

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра двигунів
внутрішнього згоряння,
установок та технічної
експлуатації

«Допущений до захисту»
завідувач кафедри
Олексій ГОГОРЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОГО ДВИГУНА
ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОКЕРОВАНИХ ФОРСУНОК

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Борис ТИМОШЕВСЬКИЙ

Здобувач освіти



Дмитро ФЕДЮК

Миколаїв 2025

Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ

« » 20__ року

Федюк Дмитро Алімович

1. Тема роботи Модернізація паливної системи суднового двигуна шляхом використання електрокерованих форсунок

затверджені наказом закладу вищої освіти від “___” _____ 20__ року №___

4. Вихідні дані до роботи Потужність дизельного двигуна – 1040 кВт; частота обертання колінчатого валу – 900 хв⁻¹.

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальна конструкція та особливості роботи двигуна. 2. Розрахунок робочого циклу та динаміки для номінального режиму роботи. 3. Модернізація паливної системи двигуна шляхом використання електрокерованих форсунок. 4. Економічне обґрунтування прийнятих рішень. 5. Аналіз та розробка заходів охорони праці та навколишнього середовища.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Загальне креслення буксиру. 2. Габаритне креслення двигуна 6ЧН 20/30. 3. Двигун 6ЧН 20/30. 4. Паливна система двигуна 6ЧН 20/30. 5. Електрокерівана форсунка.

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	Тимошевський Б.Г.		
Розділ хорони праці	Тимошевський Б.Г.		

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Загальна конструкція та особливості роботи двигуна.		
2.	Розрахунок робочого циклу та динаміки для номінального режиму роботи.		
3.	Модернізація паливної системи двигуна шляхом використання електрокерованих форсунок.		
4.	Економічне обґрунтування прийнятих рішень.		
5.	Аналіз та розробка заходів охорони праці та навколишнього середовища.		

Здобувач освіти



 Дмитро ФЕДЮК
 (прізвище та ініціали)

Керівник роботи



 Борис ТИМОШЕВСЬКИЙ
 (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему: «*Модернізація паливної системи суднового двигуна шляхом використання електрокерованих форсунок*» присвячена підвищенню паливної ефективності шляхом модернізації паливної системи суднового середньообертового двигуна.

Розглянуто основні технічні параметри та особливості конструкції суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30), а також виконано розрахунок робочого циклу та динаміки.

Розглянуто сучасні тенденції у напрямку розвитку систем паливоподачі дизельних двигунів, а також проаналізовано критерії якості розпилювання палива в камері згоряння дизелів. Розроблено конструкцію електрокерованої паливної форсунки суднового двигуна, а також виконано розрахунок та аналіз ефективності застосування розробленої електрокерованої форсунки.

Виконано техніко-економічне обґрунтування проведення модернізації та застосування розробленої електрокерованої форсунки на двигуні Daihatsu 6DK20.

Розроблено основні вимоги з охорони праці при здійсненні демонтажу старої паливної системи та встановленні нової, регулюванні її та випробуванні. Проведено аналіз шкідливої дії вібрації та шуму на навколишнє середовище і організм людей.

Кваліфікаційна магістерська робота написана українською мовою та налічує 66 аркушів розрахунково-пояснювальної записки і п'яти креслень формату А1.

Ключові слова: судновий дизельний двигун; робочий цикл; паливна система; процес паливоподачі; електрокерована форсунка; тривалість упорскування; випередження впорскування.

					КРМ.142.6221мз.25.13.00.ПЗ	Лист
						4
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACTS

The thesis on “*Modernization of the fuel system of a marine engine through the use of electrically controlled injectors*” is devoted to improving fuel efficiency by modernizing the fuel system of a medium-speed marine engine.

The main technical parameters and design features of the Daihatsu 6DK20 (6CHN 20/30) marine engine are considered, and the working cycle and dynamics are calculated.

Modern trends in the development of fuel supply systems for diesel engines are considered, and the criteria for the quality of fuel atomization in the combustion chamber of diesel engines are analyzed. The design of an electrically controlled fuel injector for a marine engine has been developed, and the efficiency of the developed electrically controlled injector has been calculated and analyzed.

A technical and economic justification for the modernization and application of the developed electrically controlled injector on the Daihatsu 6DK20 engine has been carried out.

The basic occupational safety requirements for dismantling the old fuel system and installing a new one, adjusting it, and testing it have been developed. An analysis of the harmful effects of vibration and noise on the environment and human health has been carried out.

The master's thesis is written in Ukrainian and consists of 66 pages of calculations and explanatory notes and five A1 format drawings.

Key words: marine diesel engine; operating cycle; fuel system; fuel supply process; electrically controlled injector; injection duration; injection advance.

					KPM.142.6221мз.25.13.00.ПЗ	Лист
						5
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
Розділ 1. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА DAIHATSU 6DK20 (6ЧН 20/30)	
1.1. Конструктивні особливості та технічні характеристики суднового дизеля DAIHATSU 6DK20 (6ЧН 20/30)	9
1.2. Висновок до розділу.....	21
Розділ 2. РОЗРАХУНОК НОМІНАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ СУДНОВОГО ДВИГУНА DAIHATSU 6DK20 (6ЧН 20/30)	
2.1. Термодинамічні цикл теплових двигунів.....	22
2.2. Розрахунок номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30).....	23
2.3. Розрахунок динаміки номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30).....	28
2.4. Висновок до розділу.....	34
Розділ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОГО ДВИГУНА	
3.1. Сучасних тенденцій у напрямку розвитку систем паливоподачі дизелів.....	35
3.2. Критерії якості розпилювання палива в камері згоряння дизеля.....	36
3.3. Розробка конструкції електрокерованої форсунки суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30).....	39
3.4. Розрахунок та аналіз ефективності застосування розробленої електро-керованої форсунки суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30)...	45
3.5. Висновок до розділу.....	52
Розділ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗДІЙСНЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОГО ДВИГУНА DAIHATSU 6DK-20 (6ЧН 20/30)	
4.1. Техніко-економічне обґрунтування здійснення модернізації паливної	

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.00.ПЗ</i>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

системи суднового двигуна DAIHATSU 6DK-20 (6ЧН 20/30).....	53
4.2. Висновок до розділу.....	56
Розділ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ	
ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
5.1. Розробка вимоги з охорони праці	57
5.2. Аналіз негативної дії вібрації та шуму на навколишнє середовище та організм людини.....	60
5.3. Висновки до розділу.....	63
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	65

Додаток А. Загальне креслення буксиру

Додаток Б. Габаритне креслення двигуна 6ЧН 20/30

Додаток В. Двигун 6ЧН 20/30

Додаток Г. Паливна система двигуна 6ЧН 20/30

Додаток Д. Електрокерована форсунка.

ВСТУП

Основним елементом у енергетичних установках усіх видів транспорту (морському, річковому, залізничному, автомобільному та повітряному) є теплові двигуни різних типів.

З усіх теплових двигунів на транспорті (особливо морському та річковому) найбільшого поширення набули поршневі двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) особливо дизельні. На їх частку припадає до 90 % від сумарної потужності усіх теплових двигунів. У цих умовах навіть відносно невелике підвищення ефективності теплових двигунів сприятиме істотній економії палива.

Паливна економічність, потужність, ресурс роботи та надійність при експлуатації ДВЗ значно залежить від якості роботи паливної системи двигуна. Саме тому паливна апаратура відноситься до переліку досить відповідальних і важливих складових елементів ДВЗ.

Від точності налаштування і злагодженості роботи паливної апаратури ДВЗ наряду залежить ефективність енергоперетворення у двигуні. Якість роботи паливної апаратури в процесі експлуатації визначається стабільністю конструктивно-регулювальних параметрів паливної апаратури та параметрів подачі палива. Істотне погіршення потужності, економічних та екологічних показників дизелів пояснюється, в першу чергу, зміною технічного стану елементів паливоподаючих систем і в меншій мірі залежить від зносу двигуна. Саме тому забезпечення надійної та ефективної роботи паливної апаратури дизеля є актуальною задачею.

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.00.ПЗ</i>	Лист
						8
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ОПИС КОНСТРУКЦІЇ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА
DAIHATSU 6DK20 (6ЧН 20/30)

1.1. Конструктивні особливості та технічні характеристики суднового дизеля DAIHATSU 6DK20 (6ЧН 20/30)

Назва двигунобудівної компанії Daihatsu Motor Co., Ltd з'явилася ще у 1951 році, однак сама двигунобудівна компанія, що відома під цим ім'ям, була фактично заснована у Японії, в місті Осака, у 1907 році. Спочатку двигунобудівна фірма називалася – Hatsudoki Manufacturing Co., LTD та здебільшого займалася розробкою та виготовленням атмосферних газових двигунів. По ходу розвитку асортимент продукції двигунобудівної компанії збільшувався.

Після здійснення ребрендингу компанії та зміни її назви у 1951 році вона продовжила свій досить стрімкий розвиток. Через певний час у наслідок розширення свого бізнесу було відокремлена компанія під назвою Daihatsu Diesel MFG. Co., LTD. Спеціалізацією цієї двигунобудівної компанії стало виробництво досить потужних, надійних, економічних та екологічних двигунів внутрішнього згоряння. Одночасно з цим двигунобудівна компанія почала виробництво будівельної техніки і різного обладнання для транспорту. Двигунобудівна компанія Daihatsu Diesel від самого початку взяла досить високий старт. Так початковий капітал на ті часи складав близько одного млрд єн, а в штаті підприємства працювало до 930 осіб. Так на підприємстві відразу було закладено максимально високі стандарти якості продукції.

