоб забезпечити енергію для судна, перебуваючи в порту, коли забезпечений підхід до доступних берегових споруд [1, 15, 16].

Двигуни чотиритактні, мають сталу частоту обертання 500 хв⁻¹. Один турбокомпресор з постійним тиском застосовується на кожному двигуні, при цьому температура повітря, що очищається, зменшується за рахунок внутрішнього охолоджувача, розташованого між турбокомпресором та колектором зарядного повітря [1, 15, 16].

Сорочки циліндрів і головки циліндрів охолоджуються водою за допомогою циркулюючої прісної води; нижня частина циліндрової втулки не охолоджується. Водяна сорочка встановлена у верхній частині вкладиша, де вона виступає над блоком двигуна, а це означає, що в блоці циліндрів немає холодних каналів для охолодження води. Система охолодження сорочки двигуна та головки циліндрів - це система охолодження прісної води (НТ) прісної води (НТ); кожен двигун також оснащений окремою системою охолодження низької температури (LT) FW. Система охолодження LT використовується для відведення тепла з мастила та заряджання повітря. Системи охолодження води НТ мають теплообмінник і мають один циркуляційний насос, що приводиться в рух основним двигуном. Також є один циркуляційний насос з електричним приводом на двигун, який забезпечує циркуляцію в системі охолодження води НТ через двигун і підігрівач; цей насос використовується при зупинці двигуна. Є два типи підігрівачів: електричний та відведення теплоти з системи гарячої води. Обидва вони дозволяють прогріти двигун перед запуском [1, 15, 16].

Підшипники двигуна оснащуються змащувачим маслом (LO) за допомогою керованого насосу двигуна. Насос здійснює всмоктування з циркуляційного бака LO, який повинен підтримуватися на встановленому рівні. Змащувальне масло підкачується до основного, нижнього та верхнього підшипників; вкладиші циліндрів змащуються бризкою картера. LO також постачається в систему розподільного вала, механізми коромисел клапанів і підшипники турбокомпресора. Масло, що надходить до двигуна,

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						24
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

підтримується при правильній температурі, пропускаючи його через пластинчастий охолоджувач [1, 15, 16].

Всі кришки циліндрів забезпечені охолодженням через свердлення на нижній стороні, і кожна головка оснащена двома випускними і двома впускними клапанами. Запуск двигуна стисненням повітрям під тиском 30 бар; вихідне повітря зберігається у двох резервуарах повітря. Подача повітря в циліндри двигуна контролюється спеціальними проходами в насосах для впорскування палива [1, 15, 16].

У якості дизельного головного двигуна на судні «AIDAprima» встановлено три двигуни фірми Caterpillar-МАК моделі 12М43С - дванадцятициліндровий, чотиритактний, з тронковим поршневим механізмом, у V-подібному виконанні, з турбонаддувом постійного тиску з діаметром циліндра двигуна 430 мм і ходом поршня 610 мм, максимальною потужністю $N=12\ 000$ кВт при частоті обертання колінчатого валу $n_{\text{дв}}=500$ хв⁻¹ [1, 15, 16].

Крім цього на судні використовується один двигун фірми Caterpillar-МАК моделі 12М46DF - дванадцятициліндровий, чотиритактний, з тронковим поршневим механізмом, у V-подібному виконанні, з турбонаддувом постійного тиску, що забезпечує роботу на двох паливах, з діаметром циліндра двигуна 460 мм і ходом поршня 610 мм, максимальною потужністю $N=12\ 000$ кВт при частоті обертання колінчатого валу $n_{\text{дв}}=500$ хв⁻¹ [1, 15, 16].

Для пуску двигунів використовується система повітряного пуску з робочим тиском 14,0 бар - 30,0 бар. Для регулювання двигунів використовуються регулятори Viking: 35 виробництва фірми Regulators Europa. На двигунах встановлено турбокомпресори моделі TPL фірми АВВ у кількості по 2 комплекти на двигун. Масова витрата випускних газів складає 81,342 кг / год ... 78,017 кг / год. при температурі 310 ... 360 °С [1, 15, 16].

1.6.1.1 Головні двигуни суднових електростанцій на судні

Судно забезпечено чотирма основними дизельними генераторами, трьома 12М43С, які працюють тільки на рідкому паливі, і одним 12М46DF,

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	МАК моделі 12M46DF - дванадцятициліндровий, чотиритактний, з тронковим поршневим механізмом, у V-подібному виконанні, з турбонаддувом постійного тиску, що забезпечує роботу на двох паливах, з діаметром циліндра двигуна 460 мм і ходом поршня 610 мм, максимальною потужністю $N=12\,000$ кВт при частоті обертання колінчатого валу $n_{\text{дв}}=500$ хв ⁻¹ [1, 15, 16].					
					Для пуску двигунів використовується система повітряного пуску з робочим тиском 14,0 бар - 30,0 бар. Для регулювання двигунів використовуються регулятори Viking: 35 виробництва фірми Regulators Europa. На двигунах встановлено турбокомпресори моделі TPL фірми ABB у кількості по 2 комплекти на двигун. Масова витрата випускних газів складає 81,342 кг / год ... 78,017 кг / год. при температурі 310 ... 360 °С [1, 15, 16].					
					1.6.1.1 Головні двигуни суднових електростанцій на судні					
					Судно забезпечено чотирма основними дизельними генераторами, трьома 12M43C, які працюють тільки на рідкому паливі, і одним 12M46DF,					
					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										25
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

який може працювати як на рідкому паливі, так і на газовому паливі. Всі вони мають подібні системи управління, за винятком того, що двигун з подвійним паливом має додатковий модуль системи управління газом [1, 15, 16].

Конструкція двигуна пристосована для роботи на важкому паливі до 700 cSt/50 °C, клас палива відповідно до CIMAC H55 K55, ISO 8217,1996 (E), ISO-F-RMH55. Суцільний сухий блок двигуна, виготовлений із чавунних конструктивних елементів. Він містить в собі підшипники колінчастого вала, підшипники розподільного вала, приймач зарядного повітря, корпус демпфера вібрації та корпус редуктора. Колінчастий вал забезпечує експлуатаційну корозійну стійкість в місцях встановлення рамових, мотильових і упорних підшипників. Корозійно стійкі також і самі рамові, мотильові і упорні підшипники. Загартовані кладиші відцентрово відлиті, мають калібрувальну вставку. Поршні двигуна композитного типу зі сталеву головою та мають конструктивну сорочку із чавуну. Комплект поршневих кілець складається з 2 компресійних кілець з хромованим покриттям (першого кільця з хромованими керамічними поверхнями) та 1 кільцевого маслосімейного кільця. Усі канавки кільця є загартованими і розташовані в сталевій коронці. 3-х частинний шатун забезпечує можливість демонтувати поршень, не відкриваючи конструкцію шатунного підшипника. Головка циліндра виконана з конструкцій з чавуну з 2 вхідними та 2 випускними клапанами з приводом клапанів. Безпосередньо охолоджуються посадкові поверхні випускного клапана. Розподільний вал виконаний секційно, що дозволяє демонтувати його з частковим розбиранням. Турбокомпресор двигуна, постачається для збирання з внутрішніми підшипниками, змащеними моторним мастилом. Двигун забезпечує двоступеневу систему охолодження прісною водою з двоступеневим охолоджувачем повітря, а також в середині блоку встановлені насадки для охолодження поршнів моторним мастилом [1, 15, 16].

Короткі технічні характеристики двигуна MAK 12M46DF наведені в таблиці 1.2. Поперечний переріз двигуна показаний на рис.1.9 [1, 15, 16].

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						26

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики двигуна МАК 12М46DF [1, 15, 16]

Параметр	Значення
1	2
Розміщення та кількість циліндрів	V – подібне, 12, 4 такти
Діаметр циліндра D, мм	460
Хід поршня S, мм	610
Вид палива	дизельне / газове
Максимальна потужність, кВт	12000
Частота обертання колінчастого валу, хв.-1	500
Швидкість поршня, м/с	10,2/10,5
Турбокомпресор, шт	2х TPL, ABB

1.6.2 Аварійні дизель-генератори суднової електростанції

Аварійний дизельний генератор - це автономний блок, що складається з дизельного двигуна і безпосередньо пов'язаного генератора. Аварійний генератор розташований у приміщенні аварійного генератора на палубі 17. Двигун призначений для автоматичного запуску у разі відключення основного розподільного щита, він автоматично підключається до аварійного розподільного щита для підтримки електропостачання основних служб [1].

Генератор аварійних дизелів фірми Caterpillar моделі 3516B DITTA-SCAC потужністю 1 717 кВт при частоті обертання 1500 хв⁻¹ – це 16 циліндровий 4-х такт ний двигун, з турбонаддувом, діаметр циліндра 170 мм, хід поршня 190 мм (рис. 1.10 а, б). Генератор аварійних ситуацій MJBМ 560 LA 4 фірми Marelli з параметрами 2038кВа / 1630 кВт з при частоті обертання 1500 хв⁻¹ – це горизонтальний без щітковий, стійкий до крапель агрегат. Він створює 3-х фазну напругу 690В зі струмом 1 705 А. Двигун оснащений двома пусковими системами, електричною та гідравлічною. Електричний запуск зазвичай використовується для запуску двигуна, але якщо система електричного пуску повинна вийти з ладу, можна використовувати

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				
Арк				
27				

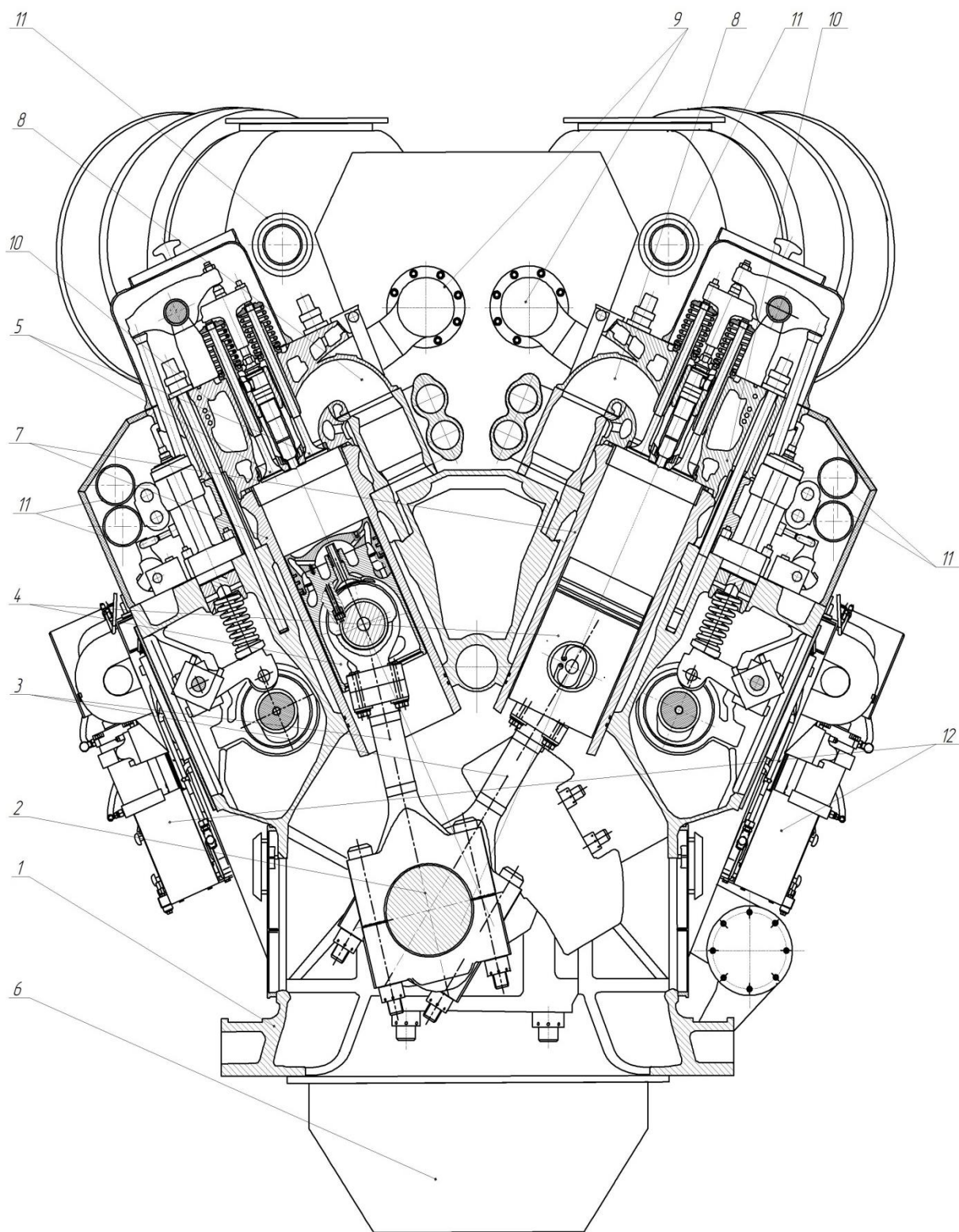


Рисунок 1.9 – Поперечний переріз головного двигуна МАК 12М46ДФ:

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 [1, 15, 16]

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				
				Арк
				28

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ДОСВІДУ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

2.1 Вплив октанового числа на процес тепловиділення природного газу

Природний газ являє собою багатокomпонентний 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 [11 - 12] детально представлений розрахунок октановим чисел бензинових сумішей. Аналіз проведеної роботи показав, що багатоконпонентні 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:

$$OY_p = \sum_{i=1}^n \beta_i \times x_i, \quad (2.1)$$

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

Інв. № подп.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	
					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: $ОЧ_p = \sum_{i=1}^n \beta_i \times x_i, \quad (2.1)$ 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
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ
					Арк 30

стандарти та ДСТУ, були представлені безліч різних методів визначення ОЧ, як розрахунковим, так і моторним (експериментальним) способами.

Згідно з міждержавним стандартом [13, 4] 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 ГОСТ [13] обчислюють за формулою:

$$P_{Oч} = \frac{\sum_i^{nГ} OЧ_i \times C_i}{\sum_i^{nГ} C_i}, \quad (2.2)$$

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.

2.2 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 [2-14] показав наскільки сильно впливає якість 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

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										31

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 [14]:

$$\text{МЧ} = 1,445 \times (\text{ОЧ}_M) - 103,42 \quad (2.3)$$

де: ОЧ_M - октанове число, отримане моторним методом.

Октанове число обчислюється таким чином:

$$\begin{aligned} \text{ОЧ}_M = & (137,78 \cdot x_{\text{CH}_4}) + (29,948 \cdot x_{\text{C}_2\text{H}_6}) + (-18,193 \cdot x_{\text{C}_3\text{H}_8}) + \\ & + (-167,062 \cdot x_{\text{C}_4\text{H}_{10}}) + (181,233 \cdot x_{\text{CO}_2}) + (26,994 \cdot x_{\text{N}_2}), \end{aligned} \quad (2.4)$$

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

Згідно з дослідженнями автора [4] 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 (загально визнаною) 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. [12, 14]. Докладний огляд роботи [2] 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 використані кілька видів газоподібних палив прийнятих за еталон, такі як: n -газу з 33,23 (еталонне паливо G23) до 39,55 МДж / м^3 (GR), тобто при збільшенні приблизно на 16%, детонаційна стійкість знизиться приблизно з 100 до 72 МЧ [1, 15, 16].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										32
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

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, биометан і синтетичний метан) [1, 15, 16].

Число Воббе метану при стандартних умовах визначається за такою формулою:

$$W_s(p_{src}, T_{src}) = \frac{\bar{H}_{s,w}(p_{src}, T_{src})}{\sqrt{p_w(p_{src}, T_{src})}}, \quad (2.5)$$

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;

ρ_w - відносна щільність метану.

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

$$МЧ = 1,624 \cdot MON - 119,1, \quad (2.6)$$

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 чергу, означає високу енергоефективність і, отже, зниження викидів шкідливих речовин (ВВ) у відпрацьованих газах (ОГ). Якщо метанове число

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										33
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

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 [1 - 16].

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. 2.1.

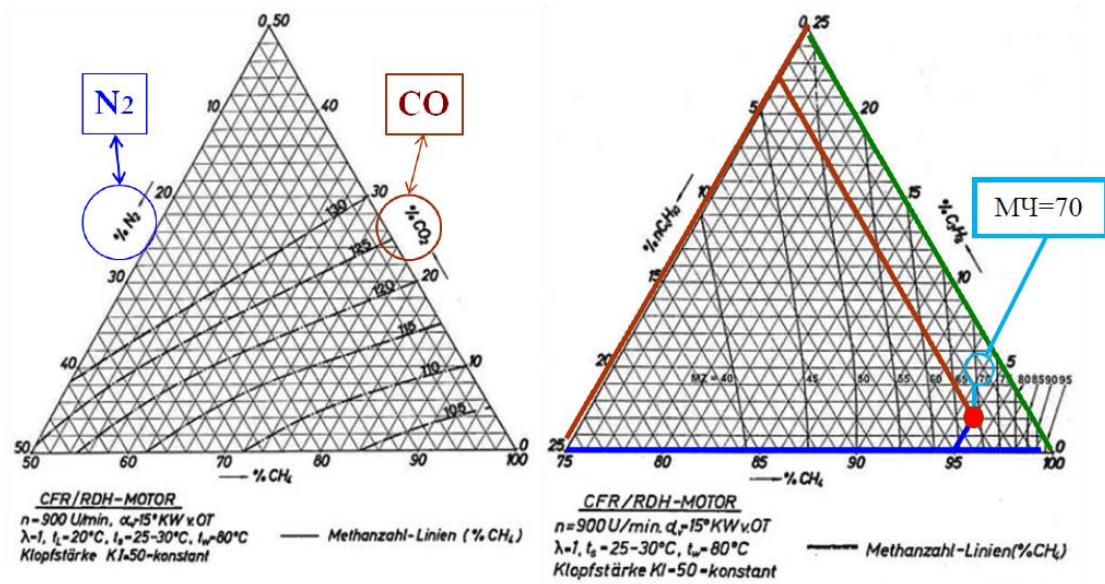


Рисунок 2.1. Діаграма метанового числа для метану, етану і бутану [4]

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	Підп. і дата
Зм	Арк
№ докум.	Підп.
Дата	Дата

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].

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].

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].

Для досліджень були підібрані три склади газових сумішей, використовуваних в якості моторного палива, кожен з різним МЧ [1- 16].

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

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						35

Таблиця 2.1 - Об'ємний вміст досліджуваних газів в складі природного газу [1-16]

Газ 1 (МЧ-75)	Газ 2 (МЧ-98)	Газ 3 (МЧ-104)	Моль, %
CH ₄ – 83,2	CH ₄ – 89	CH ₄ – 99,7	82.6 – 99.7 %
C ₂ H ₆ – 8	C ₂ H ₆ – 5,2	C ₂ H ₆ – 0,3	0 – 12.1 %
C ₃ H ₈ -3,6	C ₃ H ₈ – 2,8	C ₃ H ₈ – 0	0 – 3.6 %
C ₄ H ₁₀ – 1,5	C ₄ H ₁₀ – 1,1	C ₄ H ₁₀ – 0	0 – 1.5 %
CO – 3	CO ₂ – 1,5	H ₂ – 0	0 – 3%
N ₂ – 0,7	N ₂ – 0,4	N ₂ – 0	0 – 0.7 %

Аналіз проведених досліджень [2-14] показав, що визначення МЧ для складу КПП або спеціально приготовленої суміші на основі КПП є вирішальним показником для детонаційної стійкості досліджуваних газоподібних палив, які рекомендується класифікувати по метанових числу за аналогією з бензиновими видами палив. Дана класифікація передбачає наступне [1, 15, 16]:

1. Місце походження і видобутку природного газу (родовище);
2. Фізико-хімічний склад природного газу;
3. Фізико-хімічний склад суміші газів в об'ємних частках (% , моля) в основі природного газу;
4. Число Воббе природного газу або на його основі суміш газів;
5. Октанове число природного газу, отримане моторним способом за аналогією бензинових палив;
6. Теплотворна здатність природного газу;
7. Універсальне метанове число природного газу або сумішей газів, визначене за запропонованою нами методикою.

