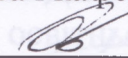


Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри


Гарант

«08» 12 2025 р.

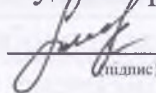
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Вдосконалення паливостачання головного двигуна судна типу Cummins KTA 38M з метою покращення показників паливної економічності

Виконав:

студент групи 61-ТЕМмаг-24

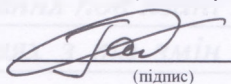

(підпис)

Климчук В.П.

Керівник роботи:

доц. кафедри ЕМ, к.т.н., доц.

(посада, науковий ступень, вчене звання)


(підпис)

Галинкін Ю.М.

Первомайськ - 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

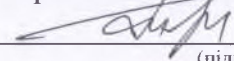
Кафедра «Енергетичне машинобудування»

Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»

Освітня програма «Технології енергетичного машинобудування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми


(підпис)

«15» 09 2025 р.

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

студенту Климчук Владислав Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема кваліфікаційної роботи: Вдосконалення паливопостачання головного двигуна судна типу Cummins KTA 38M з метою покращення показників паливної економічності

Відвідувач роботи Галинкін Юрій Миколайович, к.т.н., доц.

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

Затверджено: розпорядженням ПННІ НУК від 15.09.2025 року № 86.

Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедрі 08.12.2025 року.

Вихідні дані до роботи: Як об'єкт дослідження пропонується розглянути можливість підвищення ефективності робочого процесу судових високообертових дизелів, за рахунок модернізації їх системи паливопостачання шляхом встановлення нового типу паливних насос-форсунок з електронним керуванням моментом та впорскування палива та часом його подачі до камери згоряння.

Віст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розв'язати). Розробці підлягають питання пов'язані з модернізацією системи палива в високооберткових дизелях з та змін необхідні для їх конверсії з метою покращення економічних показників на часткових навантаженнях.

Перелік графічного матеріалу Графічне відображення результатів аналізу розрахункових досліджень (4-5 позицій), креслення, з розточуванням, вимірювання перетин двигуна, схеми, матеріали що підтверджують ефективність запропонованих технічних заходів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

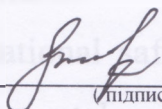
7. Дата видачі завдання

«15» вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підготовка та проробка літературних джерел	16.09.2025	
2	Написання першого розділу	23.09.2025	
3	Виконання розрахунків та написання другого и третього розділу	07.10.2025	
4	Розробка заходів з охорони праці	28.10.2025	
5	Розробка заходів з охорони навколишнього середовища.	18.11.2025	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі	25.11.2025	
7	Оформлення кваліфікаційної роботи та графічної частини	08.12.2025	

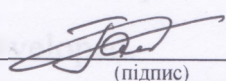
Студент


(підпис)

Климчук В.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

к.т.н., доц. Галинкін Ю.М.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Представлена кваліфікаційна робота містить у собі 74 сторінок, 18 рисунків, 8 таблиць. При підготовці роботи було використано 15 джерел інформації.

У роботі розроблений комплекс заходів щодо вдосконалювання системи упорскування палива в камеру згоряння двигуна КТА 38М фірми Cummins. Виконано тепловий розрахунок робочого процесу двигуна стосовно до нових умов роботи системи паливopocтачання.

Розроблено комплекс заходів з охорони праці під час обслуговування паливних систем високооберткових дизелів, та заходів з охорони навколишнього середовища під час експлуатації суднової енергетичної установки.

Ключові слова: ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ПАЛИВОПОСТАЧАЛЬНА АПАРАТУРА, НАСОС-ФОРСУНКА

ABSTRACT

This thesis consists of 74 pages, 18 figures, and 8 tables. Fifteen sources of information were used in preparing the thesis.

This thesis developed a set of measures to improve the fuel injection system in the combustion chamber of the Cummins KTA 38M engine. A thermal calculation of the engine's operating process was performed for the new operating conditions of the fuel supply system.

A set of occupational safety measures for servicing high-speed diesel fuel systems and environmental protection measures for the operation of the marine power plant were developed.

Keywords: INTERNAL COMBUSTION ENGINES, FUEL INJECTION EQUIPMENT, PUMP-INJECTOR

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА.....	7
1.1 Загальна характеристика судна.....	7
1.2 Стислий опис енергетичної установки.....	8
1.2.1 Характеристика елементів суднової енергетичної установки...	8
1.2.2 Головна енергетична установка.....	11
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА CUMMINS KTA38-M2	12
2.1 Основні характеристики суднового високообертового двигуна KTA38-M2 фірми Cummins.....	12
2.2 Аналіз конструкції головного двигуна KTA38-M2.....	20
2.2.1 Основні нерухомі деталі двигуна.....	20
2.2.2. Кривошипно-шатунний механізм.....	25
2.2.3 Система газорозподілу.....	29
2.2.4 Система наддуву двигуна.....	32
2.2.5 Масляна система.....	35
2.2.6 Система охолодження.....	36
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ ДВИГУНІВ ФІРМИ CUMMINS ТА ВИБІР НАПРЯМКУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ГОЛОВНОГО ДИЗЕЛЯ СУДНА	37
3.1 Аналіз нових розробок фірми Cummins з організації паливоподачі.....	37
3.2 Вибір напрямку модернізації та обґрунтування її доцільності.....	44
3.3 Тепловий розрахунок робочого процесу модернізованого двигуна	45
3.4 Аналіз результатів теплового розрахунку.....	56
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	58
4.1 Охорона праці.....	58
4.1.1 Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на судах.....	58

4.1.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів на суднах.....	60
4.1.3 Заходи із забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці на суднах.....	61
4.2 Охорона навколишнього середовища.....	69
4.2.1 Нормативно-правова та законодавча база охорони навколишнього, морського середовища.....	69
4.2.2 Вплив судна на навколишнє середовище	71
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
ДОДАТКИ	75

ВСТУП

Аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку як вітчизняного, так і зарубіжного дизелебудування показує, що основним напрямком прогресу в судновому дизелебудуванні є зростання циліндрової і агрегатної потужності за рахунок форсування робочого процесу і частоти обертання.

За останні роки можна відзначити розробку і впровадження наступних конструктивних і технологічних рішень, що забезпечують максимальну надійність дизельного двигуна в експлуатації:

- колінчастого вала з розвиненим діаметром шийок, що відрізняється підвищеною жорсткістю і зниженим питомим тиском на підшипники;
- циліндричної втулки з внутріканальним охолодженням;
- турбонаддуву при ізобарному тиску;
- організації процесу згоряння з подвійним уприскуванням палива і / або застосуванням системи паливоподачі Common rail .

Успішний розвиток і використання дизельних двигунів на судах пояснюється, насамперед, тим обставиною, що вони в кращій мірі задовольняють вимогам, що пред'являються до ЕУ судів.

Ціль кваліфікаційної роботи: розробити комплекс заходів для удосконалення системи впорскування палива дизеля КТА 38М2 фірми Cummins, з метою покращення його економічних та екологічних показників.

Задачі що вирішуються у кваліфікаційній роботі:

1. Аналіз стану проблеми подальшого розвитку сучасних високообертових судових двигунів серії КТА 38М2 фірми Cummins.
2. Проведення комплексного аналізу для вибору найбільш ефективних методів удосконалення системи впорскування.
3. Розроблення технічних рішень та розрахункова перевірка їх ефективності, визначення шляхів втілення запропонованих рішень.
4. Розробка заходів щодо техніки безпеки при виконанні робіт в машинному відділенні та екологічної безпеки судна.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА

1.1 Загальна характеристика судна

Судно «ARAGON» (ENI 6105051) спущено на воду у липні 2012 року, на суднобудівельному заводі «DAMEN SHIPYARDS BERGUM» у Голландії.

Теплохід конструктивно призначений для змішаного плавання ріка-море (каботажне плавання) і для перевезення різних типів вантажу включаючи контейнери. Судно зареєстровано під Нідерландським прапором.

Володіє судном голландська компанія Nederlandse Scheepvaartinspectie, управління здійснює компанія Continuvaart toegestaan ADN R beperkt. Основні дані судна приведені в табл. 1.1., загальне креслення на рис. 1.2.

Таблиця 1.1 – Основні дані судна «ARAGON»

Параметр	Значення
Конструктивний тип судна, м	універсальне судно
Мореплавання	каботаж
Довжина, м	84,8
Ширина, м	9,6
Висота надводного борту, м	1,8
Осадка	
- у баласті, м	1,5
- у грузу, м	3,0
Валова місткість	2301 GT / 1289NT
Дедвейт, т	1625
Розмір люкового закриття	
- довжина, м	61,4
- ширина, м	7,77
Вантажні приміщення	один трюм та твіндек
Об'єм трюму, м ³	2040
Контейнеромісткість, од.	
- у трюмі, од.	90
- на кришці люка, од.	30
- всього, од.	120
Максимальна швидкість, км/год.	23
Економічна швидкість, км/год.	18,5
Суднові запаси:	

Продовження таблиці 1.1

Параметр	Значення
- дизельного палива, м ³	32,5
- питної води, м ³	21
- масла для ГД, м ³	0,9
- масла для ДД, м ³	0,6
- баластної води, м ³	562
Баластні насоси	
- кількість, од	2
- подача, м ³	80
- тип	АРН 140
Вантажний пристрій	козловий кран
- тип крану	HLW/8/3400

Машинне відділення розташоване в кормі під надбудовою, є одним трюмом, призначений для перевезення контейнерів, пакетів, генеральних вантажів. Можливе перевезення до 120 контейнерів та пакетів, а також інших вантажів на кришці вантажного люка (до 30 контейнерів на палубі).

Екіпаж судна становить чотири особи для яких обладнано три каюти, дві одномісні та одна двомісна. Штурманська рубка має систему підйому на висоту на 3,2 м у транспортному положенні. При проходженні під мостами, рубка та передня щогла опускаються, що зменшує висоту судна при осадці 3,9 м до 2,5 м.

1.2 Опис енергетичної установки

1.2.1 Характеристика елементів суднової енергетичної установки

На судні-прототипі встановлений один дизель-редукторний агрегат з високооберттовим дванадцятициліндровим дизелем серії КТА 38М2 фірми Cummins (США). Специфікаційна максимально тривала потужність дизеля 970 кВт при частоті обертання 1800 хв⁻¹. Від двигуна потужність передається на гвинт через редуктор и далі за допомогою прямої передачі потужності на гвинт змінного кроку. Діаметр гвинта 1,6 м, кількість лопастів – 5.

Загальні вигляд МКВ судна та розміщення основних елементів енергетичної установки наведено на рис. 1.2.

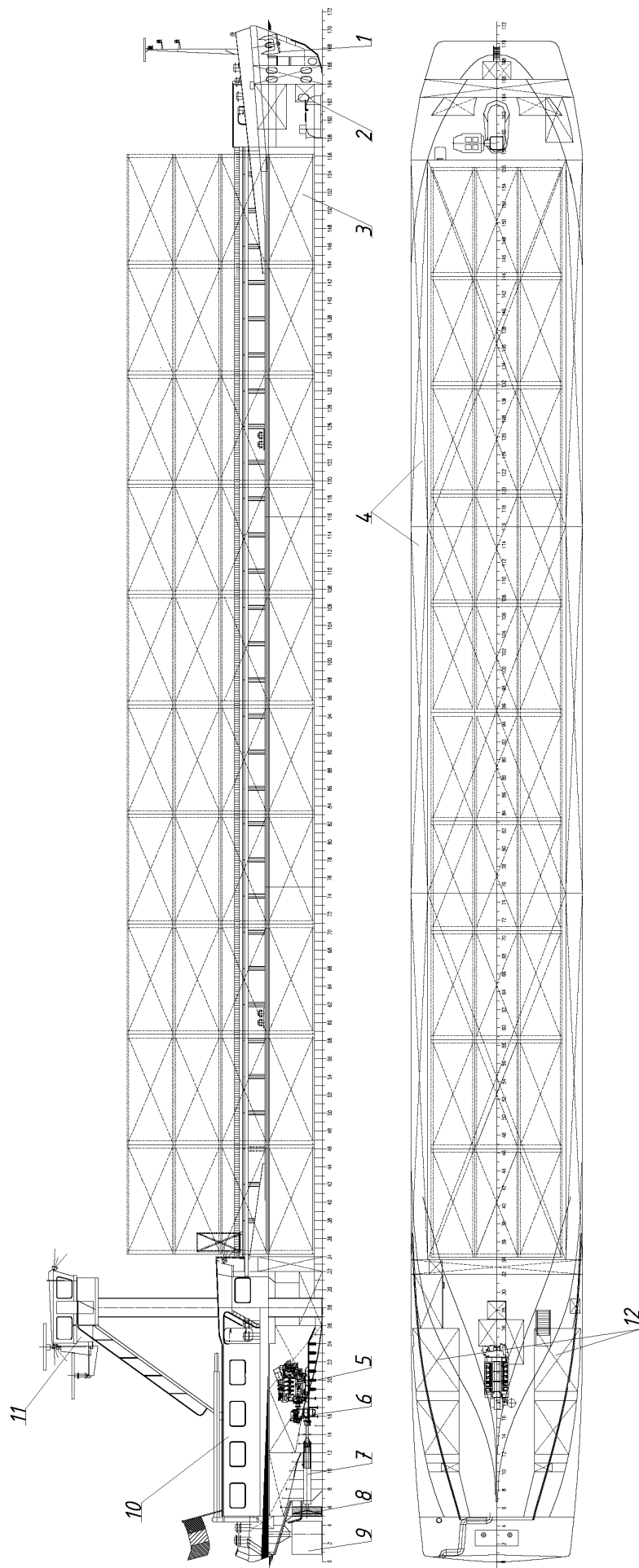


Рисунок 1.1 – Креслення загального вигляду судна «ARAGON». 1 – якірний клюз; 2 – підрулюючи пристрій; 3 – вантажний трюм; 4 – баластні цистерни; 5 – головний двигун; 6 – головний редуктор; 7 – валова лінія; 8 – гвинт; 9 – перо руля; 10 – надбудова; 11 – штурманська рубка; 12 – цистерні основного запасу

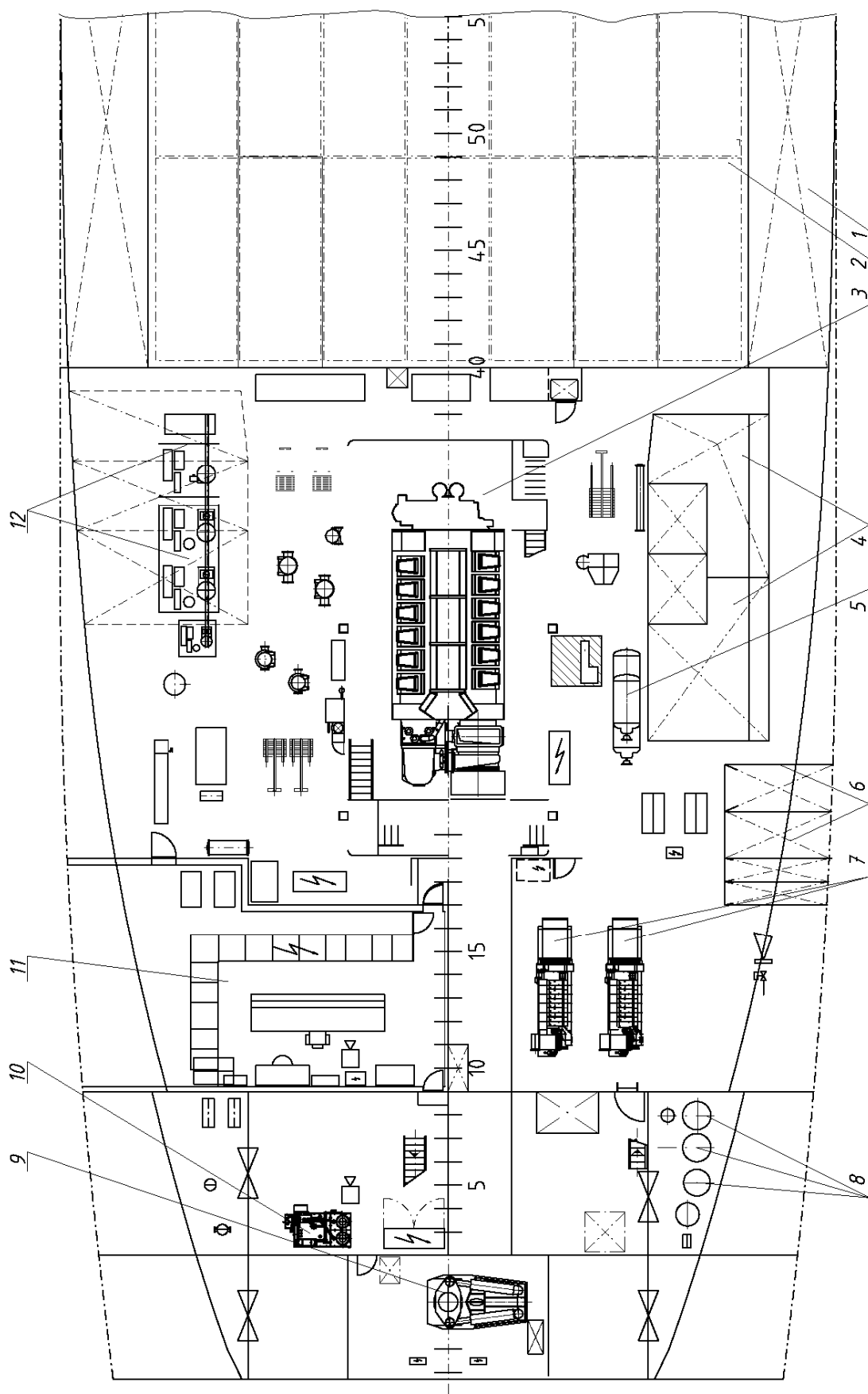


Рисунок 1.2 – Загальний план машинного відділення (вид зверху)

1 – баластові цистерни; 2 – вантажні трюми; 3 – головний двигун; 4 – цистерни добового запасу; 6 – цистерни основного запасу палива 5 – повітряні балони; 7 – дизель-генератори; 8 – ділянка водопідготовки; 9 – кермова машина; 10 – гідростанція; 11 – ЦПК та електрична щитова; 12 – ділянка підготовки палива

Дизельна установка з ДРА та прямою передачею потужності на гвинт забезпечує кормове розміщення машинного відділення. Енергетична установка серійного судна містить у собі головний двигун, редуктор типу ZF серії BW 5200 з передаточним відношенням 5,471:1 валопровід, гребний гвинт, два дизель-генератора. Судно не обладнано допоміжними котлами, тому опалення приміщень та приготування їжі здійснюється за допомогою електричної енергії.

1.2.2 Головна енергетична установка

Головна енергетична установка розташована в кормовій частині судна складається з одного дизель-редукторного агрегату з головним двигуном Cummins KTA38-M. Це чотиритактний, тронковий, нереверсивний дизель, з газотурбінним наддувом, із постійним тиском газів перед турбінами, з V-подібним розміщенням циліндрів. Двигун працює на гвинт регульованого кроку через головний редуктор. Двигун працює на дизельному паливі.