С того часу двигунобудівна компанія систематично виводить на світовий ринок свої інноваційні інженерні розробки, а також пропонуючи нові більш потужніші й економічні двигуни. Дизеля Daihatsu Diesel отримали своє світове визнання саме тому їх можна зустріти на судах різних країн, що ходять усіма океанами та морями.

Дизеля фірми DAIHATSU серії DK20 створювалися виходячи з накопиченого багаторічного позитивного досвіду експлуатації дизельних двигунів більш ран-

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.01.ПЗ</i>	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ніх серій (рис. 1.1). Головною задачею при створенні дизеля цієї серії було перш за все спрощення його експлуатації та легкість здійснення технічного обслуговування, досягнення максимально можливої паливної економічності, екологічності, а також забезпечення можливості застосування низькоякісних важких сортів суднових палив. Двигунобудівна компанія DAIHATSU запевнює, що ресурс дизеля між його ремонтами становить близько 20...25 тисяч год. напрацювання. Для дизельних двигунів такого класу як DK20 ці значення міжремонтних проміжків є досить значним. Дизеля DAIHATSU серії DK20 також мають відносно низький рівень вібрації та шуму, а також емісії шкідливих викидів з відпрацьованими газами, що на сьогодні є досить вагомим показником.

Дизель типу 6ЧН 20/30 (6DK20) призначений для застосування на судах у якості головного та допоміжного (рис. 1.2).



Рисунок 1.1 – Дизельний двигун Daihatsu серії DK20 у складі з генератором

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.25.13.01.ПЗ

Аркуш

10

В конструкції суднового двигуна типу 6ЧН 20/30 (6DK20) виробником було закладено принцип модульності. Тобто інтегрування різного роду компонентів двигуна у модулі, що значно скорочує число конструктивних складових одиниць. Такий підхід значно скорочує витрати часу на складання дизеля, його технічне обслуговування і спрощує ремонтування.

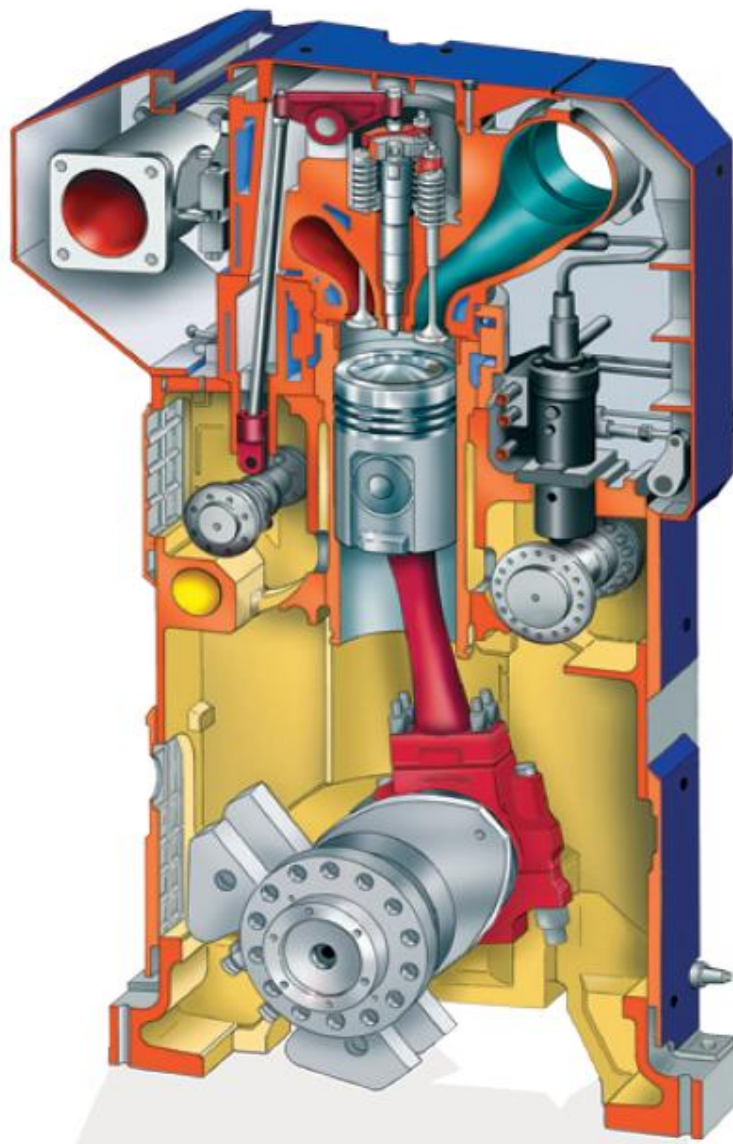


Рисунок 1.2 – Устрій суднового дизеля типу 6ЧН 20/30 (6DK20)

Новим технічним рішенням для дизелів цієї серії є застосування спеціальної литої фронтального відсіку у якому встановлюються усі необхідні допоміжні механізми та агрегати, що забезпечують функціонування двигуна. Так, наприклад, у відсіку розміщуються різні насоси, арматура, охолоджувачі, теплорегулюючі клапани та багато інших елементів систем.

Суднові дизеля DAIHATSU серії DK20 за своїм принципом організації робочого циклу є чотиритактними. За частотою обертання – середньообертові (СОД). На рис. 1.3 подано основні габаритні розміри дизель-генераторної енергетичної установки на базі СОД типу 6ЧН 20/30. Маса дизеля 6ЧН 20/30 складає 7,650 т, а загальна маса разом з генератором електричного струму – 16,0 т. Основні технічні та масо-габаритні характеристики дизель-генератора на базі СОД типу 6ЧН 20/30 подано у таблиці 1.1.

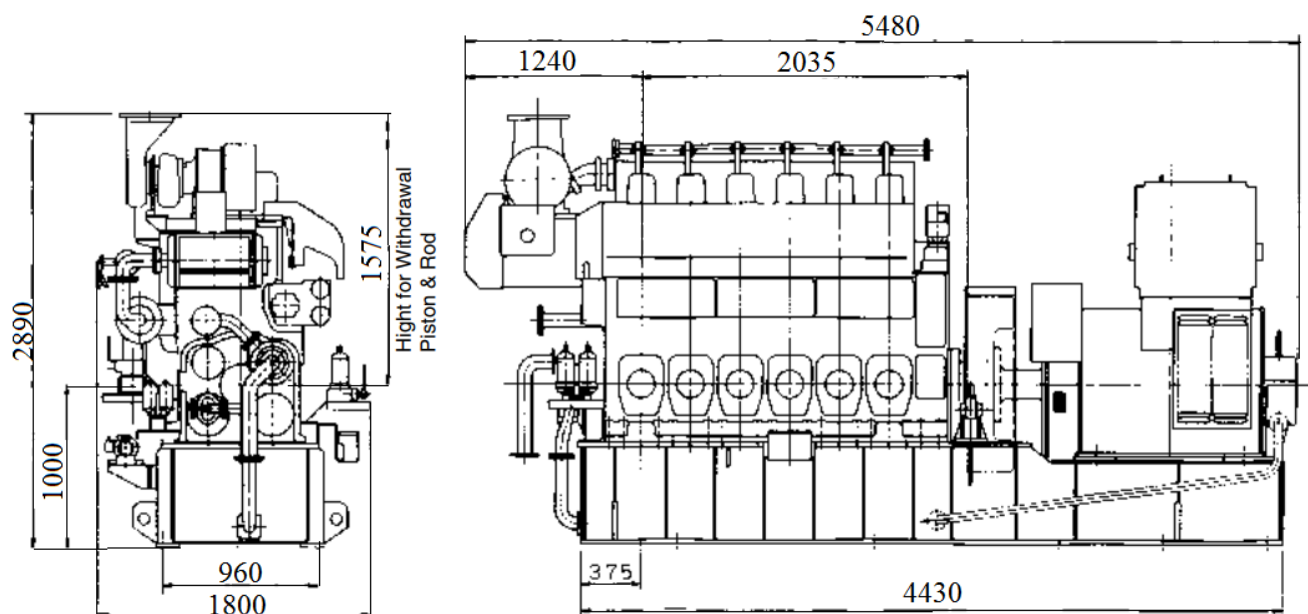


Рисунок 1.3 – Габарити дизель-генератора на базі СОД типу 6ЧН 20/30

Таблиця 1.1 – Основні технічні та масо-габаритні характеристики дизель-генератора на базі СОД типу 8ЧН 20/30

№ з.п.	Параметр	Значення
1.	Призначення дизеля	головний судновий або у складі дизель-генераторної установки
2.	Розташування циліндрів	рядне восьмициліндрове розташування
3.	Діаметр робочого циліндру (м)	0,200
4.	Хід поршня (м)	0,300
5.	Ступінь стиснення	15,0
6.	Оберти колінчастого валу (хв ⁻¹)	900
7.	Середній ефективний тиск (МПа)	2,16...2,45 (залежно від ступеня форсування)
8.	Номінальна потужність (кВт)	1040
9.	Суха вага дизеля (т)	7,65
10.	Вага разом з генератором (т)	16,0
11.	Довжина разом з генератором (мм)	4430
12.	Висота (мм)	2890
13.	Ширина (мм)	1800

Фундамент рама дизеля 6DK20 виконана цільною (єдиною). Вона також виконує функцію збирання та зберігання масла. Дизеля 6DK20 до суднового фундаменту приєднується за допомогою спеціальних еластичних антивібраторів, що забезпечує додаткове поглинання та зниження шуму й вібрації від двигуна.