Енергетичні характеристики, такі як теплотворна здатність газу, число Воббе, коефіцієнт повноти згоряння, а також метанове число, становлять великий інтерес з точки зору промисловості. Дійсно, зміна газового складу (наприклад, природного газу), що має місце в зв'язку з множинністю джерел поставок (алжирський, норвезький, російський газ і т.п.), може являти собою

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					36

причину серйозних пошкоджень стаціонарних двигунів, що працюють на газі. Ці двигуни звичайно використовуються для одночасного виробництва тепла і електрики. Крім того, ефективне використання горючих газів в двигунах внутрішнього згоряння головним чином залежить від властивостей їх займання та властивостей їх горіння [1- 16].

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 [1- 16].

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 [1- 16].

Узагальнене розуміння складу різних газів добре ілюструє шкала розподілу метанового числа, яка представлена на рис. 3.2.

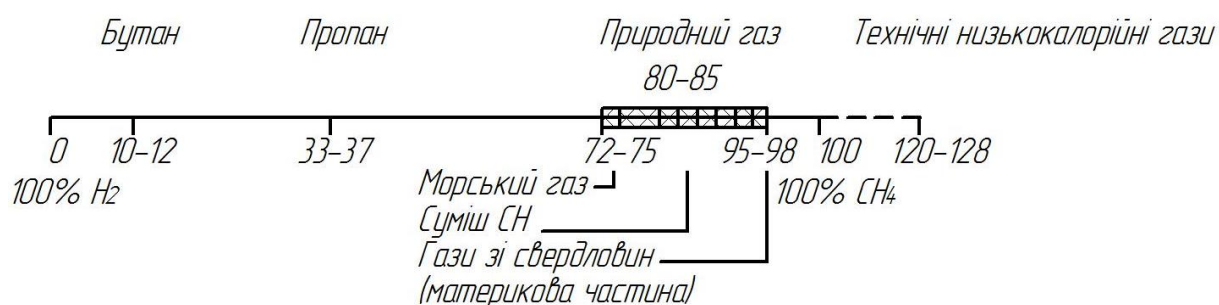


Рисунок 2.2 - Шкала розподілу метанового числа газів

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПІННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				Арк
				37

2.3 Особливості технічної експлуатації газових двигунів суднових дизелів

У 2006 р газодизельний електричний пропульсивний комплекс був встановлений на ряд метановозів компанії Gaz de France і BP Shipping [2, 3]. В даний час ситуація ринку зрідженого природного газу (ЗПГ) являє собою зростання спотових поставок і контрактів тривалістю 1...4 роки, досягли чверті всіх обсягів продажу ЗПГ [4]. У даній ситуації застосування газодизельного електричного пропульсивного комплексу (ГДЕПК) на метановозах, або інших суднах є найбільш доцільним, так як забезпечує економічну гнучкість як у виборі виду палива, так і в співвідношенні його витрати. На рис. 2.3 наведена діаграма співвідношення пропульсивних комплексів існуючого метановозного флоту і такого, що будується на період 2014...2019 рр. [5, 6]. Як можна помітити, 70% споруджуваних суден, що працюють в екологічно чистих зонах буде обладнано ГДЕПК.

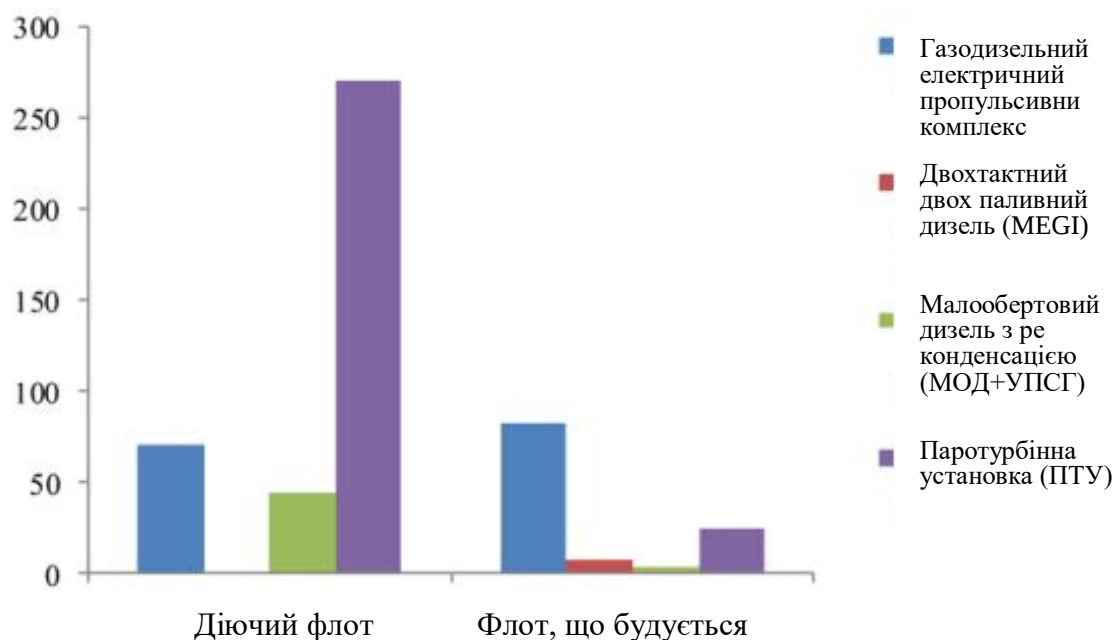


Рисунок 2.3 - Діаграма співвідношення пропульсивних комплексів суден, що працюють в екологічно чистих зонах

Підп. і дата	Інв. № дубл.	Взам. інв. №	Інв. № подл.						Арк
				ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					38
				Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

На рис. 2 [3] наведена типова принципова схема ГДЕПК метановозами стандартного розміру (155000 м^3), звідки видно, що основними елементами даного комплексу є газодизелі, генератори, трансформатори, інвертори та електродвигуни постійного струму, що безпосередньо передають крутний момент на гребний гвинт.

До переваг ГДЕПК відносяться наступні [1- 16]:

- повна незалежність числа первинних дизелів від числа гвинтів і можливість використання будь-яких головних дизель-генераторів (ДГ) на будь-який гвинт;
- здатність до саморегулювання за крутним моментом при змінному опорі руху судна;
- зручність здійснення парційної роботи, що підвищує економічність на малих і середніх ходах судна;
- використання ДГ для задоволення всіх потреб судна в електроенергії [6];
- ремонтпридатність двигунів без порушення режиму руху судна.

Регулювання вироблюваної потужності електростанції відбувається поступово, за допомогою пуску / зупинки необхідної кількості ДГ, в залежності від навантаження головного розподільного щита. При оптимальному розподілі навантаження між генераторами, первинні двигуни (газодизель) працюють на номінальному режимі з максимальним ККД і мінімальним питомим витратою палива.

Досвід експлуатації метановозів з ГДЕПК судноплавною компанією «GDF Suez» відображений в [7]. Відзначається, що після навантаження молярна частка азоту в вантажі, що природно випарувався (ВПВ), досягала $x_{N_2} \approx 30\%$. З цієї причини, щоб уникнути пропуску займання в циліндрах, тиск газу і тривалість відкриття газового клапана впускання були збільшені для забезпечення достатньої кількості метану в циліндрі. Основними умовами стійкої роботи газодизеля є забезпечення газоповітряної суміші в

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										39
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

концентраційних межах запалення і уникнути режиму детонаційного горіння суміші [8].

Зважаючи на особливості газодизельного циклу, двигуни комплексу чутливі до якості газового палива, склад і обсяги якого непостійні на різних фазах рейсу. Прогнозування стійкої роботи газодизеля визначає надійність використання ВПВ як палива, як методу стабілізації тиску в вантажних танках. Необхідно обґрунтувати критерії якості газу, їх допустимі межі і прояснити фізику відмов газодизеля [1- 16].

У табл. 2.2 наведені технічні характеристики газового палива для найбільш поширеного на метановозах газодизеля Wartsila 50DF [1- 16].

Таблиця 2.2 - Основні технічні характеристики газового палива газодизеля Wartsila 50DF

Параметр	Одиниці виміру	Величина
Масова нижча теплота згоряння, min	МДж / кг	39,5
Метанове число, min		80
Вміст метану, min	%	70

Нижча теплота згоряння. З теплового розрахунку газодизеля Wartsila 12V50DF отриманий графік коефіцієнту зниження ефективної потужності k_{Ne} в залежності від тиску газу, p_a перед газовим впускним клапаном для різних масових нижчих теплотворних здібностей газового палива (рис. 2.4). Очевидно, що зниження теплотворення ВПВ необхідно компенсувати підвищенням тиску газу перед впускним клапаном газодизеля. Однак такого роду підвищення допустимо до певного критичного значення, що визначається двома обмеженнями: максимальним тиском компресора вантажних парів, яке становить 5,5 кгс / см², і мінімальним вмістом метану [1- 16].

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					40

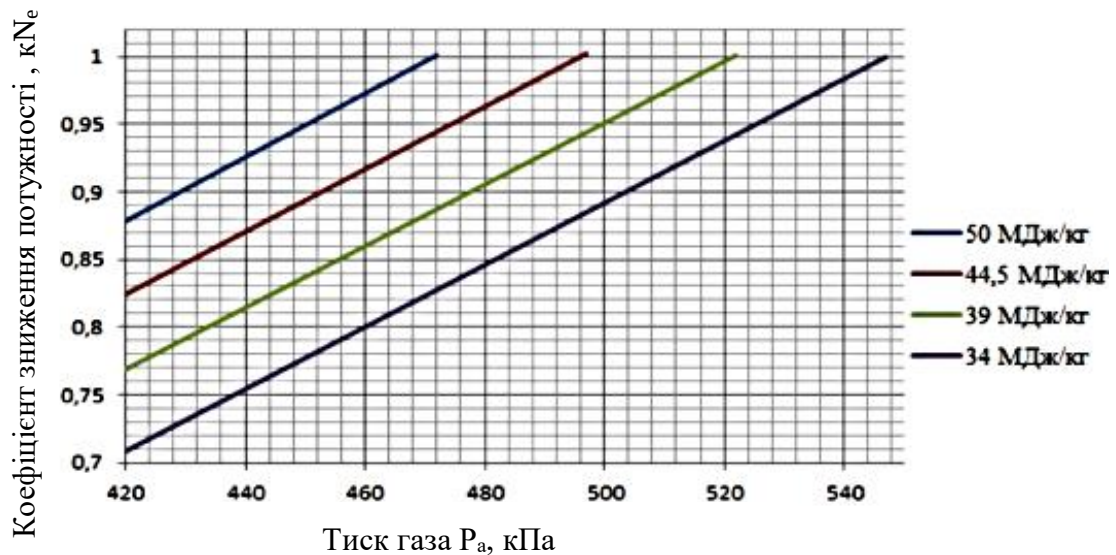


Рисунок 2.4 - Залежність коефіцієнту зниження ефективної потужності газодизеля від тиску газу з різною теплотворною здатністю [10]

Метанове число визначає детонаційну стійкість газового палива. З огляду на те, що склад ПВП є метаноазотна суміш, метанове число $MN > 80$.

Вміст метану, *мін.* Газова суміш, що надходить в циліндр газодизеля, при ступені стиснення $\epsilon = 12$ характеризується значним за величиною коефіцієнтом надлишку повітря α , рівним для суміші газу і повітря 1,4...2,2. Вибір менше зазначеної величини може призвести до samozаймання суміші в процесі стиснення [9]. Зниження вмісту метану у газоповітряній суміші призведе до зростання коефіцієнта надлишку повітря, так як кількість повітря для згоряння залишається постійною. Зважаючи на це при деякому мінімально критичному вмісті метану в ЕІГ відбудеться пропуск займання в циліндрі. Це обумовлено тим, що зниження вмісту метану виведе суміш за нижній концентраційний межа запалення.

Концентраційний діапазон займання метану від тиску в кінці стиснення $p_c = 110 \text{ кгс / см}^2$ становить 5,64...42% [10]. При цьому граничні значення коефіцієнтів надлишку повітря складають 1,74 і 0,143 відповідно. ΔABC - безліч точок, що характеризують допустимий склад метано-повітряної суміші в циліндрі газодизеля (рис. 2.5). Ребра трикутника - обмежувальні прямі: AC - нижня концентраційна межа; BC - мінімально допустимий коефіцієнт

Інв. № подп.	Підп. і дата		Інв. № дубл.		Взам. інв. №		Підп. і дата		
коефіцієнтом надлишку повітря α, рівним для суміші газу і повітря 1,4...2,2. Вибір менше зазначеної величини може призвести до самозаймання суміші в процесі стиснення [9]. Зниження вмісту метану у газоповітряній суміші призведе до зростання коефіцієнта надлишку повітря, так як кількість повітря для згоряння залишається постійною. Зважаючи на це при деякому мінімально критичному вмісті метану в ЕПГ відбудеться пропуск займання в циліндрі. Це обумовлено тим, що зниження вмісту метану виведе суміш за нижній концентраційний межа запалення. Концентраційний діапазон займання метану від тиску в кінці стиснення $p_c = 110 \text{ кгс / см}^2$ становить 5,64...42% [10]. При цьому граничні значення коефіцієнтів надлишку повітря складають 1,74 і 0,143 відповідно. ΔABC - безліч точок, що характеризують допустимий склад метано-повітряної суміші в циліндрі газодизеля (рис. 2.5). Ребра трикутника - обмежувальні прямі: AC - нижня концентраційна межа; BC - мінімально допустимий коефіцієнт									
					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				Арк
									41
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

надлишку повітря $\alpha = 1,4$; АВ - співвідношення $N_2 / O_2 = 3,78$ в наддувочному повітрі. Якщо допустити, що двигун працює на суміші $CH_4 = 7,14\%$, $O_2 = 19,51\%$, $N_2 = 73,35\%$, $\alpha = 1,4$ (точка В), то підвищення молярної частки азоту x_{N_2} в ПВП буде зрушувати склад суміші до точки D, поки не виведе суміш за нижній концентраційний межа запалення, що призведе до пропуску займання в циліндрі.

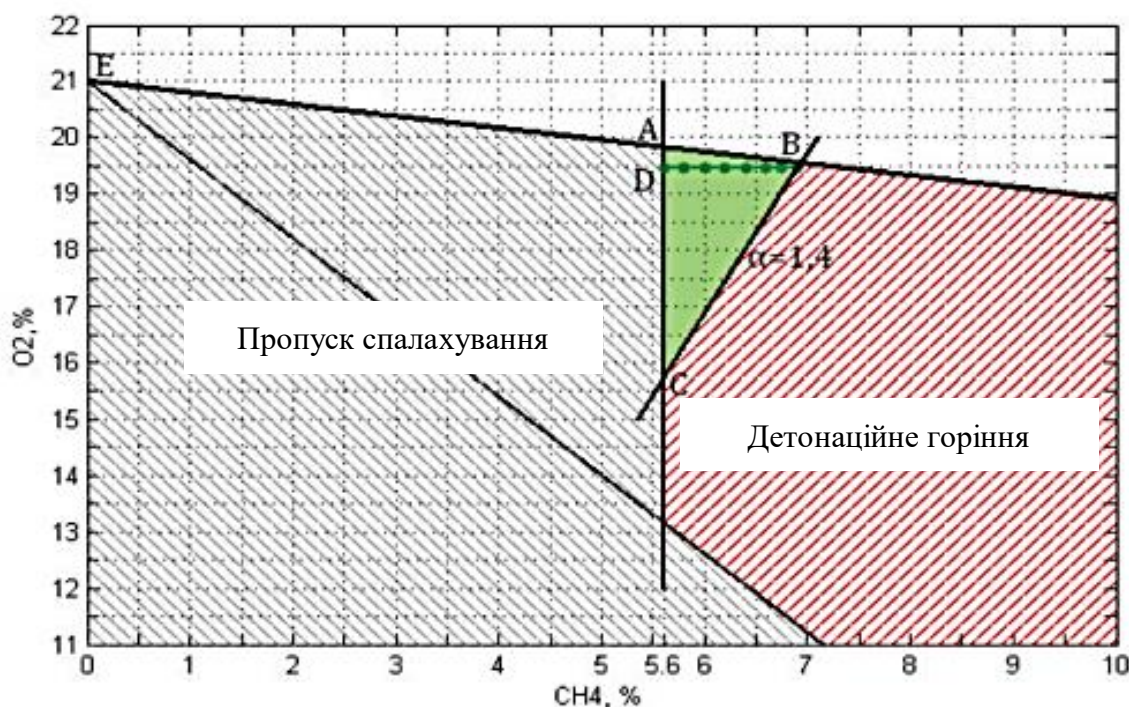


Рисунок 2.5 - Допустимий склад газоповітряної суміші в концентраційному діапазоні займання метану [10]

Розбавлення горючої суміші інертними домішками звужує область займання аж до перетворення суміші в таку, що не займається [10]. У цій ситуації система автоматичного управління зробить автоматичне перемикання газодизеля на резервну паливну систему з використанням рідкого палива (залишкового (HFO) або дистиллятного (MDO)). Це означає, що при $x_{CH_4} < 70\%$ використання ПВП як палива не може бути застосовано як метод стабілізації тиску в вантажних танках. В даному випадку його необхідно утилізувати іншим методом (реконденсація, спалювання в топковому

Інв. № подл.	Підп. і дата	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Взам. інв. №			
Зм	Арк	№ докум.	Підп.
Дата			
ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ			
Арк			
42			

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

Для оцінки стійкої роботи комплексу необхідно володіти інформацією про кількість та якість ПВП, яка вимагається від головного розподільного

					ПІННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						43
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

щита потужності, тобто про деякий баланс / дисбаланс цих величин. Найбільш інформативною фізичною величиною в даному випадку є кількість теплоти Q , Дж. Кількість теплоти ПВП характеризує як добовий обсяг ПВП змінився, так і його теплотворність, яка непрямым чином інформує про склад парів вантажу [1- 16]:

$$Q_{ПВП} = e \cdot V_{100\%} \cdot L \times \rho_{СПГ} \cdot H_i \quad (2.1)$$

де e - добовий коефіцієнт випаровування СПГ;

$V_{100\%}$ - обсяг вантажних танків;

L - коефіцієнт заповнення танків;

$\rho_{СПГ}$ - щільність вантажу;

H_i - масова нижча теплота згоряння вантажу.

Необхідна кількість теплоти пропорційно потужності і питомої витрати газового палива при певному навантаженні двигуна [1- 16]:

$$Q_{номр} = N_e \cdot g_e \cdot 24. \quad (2.2)$$

Залежно від режиму ходу судна і погодних умов споживана потужність буде варіюватися.

Проведене дослідження [3] для судна з енергетичною установкою 25,3 МВт показало, що потужність варіюється в залежності від режиму руху метановоза [13].

Розглянутий випадок [3] дозволяє дати кількісну оцінку дисбалансу теплоти для ідеальних умов. Однак ΔQ - величина, в яку входять часозалежні змінні. Заявлений виробником добовий коефіцієнт випаровування ЗПГ, $e = 0,0015$ є величиною очікуваної, він залежить від ряду факторів, таких як температура ЗПГ при навантаженні, склад ЗПГ, хвилювання моря, температура навколишнього середовища, стан корпусу тощо. Масова нижча теплота згоряння вантажу $\hat{H}$ не може бути прийнята постійною величиною. Починаючи від навантаження на зріджуючому заводі і закінчуючи

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										44

вивантаженням на приймальному терміналі, ПВП являє собою суміш найбільш низькокип'ячих і летючих елементів ЗПГ - азоту і метану. Теплопритоки з довкілля призводять спочатку до випаровування азоту, як самого низькокиплячого компонента, а потім - метану [15]. Цей факт робить істотний вплив на теплотворність ПВП, відбувається зменшення нижчої теплоти згорання.