Валопровід та гребний гвинт. Валопровід складається з: гребного гвинта, гребного вала та проміжного, дейдвудного пристрою, двох опорних підшипників, системи змащування та охолодження, стопорного пристрою.

Підрулюючий пристрій розташовано у носі марки XF 315 з приводом від двигуна потужністю 216,5 кВт, який працює на гвинт діаметром 1000 мм.

Електроенергетична установка. Для постачання судна електроенергією передбачається два основні дизель-генератора:

Дизель-генератор з тронковим двигуном типу 4BT3.9-G4 фірми Cummins Engine Co., Inc. – простої дії, нереверсивним, з турбонаддувом та рядним розташуванням циліндрів [3], який має наступні характеристики:

Потужність (МТП)	75 кВт.
Частота обертання	2300 хв ⁻¹ .
Робочій об'єм	3,9 дм ³ .
Середній ефективний тиск (МТП)	1,186 МПа.
Питома витрата палива (МТП)	220 г/(кВт×год.).

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА CUMMINS KTA38-M2

2.1 Основні характеристики суднового високообертового двигуна KTA38-M2 фірми Cummins

При розробці концепції дизеля KTA38-M2 фірма орієнтувалася на конструктивні особливості покоління високообертових чотиритактних суднових двигунів так званої квадратної схеми (коли хід поршню дорівнює його діаметру), оскільки новий принцип конструкції добре зарекомендував себе в експлуатації. Компоновка двигуна дворядна, з V-образним розташуванням рядів циліндрів під кутом 60°. Порядок роботи циліндрів: 1R-6L-5R-2L-3R-4L-6R-1L-2R-5L-4R-3L

Двигун KTA38-M2 призначено для приводу гребних гвинтів і бортових енергетичних установок. Він працює на дизельному паливі.

Технічні дані двигуна KTA38-M2 наведено в табл. 2.1, поперечний розріз – на рис. 2.1.

При створенні двигуна особливе значення надавалося підвищенню ефективності його використання по наступним аспектам:

- експлуатаційної надійності (зменшення механічного зносу та корозії, зменшення кількості з'єднань і, тим самим, скороченню можливості виникнення дефектів);

- низьким експлуатаційним витратам (досягається внаслідок невеликої витрати палива, малої витрати масла на чад, тривалого терміну служби деталей, простоту установки і нескладних штекерних з'єднань, зменшенню трудовитрат при обслуговуванні, простих і добре доступних місць з'єднань);

- оптимальному екологічному режиму відповідно до приписів міжнародних стандартів (за рахунок таких конструктивних заходів, як оптимізація камери згоряння, наддуву, упорскування палива).

Таблиця 2.1 – Технічні дані двигуна КТА38-М2

Параметр	Числові значення
Число циліндрів	12
Діаметр циліндра, мм	159
Хід поршня, мм	159
Робочій об'єм, дм^3	38
Циліндрова потужність, кВт	81,8
Загальна потужність, кВт	970
Частота обертання робоча, хв^{-1}	1800
Мінімально припустима частота обертання, хв^{-1}	650
Максимально припустима частота обертання, хв^{-1}	2184
Середня швидкість поршня, м/с	10
Максимальний обертовий момент, Н	5383
Частота обертання при мах. моменті, хв^{-1}	1400
Тиск у впускному ресивері, МПа	0,22
Марка палива:	ISO 15550
Витрата повітря, $\text{дм}^3/\text{с}$	1444
Витрата відпрацьованих газів, $\text{дм}^3/\text{с}$	2973
Ступінь стиску	13,9
Середній індикаторний тиск, МПа	1,821
Середній ефективний тиск, МПа	1,643
Максимальний тиск стиску, МПа	7,5
Максимальний тиск циклу, МПа	12,5
Питома витрата палива згідно з ISO 8178 E3, $\text{г}/(\text{кВт} \times \text{год.})$ при навантаженні:	
- 100 %	0,205
- 85 %	0,193
Вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах	
- NO_x , $\text{г}/(\text{кВт} \times \text{год.})$	8,92
- HC , $\text{г}/(\text{кВт} \times \text{год.})$	0,18
- CO , $\text{г}/(\text{кВт} \times \text{год.})$	0,32
Температура відпрацьованих газів за турбіною, $^{\circ}\text{C}$	430
Температура води у системі охолодження	
- на вході у двигун, $^{\circ}\text{C}$ / на виході з двигуна, $^{\circ}\text{C}$	82/95
Питома витрата масла, $\text{г}/(\text{кВт} \times \text{год.})$	0,8
Маса двигуна, суха, кг	4218

Технічна концепція. Головний принцип конструкції двигуна КТА38-М2 – надійність і простота. Двигун проектували з таким розрахунком, щоб на базі наявних технологій можна було перейти до подальшого форсування за середнім ефективним тиском та підвищення циліндрових і агрегатних потужностей без зміни розмірів підшипників, товщини стінок, діаметрів валів, шестерень та інші, які визначені таким чином, що при подальшому збільшенні потужності двигун залишається, надійним в експлуатації.

Завдяки високій функціональній інтеграції в окремі вузли відпадає необхідність (в порівнянні з традиційними двигунами) приблизно в 40 % деталей, зокрема частин трубопроводів.

Конструкція і технічні особливості. Несучий блок-картер відлито з чавуну з кулястим графітом. Поперечні різьбові з'єднання між блок-картером і кришками підшипників надають додаткову жорсткість.

Блок-картер містить сорочку охолодження у верхньому поясі. Циліндрова втулка найбільш інтенсивно охолоджується у верхній частині навколо камери згоряння. Ресивер наддувочного повітря вбудований в блок-картер. Наддувочне повітря поступає по каналах блок-картеру та сорочки водяного охолодження в кришці циліндра до впускних клапанів. При проведенні робіт на кришці циліндра відпадає необхідність у монтажі або демонтажі трубопроводів наддувочного повітря, отже, виключаються будь-які нещільності у з'єднанні трубопроводу або його руйнування.

Розподільні вали індивідуальні для кожного напівблоку також вбудовані в блок-картер. Для зменшення тертя і зносу, штовхачі клапанів і ПНВТ приводяться в дію через роликові штовхачі.

Маховик і шестерні приводу розподільних валів встановлені за допомогою конусної посадки на колінчастому валу методом гарячого пресування. Шестерні розподільних валів приводяться проміжними шестернями. Точно витримані міжосьові відстані забезпечують простоту монтажу без регулювання зазору між зуб'ями. Всі шестерні приводу валів загартовані.

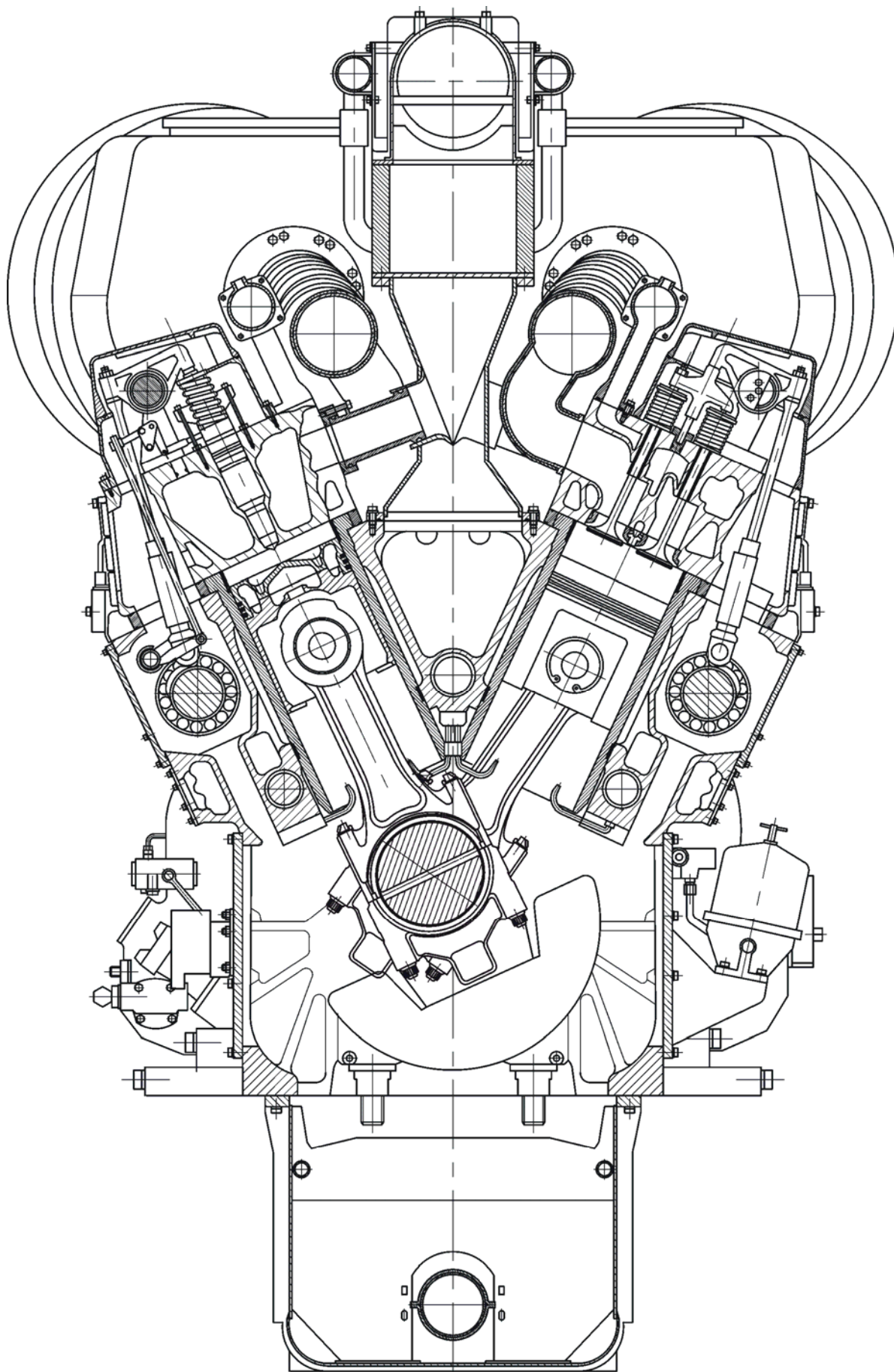


Рисунок 2.1 – Креслення загального вигляду дизеля КТА38-М2

У складеного поршня верхня частина сталева, а нижня чавунна з кулястим графітом, щоб забезпечити надійну передачу сил і тиску газів до 120 МПа і вище (максимальний тиск згорання). Канавки у верхній частині поршня для двох ущільнювальних та одного маслоснімального кільця проходять індукційне загартовування. Робоча поверхня верхнього кільця покрита спеціальним шаром і має відшліфовану сферичну форму. Таке виконання канавок і кілець забезпечує тривалий термін служби і низькі витрати масла.

Циліндрова втулка завдяки жорсткому бурту стійка до деформації, вона забезпечена калібрувальною вставкою, що запобігає відкладанню коксу на втулці, що збільшує термін служби і забезпечує низьку витрату масла на угар. Порожнини для розміщення приводу на стороні муфти і демпфера крутильних коливань на стороні, протилежній муфті, утворені в блок-картері і зменшують число вузлів двигуна і трудовитрати при монтажі.

Оскільки інтеграція дає переваги при монтажі та технічному обслуговуванні, в процесі розробки двигуна Cummins KTA38-M2 пошук вівся не тільки в напрямку спрощення або розширення вже реалізованих рішень, але і для здійснення нових ідей. Подальше спрощення було досягнуто, зокрема, на кришці, замикаючої порожнину зубчастої передачі, де масляний трубопровід був замінений на канавки в кришці, що дозволило виключити нещільності в масляних трубопроводах і їх руйнування. На панелі навішуються насоси, які вставляються в них і затягуються кріпильними болтами. При цьому контролювати зазор між зуб'ями не потрібно.

Двигун Cummins KTA38-M2 відрізняються простотою і зручністю при монтажі на фундамент судна. Всі робочі середовища: паливо, мало і охолоджуюча вода підводяться з боку кормового кінця, і їх трубопроводи легкодоступні. Паливні і масляні фільтри навішуються прямо на двигун.

Насос-форсунки приводяться від розподільного валу напівблоку у тій фазі чотиритактного циклу у який перебуває конкретний циліндр.

Найбільш багатофункціональним елементом двигуна Cummins KTA38-

M2 є кришка циліндра. Вона виготовляється з чавуну з кулястим графітом і завдяки подвійному днищу має високу жорсткість, обумовлену формою. Кожна кришка накриває окремі циліндри. Камера згорання і випускні клапани піддаються інтенсивному охолодженню. Це профілактичний захід проти високотемпературної корозії. Два впускних і два випускних клапана кінетично пов'язані спільною траверсою, що полегшує установку зазору в приводі. Щоб уникнути зайвих витрат при монтажі трубопроводів, передбачений суміщений хід підведення масла, охолоджуючої води і повернення витоку палива. Прості штекерні з'єднання для підведення цих середовищ значно полегшують монтажні роботи.

Передбачені в достатній кількості радіальні входи для води в штекерні з'єднання, для її виходу і для подачі наддувочного повітря, дозволяють демонтувати кришку циліндра не більш ніж за 30 хвилин. Кришку затягують шістьма болтами за допомогою гідравлічного інструменту.

Фірма Cummins при конструюванні дизеля Cummins KTA38-M2 провела необхідні розрахунки методом кінцевих елементів при різних навантаженнях (за частотою обертання, потужності і температурі) і надає гарантію міцності і надійності конструкції, починаючи з таких відносно простих вузлів, як коромисло, і закінчуючи такими складними, як кришка циліндра або блок-картер.

Двигун Cummins KTA38-M2 призначений для експлуатації в тропічних умовах, тому його піддають спеціальним тропічним випробуванням.

При розробці трибологічної системи «втулка циліндра → поршень → поршневе кільце» Cummins застосовує ізотопний вимір зносу за методом тонких плівок. Поблизу ВМТ верхнього поршневого кільця, тобто в місці, де виникає найбільший знос, матеріал циліндричної втулки за рахунок радіоактивного опромінення набуває радіоактивність. За допомогою детектора на працюючому двигуні вимірюють і оцінюють рівень радіоактивності. Вже через 100 годин можна отримати достовірні дані по очікуваному зносу. Таким чином, весь комплекс розроблених фірмою

Cummins конструкторських рішень спрямований на реалізацію концепції: надійність і простота.

Термодинамічний підхід. За термодинаміці, як вважає Cummins, основними показниками двигуна є впорскування палива, конфігурації камери згоряння і наддування. Фірма формулює, як слід розраховувати дані параметри, щоб домогтися оптимальних результатів відносно витрати палива, емісії та температурного рівня.

На двигуні Cummins KTA38-M2 реалізований інтенсивний метод впорскування палива за допомогою насос-форсунок відкритого типу з наступними особливостями:

- високим тиском уприскування палива;
- короткочасним уприскуванням;
- великим числом отворів малого діаметру для розпилювання палива;
- форсунками високого тиску зі спеціальною обробкою (закруглені вхідні кромки розпилюючих отворів).

При цьому отриманий робочий процес з низькою витратою палива, аналогічний процесу близького до постійного тиску; досягнуто незначний знос форсунок; збільшений термін служби поршнів і випускних клапанів завдяки їх низькому температурному рівню.

Камера згоряння виконана просторою (така оцінка фірми), щоб процес розподілу паливо-повітряної подушки суміші вийшов оптимальним і ні циліндрична втулка, ні кришка циліндра, звернені до камери згоряння, не забризкувалися паливом. Вона характеризується високим ступенем стиснення і в результаті – низькою емісією оксидів азоту і оптимальним процесом спалаху різних сортів палива. Плавне збільшення тиску газів і досягнуті завдяки цьому невеликі механічні навантаження, незначні витрати також визначаються високим ступенем стиснення.

Стосовно наддуву на двигуні Cummins KTA38-M2 виконуються вимоги високого ККД турбокомпресора для забезпечення низької витрати палива, високого ступеня стиснення при достатньому надлишку повітря. Фірма

Cummins вважає, що цим обумовлені низькі температури вузлів і показники емісії оксиду азоту, незначне димоутворення і робота з мінімальним забрудненням. Імпульсне надування забезпечує невелику схильність до забруднення і запобігає термічному перевантаженню на режимах часткового навантаження.

Екологічний режим. Захист навколишнього середовища і в судноплавстві набуває все більшого значення. Міжнародна морська організація (IMO) визначила Звід правил (поряд зі стандартом ISO), який з 2016 р. діє в усьому світі (стосовно граничних значень емісії для оксидів азоту NO_x і сірки SO_2).

Принципові перетворення витратних матеріалів у процесі згоряння в дизельних двигунах можна спрощено представити таким чином.

З взаємодії повітря і палива виникає газ, що складається з надлишкового повітря, не використаного при згорянні, і водяної пари.

Разом з цими небезпечними компонентами утворюються також нетоксичні, але відповідальні за глобальне потепління CO_2 , а також токсичні компоненти CO , NO_x , незгорілий вуглець, SO_2 (з сірки, що міститься в паливі) і нагар, який теж утворюється з палива, зокрема з сірки. На SO_2 неможливо впливати конструктивними змінами в двигуні. Доцільне зменшення викиду SO_2 досягається на основі зниження вмісту сірки в паливі.

Проведені фірмою Cummins дослідні роботи в області емісії свідчать, що граничне значення емісії NO_x (IMO) отримуються конструктивними змінами в двигуні. На дизелі Cummins KTA38-M2 такі показники були отримані внаслідок:

- високого ступеня стиснення;
- інтенсивного упорскування палива;
- спрямованого процесу упорскування;
- високого максимального тиску робочого циклу.

Дизель Cummins KTA38-M2 забезпечує надійну роботу, як на дизельному, так і на важкому паливі з виконанням вимог IMO з екології.

Однак, уже зараз очевидно, що ці вимоги будуть посилюватися. Тому фірма Cummins працює в таких напрямках:

- зміни фаз газорозподілу (зменшення перекриття клапанів веде до зниження значень NO_x);
- використання SCR – каталізаторів для досягнення зниження NO_x .

Таким чином, новий двигун КТА38-М2 фірми Cummins має низьку витрату палива і масла, відрізняється високою експлуатаційною надійністю, невеликою трудомісткістю при технічному обслуговуванні, незначними затратами праці при монтажі, відповідає сучасним вимогам по екологічним показникам.