Блок робочих циліндрів і картер об'єднані в єдиний литий моноблок – блок-картер (рис.1.4). Так, як сам блок-картер дизеля типу 6ЧН 20/30 відливають з чавуну його усі елементи попередньо стягують анкерними зв'язками і поперечними силовими шпильками. Тобто фактично блок-картер знаходяться в певному стиснутому стані. Завдяки чому при здійсненні передачі усіх зусиль від циліндрових кришок аж до колінчастого валу всі деталі остову дизеля 6DK20 сприймають лише тільки напруги стиснення. Це безперечно досить позитивно позначається на міцності усієї конструкції остову дизеля 6DK20. Такий підхід до остову двигуна обумовлений тим, що чавун досить добре працює при стисненні, а от при розтягуванні – навпаки має досить малу міцність.

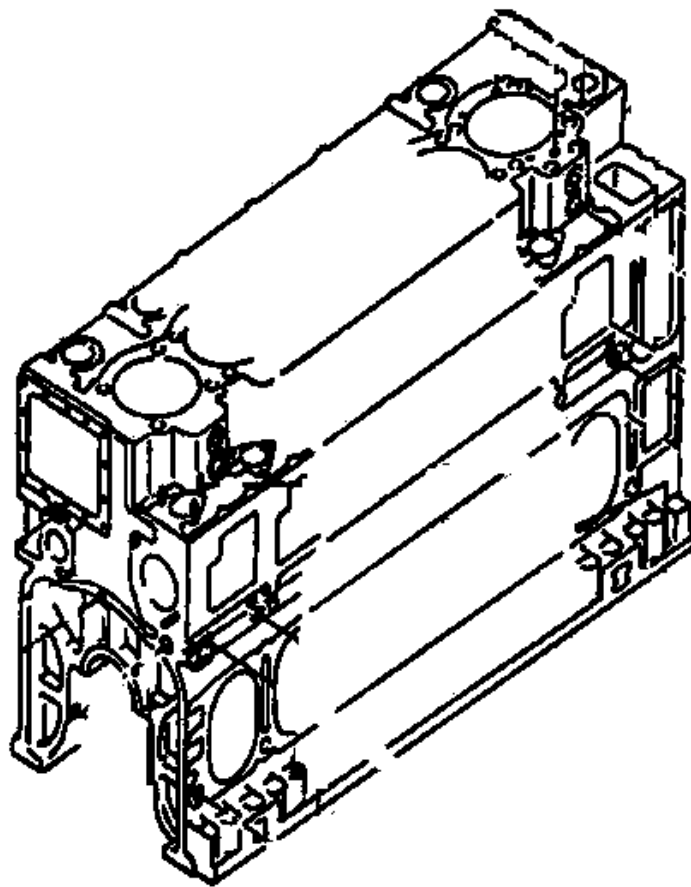


Рисунок 1.4 – Литий чавунний блок-картер СОД типу 6ЧН 20/30 (6DK20)

Корінні підшипники колінчастого валу на даній серії дизелів DK20 – підвісного типу (підвісні кришки кріпляться до блок-картеру). Колінчастий вал двигунів серії DK20 виробництва фірми DAIHATSU наведено на рис. 1.5.

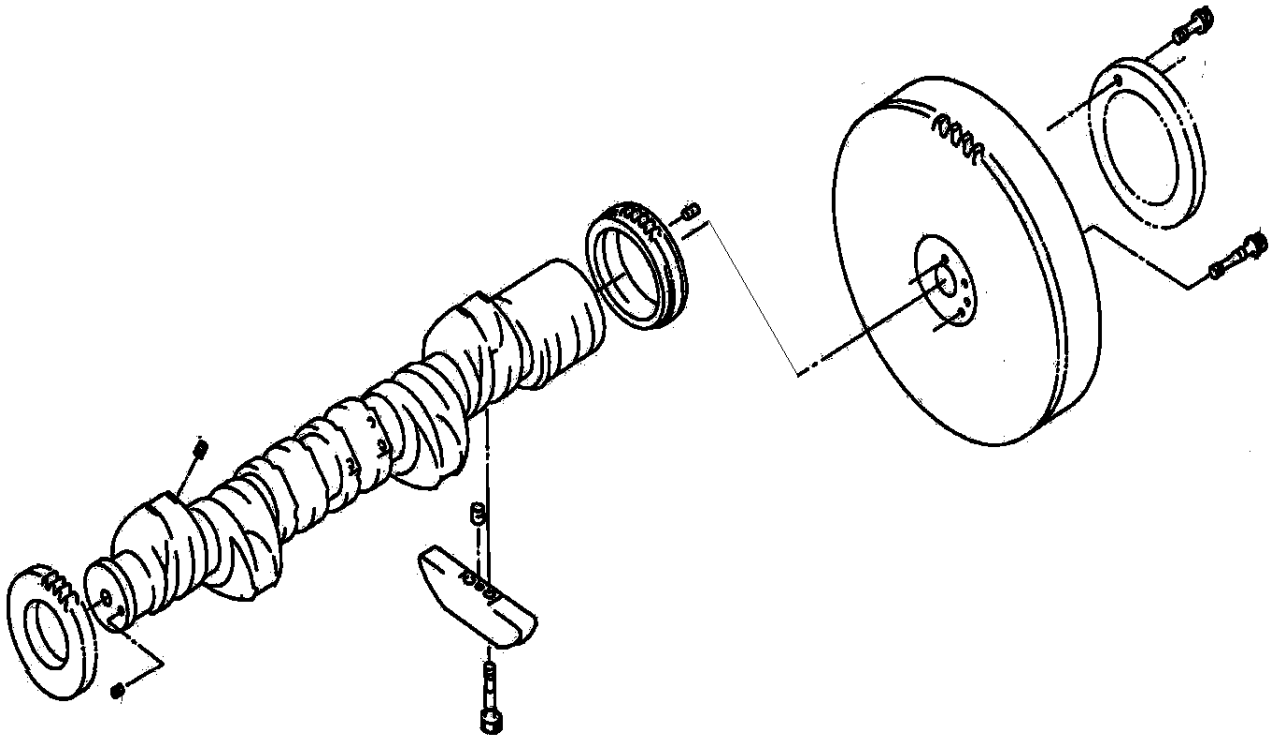


Рисунок 1.5 – Колінчастий вал та маховик двигунів серії DK20 виробництва фірми DAIHATSU

Підвісна кришка (рис. 1.6) підшипників колінвалу двигунів серії DK20 виробництва фірми DAIHATSU встановлюється вертикально у блок-картер. Кріплення здійснюється шпильками, а затягування гайок – гідравлічно. Вкладиші тришарові.



Рисунок 1.6 – Підвісна кришка корінного підшипника колінчастого валу

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.25.13.01.ПЗ

Аркуш

14

Втулка (рис. 1.7) суднового дизеля DAIHATSU типу DK20 відливається з застосуванням відцентрового лиття. Матеріал – спеціальний високоякісний та зносостійкий чавун. Втулка дизеля DK20 розміщується в блок-картері. Поверхня на яку спирається втулка своїм опорним пояском спеціально начисто обробляється. Верхня охолоджувана частина втулки знаходиться над блок-картером (див. рис. 1.2).

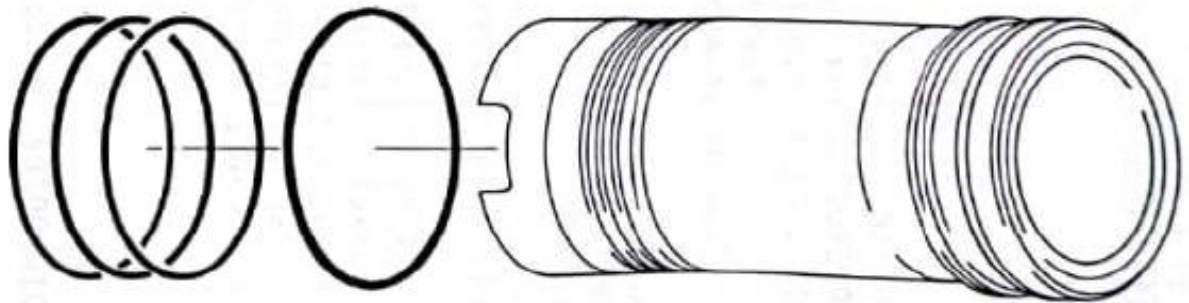


Рисунок 1.7 – Втулка та ущільнюючі резинові кільця

На нижній частині втулки суднового дизеля DAIHATSU типу DK20 ставлять ущільнюючі резинові кільця. Ці кільця відокремлюють порожнину охолодження втулки від порожнини двигуна. Крім того кільця забезпечують вільний рух нижньої частини втулки, який обумовлений нагріванням та розширенням. Нижня частина втулки (за опорним фланцем) не охолоджується. Це забезпечує підтримання в цій частині високої температури, що запобігає утворенню низькотемпературної корозії поверхонь.

Кришка циліндра суднового дизеля DAIHATSU типу DK20 має конструкцію та вигляд представлений на рис. 1.8. Виготовляється лиття з високоякісного жароміцного чавуну. Вогневе днище спеціально збільшене для забезпечення високої міцності від високих механічних навантажень, які виникають від високих значень максимального тиску згоряння, яке доходить до значень у 20,0 МПа. При цьому для одночасного забезпечення зменшення температурних напружень у кришці в товстому дні зроблено охолоджуючі канали. Наявність таких каналів забезпечує нормальний температурний режим кришки. Кришка суднового дизеля DAIHATSU типу 6DK20 (6ЧН 20/30) оснащується чотирма клапанами, паливною

форсункою по центру та пусковим повітряним клапаном. Клапана зроблено з якісної термо- та корозійностійкої сталі. Крім того, тарілки клапанів мають додатково спеціальні наплавки.