На рис. 2.6 наведено графік залежностей $\Delta Q (\dot{H})$ для різних значень коефіцієнта випаровування e . Неважко помітити, що відхилення коефіцієнта випаровування на 0,0002 надає вагомий вплив на ΔQ . Якщо $\Delta Q > 0$, то це кількість теплоти необхідно утилізувати іншим методом (реконденсацією, спалюванням в ГТУ, вентиляцією), $\Delta Q < 0$ - необхідний пуск резервного генератора, що працює на НФО, так як фрахтувальник часто не дозволяє примусово випаровувати вантаж для компенсації необхідної кількості споживаної енергії [1- 16].

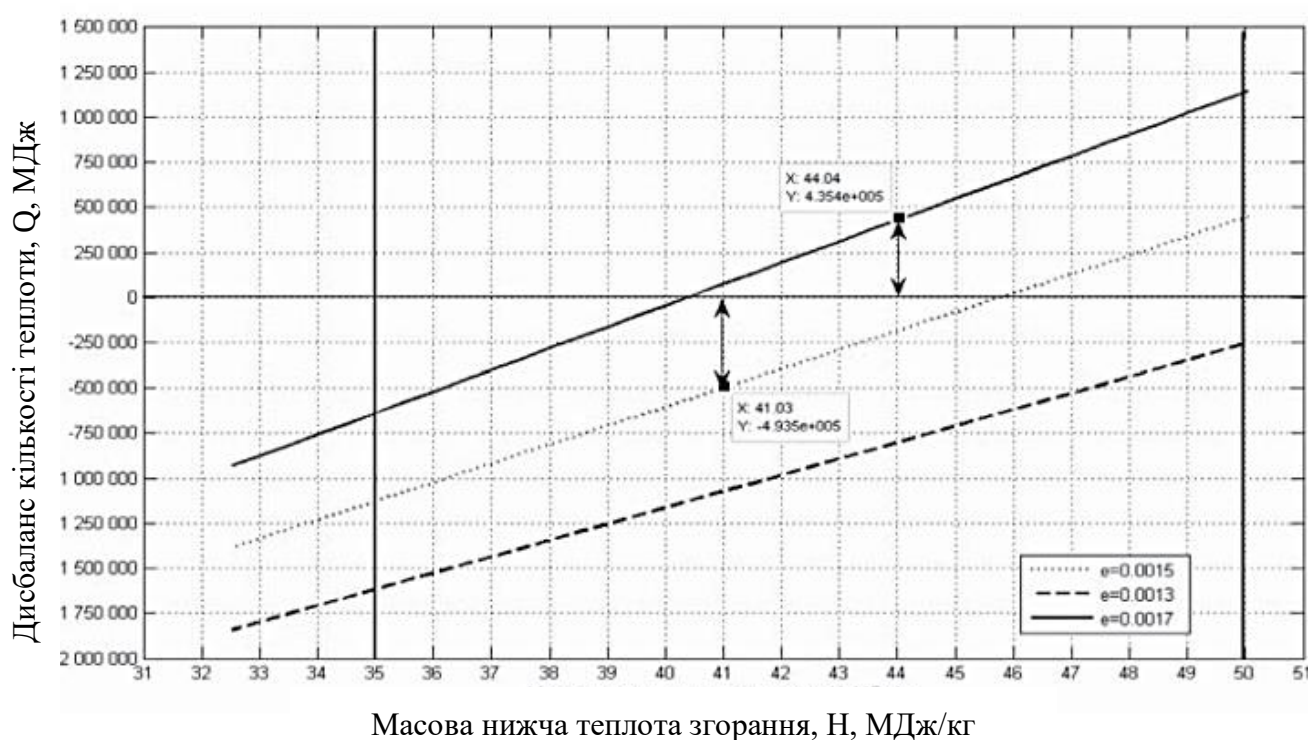


Рисунок 2.6 - Залежності $\Delta Q (\dot{H})$ для різних значень коефіцієнта випаровування e

Підп. і дата	Інв. № дубл.	Взам. інв. №	Дисбаланс кількості теплоти, Q, МДж				
Підп. і дата	Масова нижча теплота згорання, Н, МДж/кг						
Інв. № подл.	Рисунок 2.6 - Залежності ΔQ (H) для різних значень коефіцієнта випаровування e						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ		
					Арк 45		

Таблиця 2.3 - Споживана потужність для різних фазах рейсу [2]

Стадія рейсу	Потужність
Перехід в вантажу або баласті (спокійне море)	32 МВт
Перехід (бурхливе море)	27 МВт
Маневрування	14 МВт
Стоянка на якорі, дрейф	1,5 МВт
Навантаження	4 МВт
Вивантаження	7,5 МВт

З графіка видно, що при коефіцієнті випаровування $e = 0,0017$ і $H = 44$ МДж / кг (вміст $N_2 = 12\%$), $AQ = 435400$ МДж. При даних характеристиках випаровування ПВП додаткової утилізації підлягають 9,9 т / добу СПГ, а при коефіцієнті випаровування $e = 0,0015$, $H = 46$ МДж / кг, що відповідає $X_{N2} = 8\%$, кількість теплоти ПВП і необхідну кількість теплоти рівні: $Q_{ПВП} = Q_{потр.}$

Подальше збільшення вмісту азоту в ПВП при $e = 0,0015$ призведе до зменшення теплоутворення газового палива, що, в свою чергу, знизить ефективну потужність газодизеля. Відповідно потрібно компенсувати даний дисбаланс теплоти шляхом введення в паралельну роботу резервного генератора на НФО. В резерві перебуває судновий генератор з потужністю, яка є максимальною для компенсації резервного генератора. У разі перевищення цієї потужності буде потрібно переключення одного з основних генераторів на НФО.

Таким чином, на підставі раніше викладеного можна зробити наступні висновки [1- 16].

1. Оцінка балансу випаровування - споживання газу за допомогою кількості теплоти дозволяє аналізувати ефективність утилізації ПВП.

2. Чутливість газодизеля до якості газу вимагає прогнозу інформації про ПВП. У разі нестачі теплоти ПВП необхідна компенсація за рахунок

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										46
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

спалювання НФО, що, часом, представляє труднощі в зв'язку із мащенням двигунів. У разі надлишку ПВП або відмови газодизеля доведеться вдатися до нераціональної утилізації парів вантажу за допомогою ГТУ або вентиляції.

3. Для кількісної оцінки утилізації випаровування вантажу необхідна інформація про залежності кількості теплоти ПВП від часу, що дозволить аналізувати динаміку зміни балансу теплоти.

2.4 Особливості суднової системи забезпечення газом

2.4.1 Основні системи газопостачання двигунів та котлів

Судно «AIDAprima» було розроблено з одним подвійним генератором палива та котлом роботи на звичайних мазутах, а також природному газі. Природний газ застосовується для використання в порту, щоб відповідати нормам викидів. Природний газ може постачатися береговими з'єднаннями, як у газоподібному стані (НГ), так і у рідкій (СПГ) формі [1, 15, 16].

Подача природного газу моніториться та контролюється подачею паливного газу системою (FGS), яка також пов'язана з наступними системами:

- Система виявлення газу;
- Система виявлення витоків газових труб;
- Система управління двигуном;
- Система управління котлом;
- IAMCS;
- ESD;
- SMCS.

Природний газ (рідкий або газовий) надходить на станцію газопостачання, розташовану на палубі 3 (борт зі сторони порту) [1, 15, 16].

Берегові колектори для рідини (1 дюйм / 25 мм) і для газу (4 дюйма / 100 мм) та і одна лінія вентиляції, яка (2 дюйма / 50 мм) збираються на щоглі корабля [1, 15, 16].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм Арк № докум. Підп. Дата ПІНІ НУК 131.61.23.21. ПЗ Арк 47				

Газопроводи ведуть до приміщення газового клапана (GVU), де знаходиться газ кондиціонований випарником СПГ та нагрівачем паливного газу. Всі газопроводи в тому числі газопровідні лінії мають двосхилий тип, які проходять через моторне приміщення з двигуном та зони розміщення [1, 15].

Кожен GVU оснащений таким обладнанням [1, 15, 16]:

- Ручний запірний клапан;
- Очищувач з'єднань;
- Газовий фільтр;
- Витратомір;
- Регулятор тиску паливного газу;
- Блок автоматичного відключення;
- Вентиляційні вентиля;
- Датчики / манометри тиску;
- Датчики температури газу.

Вхід випарника СПГ оснащений ультразвуковим перемикачем, який встановлюється для виявлення наявності рідини в трубі та подання сигналу щодо роботи клапанів 033VUN, 034VUN і 035VUN (рис. 2.7) [1, 15, 16].

Основними елементами системи є (рис. 2.7) [1, 15, 16]:

- випарник СПГ TGE Marine Engineering типу Shell and tube потужністю $130\text{м}^3 / \text{год}$, $2,750\text{кг} / \text{год}$ (газ), 585кВт , $-163\text{ }^\circ\text{C} / -30\text{ }^\circ\text{C}$;
- паливний газовий нагрівач TGE Marine Engineering типу Shell and tube потужністю $130\text{м}^3 / \text{год}$, $2,750\text{кг} / \text{год}$ (газ), 85кВт , $-30\text{ }^\circ\text{C} / 20\text{ }^\circ\text{C}$;
- двостінний вакуумний насосний трубопровід для основного двигуна GS22UO-11 Mak / Edur типу MDH vacuum pump потужністю $8\text{м}^3 / \text{хв}$, 500 мбар , $0,55\text{ кВт}$, $3,000\text{ хв}^{-1}$;
- двостінний трубний вакуумний насос для газової паливної системи GS22UO-11 Edur типу MDH vacuum pump потужністю $8\text{м}^3 / \text{хв}$, 500 мбар , $0,55\text{ кВт}$, $3,000\text{ хв}^{-1}$;
- циркуляційний насос випарника (2 од.) СПГ FBSV-200 Naniwa Pump

Підп. і дата		встановлюється для виявлення наявності рідини в трубі та подання сигналу щодо роботи клапанів 033VUN, 034VUN і 035VUN (рис. 2.7) [1, 15, 16].						
Підп. і дата		Основними елементами системи є (рис. 2.7) [1, 15, 16]:						
Підп. і дата		- випарник СПГ TGE Marine Engineering типу Shell and tube потужністю 130м ³ / год, 2,750кг / год (газ), 585кВт, -163 °С / -30 °С;						
Підп. і дата		- паливний газовий нагрівач TGE Marine Engineering типу Shell and tube потужністю 130м ³ / год, 2,750кг / год (газ), 85кВт, -30 °С / 20 °С;						
Підп. і дата		- двостінний вакуумний насосний трубопровід для основного двигуна GS22UO-11 Mak / Edur типу MDH vacuum pump потужністю 8м ³ / хв, 500 мбар, 0,55 кВт, 3,000 хв ⁻¹ ;						
Підп. і дата		- двостінний трубний вакуумний насос для газової паливної системи GS22UO-11 Edur типу MDH vacuum pump потужністю 8м ³ / хв, 500 мбар, 0,55 кВт, 3,000 хв ⁻¹ ;						
Підп. і дата		- циркуляційний насос випарника (2 од.) СПГ FBSV-200 Naniwa Pump						
Інв.№ подл.							ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
Інв.№ подл.								48
Інв.№ подл.		Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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

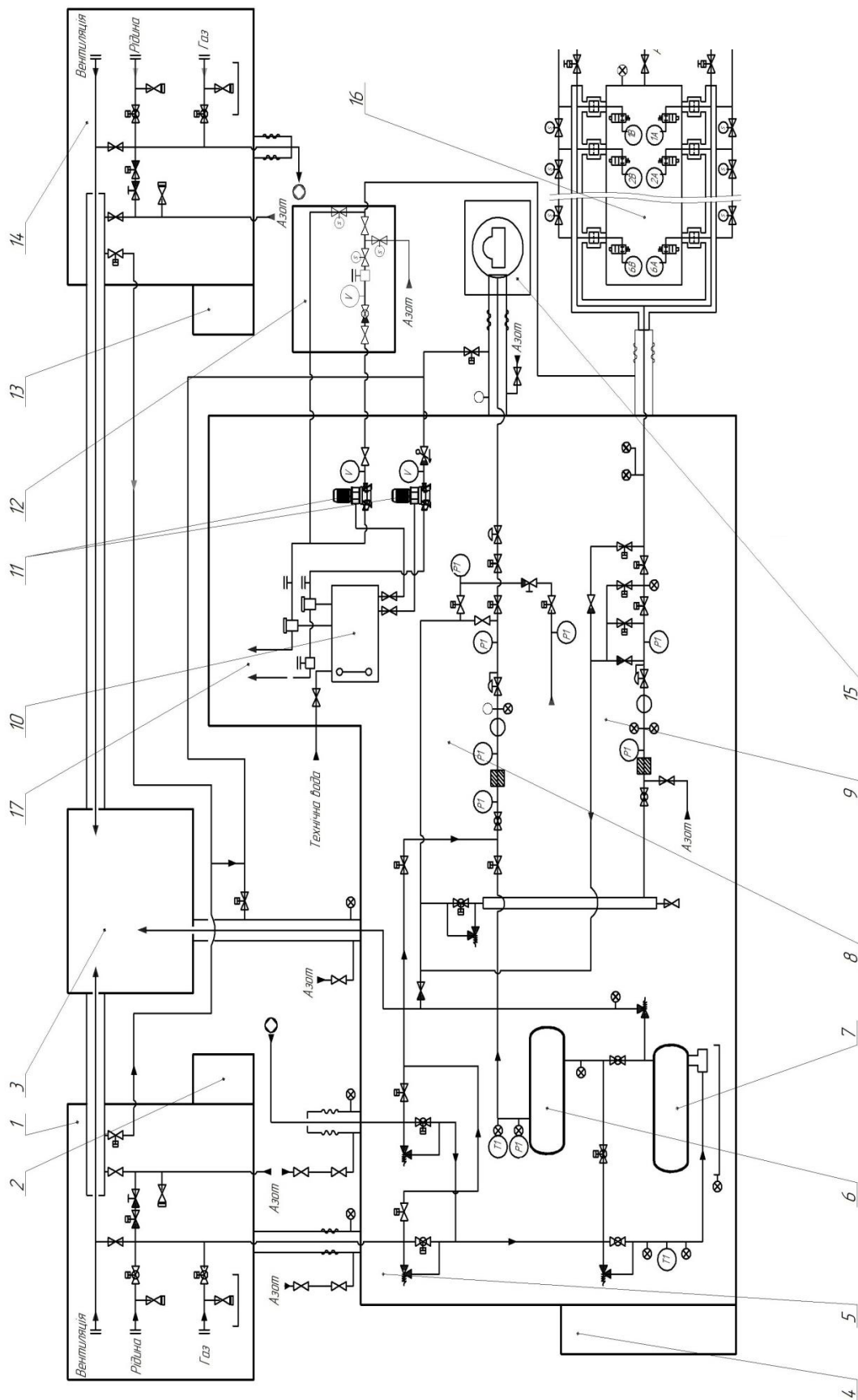


Рисунок 2.7 – Порт станції газопостачання; 2 – простір повітряного блокування; 3 – газова вентиляційна кімната; 4 – простір повітряного блокування; 5 – приміщення для газового клапана; 6 – паливний газовий нагрівач; 7 – випарник стиснутого природного газу; 8 – газова рампа; 9 – блок газового клапана; 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, 15, 16]

Mfg Co Ltd типу MDVC потужністю 130м³ / год при 2,3 бар.

Гнучкі лінії оснащені запобіжними клапанами, які закачують природний газ з низхідної частини до верхньої частини, щоб мінімізувати викиди до атмосфери [1, 15, 16].

Станції постачання мають холодостійкі крапельні піддони, розташовані нижче з'єднань шлангів кожної рідини, які контролюють витік рідини та активують сигнал тривоги якщо виявлена рідина.

Інертний газ (N₂) використовується як для очищення, так і для створення інерції на всіх ділянках газопроводів системи. Газ N₂ зберігається у ємностях високого тиску, розташованих у приміщенні зберігання N₂ (приміщення 15 [2]) на борту на палубі 2. Тиск в ємностях контролюється і якщо його значення знизиться через протікання або активацію - буде піднято тривогу [1, 15, 16].

На палубі 01, або на території порту, додатково знаходяться два набори пляшок аварійної форми N₂ у передньому машинному відділенні. Вони активуються від IAMCS або LCP в FGS і використовуються лише для надзвичайних випадків і зазвичай утримуються в повністю заповненому стані [2]. Якщо тиск у ємностях стає нижчим за задане значення, спрацьовує сигнал тривоги і забороняються будь-які процедури експлуатації газу [1, 15].

Магістральна вентиляційна лінія підключена до кожного виходу запобіжного клапана та вентиляційних отворів ГВУ. У випадку виникнення небезпеки сировина буде скидатися в безпечне місце над палубою 16.

Система виявлення витоків газових труб

Наступні труби FGS з паливно-газовою системою є подвійними (рис. 2.7) [1, 15, 16]:

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.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										50

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 GVV (UN201);

Існує дві системи контролю вакуумного витоку:

- Система високого вакууму, лінії (а) та (б).
- Помірна вакуумна система, лінії (с) - (g).

Високий вакуум в цій системі забезпечує як моніторинг витоку, так і теплової ізоляції, труби спочатку ставлять під вакуум, а потім герметизують.

Вакуум контролюється передавачами тиску (P9977 та P9978), FGS викликає тривогу через IAMCS, якщо вакуум збільшується вище 0,8 бар (а), це активує закриття всіх віддалених керованих клапанів і блокується через наступний режим перемикачем (H8200) [1, 15, 16]:

- 2 - Газифікація та охолодження;
- 3 - FGS-операція;
- 4 - Рідке вивільнення та знезараження.

Помірний вакуум в цій системі контролюється між 0,6 бар (а) і 0,8 бар (а). Лінії (г) до (є) підтримують у вакуумі через нормально закритий соленоїдом клапан загальним вакуумним насосом, розташованим у приміщенні ГВУ, обладнаному детектор газу для контролю підключення.

Тиск вакууму підтримується в кожному рядку, коли вакуум опускається нижче на 0,8 бар (а) в секції відкривається відповідний пневматичний клапан (тільки привідний) по одному) і вакуумний насос автоматично запускається і зупиняється на проектний тиск 0,6 бар (а).

2.5 Обґрунтування режимів експлуатації суднового двигуна

В практиці експлуатації СЕУ і відповідно судна «AIDAprima» передбачена робота судна в порту при стоянці від одного двигуна №2 СЕУ,

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					51
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

який працює в цей час на газовому паливі [1, 15, 16]. Газовий двигун передбачає живлення від стиснутого і (або зрідженого газового палива на основі метану. Живлення при зупинці судна в порту може забезпечуватись від зовнішньої ємності. В якості ємності, у відповідності до технічного регламенту, передбачено використання автомобіля газозавантажувача з відповідною ємністю і (або) баржи заправника газовим паливом [1, 15, 16].

В СЕУ передбачена можливість роботи судна на газі від двох невеликих власних ємностей при вході і виході з порту (або екологічно чистої зони експлуатації судна). Підготовку (очищення) газового палива передбачено проводити за рахунок власного блока газового клапана СЕУ. Але достатнього запасу газу для тривалої роботи дизельгенератора з двигуном №2 в порту може бути не достатньо. Живлення від зовнішньої ємності в різних портах на маршруті руху судна може здійснюватись від газу, склад якого може відрізнитись від складу газу в інших портах [1, 15, 16].

З метою покращення умов використання газового палива СЕУ судна «AIDArgima» в портах при живленні від зовнішніх джерел виникає необхідність використовувати додаткову систему підготовки газового палива у вигляді додаткового блока газового палива. Це дозволить розділити експлуатацію газового обладнання судна під час його руху до порту / з порту і в процесі роботи одного двигуна ДГ №2 при зупинці в порту. Чим в першу чергу буде забезпечена диверсифікація використання обладнання і забезпечить надійну його експлуатацію [1, 15, 16].