2.2 Аналіз конструкції головного двигуна КТА38-М2

2.2.1 Основні нерухомі деталі двигуна

Остов двигуна складається з наступних основних частин: блок-картеру, циліндрів і кришок. Усі частини остова утворюють єдину жорстку конструкцію, що забезпечує відсутність деформацій при роботі двигуна від дії сил тиску газів і сил інерції рухомих частин. Для надійної роботи двигуна необхідно, щоб вісь колінчастого валу була прямолінійна, а вісь руху (поршень, шток, шатун) перпендикулярна осі валу. Ці вимоги забезпечуються при обробці деталей і складанні двигуна. Недостатня жорсткість остова двигуна може призвести до появи в частинах остова двигуна деформацій, що викликають викривлення осі колінчастого вала, і може змінити взаємне розташування осей вала і деталей руху, що в свою чергу тягне за собою появу додаткових напружень у колінчастого валу і нагрівання підшипників.

Жорсткість конструкції остова забезпечують вибором матеріалу для виготовлення його частин, конструктивним оформленням деталей остова й перевіркою вибраних розмірів розрахунком на міцність. Остов тронкового двигуна Cummins КТА38-М2 складається з блок-картеру, відлитого разом з блоком циліндрів (рис. 2.2), і циліндрових кришок. Жорсткість остова

забезпечується високою міцністю блок-картеру, тому остів двигуна має відносно малу висоту.

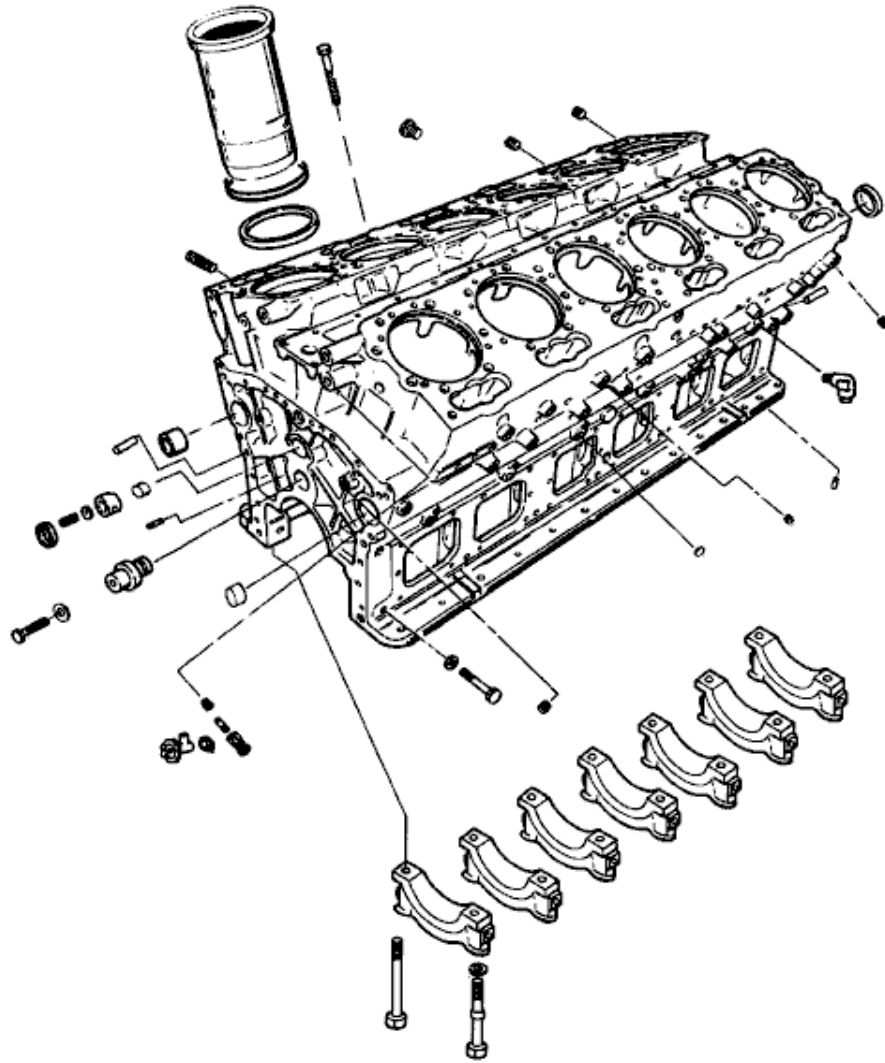


Рисунок 2.2 – Блок-картер двигуна Cummins KTA38-M2

Блок-картер служить для підтримки втулок циліндрів. Він утворює закриту камеру для кривошипно-шатунного механізму (картер). Станина виконана як блок-станина (рис. 2.2), що представляє цілісний виливок для всіх циліндрів.

Умови роботи станини: навантажена стискаючими зусиллями від затяжку анкерних зв'язків, а також силами і моментами від тиску поршнів на стінки циліндрів. При перегріві будь-яких деталей або прориві газів з циліндра в картер концентрація масляних парів різко зростає і виникає

небезпека вибуху.

Для запобігання підвищенню тиску в картері вище атмосферного і видалення пари масла з метою зниження їх концентрації передбачають вентиляцію картера. Вентиляційна труба, на якій встановлені масловіддільник і пламогасійна сітка, виводиться поза машинне відділення.

Для запобігання руйнування дизеля в разі вибуху масляних парів на кришках люків станини встановлюють запобіжні клапани. Сумарний прохідний перетин клапанів забезпечує швидке падіння тиску в картері. Щоб уникнути надходження в картер свіжого повітря і вторинного вибуху клапани повинні автоматично закриватися.

Корінні підшипники. Конструкція корінного підшипника складається з верхнього та нижнього вкладишів. Вкладиші підшипників взаємозамінні, виготовлені з біметалічною смуги, плакованої алюмінієвим сплавом.

У стиків вкладишів мають неглибокі масляні холодильники, які не повинні доходити до країв вкладишів щоб уникнути витoku масла. Холодильники служать для рівномірного розподілу мастила з поверхні підшипника. Під час роботи колінчастий вал нагрівається до $70\ldots 90\text{ }^{\circ}\text{C}$; для того щоб він міг вільно розширюватися, довжина вкладишів повинна бути менше довжини корінних шийок колінчастого валу. Величина осьових зазорів між жолобниками валу і вкладками «розгін» становить $1\ldots 3\text{ мм}$. Для попередження осьового зміщення колінчастого валу один з корінних підшипників використовують як упорний. Вкладиші цього підшипника забезпечені торцевими поверхнями, залитими антифрикційним сплавом. На ці поверхні спираються бурти шийки колінчастого валу. Осьовий зазор між жолобниками валу і торцевої заливкою робиться мінімальним.

Робочий циліндр двигуна складається з сорочки, виконаній у блок-картері, і вставною робочої втулки (рис. 2.2). Між сорочкою і втулкою розташований зарубашечний простір, в якому циркулює охолоджуюча вода.

Робочі втулки разом з поршнем і кришкою утворюють порожнину циліндра, в якій здійснюється робочий процес двигуна. Втулки відчують

значні механічні навантаження, тому матеріал повинен мати достатньо високу механічну міцність і бути антикорозійним.

Верхнім фланцем втулка спирається на опорний борт сорочки і притискається до нього циліндричної кришкою. У нижній частині вона не кріпиться до блоку і має можливість вільно розширюватися. Для створення водонепроникності зарубашечного простору на нижній частині робочої втулки зовні зроблені кільцеві виточки, в які ставлять гумові кільця.

Внутрішня поверхня робочої втулки розточена під діаметр, який є одним з основних розмірів двигуна. Для зменшення тертя між поршковими кільцями і втулкою, остання після розточування шліфується. Верхню частину втулки розточують на конус по висоті приблизно на середині верхнього поршневого кільця, коли поршень знаходиться у верхній мертвій точці. Конусне розточування служить для того, щоб при зносі втулки на її внутрішньої поверхні не утворювалось напрацювань. Товщина стінки втулки по висоті неоднакова, найбільша – у верхній частині, де вона випробовує максимальні зусилля.

Охолодження робочих втулок здійснюється прісною водою. Вода від загальної магістралі охолодження надходить у нижню частину зарубашечного простору блоку циліндрів, піднімається вгору і через спеціальні перехідні патрубки, встановлені у верхній частині зарубашечного простору, переходить в кришки циліндрів.

Кришки циліндрів разом з днищем поршня утворюють камери згоряння. Вони сприймають силу тиску газів і піддаються дії високих температур. На двигуни, що розглянуто у проекті одна кришка закриває одночасно три циліндри (рис. 2.3).

Кришки циліндрів найбільш складні по конструкції. У них розміщені впускні і випускні клапани і канали для підведення повітря і відведення газів, насос-форсунка, пусковий клапан, запобіжний клапан і індикаторний кран. Вогнева дошка головки повинна інтенсивно охолоджуватися, тому всередині головки є порожнина для охолодження.

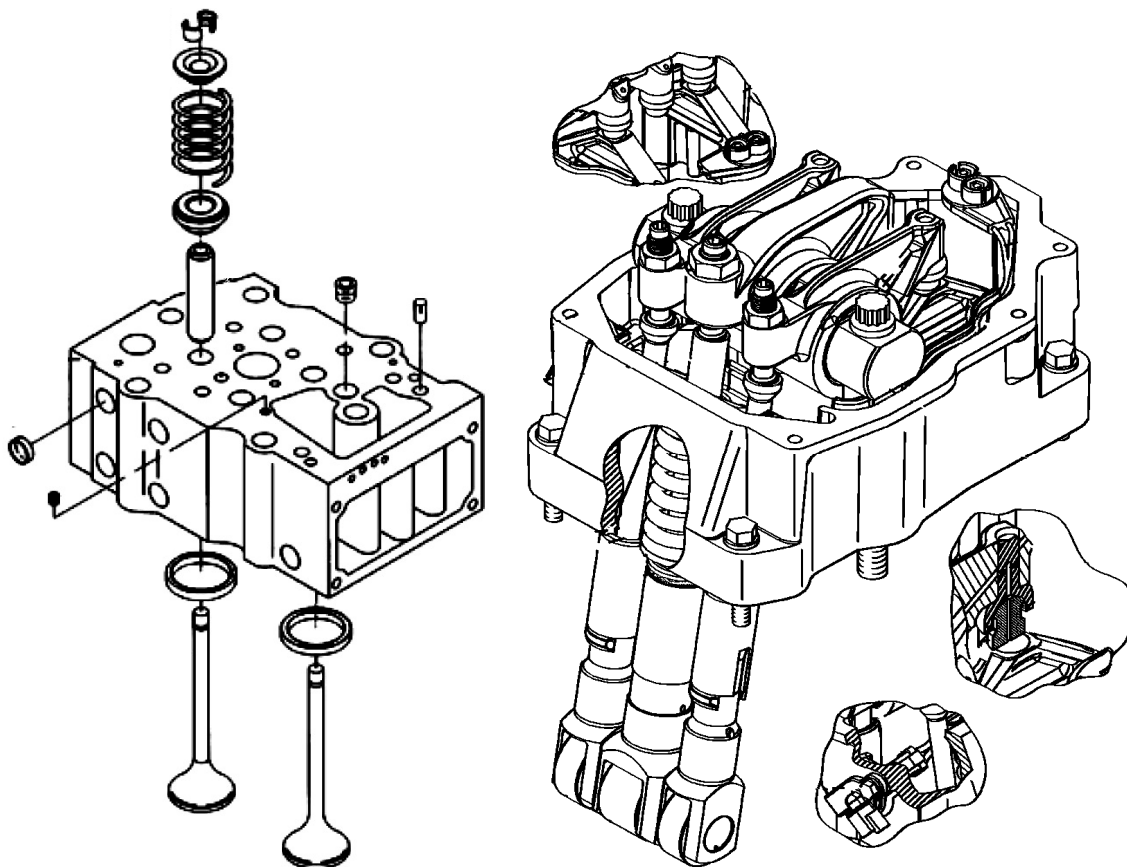


Рисунок 2.3 – Кришка циліндрів дизеля Cummins KTA38-M2 та коробка приводів клапанів ы насос-форсунок

Охолоджується кришка водою, що надходить із зарубашечного простору робочого циліндра по перехідним патрубкам. Відводиться вода з верхньої частини кришки, щоб уникнути утворення парових пробок. Кришку кріплять шістьма шпильками, які проходять скрізь отвори у головці.

Основний вид пошкодження кришки – тріщини на вогневій дошці, найчастіше на перемичці між насос-форсункою і випускним клапаном. Причини появи тріщин – конструктивні недоліки кришки (місцеві скупчення металу, викликають нерівномірне нагрівання окремих частин кришки, погана циркуляція води в кришці, що сприяє утворенню парових пробок), а також неправильна експлуатація двигуна.

Швидке навантаження непрогрітого двигуни, різка зміна температури охолоджуючої води збільшують температурні напруги вогневої дошки і можуть призвести до появи тріщин. Робота двигуна з перевантаженням,

викликає підвищення тиску газів в циліндрі. Підвищення температури газів, збільшують механічне і теплове навантаження, що діє на кришку, що також може призвести до появи тріщин.

2.2.2 Кривошипно-шатунний механізм

Колінчастий вал – найбільш відповідальна і дорога деталь двигуна. Термін служби валу визначає моторесурс двигуна.

На двигуні Cummins KTA38-M2, що розглядається у даному дипломному проєкті використовується суцільний вал, що вироблено шляхом відливки сполушної заготовки зі високоміцної сталі (рис. 2.4.).

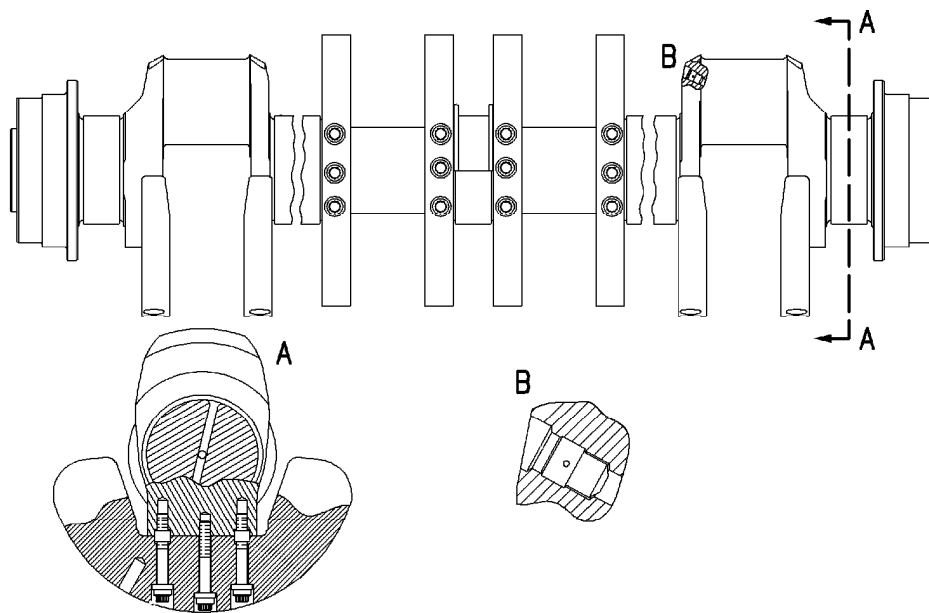


Рисунок 2.4 – Колінчастий вал двигуна Cummins KTA38-M2

Робота окремих циліндрів створює на колінчастому валу змінний за величиною и напрямом обертовий момент, який передається споживачеві. Кожне коліно валу складається з двох щік, шийки кривошипа і двох корінних шийок (рис. 2.4). Корінні шийки виконані однакового діаметра з шийками кривошипів. Масло для змащення корінних шийок підводиться від системи циркуляційної мастила до кожного корінного підшипника. Для підведення масла до підшипників кривошипів використовують канали в корінних шийках, а також в щоках і шатунних шийках кривошипа.

Маховик встановлений на колінчастому валу для забезпечення рівномірності обертання двигуна. Під час робочого ходу відбувається прискорення обертання валу. За цей період маховик накопичує енергію, а під час неробочих ходів поршня віддає її, тим самим зменшуючи коливання кутової швидкості колінчастого валу. Маховик виготовлений дискового типу, кріпиться маточиною за допомогою болтів до кормового фланця колінчастого вала. Положення маховика фіксується штифтами (рис. 2.5).

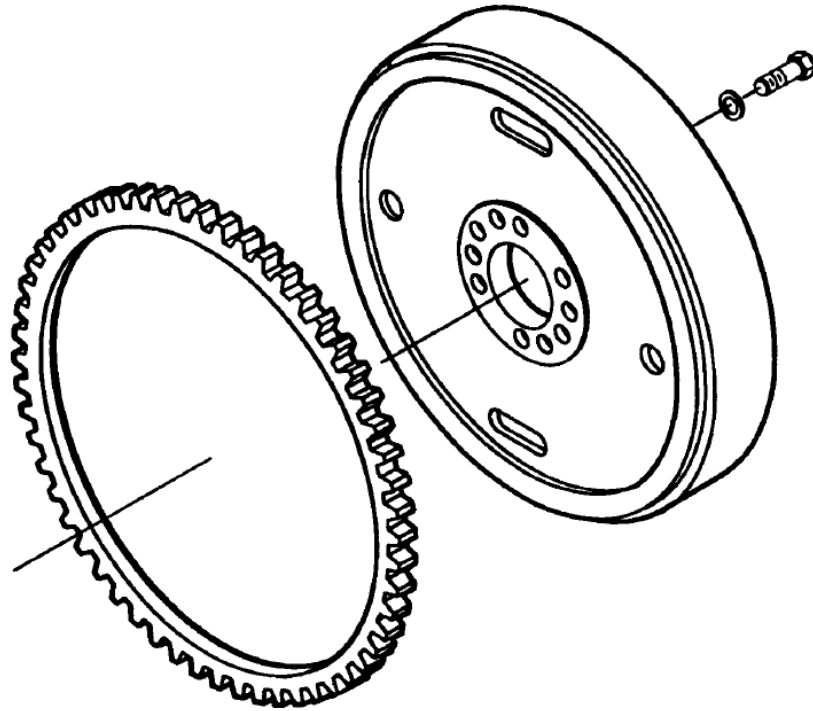


Рисунок 2.5 – Маховик з зубчастим вінцем

На ободі маховика напресовано зубчастий вінець, який входить в зачеплення з валообертальним пристроєм, і наносяться позначки ВМТ всіх циліндрів і ризики від нуля до 360° для перевірки газорозподілу.

Шатуни. Шатун служить для передачі сили тиску газів, що діє на поршень, на шийку кривошипа колінчастого валу. Шатун складається з верхньої головки, яка з'єднується з поршневим пальцем, стрижня шатуна, нижньої головки кривошипа для з'єднання з шийкою кривошипа колінчастого валу і шатунних болтів (рис. 2.6).

Стержень шатуна викуваний заодно з верхньою головкою. Перетин стрижня шатуна кругле суцільне з осьовим свердлінням.