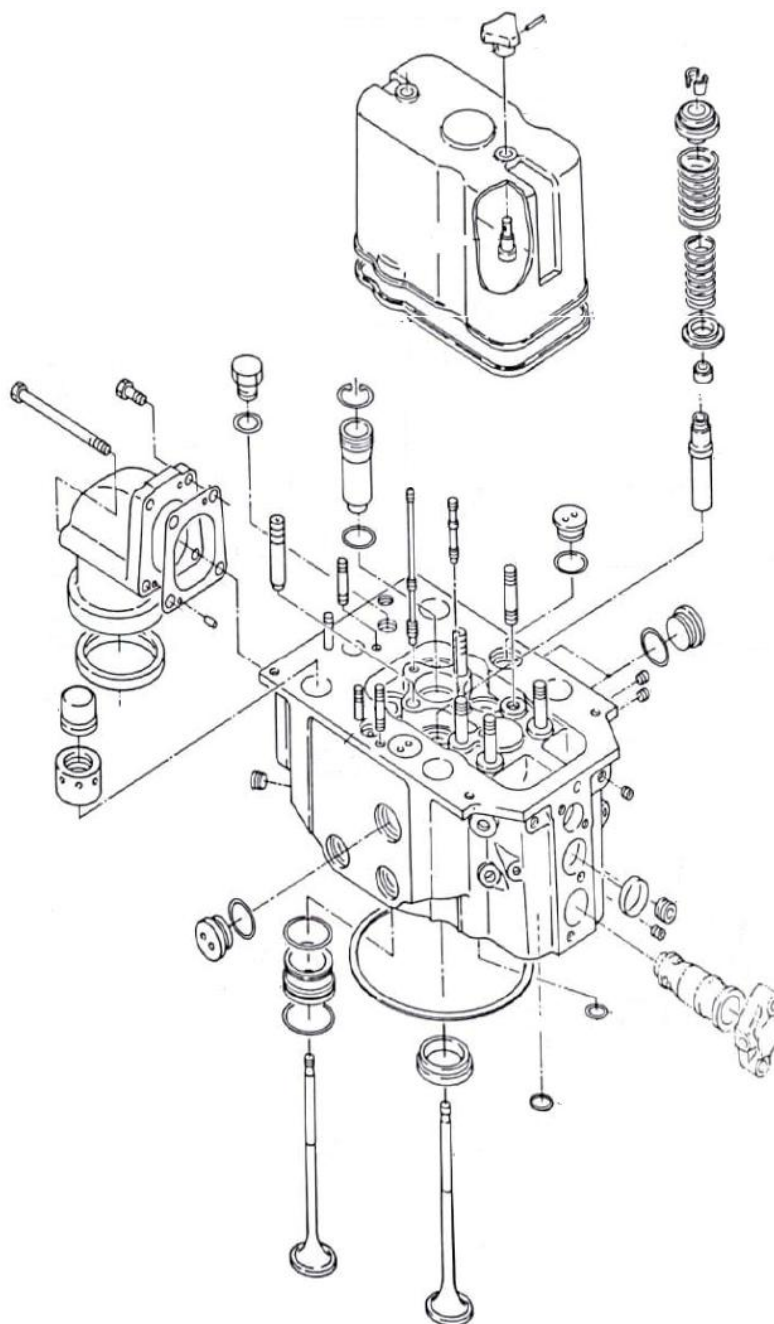


Рисунок 1.8 – Кришка суднового дизеля DAIHATSU типу DK20
та її основні складові

Поршень суднового дизеля DAIHATSU типу DK20 складається з двох основних частин (тронку та головки). Тронк (нижня частина поршня) відлитий з сферичного чавуну. Головка (верхня частина поршня) кована з жароміцної сталі з

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.25.13.01.ПЗ

Аркуш

16

подальшою механічною обробкою. Поршень дизеля DAIHATSU типу DK20, який представлено на рис. 1.9 для зменшення температурних навантажень має примусове охолодження. Воно реалізується за рахунок подачі змащувального масла (яке у даному випадку слугує охолоджуючою рідиною) у порожнини зроблені у головці. Мало для охолодження використовується з загальної масляної системи дизеля DAIHATSU типу DK20. Подача здійснюється по свердленню у стрижні шатуна.

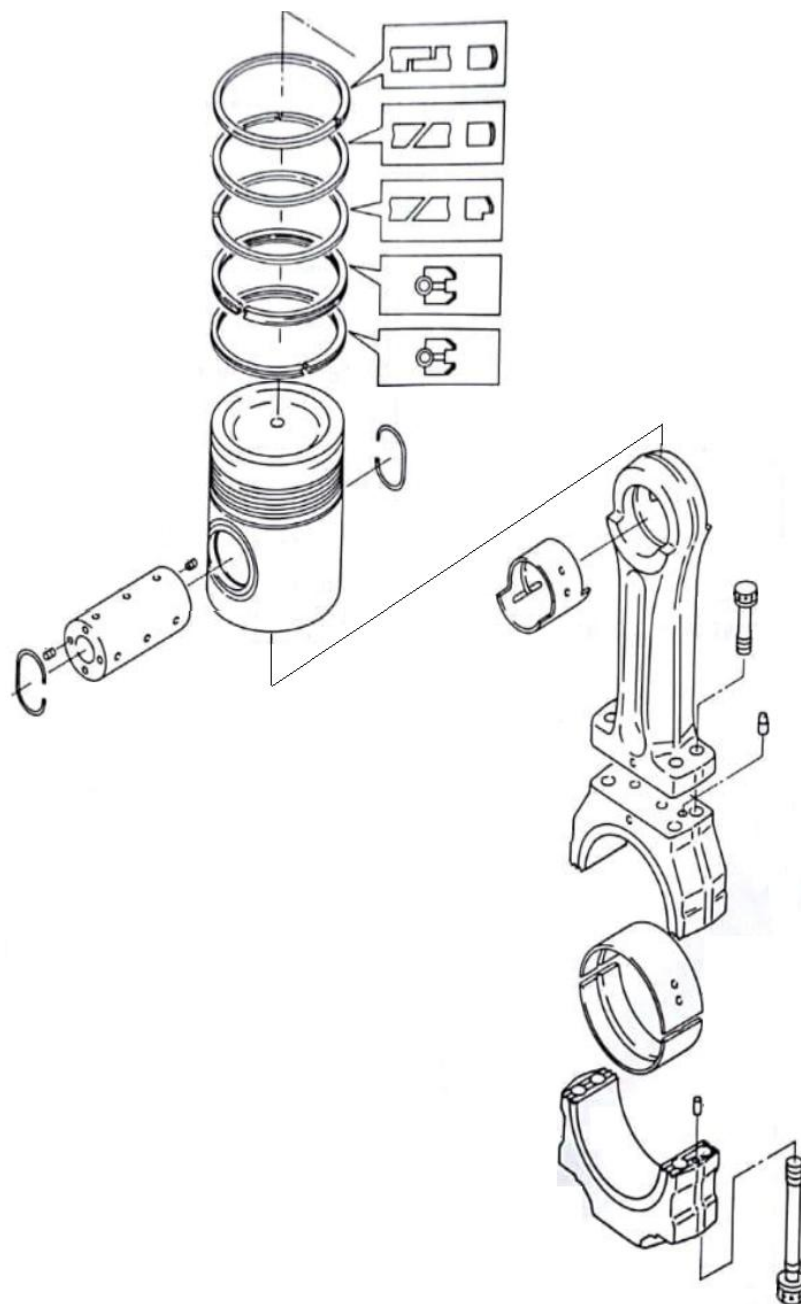


Рисунок 1.9 – Поршень дизеля DAIHATSU типу DK20 разом з шатуном, шатунною кришкою та елементами кріплення

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.25.13.01.ПЗ

Аркуш

17

Інтенсивність процесу охолодження у головці поршня забезпечується застосуванням методу збовтування. Він полягає у виникненні зіткнень масла з поверхнями головки внаслідок дії сил інерції при різких змінах прискорення усього поршня. Зміна прискорення пов'язана з зворотно-поступальним рухом поршня. Максимальний ефект від такого охолодження досягається за рахунок того, що охолоджувальне масло не повністю, а лише частково заповнює порожнину головки охолодження. Відведення масла після його взаємодії зі стінками порожнини охолодження відбувається крізь свердлення.

Поршні дизелів DAIHATSU типу DK20 мають три ущільнюючих та двома маслосбіємним кільцями. На компресійних кільцях застосовують різні замки. Це забезпечує досить якісне ущільнення порожнини камери згоряння. Поверхні кільця мають хромування яке зменшує зношування робочих поверхонь. Так конструкція кільця дизелів DAIHATSU типу DK20 забезпечує досить якісне ущільнення при мінімально можливому зношуванні поверхонь тертя.

Шатуни (див. рис. 1.9) дизелів DAIHATSU типу DK20 сталеві, ковани. Стрижні шатунів мають двотаврову чи навпаки круглу конфігурацію перетину. Нижня головка морського типу тобто має у нижній частині роз'єм. Така конструкція дає змогу значно збільшити діаметр шатунної шийки колінчастого валу дизеля серії DK20. Збільшення діаметрів сприяє зниженню питомих тисків на підшипники. Також така конструкція шатунів дизелів DAIHATSU типу DK20 дозволяє не здійснюючи розбирання шатунного підшипника виймаючи сам шатун разом з поршнем крізь отвір втулки циліндра.

Паливна система дизелів DAIHATSU типу DK20 містить стандартний набір елементи. До системи включено ПНВТ золотникового типу (паливний насос високого тиску), який має регулюванням подачі по кінцю. Паливна форсунка – многодирчаста без додаткового примусового охолодження.