Висновки: Дослідження показують, що склад і метанове число газових сумішей для живлення двигуна може суттєво відрізнитися в залежності від їх походження. У зв'язку з цим, при роботі СЕУ судна в порту від зовнішніх джерел необхідно додаткове очищення газової суміші при подачі в СЕУ. При цьому виникає потреба застосовувати окремий блок газового клапана для роботи в порту від стороннього джерела газу і власний судновий – для живлення газом при вході і виході з порту.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										52
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

З метою забезпечення ефективного використання зовнішніх джерел природного газу при роботі СЕУ судна в порту потрібно обґрунтувати конструкцію додаткового блоку газового палива, для цього провести тепловий розрахунок двигуна при використанні дизельного і газового палива і виконати розрахунок елементів додаткового блоку газового палива.

На рис. 3.1 показаний загальний вигляд додаткового блоку газового палива, який планується використовувати в умовах експлуатації СЕУ судна в порту [1, 15, 16].

3.2 Розрахунок головного суднового двигуна 12М46DF фірми Caterpillar-МАК при роботі на дизельному і газовому паливі

Для розрахунку основних параметрів робочого процесу скористаємося методом Гринівецького-Мазінга [17].

Для побудови розгорнутих діаграм робочого процесу використовуємо метод визначення енергетичного балансу в робочому циліндрі двигуна, який був розроблений у Центральному науково-дослідному дизельному інституті (ЦНДДІ) [17].

Скористаємося даною моделлю, реалізованої у вигляді програми розрахунку з використанням персонального комп'ютера [17].

Вхідні данні для розрахунку наведено у табл. 3.1 [17].

Підп. і дата		3.2 Розрахунок головного суднового двигуна 12M46DF фірми Caterpillar-МАК при роботі на дизельному і газовому паливі					
Інв. № дубл.		Для розрахунку основних параметрів робочого процесу скористаємося методом Гринівецького-Мазінга [17].					
Взам. інв. №		Для побудови розгорнутих діаграм робочого процесу використовуємо метод визначення енергетичного балансу в робочому циліндрі двигуна, який був розроблений у Центральному науково-дослідному дизельному інституті (ЦНДДІ) [17].					
Підп. і дата		Скористаємося даною моделлю, реалізованої у вигляді програми розрахунку з використанням персонального комп'ютера [17].					
Інв. № подп.		Вхідні данні для розрахунку наведено у табл. 3.1 [17].					
						ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
							53
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			

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 головного двигуна проводимо з метою розрахунку робочих параметрів двигуна для обґрунтування проведення удосконалення. Це надасть можливості виявити вплив показників робочого процесу на основні параметри роботи суднового дизеля [17, 21].

Відношення ходу поршня до діаметра циліндра (S/D). Зі зменшенням S/D зменшуються габарити двигуна, знижуються механічні втрати й швидкість зношування деталей, поліпшуються умови для розміщення клапанів і збільшення їх розмірів. Однак, збільшуються габарити двигуна по довжині, підвищуються навантаження на деталі КШМ від тиску газів і сил інерції, зменшується висота камери згоряння й погіршується її форма [17, 21].

Для надсучасних тронкових суднових середньо- й високооборотних дизелів значення S/D становлять – 2,16...4,8 [17, 21].

Враховуючи конструктивні особливості прототипу прийmemo співвідношення S/D таке ж, як і для базового двигуна. У подальших розрахунках будемо приймати $S/D = 1,10$ [17, 21].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										55
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Число й розташування циліндрів. При збереженні постійної потужності дизеля, зі збільшенням числа циліндрів їх діаметр зменшується та поліпшується врівноваженість і рівномірність ходу двигуна [17, 21].

При надмірному зменшенні діаметра циліндра виникають труднощі пов'язані з організацією якісного сумішоутворення й згоряння палива. Зі збільшенням діаметра циліндра зменшуються втрати тепла в охолоджуюче середовище, що приводить до збільшення індикаторного ККД і підвищенню теплонапруженості деталей двигуна. При збільшенні числа циліндрів довжина двигуна збільшується, а висота й ширина зменшуються [17, 21].

Найбільше поширення для суднових дизелів рядне розташування циліндрів у вертикальній положенні. Таке розташування зручне при обслуговуванні двигуна, а також спрощує конструкцію блока-картера. У розрахунках збережемо характерне для прототипу число циліндрів $i = 8$ [17].

Сукупна дія зазначених факторів обумовлює підвищення індикаторного ККД (η_i) при одночасному збільшенні так званої «жорсткості» згоряння, максимального тиску при згорянні (p_z) і швидкості наростання тиску ($(dp/d\varphi)_{\max}$) [17, 21].

Індикаторні показники з ростом n поліпшуються доти, поки надійно працює паливна апаратура, і коефіцієнт наповнення залишається досить високим [17, 21].

Зі збільшенням частоти обертання колінчатого вала суднових двигунів зростають інерційні навантаження, збільшуються розміри й маса деталей кривошипно-шатунного механізму, втрати на тертя, знижуються надійність і довговічність двигуна [17, 21].

У подальших розрахунках приймемо частоту обертання виходячи з особливостей завдання, тобто 72 хв^{-1} [17, 21].

Спосіб сумішоутворення й форми камери згоряння. Камера згоряння повинна забезпечувати високий ступінь очищення від відпрацьованих газів, і наповнення циліндрів свіжим зарядом. Зменшення відносини поверхні камери згоряння $F_{\text{кс}}$ до її об'єму $V_{\text{кс}}$, знижує теплові втрати в систему охолодження.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Максимального тиску при згорянні (p_z) і швидкості наростання тиску $((dp/d\varphi)_{\max})$ [17, 21].					
					Індикаторні показники з ростом n поліпшуються доти, поки надійно працює паливна апаратура, і коефіцієнт наповнення залишається досить високим [17, 21].					
					Зі збільшенням частоти обертання колінчатого вала суднових двигунів зростають інерційні навантаження, збільшуються розміри й маса деталей кривошипно-шатунного механізму, втрати на тертя, знижуються надійність і довговічність двигуна [17, 21].					
					У подальших розрахунках приймемо частоту обертання виходячи з особливостей завдання, тобто 72 хв^{-1} [17, 21].					
Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Спосіб сумішоутворення й форми камери згорання. Камера згорання повинна забезпечувати високий ступінь очищення від відпрацьованих газів, і наповнення циліндрів свіжим зарядом. Зменшення відносини поверхні камери згорання $F_{\text{кс}}$ до її об'єму $V_{\text{кс}}$, знижує теплові втрати в систему охолодження.					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										56

морське дизельне паливо MDO (Marine Diesel Oil). Вони не мають потреби в підігріві, тому що при температурі характерній для машино-котельного відділення судна вони мають в'язкість 3...12 сСт [17, 21].

Склад атмосферного повітря характеризується наявністю у ньому 79% азоту (N_2) та 20,8% кисню (O_2) по масі. Кількість інших складових дуже мала тому може не враховуватися [17, 21].

Таблиця 3.2 – Основні характеристики палива що використовується

Параметр	Масова частка	
	дизельне паливо	СПГ або ЗПГ
Елементарний склад (по масі) палива:		
C – вуглець	0,87	0,765
H – водень	0,121	0,233
O – кисень	0,004	0,002
S – 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 [17, 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 131.61.23.21. 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) [17, 21].

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

- для дизельного палива [17, 21]:

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

- для СПГ або ЗПГ [17, 21]:

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

Інв. № подп.	Підп. і дата				Арк	
	Взам. інв. №					
	Інв. № дубл.					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	59
<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 $\alpha = 2,25 \dots 4,0$, для розрахунків приймемо значення характерне для прототипу $\alpha = 2,48$ (дизельне паливо) і $\alpha = 2,8$ (газове паливо) [17, 21].</i> <i>Кількість свіжого заряду, (M_1), для дизеля визначається по формулі:</i> - для дизельного палива [17, 21]: $M_1 = \alpha L_0 = 2,48 \cdot 0,494 = 1,22 \text{ кмоль}$ - для СПГ або ЗПГ [17, 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 [17, 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 [17, 21]:

- для дизельного палива і СПГ або ЗПГ [17, 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	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 [17, 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 [17, 21]: - для дизельного палива і СПГ або ЗПГ [17, 21]: $p_k = 3,495 \times p_o = 3,495 \times 0,103 = 0,360 \text{ МПа}$	
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						61

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:

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

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

У двигуні з охолоджувачем після компресора температура у впускному ресивері:

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

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

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 [17, 21]:

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

Інв. № подл.	Підп. і дата	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Інв. № подл.
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. 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.

Прийmemo $T_r = 610,0$ К [17, 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 [17, 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 ($c = \beta^2 + \zeta_{\text{вп}}$) 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 колінчастого вала. При збільшенні n коефіцієнт збільшується. Для розрахунку, враховуючи особливості конструкції базового двигуна, прийmemo $c = 2,5$.

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

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 $R_{\epsilon} = 287 \text{ кДж/(кг} \times \text{К)}$ 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, приймемо $c = 2,5$. <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						
Інв.№ подп.					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						63
	Зм	Арк	№ докум.	Підп.		Дата

зменшенні перетину впускних органів й збільшенні n середня швидкість $\omega_{вп}$ збільшується. Для розрахунку, враховуючи результати аналізу особливостей конструкції базового двигуна, приймемо $\omega_{вп} = 20$ м/с [17, 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 [17, 21]:

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

Тоді

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

Коефіцієнт залишкових газів (γ_r). 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 [17, 21]:

$$\gamma_r = \frac{(T_{\kappa} + \Delta T) \cdot p_r}{T_r (\epsilon_0 \cdot p_a - p_r)} = \frac{(303,3 + 7) \cdot 0,357}{610,0 (16,20 \cdot 0,357 - 0,270)} = 0,025 \text{ МПа.}$$

Отриманий коефіцієнт залишкових газів характерний для базового двигуна: дизеля даного типу ($\gamma_r = 0,025 \dots 0,06$) [17, 21].

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

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. 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 найважливішим показником якості процесів газообміну при впуску, визначається відношенням дійсної кількості свіжого заряду, що надійшов у циліндр, до тієї кількості заряду, що могло б поміститися в циліндрі при тиску й температурі середовища, з якої надходить заряд [17, 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 судових дизельних двигунів коефіцієнт наповнення дорівнює [17, 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, тому що, відбувається теплообмін зі стінками циліндра. Так само на характер протікання процесу впливають витік газів через нещільності клапанів і поршневих кілець, дозарядка циліндра до закриття впускного клапана, випару палива, згоряння палива наприкінці стиску. У зв'язку із цим точний термодинамічний опис процесу стиску в реальному двигуні утруднено.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				
Арк				
65				

На практиці вважають, що процес стиску відбувається по політропі з показником n_1 величина якого забезпечує одержання такої ж роботи в процесі стиску, як і при змінному показнику у дійсному процесі [17, 21].

Показник політропи стиску (n_1). Розрахунок параметрів процесу стиску ведеться по умовному середньому за процес стиску показнику політропи n що змінюється в межах $n_1 = 1,32 \dots 1,40$.

При виборі величини n_1 необхідно враховувати наступне [17, 21]:

- зі збільшенням частоти обертання колінчатого валу n_1 збільшується;
- при підвищенні середньої температури процесу стиску n_1 зменшується;
- зі зменшенням інтенсивності охолодження двигуна n_1 збільшується;
- зі зменшенням відносини поверхні охолодження до об'єму циліндра n_1 збільшується;

Враховуючи результати аналізу конструкції прототипу приймаємо значення політропи, що характерне для дизелів з нерозділеними камерами згорання $n_1 = 1,32 \dots 1,42$ і приймаємо в розрахунку: $n_1 = 1,354$ [17, 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 [17, 21].

Температура наприкінці процесу стиску, (T_c) [17, 21]:

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

Для розглянутому в проекті класу дизелів, здатних працювати на важких паливах, $T_c = 770,0 \dots 940,0$ К, отримане значення відповідає даному діапазону.

Середня мольна ізохорна теплоємність свіжого заряду (c'_v).

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				
					Арк				
					66				

Для обчислення молярної теплоємності знайдемо відносну температуру заряду до кінця стиску [17, 21]:

$$t_c = T_c - 273,15 = 851,2 - 273,15 = 578,0 \text{ К.}$$

Для спрощення розрахунків, середню молярну теплоємність горючої суміші приймають рівною теплоємності повітря. Для обчислення c'_v використовується емпірична залежність [17, 21]:

$$\begin{aligned} c'_v &= 20,088 + 3,7544 \cdot 10^{-3} t_c - 5,657 \cdot 10^{-7} t_c^2 = \\ &= 20,088 + 3,7544 \cdot 10^{-3} \cdot 578,0 - 5,657 \cdot 10^{-7} \cdot 578,0^2 = \\ &= 22,07 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{К)}. \end{aligned}$$

3.2.5 Процес згоряння

Рівняння згоряння для дизелів має вигляд:

$$\frac{\xi_z \cdot H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + (\mu \cdot c'_v + 8,314\lambda)t_c = \mu(c''_v + 8,314)t_z.$$

Для рішення цього рівняння задаємось або розрахуємо деякі параметри що характеризують процес згорання у дизелі [17, 21].

Коефіцієнт молекулярної зміни свіжої суміші (μ):

- для дизельного палива [17, 21]:

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

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

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						67

- 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) являє собою параметр який урахує втрати теплоти в процесі згорання. Величина змінюється на номінальному режимі для дизелів у наступних межах $\xi_z = 0,7...0,85$. При виборі даних для розрахунків варто враховувати зв'язок зазначених величин з режимом роботи двигуна. При підвищенні частоти обертання колінчатого вала дизеля значення ξ_z зростає з поліпшенням сумішоутворення й згорання палива [17, 21].

Для двигунів ξ_z підвищується при збільшенні n до тих параметрів, поки зростання втрат теплоти за рахунок збільшення фази догорання палива не перевищить зменшення теплообміну за рахунок скорочення часу контакту гарячих газів зі стінками циліндра. Для розрахунку дизелю приймемо: $\xi_z = 0,950$. Для розрахунку газу приймемо: $\xi_z = 0,900$ [17, 21].

Середня мольної теплоємності продуктів згорання c_v'' в діапазоні температур $t_g = 1000...2800$ °С можна приблизно оцінити за допомогою апроксимуючих рівнянь для продуктів згорання дизельного двигуна [17, 21]

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

Підставивши у рівняння згорання для дизелів відповідні значення параметрів, а замість c_v'' його рівняння отримаємо [17, 21]:

- для дизельного палива:

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										68

Максимальна температура згоряння для дизельних двигунів – $T_z = 1700 \dots 1900$ К. Отримане значення відповідає даному діапазону.

- для СПГ або ЗПГ

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

$$0,002102t_z^2 + 29,97840t_z - 42793 = 0.$$

Вирішуючи квадратне рівняння, знаходимо температуру t_z в точці z:

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

$$\frac{-29,97840 + \sqrt{29,97840^2 + 4 \cdot 0,002102 \cdot 42793,29}}{2 \cdot 0,002102} = 1381,834 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тому що $t_z = T_z - 273,15$,

$$T_z = 1381,834 + 273,150 = 1654,984 \text{ К}.$$

Максимальна температура згоряння для газових двигунів – $T_z = 1600 \dots 1700$ К. Отримане значення відповідає даному діапазону [17, 21].

Теоретичний тиск наприкінці згоряння в суднових дизельних ДВЗ (p_z).

Ступінь підвищення тиску (λ). При розрахунку згоряння в дизелі крім значення ξ_z необхідно задатися ступенем підвищення тиску λ . Значення λ 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 [17, 21].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					70
					Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

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: $\lambda_{\text{дизеля}} = 1,35$; $\lambda_{\text{газу}} = 1,45$ [17, 21].

Тоді:

Тоді для дизеля:

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

Для газу

$$p_z = p_c \cdot \lambda = 15,49 \cdot 1,452 = 22,99 \text{ МПа.}$$

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 $p_z = 25 \text{ МПа}$ [17, 21].

Розрахункове значення нижче максимально допустимого [17, 21].

Ступінь попереднього розширення (ρ) у суднових дизельних двигунів з комбінованим підведенням теплоти [17, 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 [17, 21].

Для газу

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

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

ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ

Арк	71
-----	----

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

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

$$\delta = \frac{\varepsilon_0}{\rho} = \frac{16,20}{1,381} = 11,73.$$

Тоді

$$p_{\text{B}} = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{22,49}{11,73^{1,248}} = 1,041 \text{ МПа.}$$

Тиск наприкінці розширення для судових дизелів $p_6 = 0,9 \dots 1,2$ МПа

Температура наприкінці розширення (T_B), К для газового ДВЗ [17, 21]:

$$T_{\text{B}} = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{1654,984}{11,73^{1,248-1}} = 898,648 \text{ K.}$$

Для газового двигателя $T_6 = 900$ К.

3.2.7 Процес випуску

При розрахунку процесу випуску були орієнтовно прийняті значення тиску p_r і температури T_r газів наприкінці випуску. Точність вибору цих величин можна перевірити, обчисливши температуру залишкових газів за допомогою формули [17, 21]:

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}} = \frac{964,0}{\sqrt[3]{\frac{1,104}{0,27}}} = 602,7 \text{ K}.$$

Вихначемо похибку прийнятого допущення:

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

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	3.2.7 Процес випуску
					При розрахунку процесу випуску були орієнтовно прийняті значення тиску p_r і температури T_r газів наприкінці випуску. Точність вибору цих величин можна перевірити, обчисливши температуру залишкових газів за допомогою формули [17, 21]:
					$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}} = \frac{964,0}{\sqrt[3]{\frac{1,104}{0,27}}} = 602,7 \text{ К.}$
Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Вихначемо похибку прийнятого допущення:
					$D = \frac{602,7 - 610,0}{(610/100)} = -1,19\%$
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПІННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ
					73

Вказана похибка може бути прийнята при попередньому розрахунку циклу двигуна [17, 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:

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

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

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						74
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.) [17, 21].

Отримане значення відповідає даному діапазону.

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)

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

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.