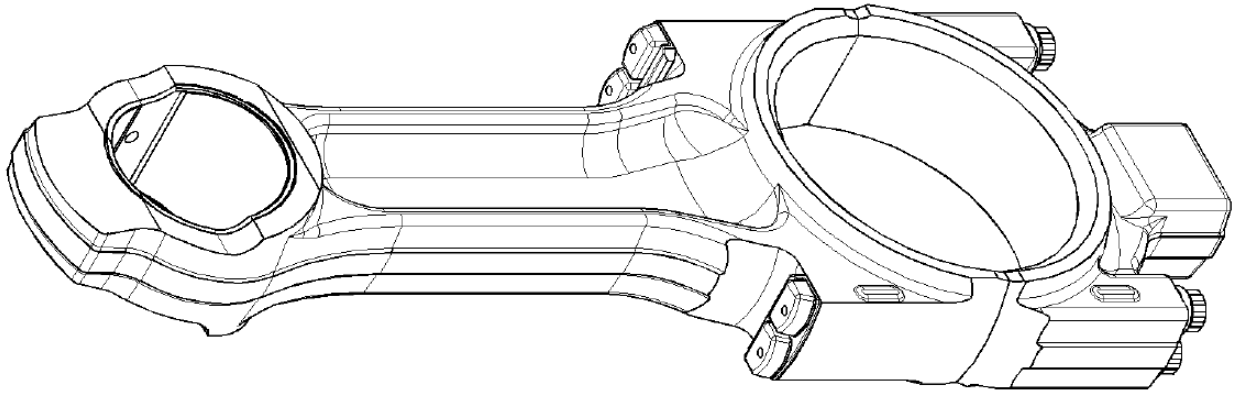


Рисунок 2.6 – Шатун з двигуна Cummins KTA38-M2

Перекладка зазорів у підшипниках викликає в них ударні навантаження і стуки. Кінетична енергія удару різко зростає при збільшенні зазору в підшипнику, еліптичності шийки і частоти обертання валу.

До конструкції шатунів висувають такі основні вимоги: висока жорсткість і міцність головок шатуна та його стержня при можливо меншій масі (для зменшення сил інерції); конструкція нижньої головки має дозволяти демонтаж шатуна разом із поршнем через циліндр; висока втомна міцність, податливість (пружність) і рівнозначна міцність шатунних болтів.

У двигуні Cummins KTA38-M2 кришка нижнього підшипника шатуна виготовлена з прямим роз'ємом, та кріпиться до стержня шатуна за допомогою фланцевого з'єднання. Це дає можливість підвищити жорсткість колінчастого вала внаслідок збільшення діаметра його шийок при збереженні демонтажу стержню шатуна через циліндр, а також зменшити силу P_r , яка прагне розірвати болти кріплення кришки підшипника до верхній половині. Також роз'їм між стержнем та корпусом підшипника виконано для зручності обслуговування.

Масло для кривошипного підшипника надходить із корінного підшипника по свердліннях в кривошипі колінчастого валу.

Поршні. Поршень в зборі складається з наступних основних деталей: самого поршня, поршневих кілець і поршневого пальця.

Поршень сприймає силу тиску газів і передає її на шатун. Днище

поршня разом з кришкою циліндра утворює камеру згоряння. Поршень повинен забезпечувати надійне ущільнення камери згоряння від пропуску газів і запобігати попаданню масла із стінок циліндра у камеру згоряння.

Матеріал для виготовлення поршнів повинен мати високі механічну міцність і жаростійкість, гарну теплопровідність і малі значення коефіцієнта лінійного розширення. Матеріал поршнів двигунів повинен мати гарні антифрикційні властивості і зносостійкість.

Поршень двигуна Cummins KTA38-M2 складовий (рис. 2.7). Донце поршня виготовлено з легованої сталі, а тронкова частина або спідниця— з чавуну з кулястим графітом. Це дає можливість отримувати жаротривку конструкцію і замінювати при необхідності тільки головку поршня.

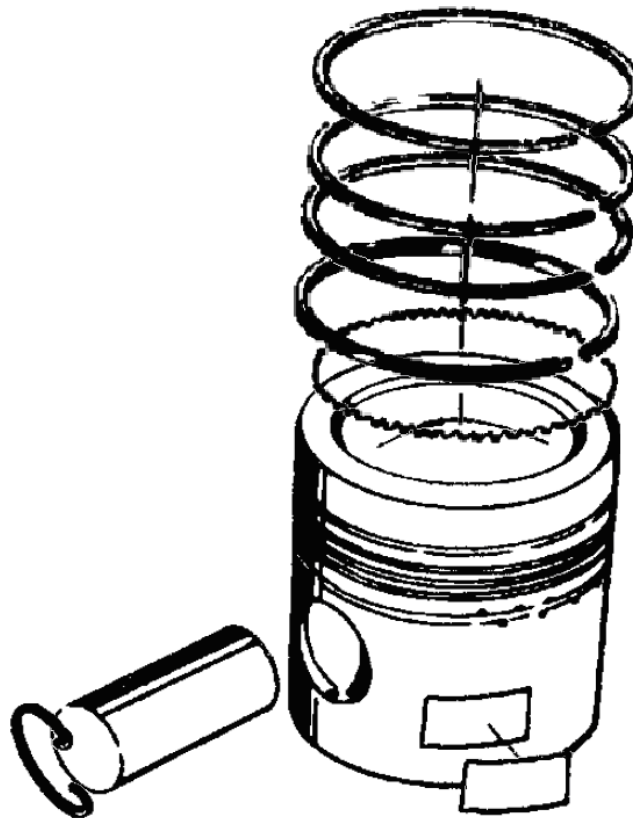


Рисунок 2.7 – Поршень двигуна Cummins KTA38-M2

Охолодження поршня маслом є найбільш ефективним. Перетини підвідних і відвідних каналів масла або висоту зливних отворів підібрані таким чином, щоб порожнина охолодження була заповнена маслом тільки частково. Під дією сил інерції масло поперемінно відкидається то до

верхньої, то до нижньої частини порожнини охолодження, інтенсивно омиваючи нагріті зони поршня. Високий коефіцієнт тепловіддачі в масло забезпечується за рахунок високої середньої швидкості поршня.

Два верхніх компресійних кільця мають напівтрапецевидну форму. Кільця для зміцнення хромовані. Покриття міддю по робочій поверхні кільця призначено для поліпшення приробітки кільця і запобігання пригорання і задирів. Замок кільця виготовляють прямим.

Кільця встановлюються меншою торцевою поверхнею вниз, тобто шкребками вниз. При руху поршня вниз кільця шкребками знімають надлишок масла і через отвори в поршні відводять його в картер. Неправильна установка кілець призведе до перевитрати масла, димному вихлопу і пригоранню кілець.

Від осьових переміщень палець утримується стопорними кільцями.

2.2.3 Система газорозподілу

Для здійснення робочого процесу в циліндр двигуна необхідно подати свіже повітря з атмосфери і видалити відпрацьовані гази. Процесами впуску свіжого заряду і випуску відпрацьованих газів управляє механізм газорозподілу. У чотиритактному двигуні Cummins KTA38-M2 він складається з впускних і випускних клапанів, розподільних валів з кулачковими шайбами, передавального механізму від кулачкових шайб до клапанів (штовхачі, штанги, клапанні важелі) і приводу від колінчастого вала до розподільного (рис. 2.8). Привод насос-форсунок здійснюється також від розподільних валів. Вал обертається в семи підшипниках, гнізда яких розташовані в боковій частині блоку циліндрів.

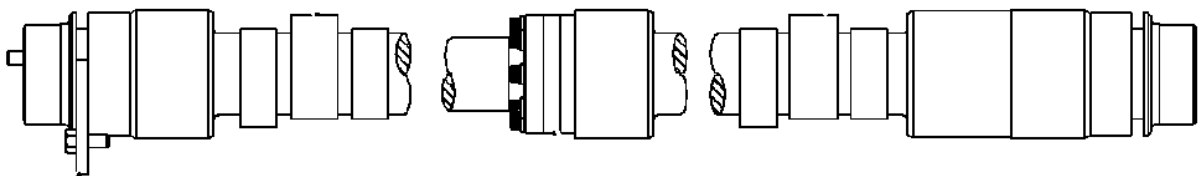


Рисунок 2.8 – Розподільний вал двигуна Cummins KTA38-M2

Розподільні вали виконані разом з кулачковими шайбами. На розподільний вал з боку приводу закріплена шестерня приводу. Привід розподільного валу здійснюється від колінчастого валу (рис. 2.9).

Проміжна шестерня знаходиться в зачепленні з ведучою шестірнею колінчастого валу і з відомою шестернею розподільного валу.

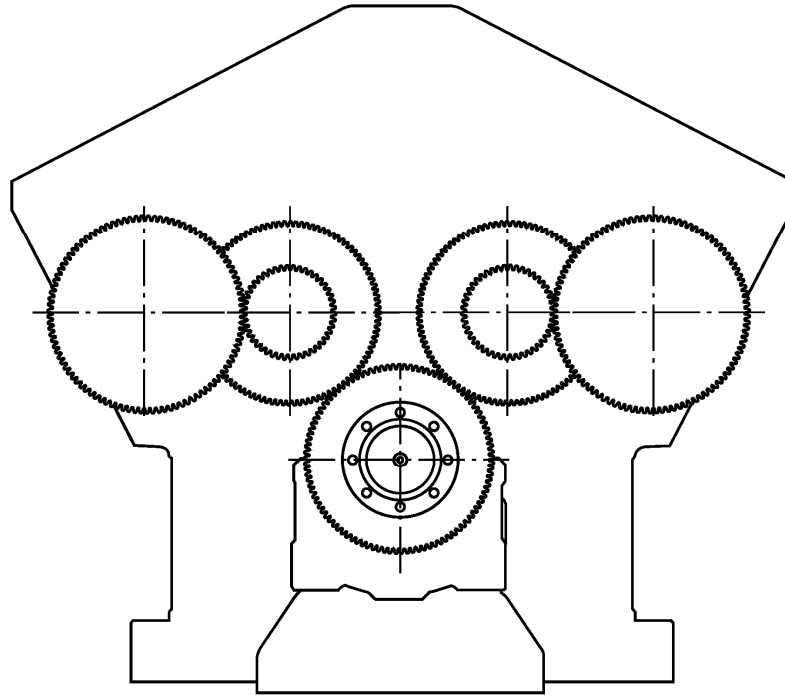


Рисунок 2.9 – Шестеренний приводу распредвалів двигуна Cummins KTA38

Тому, що у чотиритактного дизеля частота обертання розподільного вала повинна бути в два рази менше частоти обертання колінчастого вала, то відома шестерня має вдвічі більший діаметр, ніж ведуча шестерня (проміжна шестерня на передавальне число впливу не має).

Привід клапанного механізму. Органами газорозподілу є впускні і випускні клапани з клапанними пружинами, а привід включає в себе клапанні важелі, що сидять на осях кронштейнів (рис. 2.3), штанги, штовхачі з роликами, кулачкові шайби розподільного валу і привід від колінчастого вала до розподільного. Для забезпечення щільної посадки клапана на сідло в приводі клапана передбачають зазор (під час роботи дизеля внаслідок нагрівання шток клапана подовжується і зазор повинен зникати).

Якщо зазор неправильний, клапан буде знаходитися у відкритому

положенні і буде пропуск газів під клапаном, якщо зазор великий клапан буде відкриватися із запізненням. Щоб уникнути цих явищ, передбачається можливість його регулювання з допомогою болта з контргайкою.

При набіганні виступу кулачковою шайби на ролик штовхача штанга переміщається вгору і повертає клапанний важіль щодо осі. При цьому правий кінець важеля натискає на шток клапана і відкриває його, стискаючи пружину. При виході виступу шайби з-під ролика штовхача силою пружності пружини клапан закривається. Необхідні фази газорозподілу (моменти початку відкриття і кінця закриття клапанів) і закони руху клапанів визначаються профілем кулачкових шайб, кутом їх заклинювання, кінематичної схемою клапанного приводу і тепловим зазором.

Вертикальне розташування клапанів у кришці циліндра зменшує знос їх штоків і направляючих втулок, а відкриття всередину циліндра сприяє щільному приляганню до сідел за рахунок тиску газів. При малих тисках в циліндрі щільність закриття клапана залежить від натягу пружини.

Матеріал виготовлення: впускні клапана – легована сталь; випускні клапани виготовлені з високолегованої сталі – це необхідно для підвищення зносостійкості і корозійної стійкості. Фаска тарілки клапана покрита стелітом, шток клапана азотований, сідло клапана з надміцного чавуну. Пружини – високо вуглецева сталь; кулачні шайби – легована сталь. Для підвищення поверхневої твердості шайби цементовані і загартовані.

Впускний і випускний клапани під час роботи піддаються дії високих температур і значним динамічним навантаженням. Температура впускних клапанів 300...400 °С, випускних 600...800 °С.

У чотиритактного швидкохідного двигуна Cummins KTA38-M2 встановлено два впускних і два випускних клапана, при цьому збільшився загальний прохідний перетин, зменшилася вага, в механізмі газорозподілу покращилися умови тепловідведення від клапана.

Впускні і випускні клапана складаються з тарілки клапана, штока клапана, протоки під сухар. У кришці циліндрів запресована напрямна

клапана, сідло клапана – посадкове місце тарілки клапана. Клапан вставляється в напрямну клапана, притискається пружиною, зверху пружини розташовується тарілка пружини. Комплекс пружина → тарілка пружина → сухар забезпечують кріплення клапана в кришці циліндрів, а також виконують функцію зворотного механізму, який закриває клапан.

Для попередження про надмірне підвищення тиску в циліндрі на кришці кожного циліндра встановлено запобіжні клапани. За Правилами Регістру клапан навантажений пружиною на тиск, що перевищує максимальний тиск циклу на 25 %.

2.2.4 Система наддуву двигуна

Надув – спосіб підвищення потужності двигуна, заснований на подачі в робочий циліндр повітря під тиском вище атмосферного і відповідне збільшення циклової порції палива.

У двигуні Cummins KTA38-M2 передбачений імпульсний газотурбінний надув. При газотурбінному наддуванні повітряний компресор приводиться в дію від газової турбіни, що використовує енергію відпрацьованих газів дизеля. Компресор відцентрового типу, крилатка якого насаджена на один вал з колесом газової турбіни. Турбіна встановлена у випускному тракті і в ній спрацьовується значна частина енергії вихлопних газів.

Завдяки використанню енергії відпрацьованих газів для стиснення повітря в компресорі газотурбінне наддування є найбільш ефективним в порівнянні з іншими способами наддуву. Відсутність безпосередніх витрат потужності двигуна на привід компресора помітно підвищує механічний ККД двигуна і знижує питому ефективну витрату палива.

Особливості імпульсного наддуву. Підведення газів до турбіни здійснюється від декількох колекторів. Кожен колектор підводить газ до своєї групи сопел. Випускні колектори для окремих груп циліндрів зроблені однакового об'єму, що забезпечує рівномірне наповнення і розподіл навантажень по циліндрах. На один колектор можна приєднувати циліндри, у

яких робочі процеси зрушені по фазі на 240° о.к.в. При такому групуванні імпульси тиску, створювані при випуску газу з будь-якого циліндра, не порушуються потоком газів, що виходять в період випуску з іншого циліндра, включеного в цей же трубопровід. Потужність газової турбіни в цьому випадку збільшується за рахунок кращого використання енергії вихлопного імпульсу в короткому колекторі.

Газотурбінний нагнітач повітря – турбокомпресор (ТК) складається з одноступінчастим радіальним компресором (рис. 2.10). Середня температура газів перед турбіною $400\ldots 500^\circ\text{C}$.

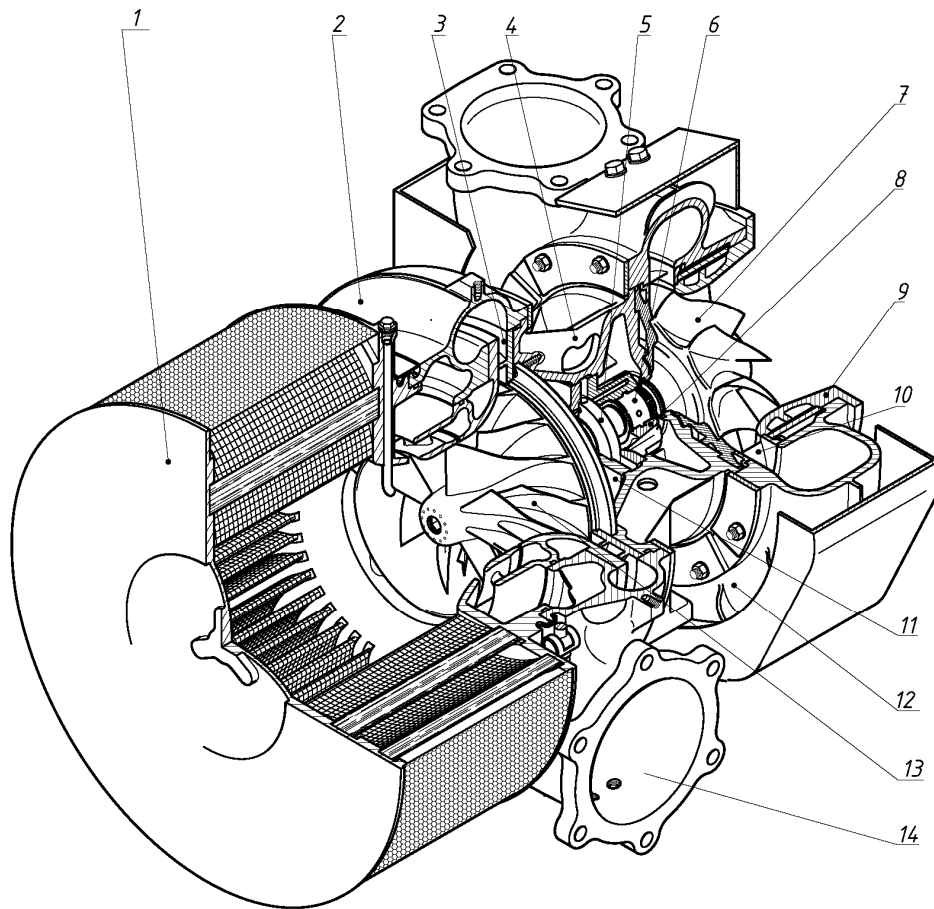


Рисунок 1.10 – Турбокомпресор з радіальної турбіною: 1 – повітряний фільтр; 2 – вихідний патрубок компресора; 3 – дифузор, 4 – корпус підшипникового вузла; 5 – осьовий підшипник; 6 – радіальний підшипник зі сторони турбінного колеса; 7 – турбінне колесо; 8 – підшипниковий вузол; 9 – дефлектор турбіни; 10 – направляючий апарат турбіни; 11 – ущільнення з боку компресора; 12 – вихідний патрубок турбіни; 13 – колесо компресора

Складається ТК з трьох корпусів: газовипускного, газовпускного корпусів турбіни і корпусу компресора з'єднаних між собою фланцями. Колесо турбіни і вал складаються з однієї частини, крилатка компресора встановлена на валу.

Фільтр використовується для очищення вхідного повітря, що надходить в корпус компресора. Для забезпечення надходження повітря на робоче колесо компресора встановлений вхідний колектор, який спрямовує повітря на турбокомпресор.