Паливні підвідні трубопроводи високого тиску додатково захищені кожухами. Це запобігає можливим протіканням палива. Протікання у паливній системі дизеля DK20 можуть траплятися, наприклад, при деякому послабленні штуцерних з'єднань трубопроводів паливних форсунок, або при розриві трубопроводу, що є

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.01.ПЗ</i>	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

вкрай небезпечним (особливо, якщо поруч знаходиться людина). При розриві трубок струмів дизельного палива утворює паливний туман, який у разі потрапляння на гарячі деталі може спалахнути.

Система повітропостачання дизелів DAIHATSU типу DK20 має турбонаддув з постійним тиском. Крім того надувне повітря має проміжне охолодження у ОНП трубчастого типу (рис. 1.10). Система, для прискорення реакції турбонагнітача при зміні режиму дизеля DK20, додатково оснащена Лямбда-Регулятором.

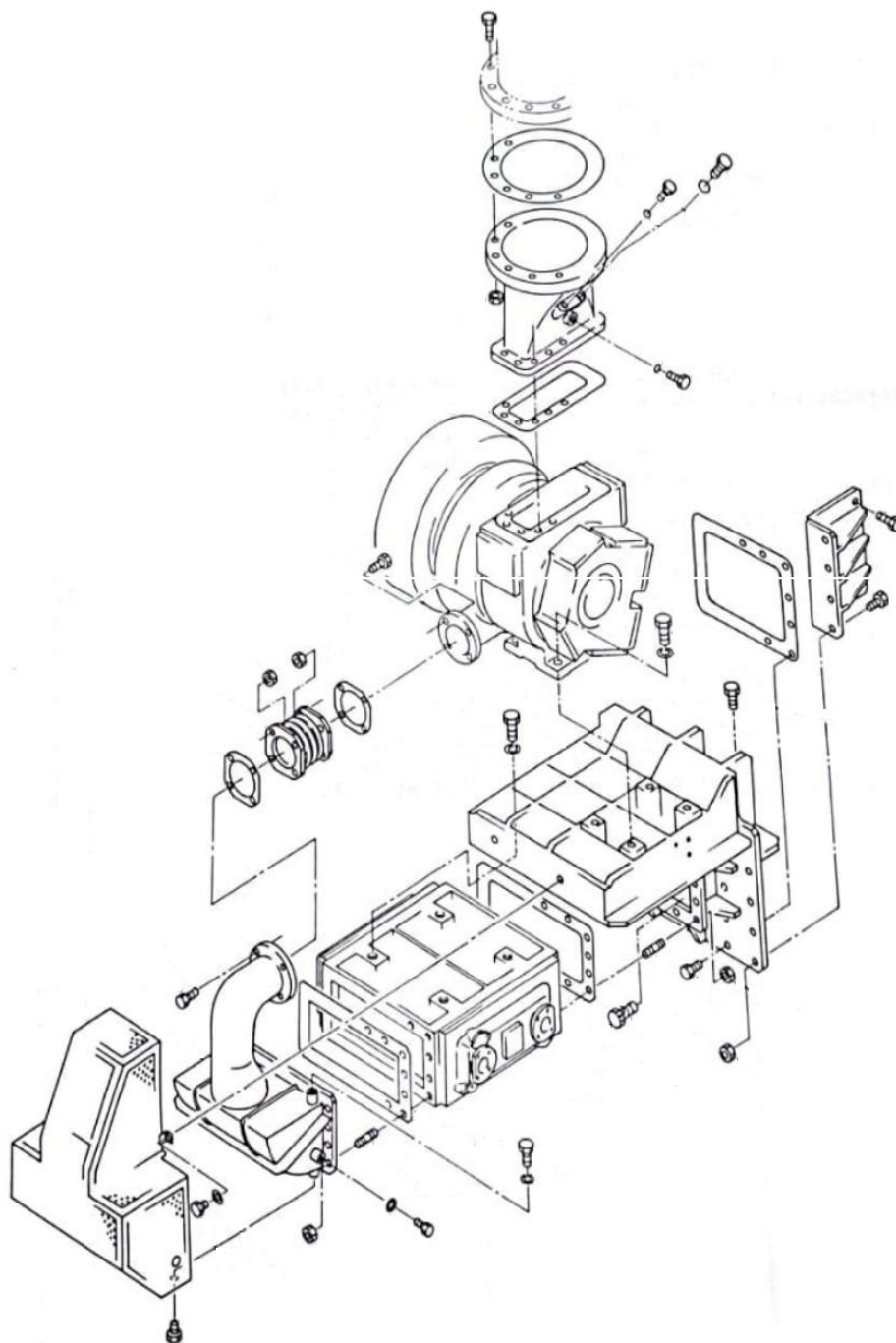


Рисунок 1.10 – Система повітропостачання дизелів DAIHATSU типу DK20

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.25.13.01.ПЗ

Аркуш

Система охолодження дизелів DAIHATSU типу DK20 класична двоконтурна (рис.1.11). Охолоджуюча рідина (прісна вода) високотемпературного контуру (внутрішнього контуру) охолоджує сам судновий дизельний двигун, а вода низькотемпературного контуру (зовнішнього контуру) застосовуючи забортну морську воду охолоджує прісну.

Встановлений на дизелях типу DK20 ОНП має два контури охолодження. Така компоновка забезпечує охолодження стиснутого повітря при роботі суднового дизеля на високих навантаженнях (близьких до номіналу та сам номінал), а у разі низьких навантажень – нагрівати повітря. Така конструкція ОНП забезпечує оптимальну температуру надувного повітря на усіх навантаженнях суднового дизеля DK20.

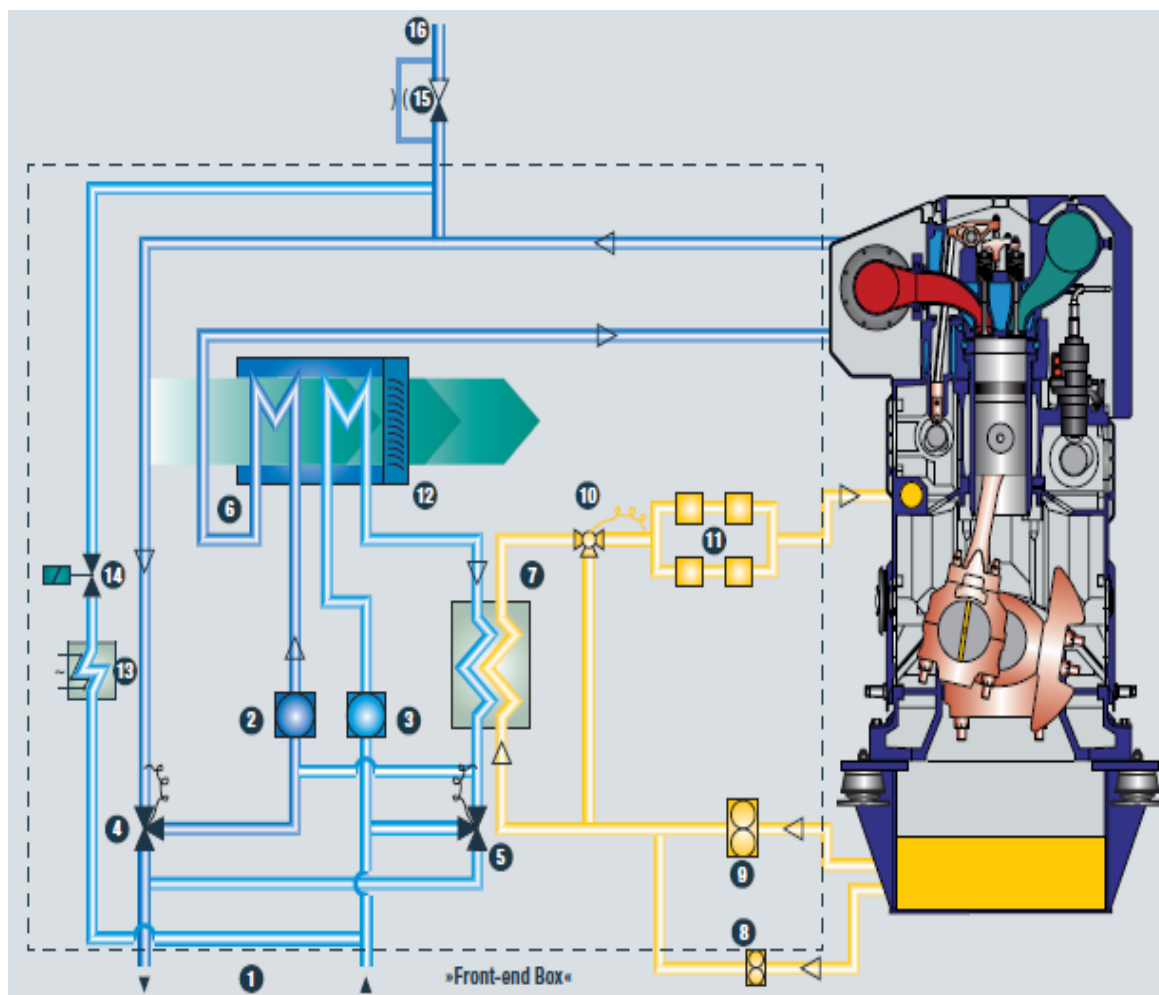


Рисунок 1.11 – Система охолодження дизелів DAIHATSU типу DK20

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.25.13.01.ПЗ

Аркуш

20

Система змащення дизелів DAIHATSU типу DK20 оснащена досить ефективними фільтрами грубого та тонкого очищення, які забезпечують надійний захисту від можливих забруднень внутрішньої порожнини дизеля продуктами зношення та нагару. Крім того до складу системи входить різного роду арматуру, охолоджувач масла (МО) та з'єднуючі трубопроводи.