3.2.9 Ефективні показники двигуна

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										76
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Середній ефективний тиск робочого циклу (p_e) визначається як різниця середнього індикаторного тиску циклу p_i середнього тиску механічних втрат p_m [17, 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 [17, 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 [17, 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 [17, 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 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										77
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Механічний ККД (η_m). Механічний ККД двигуна визначається як відношення середнього ефективного тиску до середнього індикаторного:

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{2,368}{2,6} = 0,912.$$

Ефективний ККД (η_e) [17, 21]:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,573 \cdot 0,912 = 0,490$$

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

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{157,834}{0,912} = 172,992 \text{ / (кВт} \times \text{год.)}.$$

Для газу

$$p_e = p_i - p_m = 2,321 - 0,227 = 2,094 \text{ МПа.}$$

Механічний ККД (η_m). Механічний ККД двигуна визначається як відношення середнього ефективного тиску до середнього індикаторного [17, 21]:

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{2,094}{2,32} = 0,902.$$

Ефективний ККД (η_e):

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,543 \cdot 0,902 = 0,490$$

Питома витрата рідкого палива (g_e), г/(кВт·год.) [17, 21]:

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	<i>Механічний ККД (η_m).</i> Механічний ККД двигуна визначається як відношення середнього ефективного тиску до середнього індикаторного [17, 21]: $\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{2,094}{2,32} = 0,902.$ <i>Ефективний ККД (η_e):</i> $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,543 \cdot 0,902 = 0,490$ <i>Питома витрата рідкого палива (g_e), г/(кВт·год.)</i> [17, 21]:					Арк
					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					78
					Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

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

3.2.10 Уточнення вихідних параметрів дизеля за результатами розрахунку робочого процесу

Уточнюємо основні параметри і показники двигуна:

- робочий об'єм двигуна [17, 21]:

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

- повний об'єм двигуна [17, 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 [17, 21]:

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

- обертовий момент [17, 21]:

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

- годинна витрата палива [17, 21]:

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

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						79

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

- середня швидкість поршня, м/с:

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

Перевіримо похибку прийнятого раніше допущення середньої швидкості поршня [17, 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:

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

- повний об'єм двигуна:

$$V_{\text{л}} = V_{\text{лц}} i = 1216,7 \text{ кВт}$$

- ефективна потужність одного циліндра [17, 21]:

$$N_{e_{\text{ц}}} = \frac{p_e V_{\text{л}} n}{30 \tau} = \frac{2,094 \times 100,9 \times 500}{30 \times 4} = 883,914 \text{ кВт}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				
					Арк				
					80				

візьмемо відносно невеликі проміжки між V_i розбивши весь об'єм на 40 ділянок. Проміжне значення тисків визначимо по формулах [17, 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.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										83
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

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

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										84

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

Розрахункову індикаторну діаграму скруглюємо, тому що в реальному двигуні за рахунок випередження samozapalювання робоча суміш запалюється до приходу поршня у ВМТ і підвищує тиск наприкінці процесу стиску. Процес видимого згоряння відбувається при об'ємі, що постійно збільшується. Відкриття випускного клапана до приходу поршня у ВМТ знижує тиск наприкінці розширення, а також має місце процес випуску й наповнення робочого циліндра. Положення точки c' залежить від кута початку впорскування палива c'' , а положення точки c орієнтовно визначається за формулою [17, 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. Положення крапки b визначає кут випередження випуску, крапку b' звичайно

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										85
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

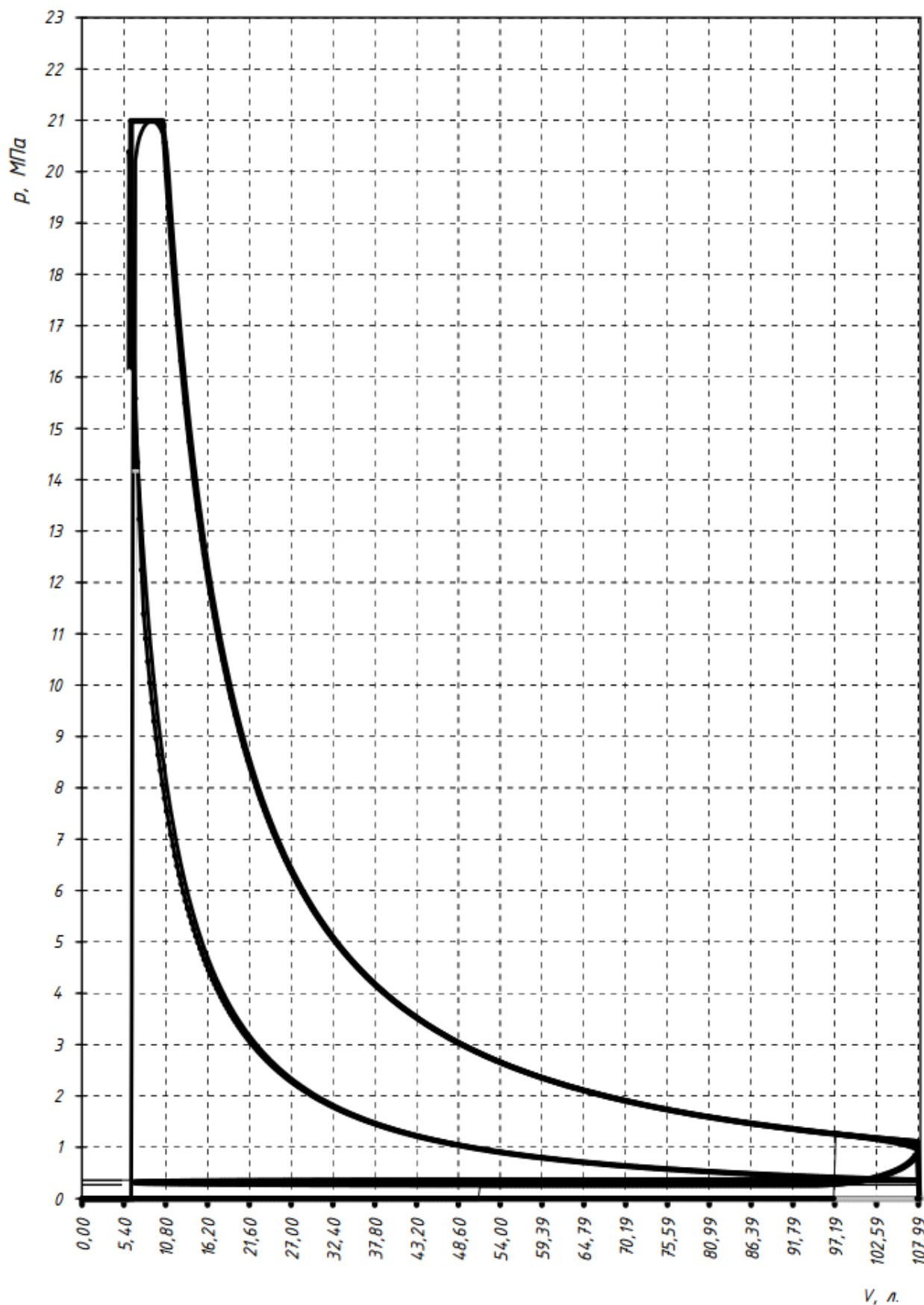


Рисунок 3.3 – Індикаторна діаграма робочого процесу в pV -координатах
(для дизельного палива)

Інв. № подл.		Підп. і дата		Взам. інв. №		Інв. № дубл.		Підп. і дата	
Зм	Арк	№ докум.		Підп.		Дата		ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	
								Арк	
								86	

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

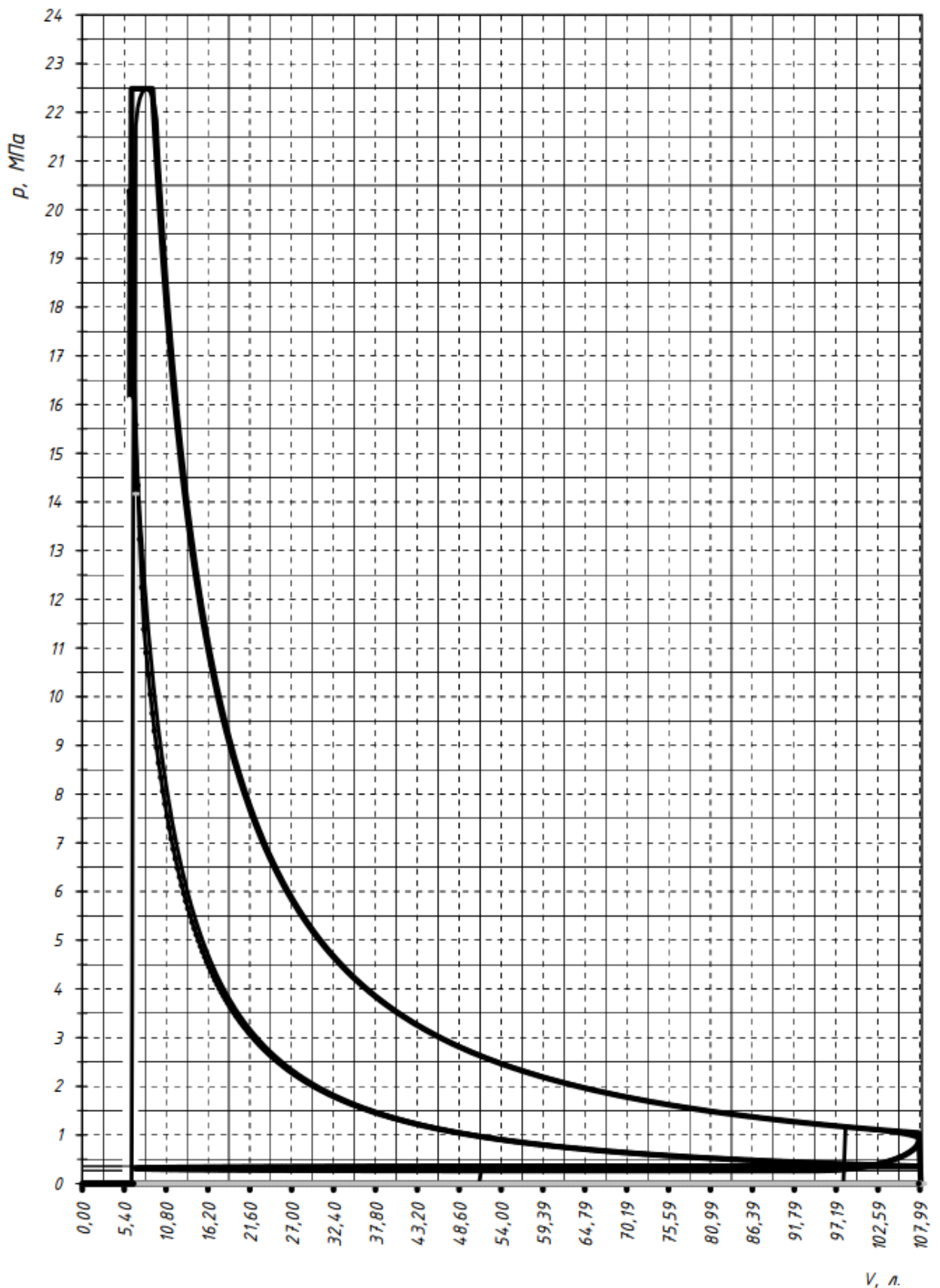


Рисунок 3.4 – Індикаторна діаграма робочого процесу в pV –координатах (для СПГ або ЗПГ)

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

ПІННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ

Арк

87

розташовують між крапками b і a [17, 21].

Зводимо результати розрахунку (рис. 3.2 і 3.3) у табл. 3.5 [17, 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) згоряння, 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 провести підбір і розрахунок елементів блоку газового палива при відомій розрахунковій витраті газу $V_p=1009,6$ м³/ч, тиску газу на вводі в $P_{вх}= 0,3319$ МПа, щільності газу $\rho_0= 0,7448$ кг/м³ [17, 21]. Від блоку газового палива газ надходить по газопроводах до ємностей газового палива судна, і на вхід до двигуна №2, тиск газу перед пальниками $P_r=43195,1$ Па [17, 21].

Фільтр. Втрати тиску в чистому фільтрі ΔP_f , Па, визначаємо за формулою:

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

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
										88
					Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ

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

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

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

Визначаємо пропускну здатність регулятора при заданих параметрах і перевіряємо стійкість його роботи.

Для визначення пропускної здатності регулятора тиску використовують такі вирази [19]:

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

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

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;

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

$$P_2 = P_{гор} + \Delta P_c + P_0$$

де ΔP_c - 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 [19]:

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. 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 [19]:

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

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 [19]:

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

Приймаємо щодо встановлення в блоці газового палива, що має діапазон настройки тиску спрацьовування $0,02 \dots 0,058 \text{ МПа}$ [19].

Висновок. В результаті модернізації системи подачі газового палива були отримані основні теплові і витратні параметри газового двигуна при роботі на дизельному і газовому паливі, які необхідні в для розрахунку елементів додаткового блоку газового палива суднового двигуна при його роботі в порту від зовнішнього джерела.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. 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 положення по реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, що регулює, за участю відповідних органів, відношення між керівниками підприємства, чи організації уповноважених органів і робітником з питань безпеки і гігієни праці, середовища виробництва і встановлює єдиний порядок з охорони праці на Україні.

До нормативно-технічної бази з охорони праці при роботі у МКВ судна відносяться наступні, спеціально розроблені, документи [14]:

- 1) Правила технічної експлуатації суднових енергоустановок;
- 2) Правила технічної експлуатації суднових електроустановок;
- 3) Правила устрою й безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів та судин під тиском;
- 4) Правила пристрою й безпечної експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння;
- 5) Правила техніки безпеки при експлуатації суднового тепломеханічного й електричного встаткування.

Міжнародні документи [14]:

ІМО 2011 – міжнародний нормативно-правовий документ, який вступив в силу в 2011 році. Згідно з ІМО 2011 будуть посилені норми викидів в атмосферу, порівняно з 2000 роком.

Марпол 2006 – міжнародна конвенція щодо запобігання забруднення морського середовища суднами.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
										92
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					

СОЛАС 74 – конвенція по охороні життя людини на морі. Основні цілі конвенції СОЛАС – визначення мінімальних стандартів по конструкції, обладнанню та плаванню судин, відповідаючи за їх безпеку.

Також до цього списку можна додати МКУБ ISMcode, ПДНВ, STCW та інструкції, що розробляються спеціально роботодавцем.

4.1.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у машинному відділенні. На людину в процесі його діяльності можуть впливати різні небезпечні й шкідливі фактори. Судно в комплексі з наявністю в ньому різного устаткування і механізмів являє собою об'єкт підвищеної небезпеки зі значною кількістю небезпечних і шкідливих факторів [14]. До числа цих факторів відносяться :

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.				

Інв. № подп.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
					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.					
					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										93
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

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

Для дотримання умов мікроклімату передбачені системи вентиляції й опалення. Сприятливими для роботи є умови при відносній вологості в 40...60% і температурі 18...22 °С. У робочих умовах, однією з найважливіших умов є освітленість робочого місця, нормованим значенням освітленості вважається освітленість в 200 лк. Відповідно до вимог ГОСТ 12.2.032-78, ГОСТ 12.2.033-78 робоче місце повинне забезпечувати максимально можливу зручність проведення робіт у положенні сидячи й стоячи. Кут зору для охопту інформаційного поля повинен бути не більше 120°. Робоча зона повинна бути не менш 1 м. Завдяки математичному моделюванню, стає можливим істотно зменшити вплив небезпечних і шкідливих факторів на персонал при випробуваннях і наступній експлуатації валогенераторної установки суден, завдяки вибору оптимального режиму роботи.

					ПІННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						94
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

концентрації вище, ПДК діють на організм людини. По ГОСТ 12.1.005-76 установлені ПДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Захист – вентиляція, а також газо-пилоуловлюючі засоби індивідуального захисту й устаткування.

Температура повітря, вологість, швидкість повітря. Підвищена температура повітря в робочому приміщенні викликає швидку стомлюваність організму, перегрів. Це веде до зниження працездатності і може стати причиною травматизму. Низька температура може викликати місцеве чи загальне охолодження організму. Для підтримки нормальної температури передбачається вентиляція з підігрівником і охолоджувачем повітря. Для підтримки гарного самопочуття людей немаловажне значення має температура поверхонь, огорожуючих приміщень. Щоб їхнього відпрівання вона повинна бути не нижче температури повітря в приміщенні більш ніж 6°C і не менше крапки роси.

Освітленість. У МВ судна застосовується штучне освітлення. Нерівномірність освітлення робочих місць підвищує стомлюваність органів зору від частоті переадаптації зору – при перекладі погляду з більш освітленої поверхні на менш освітлену. Наявність тіней на робочих поверхнях, а також близькості, відбитої від робочих поверхонь устаткування. Створюють несприятливі умови для роботи органів зору. Найкращий розподіл світла на робочих місцях створює загальне освітлення. При аварійному висвітленні освітленість робочих поверхонь повинна бути не менш 25 % установлених для робочого освітлення норм, а на сходінках трапа і проходах – не менш 5 лк. Норми освітленості регламентуються діючими нормами штучного освітлення на судах морського флоту ГОСТ 2506-81. У МВ загальне освітлення на палубі згідно цих норм повинне бути не менш 20 лк, на шкалах приладів – 75 лк, на сходінках трапа – 20 лк.

Запобігання пожежі на судні. Головною метою боротьби з пожежею є – швидке взяття її під контроль та гасіння, яке можливе лише в тому випадку,

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										95
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

коли вогнегасний засіб доставлений до пожежі швидко й в достатній кількості. Це можливо забезпечити за допомогою стаціонарних систем пожежогасіння.

Вуглекислий газ - широко розповсюджений засіб пожежогасіння на судах. Ліквідація пожеж у суднових приміщеннях вуглекислим газом здійснюється методом об'ємного гасіння. Для підвищення ефективності гасіння рекомендується герметизація приміщенні, у яких застосовується вуглекислота.

Будучи в 1,5 рази важчим за повітря, вуглекислий газ може проникати в місця, важко доступні для інших засобів пожежогасіння під плити машинних і котельних відділень, в обмежені простори вантажних трюмів, танків, паливних цистерн, спеціальних суднових комор, і т.д.

На судах вуглекислота зберігається в сталевих балонах місткістю 30...40 л, у яких вона перебуває в рідкому стані. Для суднових систем вуглекислотного пожежогасіння, що працюють при тиску порядку 12,5 МПа, прийнято використовувати стандартні балони місткістю 40 л, що містять по 25 кг вуглекислоти. Балони розміщують групами по 8...16 шт. у вертикальному положенні головками нагору. Вони повинні бути надійно закріплені в місцях, розташованих удалині від житлових і службових приміщень, тому що вуглекислота ставиться до задушливих газів і при високій концентрації в повітрі (22 % і вище) небезпечна для життя.

При виході з балонів і раптовому розширенні вуглекислота випаровується, перетворюючись у газ. При цьому обсяг її збільшується більш ніж в 500 разів. Частина вуглекислоти в результаті переохолодження переходить у твердий стан – сніжні пластівці, які, потрапляючи у вогнище горіння, миттєво перетворюються в газ. Вуглекислий газ, опускаючись до вогнища пожежі й обволікаючи палаючі речовини й предмети, витісняє повітря й знижує в такий спосіб зміст кисню в зоні горіння. У зв'язку із цим горіння припиняється. Ефективність пожежогасіння досягається при досить високій концентрації вуглекислоти в атмосфері приміщення (22...23%).

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										96
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

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.

Кратність повітрообміну n показує, скільки разів переміняється повітря в приміщенні за одну годину і визначається за рівнянням:

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

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:

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

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 розраховуємо за виразом:

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										97

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

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;
 N_e – ефективна потужність дизелів, кВт, $N_e = 48000$ кВт;
 B – нижча теплота згоряння, $B = 42500$ кДж/кг;
 q_e – питома витрата палива, кг/(кВт·год), $q_e = 0,173$ кг/(кВт·год).
 Тоді:

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

Кількість витяжного повітря з МО підраховується як різниця приточного повітря й повітря, споживане працюючими головними двигунами (якщо двигуни забирають повітря з МВ):

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

Кількість повітря, споживаного двигунами:

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

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:

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

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

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				
					Арк				
					98				

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

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

На судні встановлено систему вентиляції машинного відділення, що забезпечує умови праці.

Цей розрахунок виконаний з метою визначення необхідної кількості циркулюючого повітря в машинному відділенні згідно загальних санітарно-гігієнічних умов даної кількості циркулюючого повітря вистачає для підтримки метеорологічних умов на оптимальному рівні а встановленої потужності вентиляторів марки SMC8 – 100 дозволяють підтримувати необхідні параметри в межах 40...60 % при наявності повітряного опалення, у літню пору нормалізується. Для підтримки необхідних параметрів повітря у МКВ на судні застосована система приливно-витяжної вентиляції та опалення. Мікроклімат у машинному відділенні визначається наступними параметрами: вологість, температура, рухливість повітря, тиск повітря, теплота, що виділяється від нагрітого повітря, устаткування та механізмів.

Підвищена температура повітря в робочому приміщенні викликає швидку стомлюваність організму, перегрів. Це веде до зниження працездатності і може стати причиною травматизму. Низька температура викликати місцеве чи загальне охолодження організму. Для підтримки нормальної температури передбачається вентиляція з підігрівником і охолоджувачем повітря. Для гарного самопочуття людей немаловажне значення має температура робочих

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										99

поверхонь. Щоб уникнути їхнього впливу температура повинна бути не нижче температури повітря допустимого в приміщенні и не менше крапки роси.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Загальні принципи забезпечення безпеки на судах, працюючих на газовому паливі

Якщо судно, взагалі, вважається об'єктом підвищеної небезпеки, то на судах, працюючих на газовому паливі, ця небезпека багаторазово зростає. Тому при будівництві та експлуатації таких суден застосовуються більш жорсткі правила і вимоги, ніж до судів інших типів.

Під час перевезення небезпечних вантажів на танкерах виникають 3 види основних небезпек: пожежонебезпека; небезпека для здоров'я персоналу; небезпека для навколишнього середовища.