За робочим колесом компресора в корпусі компресора встановлюється дифузор, що слугує для перетворення кінетичної енергії повітря в роботу стиснення, завдяки йому швидкість потоку падає, а тиск підвищується.

З дифузора повітря надходить в спіральний канал, в якому відбувається подальше зменшення швидкості і підвищення тиску повітря. Лабіринтове ущільнення ТК існують для відділення газової порожнини від повітряної.

Корпус компресора охолодження не має.

Матеріал виготовлення деталей ГТК:

- ротор виконаний із двох половин з напресованими і привареними до полувалам дисками. Полували ротора відкуті зі звичайної вуглецевої сталі, диск – з жароміцної сталі, робочі лопатки виготовлені з жароміцної сталі та приварені до дисків;

- колесо компресору насаджене на вал і кріпиться гайкою зі шпонкою.

Колеса виконані напівзакритими з радіальними лопатками. Загнуті передні кромки служать напрямним апаратом:

- підшипники ковзання: з боку нагнітача встановлений опорно-упорний підшипник. Опорний підшипник, встановлений з боку турбіни, не допускає осьовий зсув валу від температурного розширення;

- лабіринтове ущільнення служать для відділення газової порожнини від повітряної та від упорного підшипника. Лабіринти утворені завальцьованням у виточки ротора тонкими кільцями латунними-гребінцями.

2.2.5 Масляна система дизеля Cummins призначена:

- своєчасно подавати необхідну кількість масла до вузлів тертя для забезпечення рідинного тертя в елементах руху і захищати поверхні зносу;
- відводити тепло, що виділяється при терті;
- видаляти продукти зносу і нагару з поверхонь тертя.

У двигуні Cummins передбачена циркуляційна система мащення з мокрим картером. Змазування підшипників здійснюється під тиском, а деталей циліндро-поршневої групи – розбризкуванням.

У циркуляційну систему входять: масляні насоси, фільтри грубої і тонкої очистки та масляні підігрівачі та охолоджувачі. З метою підтримки постійного тиску масла в систему включений редуційний клапан, який у разі підвищення тиску понад встановленого значення перепускає частину масла в піддон двигуна. Основна об'єм циркуляційного масла знаходиться в піддоні картеру. У масляній магістралі підтримується тиск 0,15...0,2 МПа.

Систему мащення обслуговують насоси циркуляційної змазки (основний і допоміжний). Основний масляний насос навішений на двигун. Допоміжний насос має автономний привід. Допоміжним насосом прокачують систему змащення перед пуском, після зупинки при маневруванні і в разі виходу з ладу навішеного насоса.

На (рис. 2.11) показаний односекційний шестерневий насос двигуна Cummins з автоматичними клапанами.

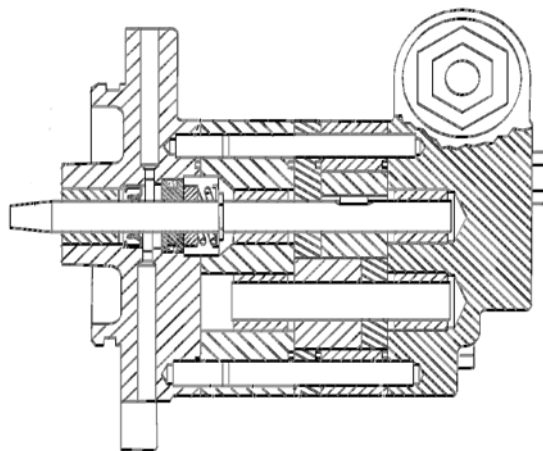


Рисунок 2.11 – Шестеренний масляний насос двигуна Cummins

Фільтр тонкого очищення масла повнопотоковий служить для фільтрації циркулюючого в дизелі масла. Масло, що йде по трубопроводу від масла розподільника, надходить в корпус, проходить через фільтруючі елементи і відводиться в масляний холодильник.

Перепускні клапани призначені для захисту фільтруючих елементів від деформації внутрішніх трубок і розриву фільтруючих штор. При перепаді тиску на фільтрі 0,18 МПа фільтруючі елементи необхідно замінити.

2.2.6 Система охолодження. Під час згорання палива в циліндрі двигуна виділяється велика кількість теплоти, частина якої перетворюється в роботу, а частина, з продуктами згорання палива потрапляє в атмосферу або сприймається деталями, дотичними з газами. У випадку відсутності охолодження відбувався б не тільки нерівномірний нагрів цих деталей, але і перегрів їх понад припустимі межі, а це призвело б до виникнення в них високих теплових напружень. Висока температура поршня і втулки циліндра є причиною вигорання масла з утворенням лакових відкладень і нагару, в результаті поршневі кільця втрачають пружність і застряють (пригорають).

При відсутності достатнього охолодження зменшуються зазори між втулкою і поршнем, їх поверхні деформуються, на них з'являються натіри і задіри. Високі теплові напруги призводять до утворення тріщин на днищах поршнів і прориву газів з камери згорання в картер дизеля.

Система охолодження служить для створення оптимальних температурних режимів деталей дизеля і для відведення теплоти від масла і наддувочного повітря. У двигуні Cummins за допомогою води охолоджуються кришки і втулки робочих циліндрів.

Надійна робота водяної системи не тільки забезпечує нормальну роботу дизеля, а й впливає на прогрівання дизеля перед пуском, а отже, і на створення оптимальних умов для його пуску і маневрування.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ ДВИГУНІВ ФІРМИ CUMMINS ТА ВИБІР НАПРЯМКУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ГОЛОВНОГО ДИЗЕЛЯ СУДНА

3.1 Аналіз нових розробок фірми Cummins з організації паливоподачі

Фірма Cummins при розробці системи паливоподачі третього покоління, що одержала назва ISX використовувала добре відпрацьовану нею схему з використанням насос-форсунок відкритого типу, адаптувавши їх конструкцію до системи електронного керування двигуном. Така паливна система широко використовується на високооборотних двигунах, які знаходять застосування на судах торговельного флоту в основному для привода дизель-генераторів та головних двигунів суден малого тоннажу.

Система складається з насос-форсунок і блоку керування паливоподачею.

Блок керування містить у собі: насоси, що підкачують, електромагнітні клапана дозування палива й керування початком подачі, датчики контролю, електронний блок керування двигуном. Усі перераховані елементи змонтовано у вигляді одного модуля, який безпосередньо кріпиться на двигуні (рис. 3.1). Охолодження електронного блоку керування здійснюється потоком палива, частина якого ($\approx 35\%$) після насоса, що підкачує, надходить у змійовик, змонтований прямо під корпусом мікропроцесорного блоку.

Відмінною рисою даної системи є, то, що для подачі палива в камеру згоряння, використовується відкрита насос-форсунка з механічним приводом і гідравлічним керуванням моментом початку й тривалості уприскування.

Даний тип насос-форсунок, вирізняється тим, що, у них відсутній голчастий клапан, що розділяє внутрішній простір розпилювача й камери згоряння протягом усього циклу за винятком процесу уприскування. Паливо

надходить безпосередньо під плунжер, який на торці виготовлений у вигляді конуса, що виконує функцію виштовхувача, який своїм об'ємом забезпечує повне витиснення палива із внутрішньої порожнини розпилювача.

При заповненні підплунжерного простору новою порцією палива, його витіканню через отвори розпилювача перешкоджає надлишковий тиск у камері згоряння, який на такті стиску перевищує тиск у порожнині розпилювача.

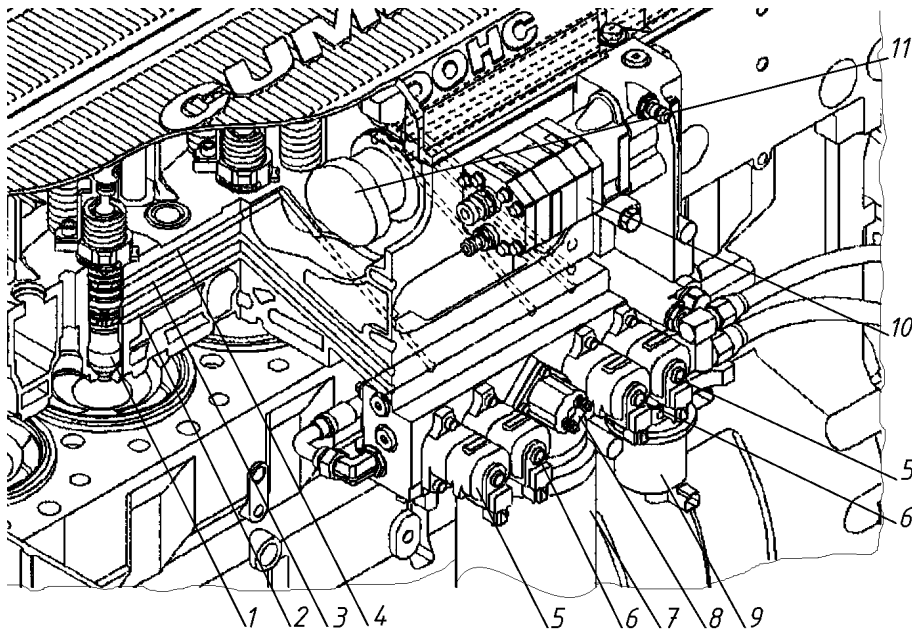


Рисунок 3.1 – Розташування елементів паливної системи на двигуні КТА38-М2 фірми Cummins: 1 – насос-форсунка; 2 – канал підведення палива на упорскування; 3 – канал відводу палива на злив; 4 – канал підведення палива на систему регулювання початку подачі; 5 – клапан дозування циклової порції палива; 6 – клапан керування початком упорскування; 7 – паливний фільтр; 8 – клапан відключення подачі; 9 – паливопідкачуючий насос; 10 – паливний насос; 11 – вал привода насос-форсунок і клапанів

На попередніх моделях дизелів була застосована система впорску з регулюванням подачі шляхом дозування палива на вході и насос-форсунку дроселюванням.

Загальний вигляд нової насос-форсунки показаний на рис. 3.2.

На відміну від попередньої конструкції, якою доречи обладнано двигун

судна, що розглядається у дипломному проєкті, у корпусі насос-форсунки розміщається три плунжери: верхній, проміжний і нижній, нагнітальний, який, власно, і забезпечує упорскування палива в камеру згоряння.

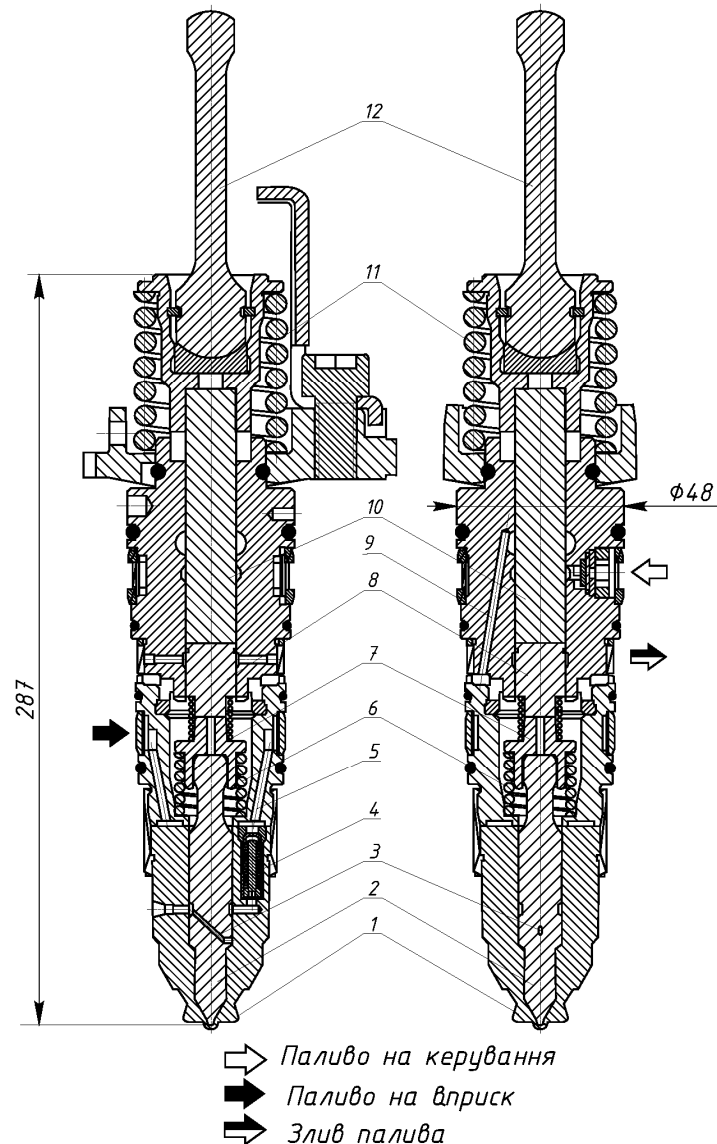


Рисунок 3.2 – Насос-форсунка двигунів фірми Cummins з електронною системою керування подачею типу ISX. 1 – корпус розпилювача; 2 – нагнітальний плунжер; 3 – дренажний канал; 4 – наповнювальний клапан; 5 – наповнювальний канал; 6 – проміжна пружина; 7 – штовхач нагнітального плунжера; 8 – проміжний плунжер; 9 – канал відводу протічок; 10 – верхній плунжер; 11 – зворотна пружина; 12 – шток штовхача

Нижній плунжер разом з корпусом розпилювача утворює нагнітальну порожнину. Між верхнім і проміжним плунжерами утворюється порожнина

керування. Змінюючи об'єм палива поданого в дану порожнину можна змінювати час початку й тривалості упорскування.

Між проміжним і нагнітальним плунжером розташовується зливальна порожнина, у якій збираються протічки та паливо, використане для керування, після того як упорскування основної порції закінчилося. Усі порожнини насос-форсунки через систему клапанів і проточок на корпусі, сполучаються з відповідними каналами підведення й відводу палива в головці блоку циліндрів. Кожна група каналів обслуговує по три циліндри.

Від блоку керування в канал підведення палива на упорскування надходить відмірена порція палива. Оскільки до цього моменту тільки одна насос-форсунка із трьох перебуває у відкритому стані, ця порція надходить саме в цю насос-форсунку. Теж відбувається й з відміреною порцією палива, що надходить із каналу керування початком паливоподачі.

Дозування циклової й керуючої порції палива здійснюється за допомогою електромагнітних клапанів керованих електронним блоком. Загальна схема системи керування паливоподачею представлена на рис. 3.3 а.

Електронний блок обробляє інформацію, одержувану з датчиків, і формує сигнал керування клапанами. Кожна пара клапанів одночасно обслуговує до трьох насос-форсунок. Конструктивно обидва клапана абсолютно ідентичні й взаємозамінні (рис. 3.3 б). При відсутності керуючого сигналу, клапана перебувають у закритому стані, при якому запірний конус притиснутий до сидла клапана під дією пружини. При подачі сигналу, сердечник соленоїда електромагнітного привода клапана намагнічується, якір притягається до сердечника, відкриваючи клапан. Паливо, що підводиться до клапана під постійним тиском 2,62 МПа, проходячи через нього, надходить у відповідний канал. Кількість палива, що поступає у канал, визначається часом відкриття клапана.

Прядок роботи насос-форсунки, системи ISX, презентовано на рис. 3.4.

При звільненні штовхача привода насос-форсунки, усі плунжера рухаються нагору, під дією зворотних пружин (рис. 3.4 а).

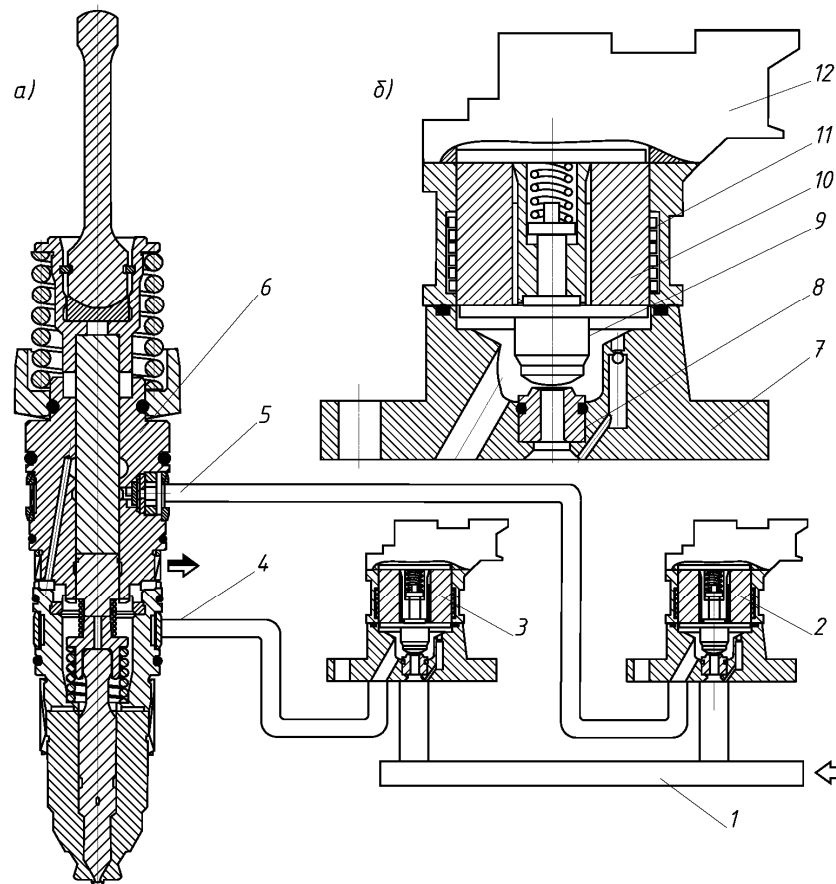


Рисунок 3.3 – Загальна схема керування паливоподачею в системі упорскування ISX фірми Cummins (а) і схема клапана керування (б): 1 – магістраль підведення палива від паливного насоса; 2 – клапан керування моментом початку упорскування; 3 – клапан дозування циклової подачі; 4 – канал підведення палива на упорскування; 5 – канал підведення палива на систему регулювання початку подачі; 6 – насос-форсунка; 7 – корпус клапана; 8 – сідло клапана; 9 – запірний конус; 10 – магнітний сердечник; 11 – катушка соленоїда; 12 – електричне рознімання

При подальшому русі, штовхач нагнітального плунжера впирається в обмежник на корпусі й рух нагнітального, плунжера припиняється.

Нижня точка нагнітального плунжера відкриває наповнювальний отвір на корпусі розпилювача, і паливо з магістралі, що підводить, через наповнювальний клапан, заповнює нагнітальну порожнину розпилювача (рис. 3.4 б). Ступінь заповнення нагнітальної порожнини й, отже, циклова подача, визначаються часом відкриття дозуючого клапана керування. Після

постановки на упор нагнітального плунжера, проміжний і верхній плунжера продовжують рух нагору, доти, поки порожнина утворена кільцевою канавкою на тілі проміжного плунжера не сполучиться з наповнювальним отвором магістралі керування початком подачі.