1.2. Висновок до розділу

Дизеля японської фірми DAIHATSU DK20 відносяться до середньообертових суднових, повністю відповідає сучасним технічним вимогам, а також мають значний потенціал до вдосконалення. Відповідно до цього, базуючись на розглянутій конструкції дизеля у подальших розділах пропонується виконати модернізацію з метою покращення паливної економічності.

					КРМ.142.6221мз.25.13.01.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК НОМІНАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ СУДНОВОГО ДВИГУНА DAINATSU 6DK20 (6ЧН 20/30)

2.1. Термодинамічні цикл теплових двигунів

Для здійснення перетворення тепла в роботу в тепловому двигуні використовується така властивість газів, як (повітря в першу чергу) значно розширюватися у об'ємі при підведенні до них тепла. Отримання необхідної роботи за допомогою теплового двигуна в необхідній для споживача кількості та якості вимагає багаторазового повторення процесу розширення робочого газу – робочого тіла у двигуні. Повторювати цей робочий процес можна за умови, що робоче тіло постійно повертається в свій початковий стан.

Це є можливим лише після здійснення деяких додаткових процесів, після чого робоче тіло повертається у свій початковий стан. Певна сукупність термодинамічних процесів, в результаті здійснення яких у тепловому двигуні термодинамічна система повертається у свій початковий стан, називається термодинамічним циклом двигуна. При здійсненні досліджень циклів термодинамічним методом їх досить зручно представляти графічно в системах координат таких, як $P-V$ або $T-S$, де цикл двигуна представлено послідовно зображеними термодинамічними процесами, що прийнято називати згорнутою індикаторною діаграмою.

Варто відзначити, що взагалі термодинамічні цикли бувають прямими та зворотними. Термодинамічні цикли, в яких теплота, що підводиться до робочого тіла, перетворюється в механічну роботу, прийнято називати прямими циклами. Такі термодинамічні цикли лежать в основі роботи всіх теплових двигунів, зокрема і двигунів внутрішнього згорання. В такому випадку робота термодинамічного циклу є позитивною ($L_i > 0$). При графічному представленні такі термодинамічні цикли умовно протікають за годинниковою стрілкою. Підведення тепла до робочого тіла в реальних теплових двигунах відбувається в результаті виділення енергії при горінні палива, тобто окисленні вуглеводнів киснем, що міститься в повітрі, яке поступає до камери згорання.

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.02.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		22

Термодинамічні цикли, в яких зовнішня робота витрачається для того, щоб навпаки стиснути робоче тіло, після чого здійснюється передача теплоти зовнішньому середовищу, прийнято називати – зворотними. Це термодинамічні цикли холодильної машини. У такому випадку робота термодинамічного циклу є негативною ($L_i < 0$). На основі таких зворотних циклів працюють холодильні установи, побутові холодильники, а також теплові насоси. При графічному представленні такі термодинамічні цикли умовно протікають проти годинникової стрілки.

2.2. Розрахунок номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

Розрахунок номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30) у кваліфікаційній роботі представлено у табличній та графічній формі. Зокрема вихідні дані та результати наводяться у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

№ з/п	Найменування параметру	Позначення та розмірність	Значення
1	Діаметр	D , м	0,200
2	Хід поршня	S , м	0,300
3	Кількість циліндрів	i_z , шт.	6
4	Частота обертання колінчатого валу	n , хв ⁻¹	900,00
5	Ефективна потужність	N_e , кВт	1040,00
6	Механічний ККД	η_m	0,910
7	Ступінь стискування	ϵ	15
8	Кривошипно-шатунне відношення	λ	0,224
9	Температура навколишнього повітря	T_0 , К	298
10	Тиск навколишнього середовища	P_0 , кПа	100,200
11	Втрата тиску в ОНП	ΔP_k , кПа	2
12	Опір вихлопної системи (ділянки від виходу з робочого колеса турбіни до зрізу вихлопної труби)	ΔP_t , кПа	2
13	Адіабатний ККД компресора	$\eta_{a,k}$	0,84
14	Адіабатний ККД турбіни	$\eta_{a,t}$	0,82
15	Механічний ККД турбокомпресора	$\eta_{m,tk}$	0,95
16	Температура води на вході в ОНП	$T_w^{\text{ОНП1}}$, К	297
17	ККД системи охолодження наддувочного повітря	η_{co}	0,95

18	Число циліндрів, об'єднаних спільною секцією випускного колектора	i_{zlk}	3,00
19	Відношення об'єму секції випускного колектора до робочого об'єму циліндра	$V_{в.к.}/V_s$	5,000
20	Константа імпульсності	Φ	1,280
21	Кут початку впорскування палива	$\varphi_{н.}^{вп.}$, град. п.к.в.	350
22	Тривалість уприскування палива	$\varphi_{впр.}^{вп.}$, град. п.к.в.	28
23	Кут відкриття випускного клапана	$\varphi_{о.}^{вип.}$, град. п.к.в.	492
24	Кут закриття випускного клапана	$\varphi_{з.}^{вип.}$, град. п.к.в.	30
25	Кут відкриття впускного клапана	$\varphi_{о.}^{вп.}$, град. п.к.в.	670
26	Кут закриття впускного клапана	$\varphi_{з.}^{вп.}$, град. п.к.в.	203
27	Тривалість відкривання впускного клапана	$\varphi_{п.о.}^{вп.}$, град. п.к.в.	90,00
28	Тривалість відкривання випускного клапана	$\varphi_{п.о.}^{вип.}$, град. п.к.в.	90,00
29	Тривалість закривання впускного клапана	$\varphi_{п.з.}^{вп.}$, град. п.к.в.	90,00
30	Тривалість закривання випускного клапана	$\varphi_{п.з.}^{вип.}$, град. п.к.в.	90,00
31	Діаметр впускного клапана	$d_{вп.}^{кл.}$, м	0,070
32	Кількість впускних клапанів	$n_{вп.}^{кл.}$	2
33	Діаметр випускного клапана	$d_{вип.}^{кл.}$, м	0,070
34	Кількість випускних клапанів	$n_{вип.}^{кл.}$	2
35	Висота підйому впускних клапанів	$h_{вп.}^{кл.}$, м	0,025
36	Кут конуса тарілки тарілки впускних клапанів	$\alpha_{вп.}^{кл.}$, град.	60
37	Висота підйому випускних клапанів	$h_{вип.}^{кл.}$, м	0,025
38	Кут конуса тарілки випускних клапанів	$\alpha_{вип.}^{кл.}$, град.	60
39	Коефіцієнт витрати для впускного клапана	$\mu_{вп.к.}$	0,83
40	Коефіцієнт витрати для випускного клапана	$\mu_{вип.к.}$	0,86
41	Пропускна здатність турбіни	$\mu F_t, м^2$	0,00688
42	Коефіцієнт у формулі Толстого для визначення часу затримки займання палива	A_i	0,0000038
43	Нижча теплота згоряння палива	$Q_n, кДж/(кг \cdot K)$	42427,4
44	Показник характеру процесу згоряння	m	0,400
45	Частка згорілого палива до кінця процесу згоряння	X_z	0,999
46	Щільність палива	$\rho_p, кг/м^3$	848
47	Цетанове число палива	—	45
48	Молекулярна маса палива	$\mu_p, кг/кмоль$	220
49	Коефіцієнт поверхневого натягу палива	$\sigma_p, Н/м$	0,0280
50	Коефіцієнт у формулі Толстого для визначення часу затримки займання палива	k_n	0,00016
51	Умовна енергія активації	$E_a, кДж/кмоль$	21000,00
52	Кількість соплових отворів форсунки	i_c	6,00
53	Діаметр соплових отворів форсунки	$d_c, м$	0,000355
54	Коефіцієнт у формулі визначення середнього діаметра крапель	E_c	1,7
55	Відстань від розпилювача форсунки до стінки камери згоряння	$L_{wall}, м$	0,07
56	Товщина стінки втулки	$\Delta_s, м$	0,02
57	Коефіцієнт термічного опору стінки втулки	$R_{ствт}, (м^2 \cdot K)/кВт$	0,300

58	Коефіцієнт термічного опору стінки кришки	$R_{\text{сткр}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$	0,300
59	Коефіцієнт термічного опору стінки поршня	$R_{\text{стпр}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$	0,300
60	Довжина охолоджуваної частини втулки (у відсотках від ходу поршня)	$h_{\text{ов}}, \%$	80
61	Частка теплоти тертя, що відводиться з водою	$a_{\text{тр}}^w$	0,78
62	Частка теплоти тертя, що відводиться з маслом	$a_{\text{тр}}^m$	0,22
63	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки втулки до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{вт}}, \text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	3
64	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки кришки до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{кр}}, \text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	3
65	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки поршня до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{пр}}, \text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	2,5
66	Середня температура води в сорочці двигуна	$T_w^{\text{вт}}, \text{К}$	358
67	Середня температура води в кришці двигуна	$T_w^{\text{кр}}, \text{К}$	358
68	Середня температура масла, що охолоджує поршень	$T_w^{\text{пр}}, \text{К}$	373