Усунення або мінімізація кожного виду перерахованих вище небезпек виконується як конструктивно, так і організаційно.

Конструктивне забезпечення пожежної безпеки сформульовано в Конвенції СОЛАС 74 і Кодексах споруди і обладнання суден, що перевозять і використовують зріджені гази наливом (IGC).

Головні принципи забезпечення пожежної безпеки в конструкціях судна такі:

- Зменшення можливості виникнення пожежі.
- Обмеження поширення пожежі.
- Забезпечення безпечних шляхів евакуації екіпажу.
- Устаткування танкера активними засобами пожежогасіння.
- Установка належної пожежної сигналізації та системи оповіщення.

Зменшення можливості виникнення пожежі. Зменшення можливості виникнення пожежі здійснюється за рахунок використання при будівництві судна негорючих і не акумулюють статичну електрику матеріалів, раціональне та безпечне розташування житлових, спеціальних і службових приміщень,

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

					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						100
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

використання вибухонебезпечного обладнання, належна вентиляція палубних приміщень. Використання горючих матеріалів при будівництві судна вельми обмежено. Нагадаємо, що конструкції судна повинні бути виготовлені з вогнестійких (класу А) або вогнестримувальних (класу В) матеріалів.

Вогнестійкі матеріали (сталь або рівноцінні матеріали) запобігають проходження через них диму і вогню протягом 60 хвилин, а негорючий ізоляційний матеріал на поверхні таких конструкцій, повинен забезпечувати підвищення температури на стороні зворотного впливу вогню не більше ніж на 139 °С. Відповідно, за часом, протягом якого матеріал витримує дані параметри, всі перегородки танкера діляться на наступні класи:

- А-0,
- А-15,
- А-30,
- А-60.

Вогнезатримуючий матеріал повинен забезпечувати непроникність конструкції для диму і вогню протягом 30 хвилин стандартного випробування. Перевищення температури на стороні конструкції, зворотної дії вогню повинно бути не більше 139 °С. За часом, протягом якого витримуються дані параметри матеріал класу В ділиться на:

- В-30.

Всі житлові та службові приміщення повинні бути відділені від району вантажних приміщень перегородками класу А-60. Шляхи евакуації екіпажу також повинні бути огорожені перегородками з негорючих матеріалів.

Пожежа може виникнути тільки при наявності всіх складових пожежного трикутника, а саме:

- кисню,
- горючого матеріалу,
- джерела займання,

в одному місці і в один і той же час

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										101

При виключенні будь-який з цих складових, виникнення полум'я неможливо. Тому при конструюванні судна дуже важливо визначити, який з елементів пожежного трикутника і яким способом можна ізолювати в різних частинах судна.

Район вантажних приміщень - найнебезпечніший, в плані застосування горючих матеріалів. Тому необхідно конструктивно уникати в ньому будь-якого джерела відкритого полум'я. В даний час всі силові агрегати на вантажній палубі таких суден, в переважній більшості випадків, приводяться в рух електромоторами. Отже, електромотори і будь-яке інше електрообладнання, яке використовується в районі вантажних операцій повинні бути виконані таким чином, щоб виключити можливість виникнення відкритого полум'я або іскор.

Розрізняють 2 види електрообладнання, яке може використовуватись в районі вантажних приміщень:

Однак використання такого обладнання обмежено тільки його застосуванням в системах з контролю та управління вантажними і іншими операціями, а також в системах сигналізації. Тобто таке обладнання не використовується для великих струмів. Таке визначення не відноситься до електромоторів, які використовуються на суднах в якості приводів вантажних насосів.

Наприклад, реле конструктивно безпечного типу в якості напруги для живлення використовує суднову мережу в 220 вольт, але таке реле використовується тільки для перемикання ланцюгів з напругою не більше 12 вольт і силою струму не більше 5 мА.

Джерело живлення такого реле повинен знаходитися в місці, що виключає виникнення вибухонебезпечних концентрацій парів вантажу, і захищений за допомогою так званого бар'єру Зенера, який складається зі спеціальних діодів, опорів і запобіжників (рис.1). Використання обладнання без такого бар'єру заборонено.

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										102

Устаткування такого типу використовується в якості приводів для вантажних насосів, все з'єднувальні кабельні коробки на вантажній палубі, вимикачі і т.д. також повинні бути вибухобезпечного типу.

Важливо підтримувати під час експлуатації стан такого обладнання відповідно до його експлуатаційних вимог:

- Перевірки фізичного стану ізоляції.
- Регулярних перевірок опору ізоляції.
- Перевірки щільності кабельних з'єднань.

Забороняється відключення в процесі експлуатації різних систем, що забезпечують безпеку вантажних операцій і безпеку судна. Якщо ж виникає необхідність ремонту таких систем, то необхідно зробити запис до суднового журналу про їх відключення на час ремонту.

Найнебезпечніше місце в районі вантажний палуби є компресорне відділення. У загальному випадку компресорне відділення конструктивно складається з двох частин:

- електро моторні відділення.
- відділення компресорів.

Електро моторне відділення являє собою вибухобезпечну зону, тому в ньому допускається використання електроустаткування звичайного виконання. Вибухобезпека електромоторного відділення досягається шляхом використання посиленої примусової вентиляції приміщення. За рахунок зміни обсягів атмосфери в приміщенні з частотою 30 обсягів на годину, виключається виникнення в ньому вибухонебезпечних концентрацій парів вантажу.

Система повітряного шлюзу. Ця система являє собою невелике приміщення, в якому постійно підтримується надлишковий тиск. Шлюз обладнаний двома герметично закриваються дверима, відстань між якими має бути не менше 2-х метрів. При відкриванні однієї з дверей повинна спрацювати світлова та звукова сигналізація. А при відкриванні обох дверей одночасно повинна спрацювати світлова та звукова сигналізація і відбуватися

Інв.№ подп.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					103

знеструмлення електромоторного відділення. Така конструкція запобігає виникненню одночасно 3-х складових пожежного трикутника в приміщенні електромоторів.

Приміщення компресорів також обладнується посиленою примусовою вентиляцією (рис. 4), що забезпечує зміну 30 обсягів приміщення на годину. Така інтенсивність обміну атмосфери приміщення виключає утворення вибухонебезпечних і токсичних концентрацій парів вантажу і забезпечує безпечну роботу персоналу.

Житлові і службові приміщення надбудови. Приміщення надбудови в яких знаходиться безліч джерел займання (персональне електрообладнання, камбузне і побутове електрообладнання, курильні кімнати і т.д.) повинні бути спроектовані таким чином, щоб виключити можливість проникнення вибухонебезпечних газів всередину приміщень. Ось чому на таких судах потрібна установка повітряних шлюзів при вході в надбудову і підтримка невеликого надлишкового тиску всередині надбудови.

Шляхи евакуації екіпажу також повинні бути огорожені перегородками з негорючих матеріалів.

Обмеження поширення пожежі. Обмеження поширення пожежі по судну досягається поділом його горизонтальними і вертикальними перегородками на протипожежні зони. Зазвичай на подібних судах існують такі конструктивно виділені зони:

- Приміщення полубака.
- Район вантажних приміщень.
- Район житлових і службових приміщень надбудови.
- Машинно-котельне відділення.

Устаткування судна активними засобами пожежогасіння. Перш ніж розглядати засоби активного пожежогасіння, необхідно відзначити ще одну особливість конструкції суден, що використовують і перевозять газове паливо. Всі вони обладнуються аварійної зупинкою вантажних насосів, яка може бути приведена в дію за допомогою спеціальних вимикачів, розташованих в різних

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				
					Арк				
					104				

частинах судна, або ж автоматично. Автоматична зупинка вантажних насосів проводиться за допомогою плавких запобіжників, які встановлені над куполом кожного танка, в районі маніфолдов, в компресорних приміщеннях. При нагріванні вставки до 100 ° С вона плавиться, в результаті чого розмикається керуюча ланцюг і спрацьовує система аварійної зупинки насосів, а також відбувається автоматичний запуск системи зрошення.

До активних засобів гасіння пожеж на газозові відносяться:

- Система водотушення;
- Система порошкового гасіння;
- Система зрошення;
- Системи об'ємного гасіння.

Режим куріння. Куріння на судах, що використовують і перевозять газове паливо дозволяється тільки в спеціально обладнаних приміщеннях, визначених для цих цілей наказом капітана. Приміщення для куріння кімнати повинно мати:

- Окрему систему вентиляції з можливістю її зупинки в безпосередній близькості від приміщення;
- Перегородки і обробку з негорючого матеріалу;
- Вигороджений в приміщенні надбудови перегородками класу А-60;
- Вихід тільки у внутрішні приміщення надбудови.

Якщо судно на ходу, то куріння в надбудові може бути дозволено (в залежності від конструктивних особливостей судна) на містку і в радіорубці. Однак це цілком залежить від капітана.

Під час вантажних операцій в порту куріння дозволяється тільки в одному приміщенні, яке повинно бути позначено як «Designated Smoking Area». Під час дегазації або завантаження / розвантаження особливо небезпечних вантажів куріння на борту заборонено.

Велика увага повинна бути приділена зберіганню і використанню на судні запальничок різних типів і сірників. Зберігання таких речей в каютах строго заборонено. Деякі компанії взагалі забороняють використання

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						Арк
					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					105
					Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

запальничок на судах, пояснюючи це можливістю утворення іскор при падінні запальнички. Сірники, які використовуються на судні для куріння повинні бути також безпечного типу ("Safety matches"). Строго заборонено носіння сірників в кишені і вихід з ними на вантажну палубу. Двері виходять на головну палубу повинні бути забезпечені попереджувальними написами

4.2.2 Боротьба з пожежами на судах

Сучасне судно насичене горючими матеріалами, електроустаткуванням Виконання вимог пожежної безпеки (попередження пожеж) на судні, знання й уміння боротися з пожежею є обов'язковими для всього екіпажу.

Капітан судна відповідає за створення атмосфери співробітництва, необхідної для забезпечення пожежної безпеки його судна.

На судні повинна бути розроблена «Програма попередження пожежі на судні», що містить наступні розділи: заняття й неофіційні співбесіди; періодичні перевірки; технічне обслуговування й ремонт; оцінка дій і заохочення.

Місця для паління на судні визначаються капітаном, обладнаються відповідним чином. Слід враховувати й те, що в портах можуть діяти місцеві правила, що регламентують паління й протипожежні заходи, про що члени екіпажу повинні бути попереджені завчасно.

Використання штатних і переносних електронагрівальних приладів, електропобутових приладів і телерадіоапаратури визначається капітаном судна із призначенням відповідальних осіб за контроль їх безпечного стану й використання.

Виконання всіх видів робіт, використання механізмів і електроінструментів проводиться з дозволу відповідальних осіб і з відома вахтової служби. Електроінструменти після завершення робіт прибираються до місць їх постійного зберігання.

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

					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						106
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Зберігання легкозаймистих рідин (ЛЗР), обтиральних матеріалів і інших легкозаймистих матеріалів постачання проводиться в спеціальних приміщеннях і місцях під контролем відповідальних осіб.

Обтиральний матеріал після використання й інше технічне й побутове сміття необхідно збирати в спеціальних місткостях й здавати на берегові збирачі. Знищення сміття в інсинераторах проводиться з дозволу відповідальної особи й відома вахтової служби із заповненням необхідних документів про операцію.

Суднові роботи, пов'язані з відкритим вогнем (зварюванням і різанням металів), проводяться тільки з письмового дозволу капітана судна під контролем старшого механіка й вахтової служби.

Системи й засоби гасіння пожежі, виявлення пожежі й сигналізації про пожежу завжди повинні бути в робочому стані. Вахтова й дозорна служба судна зобов'язані контролювати справність зазначених систем.

Кожний член екіпажу, а командний склад особливо, зобов'язано знати: правила використання протипожежних систем і засобів, наявних на судні; характеристики вогнегасних речовин і обмеження їх застосування, токсичність вогнегасників; основи хімічних процесів горіння (ланцюгову реакцію горіння); умови виникнення й підтримки пожежі (пожежний трикутник і тетраедр, роль кисню й теплоти в руйнуванні пожежного трикутника й тетраедра); причини виникнення й шляхи поширення пожежі судном; типи горючих речовин; небезпечні фактори пожежі (полум'я, теплота, гази й дим); основні класи пожеж (А, В, С і D і їх комбінації); структуру й вражаючі фактори продуктів неповного згоряння горючої речовини (водяна пара, двоокис вуглецю, окис вуглецю й інші); правила використання ізолюючих засобів захисту органів дихання й шкіри, наявних на судні; конструкцію систем вентиляції приміщень, місця вимикання вентиляторів, перекриття вентиляційних закриттів.

Дії при боротьбі з пожежами. Основною метою боротьби з пожежами на судні є: порятунок пасажирів і екіпажу; локалізація пожежі (запобігання

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПІННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ Зм Арк № докум. Підп. Дата	Арк
						107

поширення небезпечних факторів пожежі судном, вибухів парів ЛЗР, балонів зі стисненим газом, небезпечних вантажів); гасіння пожежі всіма наявними засобами; способами збереження остійності й запасу плавучості.

Тактика боротьби з пожежами містить у собі: оголошення пожежної тривоги; при можливості, огляд аварійного району для уточнення місця, типу палаючої речовини, інтенсивності пожежі; визначення порядку виконання дій з порятунку пасажирів і екіпажу, локалізації й боротьби з пожежею, видаленню води, що накопичується при гасінні пожежі.

Огляд аварійного району проводиться розвідниками тільки в тих випадках, коли необхідно провести пошук потерпілих у цьому районі й у випадках, коли зволікання із запровадженням у дію стаціонарних і переносних засобів гасіння пожежі не вплине на хід розвитку пожежі (наприклад, при задимленні приміщення й повільному росту температури повітря в приміщенні). Порядок проведення огляду визначає командир АП за вказівкою капітана судна. Спорядження розвідників (використання ізолюючих засобів захисту органів дихання й шкіри, страхувальних пристосувань, аварійного інструмента й засобів для евакуації потерпілих) визначається командиром АП виходячи з конкретної обстановки.

Фактор часу при пожежі відіграє вирішальну роль. Після виявлення загоряння необхідно негайно вжити заходів з його гасіння. Неправильна оцінка безпеки пожежі, зволікання з гасінням пожежі на судні, як правило, приводить до розвитку пожежі, до матеріального збитку й загибелі людей.

Для прискорення гасіння пожежі капітан може змінити організацію збору АП і направити першого готового пожежника до місця пожежі.

Способи, прийоми й засоби гасіння пожежі необхідно обирати виходячи з місця пожежі, його інтенсивності й розмірів, фізико-хімічних властивостей палаючих матеріалів, що є в наявності засобів гасіння пожежі, кількості екіпажу, з метою загасити пожежу в мінімальний час.

У випадку нападу піратів використовуються рекомендації, викладені в Римській Конвенції "По боротьбі з піратством, тероризмом і іншими

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				Арк
				108

протиправними актами на морі, а також поправки до конвенції SOLAS і новий кодекс по охороні суден і портових споруджень пов'язаних із застосуванням насильства, становить основу міжнародного права. Насильство і погроза застосування сили в міжнародних відносинах заборонені відповідно до Уставу ООН. Однак є й інші прояви актів насильства. Серед них перше місце займає піратство. У відповідності зі ст. 101 Конвенції ООН по морському праву 1982 р. піратством є кожне з перерахованих нижче дій:

- будь-який неправомірний акт насильства, затримки або грабіж, вчинені з особистими цілями екіпажем приватновласницького судна або приватновласницького літального апарата у відкритому морі проти іншого судна або проти осіб, або майна, що перебувають на його борту;
- проти якого-небудь судна, осіб або майна в місці поза юрисдикцією якої б те не було держави;
- будь-який акт добровільної участі у використанні якого-небудь судна, зроблений зі знанням обставин, у силу яких судно є піратським;
- будь-яке діяння, що є підбурюванням або свідомим сприянням здійсненню дій, що передбачаються в п. 1 і 2.

Найнебезпечнішими з погляду потенційної можливості нападів піратів традиційно вважаються води Південно-Східної Азії. У першу чергу варто виділити район до північно-заходу від індонезійських островів Анамбас у Південно-Китайському морі, де судна досить часто стають жертвами нападів піратів. Практично вся акваторія Південно-Китайського моря, особливо у берегів Індонезії, Філіппін і В'єтнаму у цьому відношенні є неблагополучною. До числа надзвичайно «піратонебезпечних» районів відноситься також Малаккська та Сінгапурська протоки, зокрема, вузькість Філіп Ченнел. Піратські напади тут здійснюються, як правило, на швидкохідних моторних човнах, що заходять із сторони корми судна.

Самий зручний момент для піратів - прийом або здача лоцмана, коли судно знижує швидкість. Найбільш уразливими є тихохідні навантажені судна

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПІНІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										109
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

з низьким надводним бортом. Хоча траплялися напади й на контейнеровози, що йдуть зі швидкістю більше 20 вузлів.

Можливі випадки, коли під час стоянки судна в порту пірати проникають на судно, ховаються, а потім після виходу в море забезпечують доступ на борт своїм спільникам, що доганяють судно на швидкохідних катерах.

Іншим «піратонебезпечним» районом Світового океану є води в узбережжя Західної Африки. Погроза піратства в цьому регіоні збільшується політичною нестабільністю й частими військовими конфліктами. Напади на судна відбуваються, як правило, у портах, на якірних стоянках або поблизу берега, коли судно йде малим ходом. По статистиці найбільше часто судна зазнавали нападів у портах Лагос і Харкоурт (Нігерія), Монровія (Ліберія), Фрітаун (Сієрра Леоне), Конакрі (Гвінея) і Доула (Камерун).

Хоча перераховані райони є найнебезпечнішими, час від часу відбувається підвищення активності піратів й в інших районах Світового океану. До них, зокрема, відносяться води у берегів Східної Африки, Шрі-Ланки, Індії й Бангладеш, де економічна й політична нестабільність сприяють росту числа розбійних нападів на торговельні судна.

Базові правові основи боротьби з морським піратством були закладені такими міжнародними нормативними документами:

1. Женевська конвенція про територіальне море та прилеглу зону від 1958 року. У статтях 14-20 Конвенції визначається обов'язок кожної держави боротися проти піратства. Визначення піратства й піратського судна, відповідальність за захоплення суден є основними елементами конвенційних положень, які реалізуються Міжнародною морською організацією [14].

2. Конвенція ООН з морського права 1982 року. Статті 100...107, що безпосередньо регламентують питання боротьби з піратством, фактично повторюють статті 14-20 Женевської конвенції про територіальне море та прилеглу зону від 1958 року. Інші положення Конвенції ООН 1982 року також встановлюють правову основу для прийняття й введення до законодавства

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
					океану. До них, зокрема, відносяться води у берегів Східної Африки, Шрі-Ланки, Індії й Бангладеш, де економічна й політична нестабільність сприяють росту числа розбійних нападів на торговельні судна. Базові правові основи боротьби з морським піратством були закладені такими міжнародними нормативними документами: 1. Женевська конвенція про територіальне море та прилеглу зону від 1958 року. У статтях 14-20 Конвенції визначається обов'язок кожної держави боротися проти піратства. Визначення піратства й піратського судна, відповідальність за захоплення суден є основними елементами конвенційних положень, які реалізуються Міжнародною морською організацією [14]. 2. Конвенція ООН з морського права 1982 року. Статті 100...107, що безпосередньо регламентують питання боротьби з піратством, фактично повторюють статті 14-20 Женевської конвенції про територіальне море та прилеглу зону від 1958 року. Інші положення Конвенції ООН 1982 року також встановлюють правову основу для прийняття й введення до законодавства					Арк
					ПІНІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					110
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

загальноприйнятих норм і стандартів, що забезпечують безпеку судноплавства [14].

3. Конвенція ООН про боротьбу з незаконними актами, спрямованими проти безпеки морського судноплавства 1988 року, що регламентує боротьбу з незаконними актами поза територіальним морем, які не підпадають під визначення піратства.

4. Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі 1974 року (Конвенція СОЛАС-74).

5. Міжнародний кодекс з охорони суден і портових засобів (Кодекс ОСПС).

6. Низка резолюцій Міжнародної морської організації (ММО) і рекомендацій Міжнародного морського бюро. До 2008 року ООН та її спеціалізована установа ММО ухвалили значну кількість резолюцій та рекомендацій, які мали попередити захоплення суден. При цьому фактично всі резолюції підтверджували виключну компетенцію Сомалі щодо затримання піратів в своїх територіальних водах. Але кількість захоплень в районі Африканського Рогу з року в рік збільшувалася. Резолюція Ради безпеки ООН №1816 від 2 червня 2008 року вперше встановила, що держави, які співробітничать з Перехідним урядом Сомалі та у відношенні яких уряд Сомалі завчасно направив повідомлення Генеральному секретарю ООН можуть:

а) входити до територіальних вод Сомалі з метою припинення актів піратства та збройного пограбування на морі, так само як це дозволяється робити у відкритому морі щодо піратства у відповідності до норм міжнародного права;

б) використовувати в межах територіальних вод Сомалі усі необхідні заходи з метою припинення актів піратства та збройного пограбування, так само як це дозволяється робити у відкритому морі щодо піратства, у відповідності до норм міжнародного права [14].

Інв. № подп.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
піратів в своїх територіальних водах. Але кількість захоплень в районі Африканського Рогу з року в рік збільшувалася. Резолюція Ради безпеки ООН №1816 від 2 червня 2008 року вперше встановила, що держави, які співробітничать з Перехідним урядом Сомалі та у відношенні яких уряд Сомалі завчасно направив повідомлення Генеральному секретарю ООН можуть: а) входити до територіальних вод Сомалі з метою припинення актів піратства та збройного пограбування на морі, так само як це дозволяється робити у відкритому морі щодо піратства у відповідності до норм міжнародного права; б) використовувати в межах територіальних вод Сомалі усі необхідні заходи з метою припинення актів піратства та збройного пограбування, так само як це дозволяється робити у відкритому морі щодо піратства, у відповідності до норм міжнародного права [14].				
Інв. №	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ПІННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ				Арк
				111

Зазначена резолюція стала основною нормативною підставою для започаткування 8 грудня 2008 року антипіратської операції ВМС Європейського Союзу під назвою «Аталанта» та у січні 2009 року операції багатонаціональних військово-морських під назвою Combined Task Force - 151 (CTF-151), яке складається з кораблів більш ніж 30 країн та ініційоване США. Оскільки для нашої держави проблема морського піратства має особливу актуальність, державні органи України вивчали питання залучення кораблів ВМС України до операції Євросоюзу.

Висновки. Таким чином, у даному розділі розглянуті шкідливі і небезпечні фактори, що діють у машинних приміщеннях судна, параметри мікроклімату у цих приміщеннях, дії екіпажу із запобігання вказаних факторів і дотримання діючих норм, а також проведено розрахунок системи приточно-втяжної вентиляції.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ПІНІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										112

ВИСНОВКИ

У ході підготовки та написання магістерської роботи було проаналізовано найбільш суттєві конструктивні особливості сучасного суднового двигуна моделі МАК 12М46DF. На підставі проведеного аналізу розроблено ряд заходів щодо поліпшення подачі газового палива і умов роботи двигуна при роботі на газовому паливі. Було проаналізовано: вплив октанового числа на процес тепловиділення природного газу, методи визначення метанового числа компонентного складу природного газу, особливості технічної експлуатації газових двигунів суднових дизелів, особливості суднової системи забезпечення газом. Було виконано обґрунтування режимів експлуатації суднового двигуна, враховані особливості застосування блоку газового палива суднового двигуна при роботі на газовому паливі, виконаний тепловий розрахунок роботи головного суднового дизеля на дизельному і газовому паливі. Розроблено комплекс заходів щодо забезпечення безпеки персоналу в надзвичайних ситуаціях.

Результаті розрахунку дозволяють сподіватися, що запропоновані технічні рішення є ефективними і ведуть до покращення показників двигуна. Так, запропонована модернізація системи подачі газового палива, що викликана зміною умов експлуатації від портової мережі газового палива, дозволить повноцінно використовувати судно при здійсненні пасажирських перевезень.

Крім того, застосування додаткового блоку газового палива дозволить зробити роботу суднового двигуна на газовому паливі від портової мережі більш стабільною і надійною. Це дозволить використовувати бортову систему підготовки газового палива тільки для входу і виходу судна з порту, а додаткову для роботи від портової мережі від різних за складом газових палив. Це в свою чергу призведе до скорочення витрат на обслуговування газової системи.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
										113
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. AIDAprima Technical Operating Manual IMO: 9636955 Issue 1 - April 2017, Produced by Worldwide Marine Technology Limited / www.wmtmarine.com. info@wmtmarine.com. - 966 p.
2. 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. - No 1. - С. 68–75.
3. Чепаліс І. В., Козьмініх Н. А. Багаторазове зрідження газів, як метод стабілізації тиску у вантажних цистернах метанових локомотивів. - 2014. - No 33. - С. 41-48.
4. The world's newest LNG carriers // LNG shipping news. – 2014. – P. 6–7.
5. Кости́лев І. І. Закордонне суднобудування. Стан і тенденції / І. І. Кости́лев, М. К. Овсянніков // Вісник Державного університету морського і річкового флоту імені адмірала С. О. Макарова. – 2013. – No 3 (22). Р. 66–70
6. 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.
7. 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.
8. Ваншейдт В. А. Дизели / В. А. Ваншейдт. – Л.: Машинобудування, 1964. – 600 с.
9. Фастовский В. Г. Метан / В. Г. Фастовский. – М.: Гостолтехиздат, 1947. – 156 с.
10. Талантов А. Є. Основи теорії горіння. Казань: Ротапрінт КАІ, 1975. – 253 с.

Підп. і дата		річного флоту імені адмірала С. О. Макарова. – 2013. – No 3 (22). Р. 66–70					
Інв. № дубл.		6. 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.					
Взам. інв. №		7. 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 р.					
Підп. і дата		8. Ваншейдт В. А. Дизелі / В. А. Ваншейдт. – Л.: Машинобудування, 1964. – 600 с.					
Інв. № подл.		9. Фастовский В. Г. Метан / В. Г. Фастовский. – М.: Гостолтехіздат, 1947. – 156 с.					
		10. Талантов А. Є. Основи теорії горіння. Казань: Ротапрінт КАІ, 1975. – 253 с.					
						ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
							114
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			

11. Возницький І. В. Практичні рекомендації по змащуванню судових дизелів. СПб., Видавництво «Моркніга», 2007. 64 с.

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

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

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

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

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

17. 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..

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

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

20. . Горбов В.М. Оцінка енергоефективності морського судна: методичні рекомендації до виконання розділу випускної кваліфікаційної роботи / В.М. Горбов, В.С. Мітенкова, Є.В. Білоусов, В.П. Савчук Херсон: ХДМА, 2019 – 68с.

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

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ					Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						115

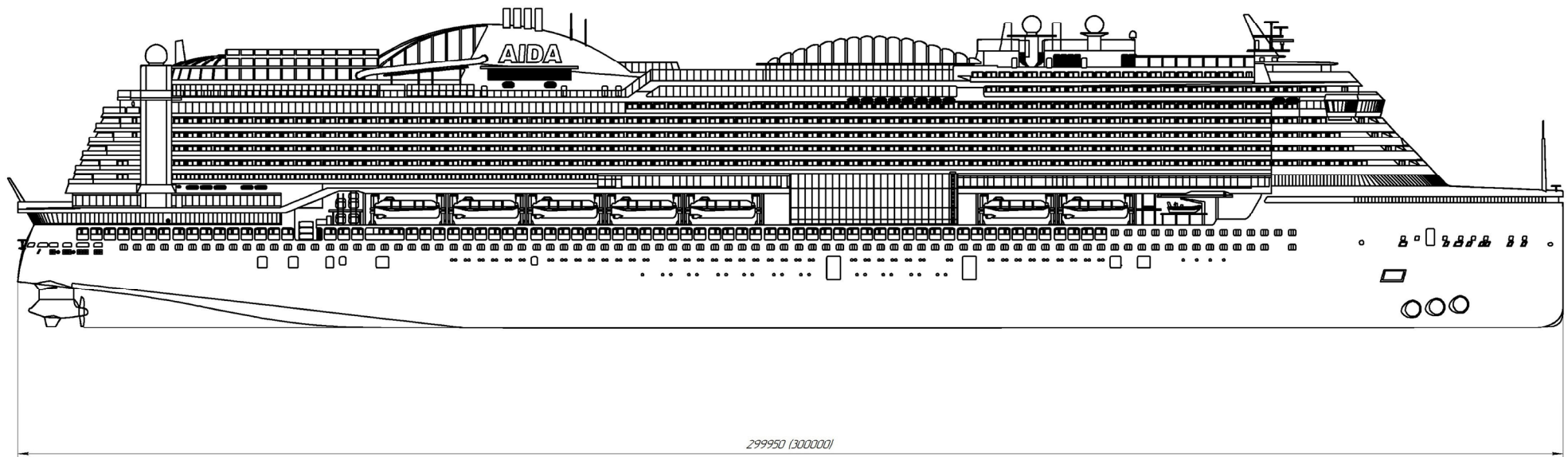
22. Підвищення ефективності експлуатації енергетичної установки судна «AIDACOSMA» за рахунок використання газових палив в умовах портової інфраструктури / Грицук І.В., Туріца В.М., Шпирко А.Ю., Шпаков Р.І., Федоров Д.В. - Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців", 23-25 жовтня 2023 р., (Посвідчення УкрІНТЕІ № 572 від «19» грудня 2022 р.), Харків, ХНАДУ, 2023, 284 с., С. 110-115

[illegible]

Додатки

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

					ПННІ НУК 131.61.23.21. ПЗ	Арк
						117
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		



Основні відомості про судно

IMO number	9636955
MMSI number	247353800
Назва судна	AIDAprima
Попередні назви	AIDAPY FAST (2018, Italy), AIDAPPBHMP (2018, Italy), AIDAPP (2018, Italy), AIDAPPD (2018, Italy)
Тип судна	Passenger
Флаг	Italy (IT)
Рік побудови	2016
Builder	MHI NAGASAKI SHIPYARD & ENGINE WORKS - NAGASAKI, JAPAN
Class society	GERMANISCHER LLOYD
Home port	GENOVA
Owner	COSTA CROCIERE - GENOVA, ITALY
Manager	AIDA CRUISES - ROSTOCK, GERMANY

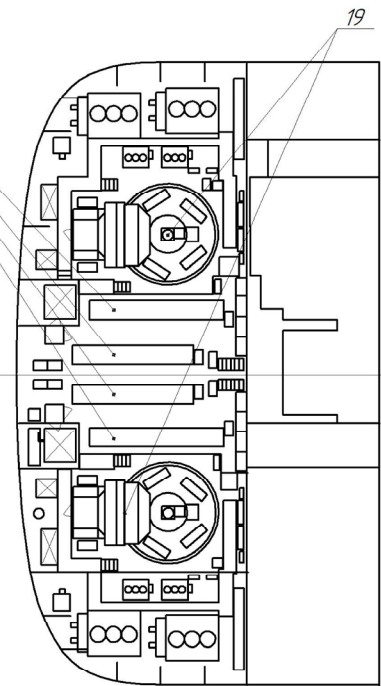
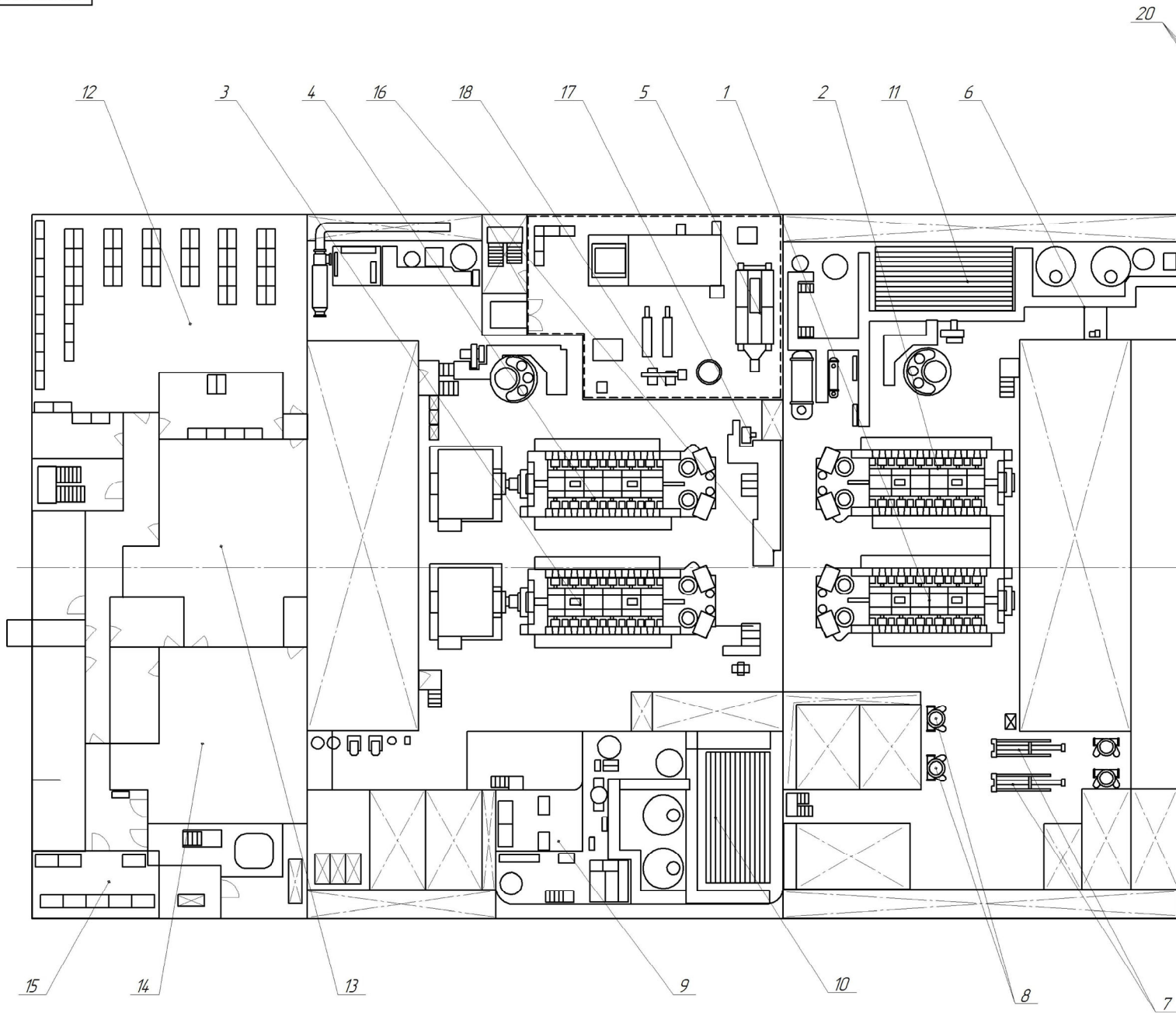
Основні характеристики СЕУ

Тип ГД	Caterpillar-MAK
Дизель-генератор	3 x 12M43C
Потужність	12000 кВт
Дизель-генератор	1 x 12M46DF
Потужність	12000 кВт
Підрулювальне устрійство (нас)	3
Аварійне джерело електроенергії - дизель-генератор	1 x 1700 кВт

Основні характеристики судна

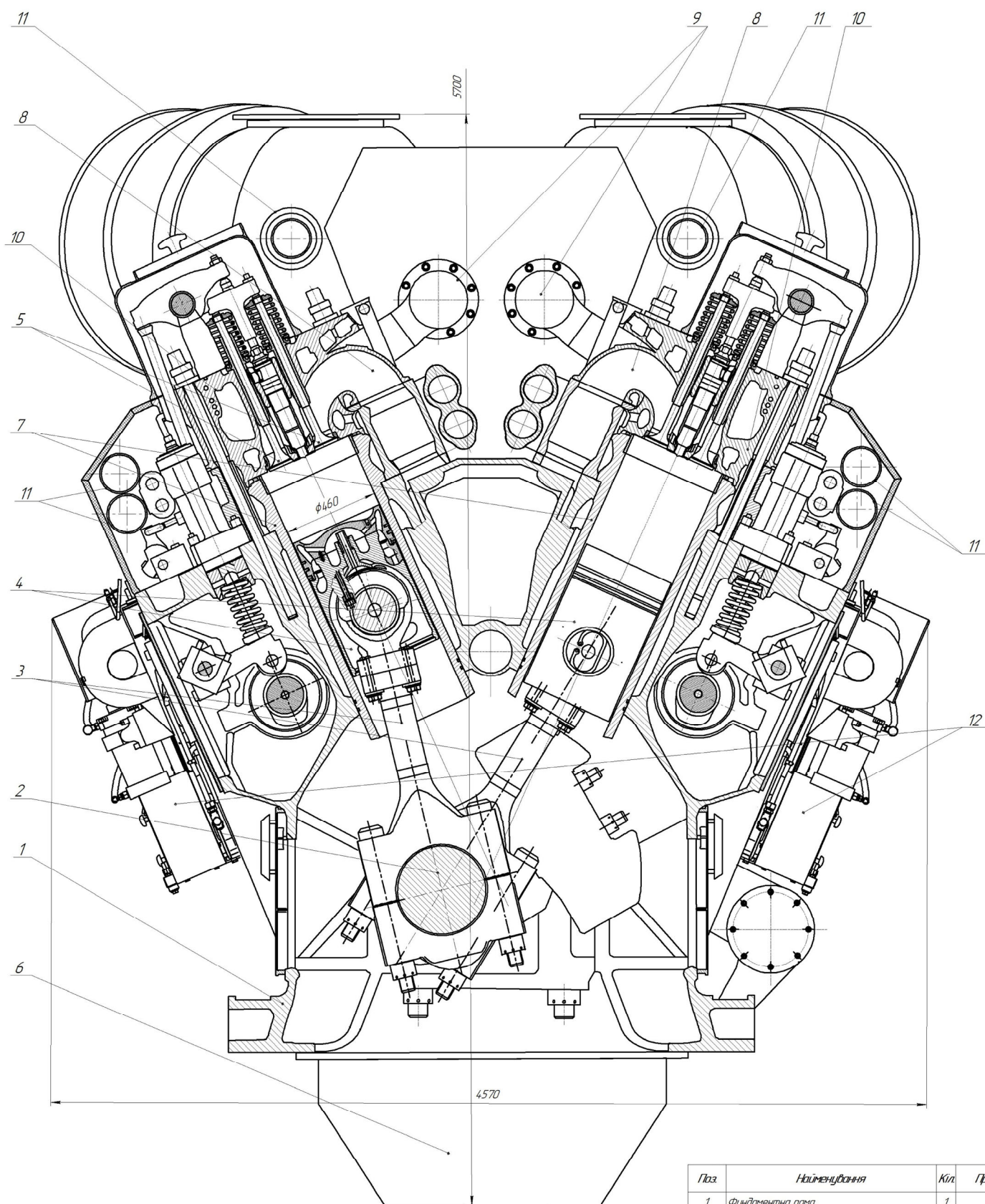
Довжина найбільша	299.95 (300) м
Довжина за перпендикулярами	290.9 м
Ширина	37.6 м
Максимальна швидкість	21.8 кн
Осадка проектна	8.3 м
Дедвейт проектний	9200 т
Валовий тонаж	125572 т
Висота на передній палубі	114

					ПНН НУК 1316123.2101				
					Загальний вигляд судна				
Лист	Листів	№ докум.	Розроб.	Листів	Лист		Листів	Масштаб	
Розроб.	Гришук ДВ						1:200		
Прод.	Гришук ІВ								
Листів	Гришук ІВ								
					Лист		Листів		
Листів	Гришук ІВ						1		
Листів	Невстановлено								