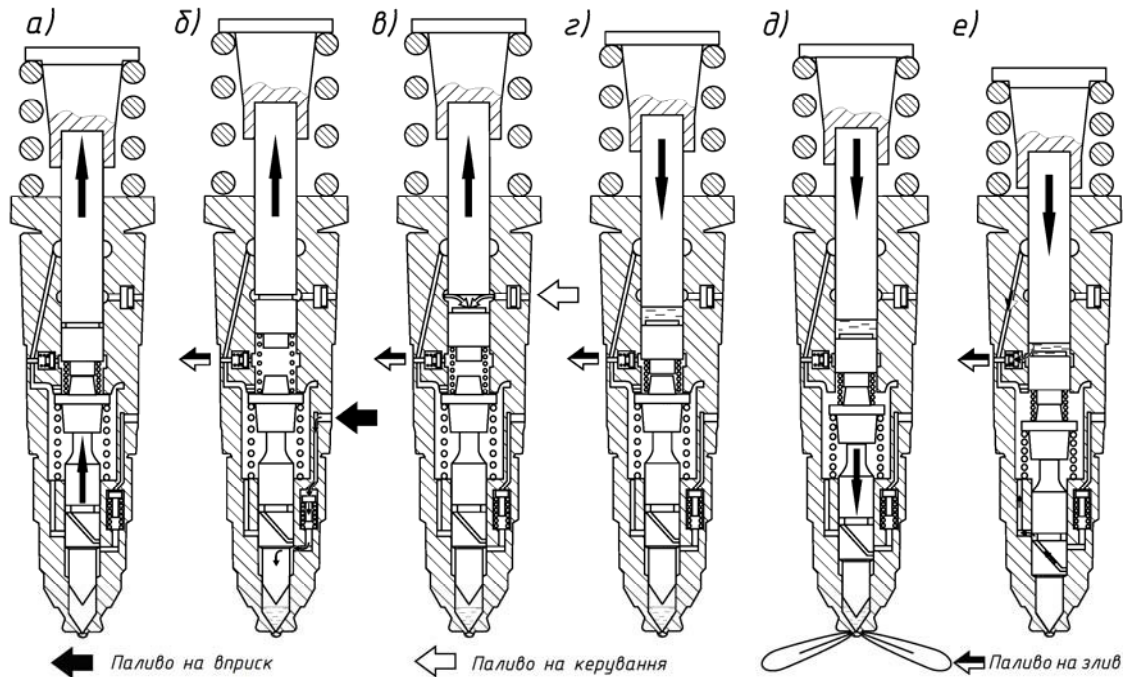


Рисунок 3.4 – Порядок роботи насос-форсунки серії ISX фірми Cummins: *a* – підйом плунжерів у вихідне положення; *б* – підйом верхнього й проміжного плунжера, заповнення нагнітальної порожнини; *в* – заповнення порожнини керування часом початку й тривалості упорскування; *г* – рух верхнього й проміжного плунжерів у низ; *д* – упорскування палива; *е* – злив палива з нагнітальної порожнини й порожнини керування

Відкриття клапана керування часом початку упорскування, приводить до того, що дана порожнина починає заповнюватися паливом, яке в цьому випадку використовується як керуюча гідравлічна рідина (рис. 3.4 *в*).

Під дією тиску палива, проміжний плунжер опускається вниз на величину пропорційну об'єму палива, що відробило, який залежить від часу відкриття електромагнітного клапана керування початком упорскування.

Для запобігання витиснення частини палива на зворотному ході верхнього плунжера, між каналом, що підводить і порожниною керування,

установлений зворотний клапан, пластинчастого типу.

При русі верхнього плунжера в низ, закриття пластинчастого клапана, а потім і перекриття крайкою плунжера наповнювального отвору, приводить до того, що між верхнім і проміжним плунжерами утворюється замкнений об'єм заповнений паливом. Через цей об'єм зусилля передається від верхнього плунжера до проміжного. Величина даного об'єму визначає відстань, а отже й час, який необхідно для того щоб проміжний плунжер уперся в штовхач нагнітального плунжера (рис. 3.4 з). Таким чином, об'єм палива поданий у порожнину керування визначає момент початку упорскування, а середня швидкість на ділянці нагнітання, визначає його тривалість. Коли проміжний плунжер уперся в штовхач нагнітального плунжера, усі три плунжери починають свій рух униз. Наповнювальний клапан нагнітальної порожнини відтинає зворотний рух палива або його пар у наповнювальну магістраль, а при перекритті нижньою крайкою плунжера наповнювального отвору, нагнітальна порожнина виявляється повністю від'єднанню від наповнювальної магістралі. Починається упорскування палива в камеру згоряння двигуна (рис. 3.4 д). Відсутність проміжних об'ємів між порожниною нагнітання й порожниною розпилювача дозволяє одержати дуже високі тиски упорскування від 190 до 240 МПа.

Після того, як виштовхувач нагнітального плунжера досягне нижнього положення, кільцева проточка на проміжному плунжері сполучиться зі зливальним отвором. Паливо з порожнини керування через зливальний клапан витісняється в зливальну магістраль (рис. 3.4 е). Залишки палива з нагнітальної порожнини по дренажному каналу в нагнітальному плунжері так само видаляються в зливну магістраль. Далі весь цикл повторюється.

До переваг розглянутої схеми паливної системи можна віднести:

- досить високий тиск упорскування;
- відсутність на форсунках електромагнітних клапанів, які є в більшості випадків проблемним елементом конструкції;
- електромагнітні клапана управляють процесом наповнення

нагнітальної порожнини, а не самим упорскуванням, тому до їхньої швидкодії не пред'являються значні вимоги;

- одна пара електромагнітних клапанів управляє відразу трьома форсунками, а самі клапана розташовуються в легко доступному місці й, можуть бути без розбирання двигуна досить просто замінені новими.

Недоліками даної схеми є: складність конструкції самих насос-форсунок, у першу чергу за рахунок наявності великої кількості прецизійних деталей; необхідність точного регулювання для забезпечення ефективної взаємодії між механічними, гідравлічними, електричними й електронними компонентами системи.

3.2 Вибір напрямку модернізації та обґрунтування її доцільності

Виходячи з наведеного вище аналізу, можна зробити висновок, що за останні роки фірма Cummins значно покращила конструкцію паливної системи своїх двигунів. До того ж усі нововведення є уніфікованими з вже існуючою конструкцією дизелів, що випускаються фірмою вже на протязі багатьох років. Це дозволяє без значних переробок модернізувати двигуни що вже знаходяться у експлуатації, а саме і двигун судна, що розглянуто у кваліфікаційній роботі. Така модернізація може бути доцільною з огляду на зростання світових цін на нафтопродукти, та зростання вимог щодо екологічних показників двигунів.

Оскільки судно, що розглянуто у роботі призначено для експлуатації у густонаселених районах повздовж берегів рік та прибережних районів морів, покращення економічних та екологічних показників судна є дуже актуальним. Тому нам здається доцільним провести заміну паливної системи з механічним керуванням паливоподачею на сучасну систему з електронним керуванням. Це дозволить підтримувати максимальній тиск циклу на досить високому рівні при зменшені навантаження, що не може не сказатися на економічності дизеля. Для підтвердження цього припущення виконаємо тепловий розрахунок робочого процесу на навантаженні 85% від номіналу.

3.3 Тепловий розрахунок робочого процесу модернізованого двигуна

Відповідно до аналізу технічної документації двигуна [8], визначимо основні вхідні данні для виконання теплового розрахунку (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Вхідні данні для теплового розрахунку

Параметр	Значення
Діаметр циліндра D , м	0,159
Хід поршня S , м	0,159
Кількість циліндрів i	12
Ефективна потужність двигуна N_e , кВт	824,5
Частота обертання n , хв. ⁻¹	1800,0
Кут закриття впускних клапанів $\varphi_{зк}$, град.	25,0
Геометричний ступінь стискування ε	13,9
Довжина шатуна l , м	0,300

Визначимо долю втраченого ходу на лінії стискування:

$$\psi_a = h_a / S$$

$$h_a = R \left[(1 - \cos \varphi_{зк}) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi_{зк}) \right]$$

де R – радіус кривошипу $R = S / 2 = 0,159 / 2 = 0,080$ м.

λ – постійна КШМ, $\lambda = R / l = 0,080 / 0,300 = 0,265$

$$h_a = 0,080 \times \left[(1 - \cos 25^\circ) + \frac{0,265}{4} \times (1 - \cos 2 \times 25^\circ) \right] = 0,009$$

$$\psi_a = 0,009 / 0,159 = 0,059$$

Дійсна ступінь стискування:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon (1 - \psi_a) + \psi_a = 13,90 \times (1 - 0,059) + 0,059 = 13,14$$

Визначимо склад палива (табл. 3.2)

Таблиця 3.2 – Основні приведені характеристики палива

Елементарний склад палива:	Парам.
- вуглець, С	0,877
- водень, Н	0,116
- кисень, О	0,006
- сірка, S	0,001
Середня молекулярна маса, кг/кмоль	210
Нижча теплота згоряння, кДж/кг	42700
Коефіцієнт надлишку повітря	1,72

Теоретично необхідна кількість повітря:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,88}{12} + \frac{0,12}{4} + \frac{0}{32} + \frac{0,006}{32} \right) =$$

$$= 0,490 \text{ кмоль}$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \times 0,877 + 8 \times 0,116 + 0,001 - 0,006 \right) =$$

$$= 14,23 \text{ кг/кг}$$

Кількість свіжого заряду:

$$M_1 = \alpha L_0 = 1,72 \times 0,490 = 0,843 \text{ кмоль.}$$

Кількість продуктів згоряння

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} = \frac{0,877}{12} = 0,073 \text{ кмоль,}$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} = \frac{0,116}{2} = 0,058 \text{ кмоль,}$$

$$M_{S_2} = \frac{S}{32} = \frac{0,001}{32} = 0,000031 \text{ кмоль},$$

$$M_{O_2} = 0,21(\alpha - 1)L_o = 0,210(1,7 - 1) \times 0,490 = 0,074 \text{ кмоль},$$

$$M_{N_2} = 0,79 \alpha L_o = 0,790 \times 1,7 \times 0,490 = 0,666 \text{ кмоль},$$

$$M_2 = \sum_{i=1}^n M = 0,073 + 0,058 + 0,000031 + 0,0741 + 0,6659 = 0,8711 \text{ кмоль}.$$

Значення тиску повітря на виході з компресора p_κ :

$$p_\kappa = (2,5 \dots 3,8)p_0 = 1,73 \times 0,103 = 0,178 \text{ МПа},$$

де p_0 – тиск навколишнього середовища ($p_0 = 0,103 \text{ МПа}$).

Температура повітря на виході з компресора:

$$T'_\kappa = T_0 \left(\frac{p_\kappa}{p_0} \right)^{\frac{n_\kappa - 1}{n_\kappa}} = 288,0 \left(\frac{0,178}{0,103} \right)^{\frac{1,80 - 1}{1,80}} = 367,1 \text{ К},$$

де T_0 – температура навколишнього середовища ($T_0 = 288,0 \text{ К}$);

n_κ – показник політропи стискування повітря у турбокомпресорі, $n_\kappa = 1,8$.

Температура у впускному ресивері після компресора:

$$T_\kappa = T'_\kappa - \sigma_{ox}(T'_\kappa - T'_a) = 367,1 - 0,820 \times (367,1 - 288) = 302,2 \text{ К}.$$

де T'_a – температура забортної води ($T'_a = 288,0 \text{ К}$);

σ_{ox} – ступінь охолодження повітря в повітроохолоджувачі ($\sigma_{ox} = 0,820$).

Тиск залишкових газів для двигунів з високим наддуванням приймають:

$$p_r = (0,75 \dots 0,98)p_\kappa = 0,750 \times 0,178 = 0,133 \text{ МПа};$$

Щільність заряду в циліндрі:

$$\rho_\kappa = \frac{p_\kappa \times 10^6}{R_g T_\kappa} = \frac{0,178 \times 10^6}{287,0 \times 302,2} = 2,050 \text{ кг/м}^3;$$

де $R_g = 287$ кДж/(кг×К) газова постійна повітря.

Втрати тиску за рахунок опору впускної системи:

$$\Delta p_a = c \frac{\omega_{вп}^2}{2} \rho_{\kappa} \times 10^{-6} = 2,5 \frac{65,0^2}{2} 2,050 \times 10^{-6} = 0,011 \text{ МПа},$$

де $R_g = 287$ кДж/(кг×К) газова постійна повітря;

c – коефіцієнт опору впускної системи ($c = 2,5$);

$\omega_{вп}$ – середня швидкість повітря в прохідних перетинах впускних органів ($\omega_{вп} = 65,00$ м/с).

Тиск у робочому циліндрі на початку стиснення:

$$p_a = p_{\kappa} - \Delta p_a = 0,178 - 0,011 = 0,167 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт залишкових газів:

$$\gamma_r = \frac{(T_{\kappa} + \Delta T) \times p_r}{T_r \times (\epsilon_0 p_a - p_r)} = \frac{(302,2 + 5) \times 0,133}{720,0 \times (13,14 \times 0,167 - 0,133)} = 0,026 \text{ МПа}.$$

де ΔT – ступінь зміни температури заряду у впускному тракті ($\Delta T = 5$ К);

T_r – температура залишкових газів ($T_r = 720,0$ К).

Температура наприкінці процесу впуску:

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{302,2 + 5 + 0,026 \times 720,0}{1,0 + 0,026} = 317,7 \text{ К}.$$

Коефіцієнт наповнення циліндру:

$$\eta_v = \frac{T_{\kappa}}{(T_{\kappa} + \Delta T) \times (\epsilon_0 - 1)} \left(\frac{\epsilon_0 p_a}{p_{\kappa}} - \frac{p_r}{p_{\kappa}} \right) =$$
$$= \frac{302,2}{(302,2 + 5) \times (13,14 - 1)} \left(\frac{13,14 \times 0,167}{0,178} - \frac{0,133}{0,178} \right) = 0,938$$

Тиск наприкінці процесу стиску:

$$p_c = p_a \times \epsilon^{n_l} = 0,167 \times 13,14^{1,400} = 6,65 \text{ МПа},$$

де n_1 – показник політропи стиску ($n_1 = 1,400$).

Температура наприкінці процесу стиску:

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} = 317,7 \times 13,14^{1,400-1} = 910,40 \text{ К.}$$

Коефіцієнт молекулярної зміни заряду під час згоряння:

$$\mu = \frac{M_2 + \gamma M_1}{M_1 + \gamma M_2} = \frac{0,871 + 0,026 \times 0,843}{0,843 + 0,026 \times 0,871} = 1,032$$

Рівняння згоряння для дизелів має вигляд:

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

Середня мольна теплоємність продуктів згоряння в діапазоні температур 1000...2800 °С:

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

Підставивши у рівняння згоряння отримаємо:

$$\begin{aligned} & \frac{0,850 \times 42700}{0,84(1 + 0,026)} + (1,032 \times 22,25 + 8,314 \times 1,560) \times 637,2 = \\ & = 1,027 \times ((27,02110 + 0,002039 \times t_z - 2,234 \times 1,720) + 8,314) t_z \end{aligned}$$

Після перетворення отримаємо квадратне рівняння виду:

$$A + B t_z - C = 0:$$

$$0,002094 t_z^2 + 32,34163 t_z - 64365,68 = 0,$$

$$t_z = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A},$$

$$t_z = \frac{-32,34163 + \sqrt{32,34163^2 + 4 \times 0,002094 \times 64365,68}}{2 \times 0,002094} = 1779,4^\circ\text{C},$$

$$T_z = t_z + 273,15 = 1779,4 + 273,15 = 2052,5 \text{ К.}$$

Тиск наприкінці згоряння:

$$p_z = p_c \lambda = 6,65 \times 1,560 = 10,38 \text{ МПа},$$

де λ – ступінь підвищення тиску ($\lambda = 1,560$).

Ступінь попереднього розширення:

$$\rho = \frac{\mu}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,027}{1,560} \times \frac{2052,5}{910,4} = 1,48.$$

Ступінь наступного розширення:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{13,90}{1,48} = 9,37.$$

Тиск наприкінці розширення:

$$p_e = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{10,38}{9,37^{1,190}} = 0,724 \text{ МПа}.$$

Температура наприкінці розширення:

$$T_e = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{2052,54}{9,37^{1,190-1}} = 1341,8 \text{ К.}$$

де n_2 – показник політропи розширення ($n_2 = 1,190$).

Уточнимо температуру залишкових газів:

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}} = \frac{1341,8}{\sqrt[3]{\frac{0,724}{0,133}}} = 763,4 \text{ К.}$$

Визначимо погрішність прийнятого припущення:

$$\Delta = \frac{763,4 - 720,0}{(720 / 100)} = 6,02 \%$$

Теоретичний середній індикаторний тиск циклу:

$$\begin{aligned} p'_i &= \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) + \lambda (\rho - 1) \right] = \\ &= \frac{6,65}{13,90 - 1} \left[\frac{1,56 \times 1,484}{1,190 - 1} \left(1 - \frac{1}{9,37^{1,190 - 1}} \right) - \frac{1}{1,400 - 1} \left(1 - \frac{1}{13,90^{1,400 - 1}} \right) + \right. \\ &\quad \left. + 1,56 (1,484 - 1) \right] = 1,726 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Дійсний середній індикаторний тиск циклу:

$$p_i = \varphi p'_i = 0,971 \times 1,726 = 1,676 \text{ МПа.}$$

де φ – коефіцієнт повноти індикаторної діаграми ($\varphi = 0,971$).

Індикаторний ККД:

$$\eta_i = \frac{p_i l_0 \alpha}{\rho_k H_u \eta_v} = \frac{1,676 \times 14,18 \times 1,72}{2,050 \times 42700 \times 0,938} = 0,510$$

Питома індикаторна витрата рідкого палива:

$$g_i = \frac{3600}{H_u \eta_i} = \frac{3600}{42,700 \times 0,510} = 166,24 \text{ г/(кВт×год.)},$$

де H_u підставляємо в МДж/кг.