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

№ з/п	Найменування параметру	Позначення та розмірність	Значення
1	Ефективна потужність ДВЗ	$N_e, \text{кВт}$	1040,39
2	Питома ефективна витрата палива ДВЗ	$g_e, \text{кг}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$	0,1891
3	Ступінь підвищення тиску в компресорі	Π_k	3,443
4	Тривалість згоряння	$\varphi_{\text{зг}}, \text{град.}$	105,87
5	Кут затримки займання палива	$\varphi_{\text{з.}}^{\text{восп.}}, \text{град.}$	5
6	Кут початку видимого згоряння	$\varphi_{\text{н.}}^{\text{згор.}}, \text{град.}$	355
7	Середній тиск впорскування всієї порції палива	$P_{\text{inj}}, \text{МПа}$	55,598
8	Середній діаметр крапель	$d_{32}, \text{мкм}$	12,984
9	Кут, під яким факел досягає стінок камери згоряння	$\varphi_{\text{wall}}, \text{град.}$	15
10	Тривалість взаємодії факела зі стінками камери згоряння	$\varphi_{\text{fr}}, \text{град.}$	8
11	Максимальний тиск згоряння	$P_z, \text{кПа}$	18791,16
12	Максимальна температура згоряння	$T_z, \text{К}$	1544,16
13	Середній індикаторний тиск	$P_i, \text{кПа}$	2695,78
14	Середній ефективний тиск	$P_e, \text{кПа}$	2453,16
15	Тиск повітря в ресивері	$P_s, \text{кПа}$	343,02
16	Температура повітря в ресивері	$T_s, \text{К}$	304,57
17	Тиск суміші наприкінці стиснення	$P_c, \text{кПа}$	12191,77
18	Температура суміші наприкінці стиснення	$T_c, \text{К}$	754,54
19	Середня температура газів перед турбіною	$T_b, \text{К}$	713,5
20	Середній тиск газів перед турбіною	$P_b, \text{кПа}$	226,9
21	Середня температура газів за турбіною	$T_{3b}, \text{К}$	656,3
22	Температура газів у момент відкриття випускного клапана	$T_b, \text{К}$	981,8

23	Тиск газів у момент відкриття випускного клапана	P_b , кПа	1278,9
24	Температура наддувного повітря	T_k , К	448,3172
25	Температура залишкових газів	T_r , К	319,98
26	Тепло, відведене у воду	Q_w , кВт	128,3
27	Тепло, відведене в масло	Q_m , кВт	38,6
28	Тепло, що відводиться в ОНП від стиснутого повітря	$Q_w^{\text{ОНП}}$, кВт	298,9
29	Тепло, що втрачається з ВГ	$Q_w^{\text{ВГ}}$, кВт	810,6
30	Витрата повітря через компресор	G_k , кг/с	1,9802
31	Витрата газу через газову турбіну	G_t , кг/с	2,0293
32	Потужність турбіни газової турбіни	N_{et} , кВт	299,0050
33	Потужність компресора	N_{ek} , кВт	298,7883
34	Коефіцієнт залишкових газів	γ_r	0,0263
35	Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні	α	2,18
36	Коефіцієнт продувки	φ_a	1,162

Графічні залежності зміння параметрів робочого циклу номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30) представлені на рис. 2.1–2.4.

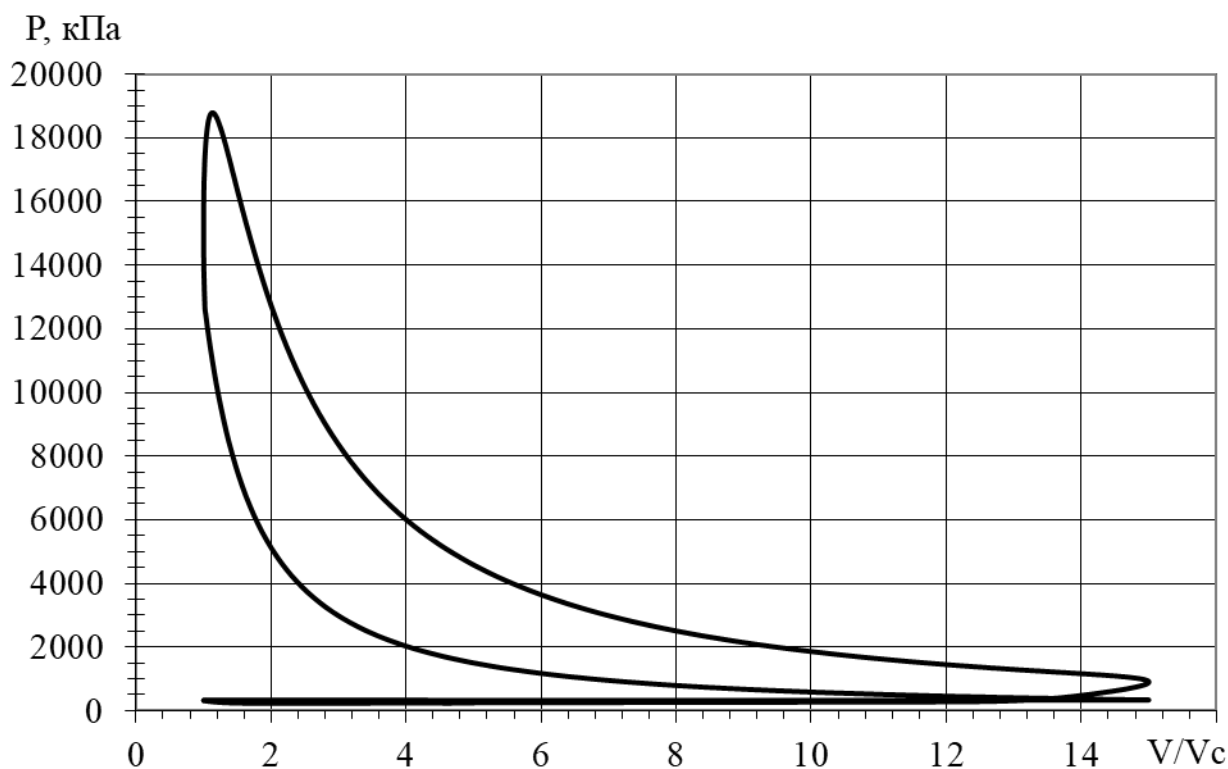


Рисунок 2.1 – Згорнута індикаторна P - V діаграма номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

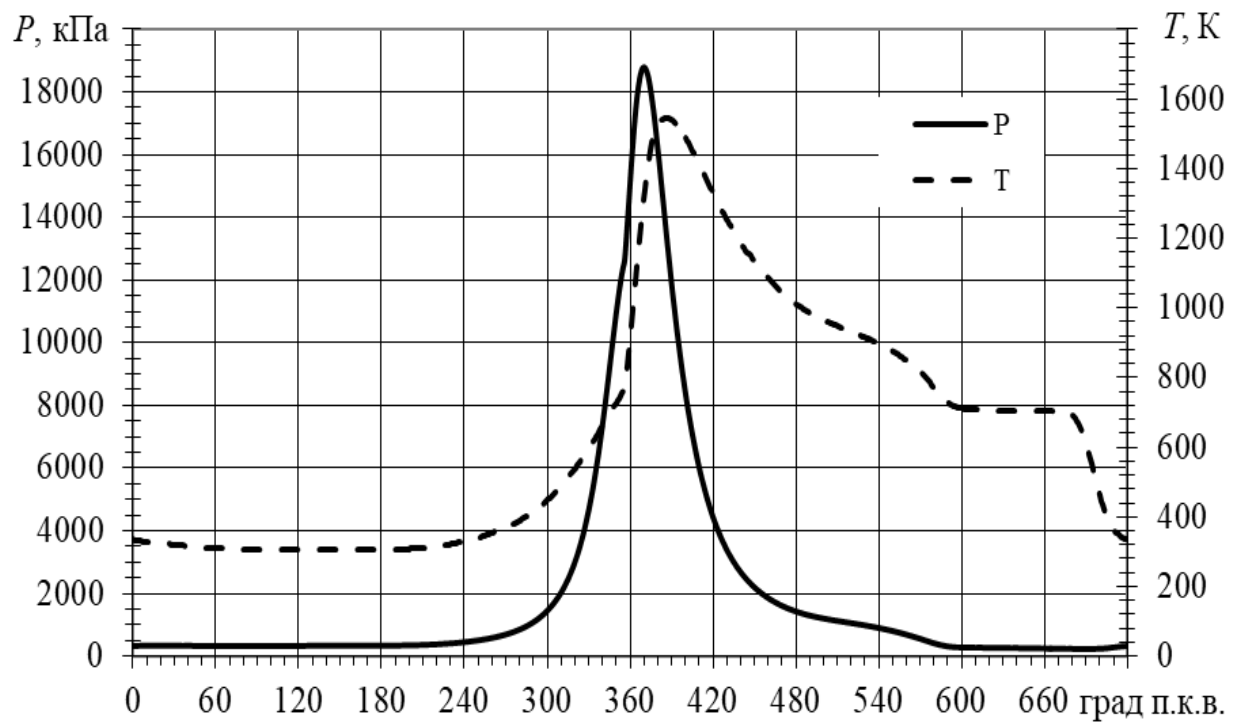


Рисунок 2.2 – Розгорнута індикаторна $P = f(\varphi)$ діаграма та діаграма температури $T = f(\varphi)$ номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