Поз	Найменування	Кіл	Примітка
1	Головний двигун №1	1	
2	Головний двигун №2	1	
3	Головний двигун №3	1	
4	Головний двигун №4	1	
5	Шлангозбирач	1	
6	Побітряний шланг вентиляційного вентилятору з фільтром	1	
7	Головний кулер LT контуру	2	
8	Водяний охолоджувач циркуляційного насосу	2	
9	Акумуляторне приміщення з вентиляційною установкою	1	
10	Головний нагнітний теплообмінник №1	1	
11	Головний нагнітний теплообмінник №2	1	
12	Електрична майстерня	1	
13	Моторне відділення	1	
14	Відділення контрольних засобів моторного відділення	1	
15	Ємності газозагоду асфальту (N ₂ і CO ₂)	1	
16	Підгрівач вихлопних газів	1	
17	Випускний газодий вентилятор	1	
18	Система підготовки газозагоду подпідва	1	
19	Трансформатор збудження	2	
20	Панель перетворювачів	4	

ПНН НУК 1316123.2102				Розташування механізмів у машинно-котельному відділенні судна			Лист	Листів	1
Мет. Діст.	№ Визн.	Підп.	Вит.	Лист	Листів	1			
Розроб.	Федорко ДВ								
Прод.	Гричук ІВ								
Планер.	Гричук ІВ								
Начальн.	Гричук ІВ								
Утв.	Нестеренко								

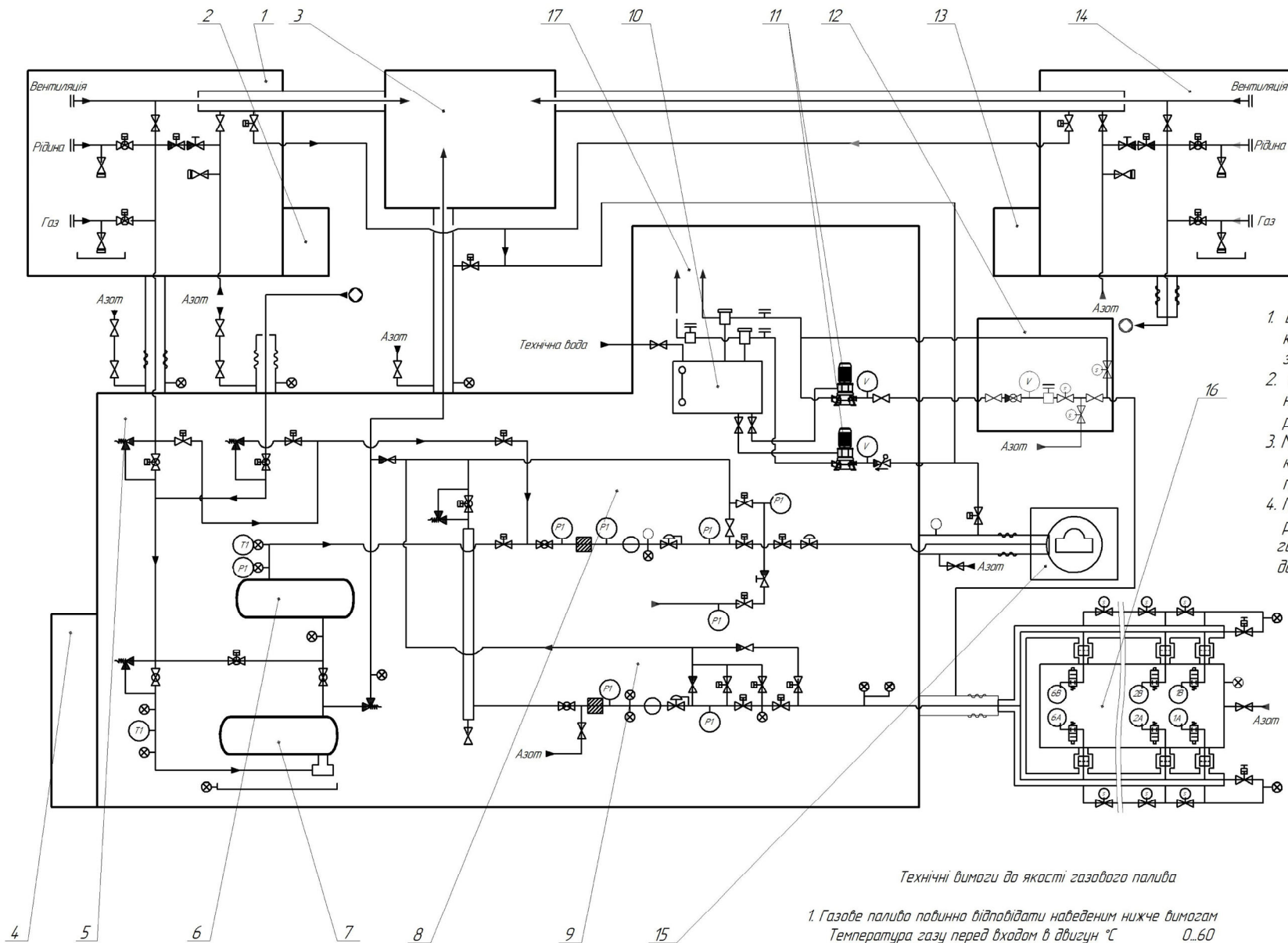


Технічна характеристика суднового двигуна

Тип двигуна	4-тактний, дизельний, 12-циліндровий
Форма двигуна	V – подвійна
Особливість двигуна	двохпальниковий
Турбонаддув	турбоагентач постійного тиску
Діаметр циліндра, мм	460
Хід поршня, мм	610
Номінальна 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	Фундаментна рама	1	
2	Колінчастий вал	1	
3	Шатун	12	
4	Поршень	12	
5	Клапан	14	
6	Ліддан картера	1	
7	Втулка циліндра	12	
8	Випускний колектор	12	
9	Впускний колектор	1	
10	Кришка циліндра	12	
11	Газові комунікації двигуна	4	
12	Блоки керування запальною порцією палива	4	

[illegible]



- Технічні умови**
- Використання насиченого водою палива та 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.
 - При застосуванні блоку газового клапана розташованого безпосередньо в машинному просторі газонепроникне покриття доступне як опція для дотримання вимог щодо газобезпечного обладнання.

Технічні вимоги до якості газового палива

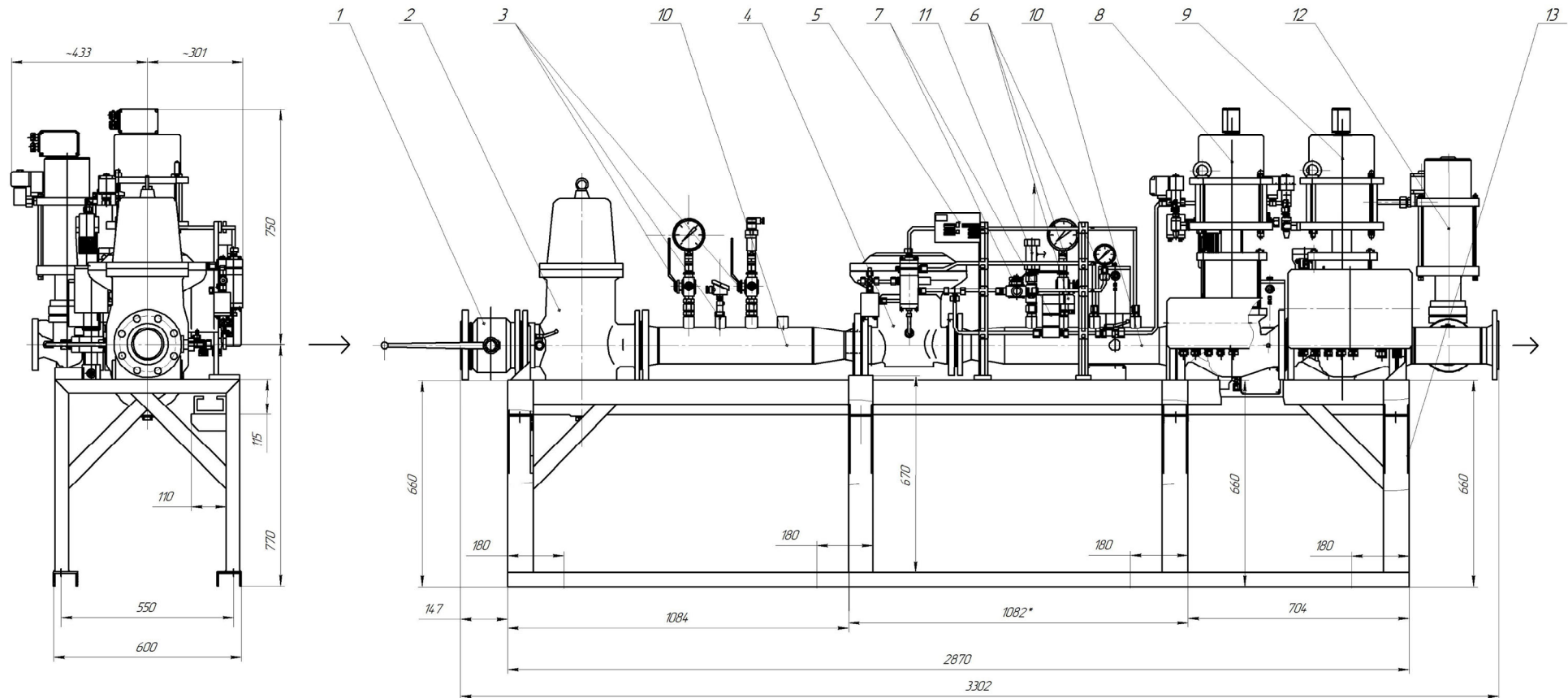
1. Газове паливо повинно відповідати наведеним нижче вимогам
- | | |
|---|-------|
| Температура газу перед входом в двигун °C | 0..60 |
| Тиск газу перед засобами регулювання палива (г) | 6..10 |
| Максимальне коливання тиску газу кПа | +/- 5 |
| Мінімальне нижнє значення нагріву (LHV) MJ / m ³ | 28 |
| Метанове число (для номінальної продукції) MN | 80 |
| Максимальна сірка як H ₂ S мг / m ³ | 20 |
| Максимальний аміак (NH ₄) мг / m ³ | 25 |
| Максимальний вміст фтору мг / m ³ | 50 |
| Максимальний хлор мг / m ³ | 50 |

— Технологічні приміщення і блоки
— Технологічні магістралі

Максимальний вміст оливи мг / m ³	50
Максимальний вміст частинок мг / m ³	50
Максимальний розмір частинок рт	5
Максимальний вміст двоїстого, мг / m ³	10
Максимальний кремній мг / m ³	10

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітки
1	Порт станції газопостачання	1	
2	Простір підігрітого блокування	1	
3	Газова вентиляційна кімната	1	
4	Простір підігрітого блокування	1	
5	Приміщення для газового клапана	1	
6	Паливний газовий нагрівач	1	
7	Диспарчик стиснутого природного газу	1	
8	Газова рампа	1	
9	Блок газового клапана	1	
10	Бак для охолодження води для вакуумного насоса паливної системи подачі газу	1	
11	Вакуумний насос	2	
12	Блок вакуумного насоса	1	
13	Простір підігрітого блокування	1	
14	Станція газопостачання з правого борту судна	1	
15	Допоміжний котел	1	
16	Головний двигун №2	1	
17	Під'єднання всмоктуючих витяжних вентиляторів	1	

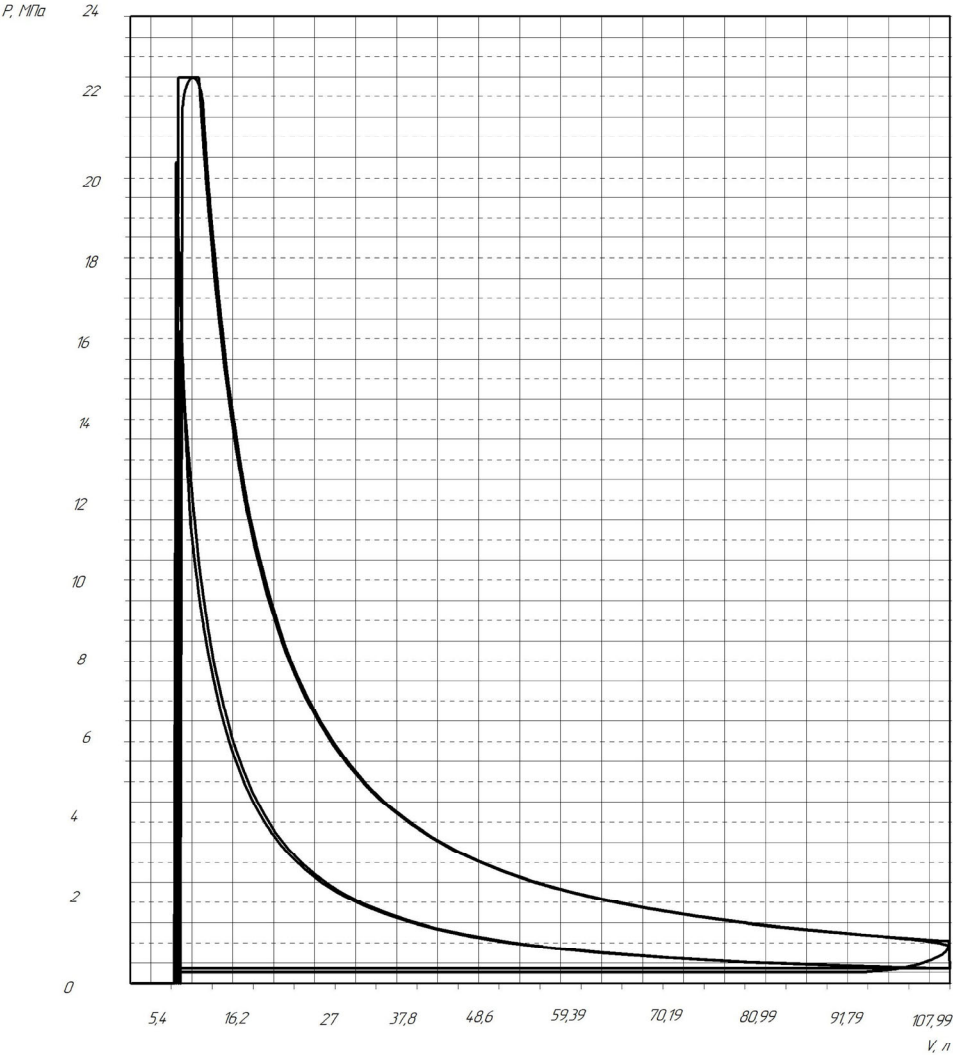
ПНН НУК 1316123.2104			
Принципова схема системи живлення двигуна паливним газом			
Лист	Листа	Листа	Листа
1	1	1	1



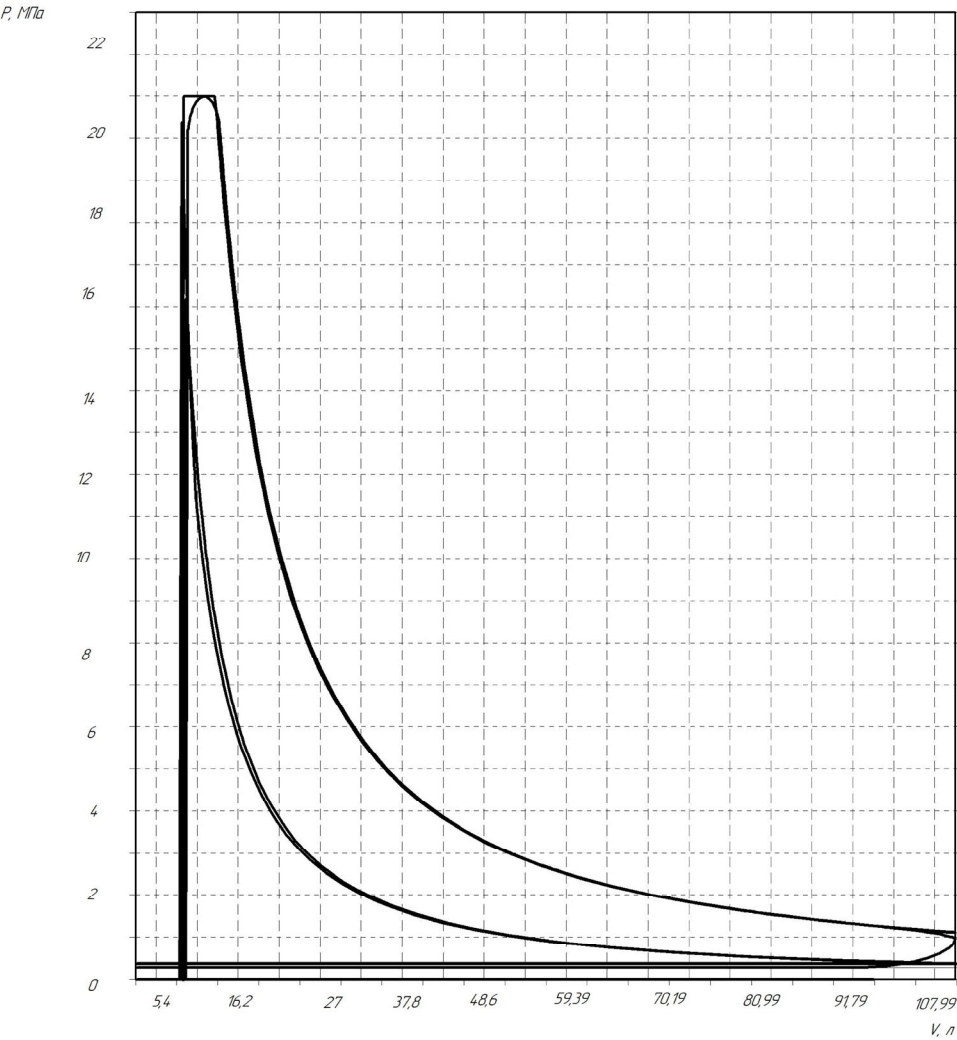
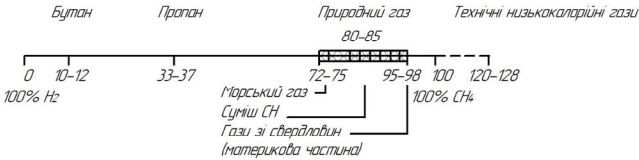
1. Використання насиченого водню газоподібного палива та газових конденсатів на газовій клапанній установці заборонено
2. Один індивідуальний блок газового клапана повинен надбаватися на двигун. При використанні декількох різновидів палива, як опція
3. Максимальна довжина труби між блоком газового клапаната і двигуном не повинна перевищувати 10 м.
4. У разі накопичення газового палива інертний газ через блок клапана спрямовується на систему вентиляції судна.

1. Газове паливо повинно відповідати наведеним нижче вимогам	
Діапазон температур газу на інтерфейсах до двигуна (°C)	0 ... 60
Мінімальна різниця тиску в системі [бар (z)]	1
Максимальний тиск інертного газу [бар (z)]	10
Дозволені гази:	
Азот	> 95%
Вуглекислий газ	2,5
Максимальна сірка (H ₂ S) (%)	0,05
Максимальний аміак (NH ₃) [мг / м ³]	25
Максимальний вміст фтору [мг / м ³]	50
Максимальний хлор [мг / м ³]	50
Максимальний вміст олії [мг / м ³]	50
Максимальний вміст частинок [мг / м ³]	50
Максимальний розмір частинок	5
Максимальна точка роси (°C)	-20

[illegible]



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, Тз	1802,72	1654,984
Температура наприкінці розширення, Тв	963,956	898,645
Питома витрата палива, ge, г/(кВт год)	172,99	172,98
Ефективна потужність, кВт	11999,02	10606,96
Годинна витрата палива, кг/год	2075,7	1834,9

ПННІ НУК 1316123.2106					
Результати розрахунку двигуна 12V146DF фірми Caterpillar-MAK					
100% N _н					
Копіювати					