Середній тиск механічних втрат:

$$p_m = A_p + B_p V_{п.ср.} \text{ МПа,}$$

де $V_{п.ср.}$ – середня швидкість поршня:

$$V_{п.ср.} = Sn / 30 = (0,159 \times 1800) / 30 = 9,54 \text{ м/с};$$

A_p, B_p – коефіцієнти. При попередніх розрахунках можна приймати наступні значення: $A_p = 0,105$; $B_p = 0,0120$.

$$p_m = 0,105 + 0,0120 \times 9,54 = 0,219 \text{ МПа.}$$

Середній ефективний тиск:

$$p_e = 1,676 - 0,219 = 1,457 \text{ МПа.}$$

Механічний ККД двигуна:

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{1,457}{1,676} = 0,869$$

Ефективний ККД:

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,510 \times 0,869 = 0,443$$

Питома витрата палива:

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{166,243}{0,869} = 191,29 \text{ г/(кВт×год.)}$$

Уточнемо основні параметри й показники двигуна:

- об'єм робочого циліндра двигуна

$$V_{лц} = \frac{\pi D^2 S}{4 \times 10^6} = \frac{3,142 \times 159,0^2 \times 159}{4 \times 10^6} = 3,16 \text{ дм}^3;$$

- повний об'єм двигуна

$$V_{л} = V_{лц} i = 3,16 \times 12 = 37,8846 \text{ дм}^3;$$

- ефективна потужність одного циліндра

$$N_{e_{\text{ц}}} = \frac{p_e V_{\text{л}} n}{30 \tau} = \frac{1,456 \times 3,14 \times 1800}{30 \times 4} = 68,708 \text{ кВт};$$

- повна потужність:

$$N_e = N_{e_{\text{ц}}} i = 68,708 \times 12 = 824,50 \text{ кВт};$$

- обертовий момент:

$$M_e = \frac{3 \times 10^4 \times N_e}{\pi n} = \frac{3 \times 10^4 \times 824,50}{3,142 \times 1800} = 4391 \text{ Н} \times \text{м};$$

- годинна витрата палива

$$G_{\text{т}} = N_e \times g_e \times 10^{-3} = 824,50 \times 191,29 \times 10^{-3} = 158,3 \text{ кг/год.}$$

Побудова індикаторної діаграми.

- об'єм камери згоряння

$$V_c = \frac{V_{\text{л}_{\text{ц}}}}{\varepsilon - 1} = \frac{3,157}{13,90 - 1} = 0,244 \text{ дм}^3;$$

- повний об'єм циліндра

$$V_a = V_c + V_{\text{л}_{\text{ц}}} = 0,24 + 3,16 = 3,40 \text{ дм}^3$$

Проміжне значення тисків визначимо по формулах:

- на лінії стиску

$$p_{ci} = p_c \left(\frac{V_c}{V_i} \right)^{n_1}$$

- на лінії розширення

$$p_{ei} = p_z \left(\frac{V_z}{V_i} \right)^{n_2}$$

Представимо отримані значення з кроком розбивки всього об'єму на 40 ділянок (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Дані для побудови індикаторної діаграми

Точка	Геометричні данні		Лінія стиску	Лінія розшир.
	ε	V_i	P_{ci}	P_{vi}
0,0	1,00	3,39	0,17	0,72
1,0	1,02	3,31	0,17	0,74
2,0	1,05	3,23	0,18	0,77
3,0	1,07	3,15	0,18	0,79
4,0	1,10	3,07	0,19	0,81
5,0	1,13	2,99	0,20	0,84
6,0	1,16	2,92	0,21	0,87
7,0	1,19	2,84	0,21	0,89
8,0	1,23	2,76	0,22	0,92
9,0	1,26	2,68	0,23	0,96
10,0	1,30	2,60	0,24	0,99
11,0	1,34	2,52	0,25	1,03
12,0	1,39	2,44	0,26	1,07
13,0	1,43	2,36	0,28	1,11
14,0	1,48	2,28	0,29	1,16
15,0	1,53	2,21	0,30	1,21
16,0	1,59	2,13	0,32	1,26
17,0	1,65	2,05	0,34	1,32
18,0	1,72	1,97	0,36	1,38
19,0	1,79	1,89	0,38	1,45
20,0	1,87	1,81	0,40	1,52
21,0	1,95	1,73	0,43	1,60
22,0	2,04	1,65	0,45	1,69
23,0	2,14	1,57	0,49	1,80
24,0	2,26	1,50	0,52	1,91

Продовження таблиці 3.3.

Точка	Геометричні данні		Лінія стиску	Лінія розшир.
	ε	V_i	p_{ci}	p_{vi}
25,0	2,38	1,42	0,56	2,03
26,0	2,52	1,34	0,61	2,18
27,0	2,68	1,26	0,66	2,34
28,0	2,85	1,18	0,73	2,52
29,0	3,06	1,10	0,80	2,74
30,0	3,29	1,02	0,88	2,99
31,0	3,56	0,94	0,99	3,28
32,0	3,88	0,86	1,12	3,64
33,0	4,27	0,79	1,27	4,07
34,0	4,74	0,71	1,47	4,61
35,0	5,32	0,63	1,73	5,30
36,0	6,07	0,55	2,09	6,19
37,0	7,06	0,47	2,58	7,42
38,0	8,45	0,39	3,31	9,18
39,0	10,51	0,31	4,50	10,38
40,0	13,90	0,23	6,65	10,38

Отримана в такий спосіб розрахункова індикаторна діаграма робочого процесу представлена на рис. 3.5.

Розрахункову індикаторну діаграму скругляємо, так як в реальному двигуні за рахунок випередження впорскування палива робоча суміш запалюється до приходу поршня у ВМТ і підвищує тиск наприкінці процесу стиску. 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 у камеру згоряння c'' , а положення точки c орієнтовно визначається по формулі:

$$p_c = (1,15 \dots 1,25)p_{ci} = 1,187 \times 6,65 = 7,89 \text{ МПа.}$$

3.4 Аналіз результатів теплового розрахунку

Результати теплового розрахунку представлені у таблиці 3.3 та на рис. 3.5.

Таблиця 3.3 – Порівняння основних параметрів базового та модернізованого варіанту двигуна КТА38-M2 фірми Cummins

Параметр	Од. виміру	Новий	Базовий
Ефективна потужність, N_e	кВт	825,50	824,50
Кут тривалості подачі палива, $\varphi_{вп}$	°ПКВ	15,000	25,000
Максимальний тиск стиску, p_c	МПа	6,65	6,65
Температура наприкінці стиску, T_c	°С	637,25	637,25
Максимальний тиск згоряння, p_z	МПа	10,38	9,85
Максимальна температура циклу, t_z	°С	1779,4	1768,7
Температура залишкових газів, t_e	°С	490,25	492,15
Середній індикаторний тиск, p_i	МПа	1,676	1,663
Середній ефективний тиск, p_e	МПа	1,457	1,444
Питома ефективна витрата палива, g_e	г/(кВт×год.)	191,29	193,0

За результатами розрахунків можна зробити ряд висновків:

- при модернізації трохи збільшився максимальний тиск циклу з 9,85 до 10,38 МПа, тобто на 5 %;
- максимальна температура циклу декілька зросла з 1768,7 °С, до 1779,4 °С, але це зростання не виходить за межі похибки розрахунків.

Найбільш істотним є те, що вдалося знизити на 0,88 %, витрату паливі на режимі 85% навантаження з 193,0 до 191,29 г/(кВт×год.).

Всі перераховані факти вказують на зростання ефективності робочого процесу, що позначається на його екологічних показниках, в першу чергу за рахунок покращення повноти згоряння палива та зменшення його споживання. Зростання параметрів циклу не виходять за межі допустимих значень при роботі двигуна на повній потужності, що не призведе до скорочення його загального ресурсу.

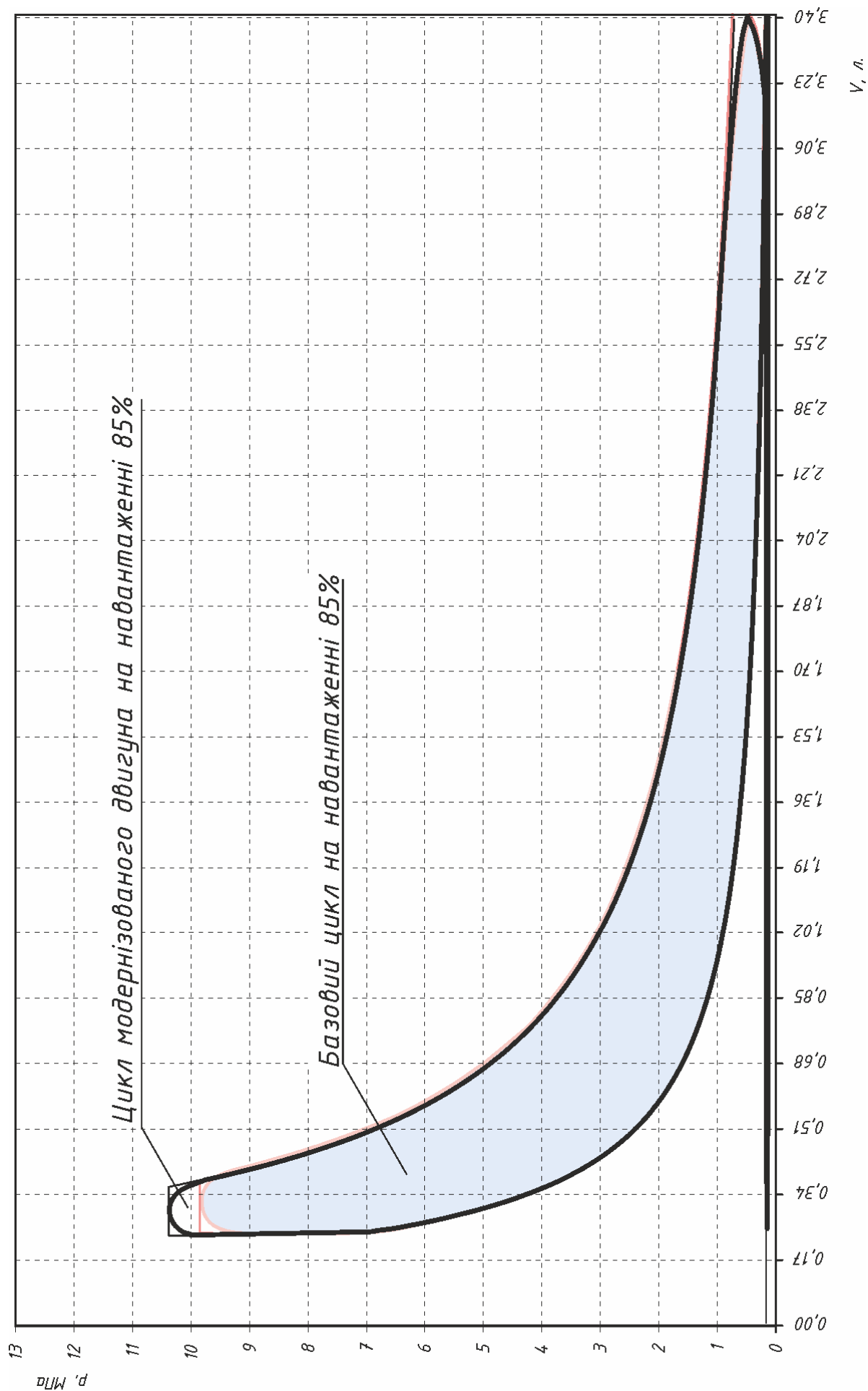


Рисунок 3.5 — Індикаторна діаграма робочого процесу при 85% навантаженні в pV -координатах

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці

Охорона праці – це система законодавчих актів і відповідних їм соціально-економічних, технічних і організаційних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Основні положення охорони праці записані та викладені в основах законодавства про працю, в кодексах законів про працю; у загальних і спеціальних правилах по техніці безпеки та виробничої санітарії.

Закон України «Про охорону праці», визначає основні положення по реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності. Закон регулює відповідні органи, відношення між керівниками підприємства, організації уповноважених органів та робітників із питань безпеки та гігієни праці, середовища виробництва, встановлює єдиний порядок з охорони праці на Україні.

У міжнародному масштабі розробкою таких стандартів займається Міжнародна Морська Організація (ІМО), а також морські адміністрації держав.

4.1.1 Нормативно-правова та законодавча база охорони праці

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

Конвенція передбачає, що договірні уряди зобов'язуються виконувати положення конвенції й додатка до неї, а також видавати закони, декрети, накази й правила та приймати всі інші заходи, для повного виконання

положень Конвенції.

При перевірці та огляду відповідним суднам видаються: Свідоцтво про безпеку пасажирського судна; Свідоцтво про безпеку вантажного судна по конструкції; Свідоцтво про безпеку вантажного судна по устаткуванню та постачанню; Свідоцтво про безпеку вантажного судна по радіоустаткуванню.

Міжнародний кодекс по управлінню безпеки на судні (МКУБ) за головну мету ставить забезпечення міжнародного стандарту по управлінню безпечною експлуатацією суден та запобіганню забрудненням.

Включений у СОЛАС-74 в 1994 р. МКУБ є застережливим документом, направленим на те, щоб відхилення від стандартів, які можуть так чи інакше вплинути на безпеку на морі, були заздалегідь виявлені й виконані дії, застерігаючи їхній розвиток. Відповідно до Кодексу, кожна компанія повинна розробляти, запроваджувати в життя та підтримувати системи управління безпекою (СУБ).

У МКУБ наказують компанії забезпечити належну кваліфікацію капітана, комплектування судна кваліфікованими моряками – такими, що мають відповідні сертифікати, і придатні, в медичному відношенні, відповідно до національних та міжнародних вимог.

Його вимоги стали поширюватися на танкери, газовози, хімовози, навалювальні судна, валовою місткістю більше 500 реєстрових тон, і на всі пасажирські й швидкісні судна незалежно від розміру.

Цей Кодекс вимагає від судноплавних компаній розвитку, поліпшення й підтримки системи безпечного керування в суворій відповідності з певними нормами. Відповідальність компаній перед вимогами МКУБ є обов'язковою.

МКУБ складається з двох частин:

- Частина А – "Впровадження";
- Частина В – "Огляд і перевірка".

Обидві частини містять у собі 16 розділів.

МКУБ – це закон, що захищає море й навколишнє середовище, а також чітко визначальну роботу Компанії.

Два головних документа, що регламентують роботу судна є:

1. Документ про відповідність (ДОВ) означає документ, виданий Компанії, що відповідає вимогам даного Кодексу.

2. Свідчення про управління безпекою (СВУБ) означає документ, виданий судну й свідчить про те, що Компанія та її керуючий персонал на судні діють відповідно до схваленої системи управління безпекою (СУБ). Об'єктивний доказ означає кількісну, або якісну інформацію, або реєстрацію фактів, що ставляться до безпеки; або наявності, або виконання якого-небудь елемента СУБ, засновані на спостереженні і вимірі; або випробуванні та ті, які можуть бути перевірені. Також до цього списку можна додати ті інструкції, що розробляються спеціально роботодавцем.

4.1.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів на судах

Машинне відділення судна, в зв'язку з наявністю в ньому різного устаткування та механізмів, є об'єкт підвищеної небезпеки зі значною кількістю небезпечних та шкідливих факторів. До числа цих факторів відносяться:

Небезпечні:

- машини, що рухаються, механізми, частини обладнання;
- електричний струм;
- термічні;
- вибухи;
- комбіновані.

Шкідливі:

- підвищений рівень вібрації;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- підвищена запиленість і загазованість;
- підвищена чи знижена температура повітря робочої зони;
- освітленість;
- підвищений рівень шуму.

Розглянемо найбільш суттєві фактори, здатні створити труднощі у виробничій діяльності та заходи щодо їх зниження чи усунення.

4.1.3 Заходи із забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці на суднах

Частини машин, що рухаються й обертаються. Практично на кожному судні є в наявності допоміжні механізми, які становлять небезпеку при їх використанні. У першу чергу – це засоби механізації, а також техніка, яка може використовуватися при проведенні робіт на судні.

Небезпека цього фактора полягає в травматизмі вахтового персоналу, в зв'язку зі здійсненням різних рухів машин, обладнання, що знаходиться в приміщенні судна. У проекті судна передбачаються наступні засоби безпеки: установка огорожень, установка запобіжних захисних засобів, призначених для автоматичного відключення агрегатів і машин; блокувальні пристрої, що виключають можливість проникнення людини в небезпечну зону; пристрої, що сигналізують та дають інформацію про роботу обладнання, а також про небезпечні і шкідливі фактори, що при цьому виникають; системи дистанційного керування, яким притаманне здійснення контролю і регулювання роботи обладнання здійснюється з ділянок, віддалених від небезпечної зони.

Дане судно є універсальним, тому виконання вантажних робіт на ньому вимагає додаткової уваги при дотриманні техніки безпеки. Перевантаження може здійснюватися засобами портів чи суден за допомогою комбінованих засобів. Наприклад, порт виділяє робочу силу, а засоби механізації (лебідки, крани) надає судно. Іноді вантажні операції здійснює тільки екіпаж судна. Тому на членів екіпажів суден, пришвартованих до причалів портів, судноремонтних заводів, що перебувають у докових цехах, накладаються додаткові вимоги.

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань. Для захисту від впливу електромагнітних полів, створених антенами, генераторами,

розподільними щитами, застосовують різні екрани, що відбивають чи поглинають електромагнітні випромінювання; використання засобів індивідуального захисту – комбінезони і халати з металізованої тканини. Нормованими параметрами в діапазоні частот 60 кГц...300 МГц є напруженості E та F електромагнітного поля, які не повинні перевищувати значень, зазначених у табл. 4.1.

Підвищений рівень вібрації та шуму. Систематичний вплив вібрацій у машинно-котельному відділенні (ГД, ДГ, валопроводу і т.д.) може бути причиною вібраційної хвороби. Відповідно до ДСТ 12,1,012-78 норми по обмеженню загальних вібрацій (підлоги, сидінь і т.п.), встановлюють величину логарифмічного рівня коливальної швидкості в основних діапазонах із середніми геометричними значеннями: 2, 4, 8, 16, 32 Гц, а норма за обмеженням локальної вібрації в октавних смугах частот із середніми геометричними значеннями: 16, 32, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц (гігієнічні норми встановлені для тривалості робочої зміни 8 годин.). Власні частоти більшості внутрішніх органів людини 6...9 Гц, голови 25...30 Гц.

Джерелом шуму на судні є головний двигун, дизель-генератори, допоміжні механізми, вентилятори та т.д. Для зниження шуму застосовують кожухи, глушники, звукоізоляцію, пружні ущільнювачі. Обслуговуючий персонал МКВ забезпечується засобами індивідуального захисту. Для зниження вібрації машини встановлюють амортизатори, застосовують звукопоглинаючі матеріали. Обслуговуючий персонал забезпечується ковдрами, антивібраційними рукавицями. Джерелами теплових випромінювань є нагріті поверхні машин, механізмів, устаткування, трубопроводів, радіостанції. Інтенсивність теплового випромінювання, що допускається – 350...500 Вт/м. Навколо працюючих механізмів у МКВ виникають шкідливі теплові, електромагнітні та інші випромінювання. Джерелами шкідливих випромінювань є: нагріті поверхні машин та трубопроводів, радіостанції, радіолокаційної станції. Для захисту персоналу застосовують герметизацію та теплоізоляцію механізмів, машин,

паропроводів та газоходів.

Рівні шуму в МВ сучасних судів знаходяться в межах 105...117 дБ. Існують тимчасові та перехідні норми, згідно яких для захисту від дії шуму варто обмежувати час перебування в зонах дії шуму і застосовувати індивідуальні засоби захисту. Вушні вкладиші послабляють рівень шуму на 20дБ, навушники – на 30 дБ, спільне застосування – на 35дБ .

Кодексом передбачається обов'язкове застосування попереджувальних написів перед входами до приміщень, для яких рівень шуму перевищує 85 дБ, трапа – 20 лк.

Таблиця 4.1 – Нормативні параметри частот в діапазоні 60 кГц...300 МГц

По електричній складовій				
<i>F</i> , МГц	0,06...3	3,0...30	30...50	50...300
<i>E</i> , V/м	50	20	10	5
По магнітній складовій				
<i>F</i> , МГц	0,06...1,5		30...50	
<i>E</i> , V/м	5		0,3	

Психофізіологічні шкідливі виробничі фактори

Несення ваhti, прийняття рішень, виконання службових обов'язків моряками потребує не лише фізичної сили чи витривалості, а також накладає велике навантаження та потребує виконання статичної роботи.

Стомлення може призвести не лише до помилок при виконанні робіт, так званого «людського фактору», що іноді обертається трагедією, але й стати причиною виробничих травм. Висока увага може призвести до напруження м'язів шиї; необхідність знаходитися в одному й тому самому положенні дає навантаження на спину та ноги людини, що ще більше ускладнюється виконанням робіт у погану погоду, в нічний час та при тумані, чи при виконанні робіт стоячи. Для запобігання ускладнення здоров'я та скоєння помилок, передбачено нормований відпочинок та перерви, які дозволяють переключити увагу й поліпшити самопочуття людини.

Підвищена вологість та загазованість приміщень. Підвищена запиленість і загазованість є одним з основних забруднень, що можуть бути присутні під час вахти та при виконанні робіт на судні – миючі засоби, фарбувальні роботи, деякі види вантажу, що можуть стати джерелом шкідливих газів. Усі ці фактори стають шкідливими чи небезпечними при високій концентрації, ніж гранично допустима (ГДК) та негативно діють на організм людини. Для кожного з них встановлено свій клас небезпеки.

Агрегатні стани шкідливих речовин: аерозолі та пари, або гази.

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

Аналогічно повинні притримуватися оптимальних значень вологості в приміщеннях. Висока вологість може нанести шкоду вантажу на судні, стати причиною відмов суднового електрообладнання.

Для забезпечення оптимальних умов для рівня вологості застосовують загальну суднову вентиляцію та постійний контроль (гігрометр).

При великій сухості повітря, можна використовувати систему кондиціонування повітря чи за допомогою механічних засобів підвищити відносну вологість повітря до необхідного рівня.

Підвищена запиленість і загазованість. З основних забруднень, що можуть бути присутні у МВ – вуглеводні, сірчані та сірчисті ангідриди. Вони у концентрації вище, а також ПДК діють на організм людини (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Характеристика основних забруднень МВ

Речовина	Величина ПДК мг/м ³	Клас небезпеки	Агрегатний стан
Двоокис азоту	0,085	1	П
Сажа (кіптява)	0,15	1	А
Сірчистий ангідрид	0,5	1	П
Окис вуглецю	3	2	П
Соляна кислота	5	2	П
Окис заліза	5,5	4	А

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

Температура повітря, вологість, швидкість повітря. Підвищена температура повітря в робочому приміщенні викликає швидку стомлюваність організму, перегрів. Це призводить 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 та охолоджувачем повітря. Для гарного самопочуття людей також велике значення має температура поверхонь, обгороджуваних приміщень. Щоб уникнути їхнього відпрівання, вона повинна бути не нижче температури повітря в приміщенні, але більше ніж 6°C, а також 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 близькість відбитої від робочих поверхонь устаткування. Вони 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 менше, ніж 25 % установлених для робочого освітлення норм, а на сходінках трапа та проходах – не менш 5 лк. Норми освітленості регламентуються діючими нормами штучного освітлення на судах морського флоту. У МВ загальне освітлення на палубі згідно цих норм повинне бути не менш 20 лк, на шкалах приладів – 75 лк, на сходінках.

Запобігання пожежі на судні. Головною метою боротьби з пожежею є – швидке взяття її під контроль та гасіння, яке можливе лише в тому випадку, коли вогнегасний засіб доставлений до пожежі швидко й у достатній кількості. Це можливо забезпечити за допомогою стаціонарних систем пожежогасіння.

На суднах встановлюють дев'ять основних систем пожежогасіння: водопожежна; спринклерна; водорозпилююча; водяних завіс; водяного зрошення; піногасіння; вуглекислотна; система інертних газів; порошкова.

У перших п'яти випадках, використовуються рідкі вогнегасні речовини, в наступних трьох використовуються газоподібні речовини, а в останній – тверді.

Вуглекислий газ – широко розповсюджений засіб пожежогасіння на суднах. Ліквідація пожеж у суднових приміщеннях вуглекислим газом здійснюється методом об'ємного гасіння. Для підвищення ефективності гасіння необхідна герметизація приміщенні, в 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 суднах 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 од. у вертикальному положенні кришками нагору. Вони повинні бути надійно закріплені в місцях, розташованих на відстані від житлових і службових приміщень, тому що вуглекислота ставиться до задушливих газів і при високій концентрації повітря (22 % і вище) небезпечна для життя [15].

При виході з балонів і раптовому розширенні вуглекислота випаровується, перетворюючись в 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 обгортаючи палаючі речовини й предмети, витісняє

повітря й знижує в такий спосіб вміст кисню в зоні горіння. У зв'язку із цим горіння припиняється. Ефективність пожежогасіння досягається при досить

Системи водо- і парогасіння пожеж. Вода – найбільш доступний, дешевий та універсальний вогнегасний засіб, вживаний на всіх морських судах. Володіючи високою питомою теплоємністю і теплотою паротворення, вода є найбільш ефективним засобом охолодження поверхні речовин, що горять. При гасінні водою, використовується також і ефект розбавлення реагуючих речовин. Вода, що випаровується, перетворюється в пару, сприяючи зниженню вмісту кисню в повітрі зони горіння та припиненню процесу горіння. Водяна система пожежогасіння застосовується при загорянні більшості твердих, рідких і газоподібних речовин. Гасіння твердих горючих матеріалів і конструкцій, як правило, виробляється потужними компактними струменями води. У таких випадках вода, що подається під великим тиском до вогнища пожежі, надає не лише дію, що охолоджує і розбавляє, але і механічну, збиваючи полум'я та розкидаючи в сторони частини предметів, що горять. Проникаючи через незначну нещільність конструкцій, вода охолоджує їх і обмежує подальше поширення вогню. На завершальній стадії гасіння твердих горючих матеріалів, воду подають дрібнорозпиленими струменями для збільшення об'єму отримуваної з неї пари. Для гасіння легкозаймистих і горючих рідин, воду можна застосовувати лише в дрібнорозпиленому стані різної дисперсності. Краплі води, потрапляючи в ділянку високих температур, майже повністю випаровуються. Пара, що утворюється, витісняючи повітря з приміщення, що горить, знижує концентрацію вибухонебезпечних газів. При гасінні нафтопродуктів необхідно враховувати ту обставину, що їх щільність менша, ніж у води. У цьому випадку не можна допускати великого скупчення води в приміщенні, що горить. Спливаючи на її поверхню, речовини, що горять, можуть разом із водою розтікатися по інших приміщеннях. Вода таким чином сприятиме поширенню пожежі. Якщо горять бензин, бензол, толуол - їх гасять туманоподібно розпорошеною водою. При гасінні пожеж

дизельного палива, змащувальних масел та інших займистих рідин, не вимагається така висока дисперсність води. Розпорошені струмені можуть мати краплі крупнішого розміру. Проте поряд із важливими позитивними якостями вода має і серйозні недоліки, які необхідно враховувати при її вживанні. Для гасіння пожеж на суднах, використовують зазвичай морську (рідше прісну) воду, що містить різні солі, через що вода має високу електричну провідність. У зв'язку з цим забороняється застосовувати воду для гасіння електроустаткування, що горить, знаходиться під напругою, через небезпеку коротких замикань та можливих вражень людей електричним струмом. Якщо з якої-небудь причини неможливо використовувати інші вогнегасні засоби, то до початку гасіння пожежі водою необхідно знеструмити електроустановки, що горять, та електромережі. Небезпечно застосовувати воду для гасіння речовин, що горять, вступаючи із нею в реакцію з виділенням при цьому горючих газів. Так, наприклад, при взаємодії води з калієм, кальцієм, натрієм виділяється водень, який створює в з'єднанні з киснем повітря вибухонебезпечну суміш. При взаємодії води з такими речовинами, як селітра, сірчистий ангідрид, перекис натрію, можливий вибухонебезпечний викид, а також посилення горіння. Гримуча ртуть та нітрогліцерин вибухають від удару струменя води. Вибухають при взаємодії з водою і такі речовини, як карбіди лужних металів, три етил алюміній і так далі. Слід також відзначити погану змочуючу здатність води, що призводить до надмірного її витрачання при гасінні таких речовин, як бавовна, джут, шерсть, деревина, вугілля та ін. Зайве скупчення води в судових відсіках може викликати небезпечний крен судна і втрату його остійності. Для поліпшення вогнегасних властивостей води, вона може піддаватися спеціальній хімічній обробці. При цьому вдається значно збільшити змочуючу здатність води або зменшити її в'язкість для зниження втрат на тертя в трубопроводах та збільшення в зв'язку із цим дальності польоту струменя.

4.2 Охорона навколишнього середовища

4.2.1 Нормативно-правова та законодавча база охорони навколишнього, морського середовища

Існуючі організаційно-правові документи по забезпеченню екологічної безпеки при експлуатації морського транспорту підрозділяються на наступні:

- міжнародні;
- національні, для конкретних прибережних держав;
- регіональні, для обмежених морських районів;
- відомчі, що походять зі специфіки й приналежності суден.

Подібна класифікація заснована на розподілі юрисдикції над водами Світового океану, прийнятої в міжнароднім морським праві, згідно з Конвенцією ООН по морському праву (1982 р.). Нормативними документами, які регламентують скидання шкідливих речовин у територіальних та внутрішніх водах України є:

- Водний Кодекс України, 1995 р.;
- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», 1997р.;
- Правила охорони внутрішніх морських вод та територіального моря від забруднення та засмічення, 1996 р.

Міжнародна конвенція по запобіганню забруднення із суден 1973 р., змінена Протоколом 1978 р., МАРПОЛ-73/78 (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL-73/78)) – установлює розгорнуту систему міжнародних правил та стандартів по скороченню й запобіганню забруднення морського середовища, як нафтою й нафтопродуктами, так й іншими шкідливими речовинами, які перевозяться на судах або утворюються в процесі їх експлуатації:

Додаток І. Правила запобігання забруднення нафтою (Введене в дію з 02.10.83 р.)

Додаток ІІ. Правила запобігання забруднення шкідливими рідкими

речовинами, перевезеними наливом (Введене в дію з 02.10.83 р.)

Додаток III. Правила запобігання забруднення шкідливими речовинами, перевезеними морем в упаковці (Введене в дію з 28.02.94 р.)

Додаток IV. Правила запобігання забруднення стічними водами із суден (Введене в дію з 27.09.03 р. стосовно нових суден, а до всіх суден з 27.09.09 р.)

Додаток V. Правила запобігання забруднення сміттям із суден (Введене в дію 31.12.88 р.)

Додаток VI. Правила запобігання забруднення атмосфери із суден (Уведене в дію з 19.05.05 р.)

За результатами наглядової діяльності, Класифікаційний орган видає суднам Міжнародні свідоцтва, передбачені МАРПОЛ – 73/78 для всіх суден:

- Міжнародне свідоцтво про запобігання забруднення нафтою (International Oil Pollution Certificate – IOPP);
 - Міжнародне свідоцтво про запобігання забруднення стічними водами (International Savage Pollution Prevention Certificate – ISPP);
 - Міжнародне свідоцтво про запобігання забруднення сміттям (International Garbage Pollution Certificate Prevention Certificate);
 - Міжнародне свідоцтво по запобіганню забруднення повітря (International Air Pollution Prevention Certificate – IAPP) для судна в цілому;
 - Міжнародне свідоцтво з запобігання забруднення повітря (Engine International Air Pollution Prevention Certificate – EIAPP) для кожного дизельного двигуна на судні
- Додаток, що підпадає під вимоги VI Конвенції МАРПОЛ-73/78.

При знаходженні судна у внутрішніх та територіальних водах іноземних держав, слід керуватися та додержуватися національного природоохоронного законодавства, про вимоги якого відмінні від звичайної практики, прийнятої у відповідності з МАРПОЛ 73/78, капітан повідомляється в портах заходу.

4.2.2 Вплив судна на навколишнє середовище

Забруднення моря із суден особливо небезпечно тому, що воно найчастіше носить залповий характер, коли на обмеженій акваторії в короткий термін розливається велика кількість забруднюючих речовин, що завдає істотної шкоди довкіллю. Охорона морського середовища від забруднення передбачає комплекс заходів.

У внутрішні морські води та територіальне море забороняється скидати із суден та плавучих засобів, платформ й інших морських споруд, повітряних суден: хімічні, радіоактивні та інші шкідливі речовини, а також радіоактивні або інші відходи, матеріали, предмети та сміття, які можуть спричинити забруднення моря. У процесі експлуатації суден утворюються відходи, які можна розділити на дві групи:

- 1) відходи, що утворюються внаслідок неповноти вивантаження суден, обробки водою палуб, трюмів і танків;
- 2) відходи, що утворюються в результаті життєдіяльності екіпажа й пасажирів (господарсько-побутові, фекальні стоки й побутове сміття), а також у результаті експлуатації суднових механізмів (підсланеві, нафтовмісні води, відпрацьовані гази СЕУ, шум, вібрація, ЕМП, тверді відходи).

Таким чином, охорона праці згідно міжнародному нормативно-правовому документу ІМО 2011 та національним нормам повинна забезпечити безпеку праці для всього екіпажу судна без виключень. При цьому потрібно створити такі умови, при яких виключена дія на працюючих небезпечних та шкідливих виробничих чинників. На всіх без виробництвах, у тому числі й на морському транспорту, є вірогідність виникнення виробничих небезпек та шкідливих викидів в атмосферу морськими суднами, а також забруднення морського середовища нафтовими речовинами.

Запропоновані заходи щодо охорони навколишнього морського середовища відповідають національним, міжнародним правовим документам, які регламентують негативний вплив судна на екологічний стан гідросфери.

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті розглянутий комплекс питань пов'язаних з підвищенням паливної економічності суднового високообертового дизеля КТА 38M2 фірми Cummins (США) шляхом модернізації його паливної системи. Даний двигун останнім часом широко застосовується в якості головного для суден невеликої водотоннажності, у складі дизель-редукторного або дизель-електричного агрегату. У проекті модернізація СДУ виконана стосовно до судна «ARAGON» дедвейтом 1625 тон.

При модернізації пропонується ряд заходів пов'язаних із заміною деяких елементів паливної системи та програмного забезпечення в системі керування на базовому двигуні, а саме зміну законів впорскування палива на режимах часткових навантажень. Для вибору оптимальних підходів до модернізації в проекті виконаний детальний аналіз тенденцій розвитку сучасних суднових високообертових двигунів, а також аналіз особливостей конструкцій вже існуючих систем з електронним керуванням.

Модернізації піддається в система керування паливоподачею двигуна.

З огляду на зміни у робочому процесі двигуна виконано тепловий розрахунок робочого процесу який показав, що запровадження нововведень дозволить збільшити максимальний тиск циклу на 5 %, майже при незмінній максимальній температурі циклу та на 0,88 % знизити витрати палива на режимі 85% навантаження.

Всі перераховані факти вказують на зростання ефективності робочого процесу, що позначається на його екологічних показниках, в першу чергу за рахунок покращення повноти згоряння палива та зменшення його споживання. Зростання параметрів циклу не виходять за межі допустимих значень при роботі двигуна на повній потужності, що не призведе до скорочення його загального ресурсу.

В окремих главах проекту розроблені рекомендації з підвищення екологічних показників СДУ з високообертовим двигуном.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. https://www.shipspotting.com/photos/2299793?navList=moreOfThisShip&im_o=00000000&lid=1833003
2. Cummins K38 and K50 Series Engine Operation and Maintenance Manual. Cummins Engine Company, Inc., Columbus, Indiana, Bulletin No. 3810497-02, Published in the USA, 1993. – 288 p.
3. Marine Products Guide. October 2011, Bulletin 3381946, Cummins Inc. Charleston, SC, U.S.A., 2011 – 100 p.
4. **Белоусов Е.В.** Топливные системы современных судовых дизелей. Херсон, ХГМА, 2014. – 260 с.
5. **Bilousov I.** Modern Marine Internal Combustion Engines. A Technical and Historical Overview. Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping. 2020. – 285 p. ISBN 978-3-030-49748-4 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49749-1>
6. **Bilousov I.V.** Internal combustion engines of modern marine vessels. Textbook for higher maritime educational institutions / I.V. Bilousov, M.P. Bulgakov – Astroprint, Odesa, 2024 – 512 p. ISBN 978-617-7797-54-7
7. **Latache M.** Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Elsevier Ltd. – 2021. – 957 p.
8. **Woodyard D.** Marine diesel engines and gas turbines. Ninth Edition, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, MA 01803, 2009. – 896 p.
9. **Наливайко В.С.** Суднові двигуни внутрішнього згорання: Підручник / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський, С.Г. Ткаченко. — Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. – 332 с.
10. **Білоусов Є.В.** Навчальний посібник до курсу «Суднові двигуни внутрішнього згорання та їх експлуатація» (виконання розрахунково-графічної роботи) Навчальний посібник / Є.В. Білоусов, Р.А. Варбанець, В.П.Савчук // Херсон – ХДМА, Одеса – ОНМУ, 2021 – 215 с.
11. **Heywood J.B.** Internal Combustion Engine Fundamentals. Second Edition.

McGraw-Hill Education. New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico, City Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto. – 2018. – 1721 p.

12.**Климчук В.П.** Підвищення екологічності суднових енергетичних установок за рахунок використання альтернативного палива. / А.Ю. Лисих, С.М. Доценко, В.П. Климчук, Є.С. Цибулько, Б.В. Філіпішин // Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми» 5-7 листопада 2025 року, Миколаїв, НУК. 2025.

13.**Brawn D.T.** A History of the Sulzer low-speed marine diesel engine. Sulzer Brothers Ltd., 8401 Winterthur (Switzerk Design: W. Guntensperger, SPW, 8802 Kilchberg (Switzerland)

14.**Kuiken K.** Diesel Engines I for ship propulsion and power plants from 0 to 100,000 kW. Groningen, Netherlands: Target Global Energy Training. 2008. – 509 p.

15.**Іванов Б.М.** Основи охорони праці на морському транспорті. / Б.М. Іванов, М.О. Колегасв, Ю.І. Касилов, О.І. Іванов // КОМПАС, Одеса, 2003 – 416 с.

ДОДАТКИ