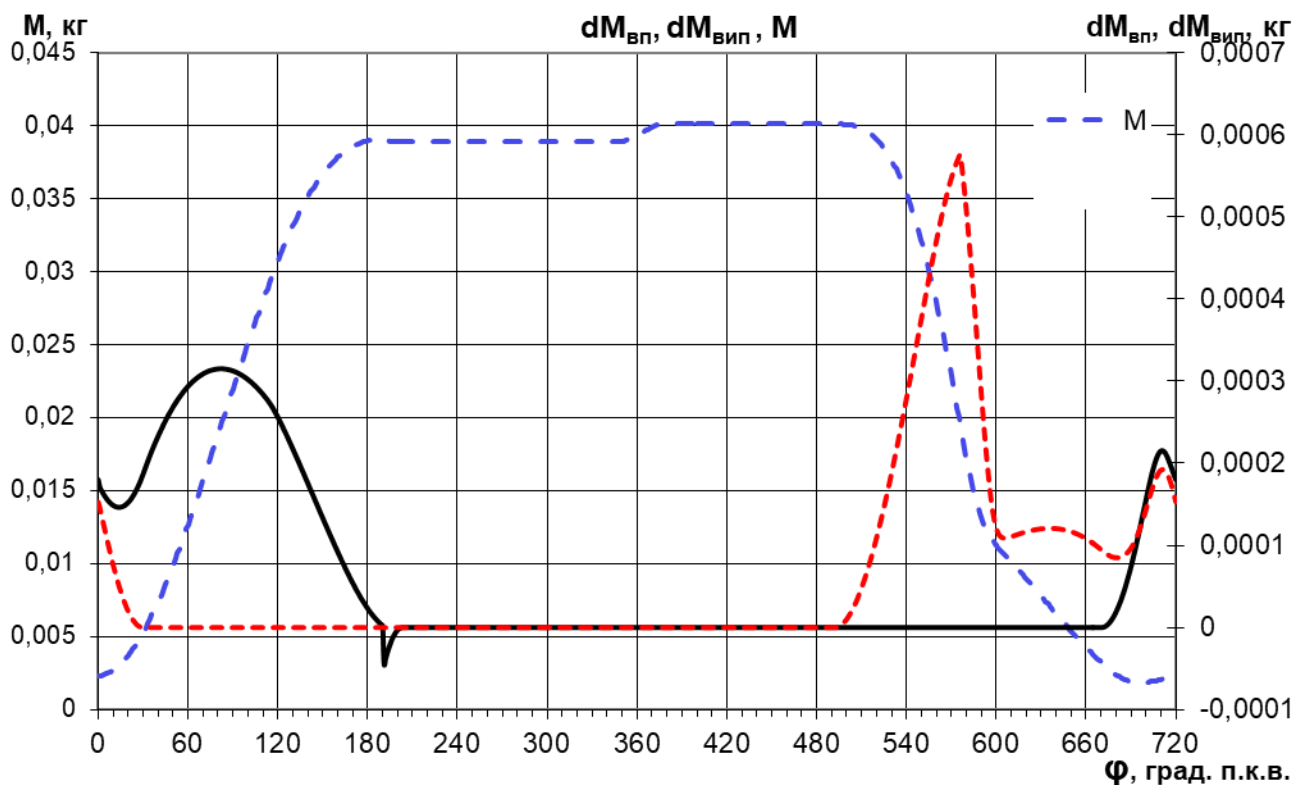


Рисунок 2.3 – Зміна маси робочого тіла у циліндрі на номінальному режимі роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

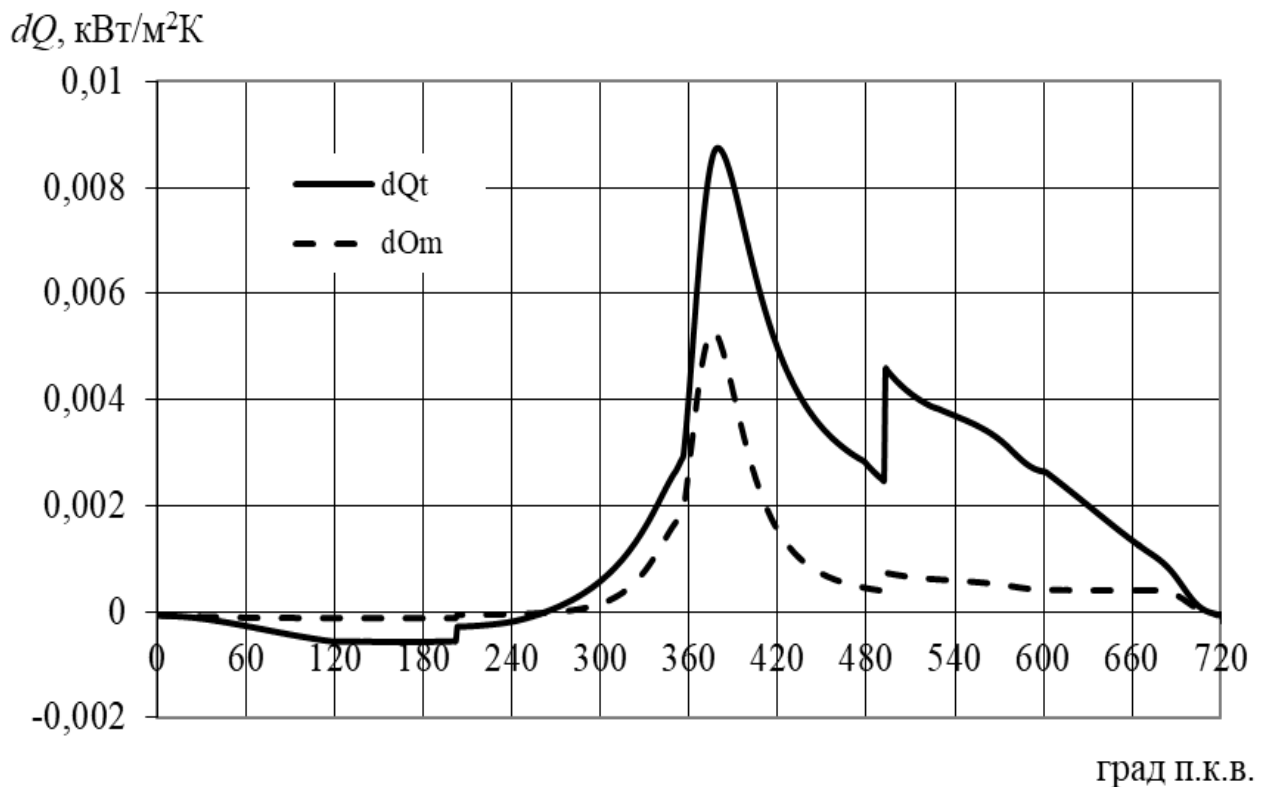


Рисунок 2.4 – Втрати тепла у теплоносії (охолоджуючу рідину та масло) на номінальному режимі роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

2.3. Розрахунок динаміки номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

Розрахунок динаміки для номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30) у кваліфікаційній роботі представлено у табличній та графічній формах. Вихідними даними для здійснення розрахунку є результати моделювання циклу та паспортні дані дизеля Daihatsu 6DK20 щодо мас та розмірів деталей. Постійна КШМ визначається з креслення поперечного розрізу двигуна. Результати динамічного розрахунку для номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30) наводяться у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати динамічного розрахунку двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

φ	S_φ	V_φ	J_φ	P_j	P_r	P_d	N	Z	T	T_Σ	T^{cp}_Σ	Z_1
град.	м	м/с	м/с ²	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа
0	0,0000	0,0000	1101,45	-3576,03	324,99	-3251,04	0,29	-3251,04	1,49	780,75	2570,43	-1652,17

265	0,1812	-9,1921	-287,47	933,33	634,37	1567,69	-386,00	-521,38	-1528,01	0,00	0,00	1077,49
270	0,1683	-9,4245	-213,31	692,54	694,09	1386,62	-342,81	-343,00	-1386,57	0,00	0,00	1255,87
275	0,1551	-9,5851	-132,66	430,71	765,81	1196,53	-294,62	-189,39	-1217,62	0,00	0,00	1409,48
280	0,1417	-9,6683	-46,23	150,09	852,55	1002,64	-243,89	-66,23	-1029,75	0,00	0,00	1532,64
285	0,1282	-9,6692	45,12	-146,49	958,25	811,76	-193,46	23,11	-834,17	0,00	0,00	1621,97
290	0,1148	-9,5836	140,33	-455,61	1088,14	632,53	-146,43	78,64	-644,48	0,00	0,00	1677,51
295	0,1016	-9,4085	238,19	-773,33	1249,23	475,89	-106,06	104,93	-476,14	0,00	0,00	1703,79
300	0,0887	-9,1421	337,36	-1095,31	1450,97	355,66	-75,58	112,32	-345,82	0,00	0,00	1711,19
305	0,0762	-8,7838	436,40	-1416,84	1706,24	289,40	-58,03	118,41	-270,37	0,00	0,00	1717,28
310	0,0643	-8,3345	533,77	-1732,98	2032,56	299,58	-56,04	149,60	-265,54	0,00	0,00	1748,46
315	0,0530	-7,7964	627,93	-2038,67	2453,84	415,17	-71,51	242,95	-344,17	0,00	0,00	1841,82
320	0,0426	-7,1732	717,31	-2328,85	3002,25	673,40	-105,16	448,17	-513,49	0,00	0,00	2047,04
325	0,0331	-6,4700	800,38	-2598,58	3719,83	1121,25	-155,87	828,94	-770,94	0,00	0,00	2427,81
330	0,0246	-5,6934	875,71	-2843,15	4657,78	1814,63	-219,41	1461,63	-1097,57	0,00	0,00	3060,49
335	0,0173	-4,8512	941,95	-3058,20	5868,87	2810,67	-286,67	2425,93	-1448,07	0,00	0,00	4024,80
340	0,0112	-3,9523	997,90	-3239,85	7383,37	4143,51	-341,44	3776,55	-1738,67	0,00	0,00	5375,41
345	0,0063	-3,0068	1042,54	-3384,78	9154,91	5770,13	-359,35	5480,18	-1841,50	0,00	0,00	7079,05
350	0,0028	-2,0255	1075,04	-3490,30	10976,26	7485,96	-312,57	7317,66	-1609,06	0,00	0,00	8916,53
355	0,0007	-1,0199	1094,80	-3554,45	12425,67	8871,22	-185,99	8821,07	-960,07	0,00	0,00	10419,94
360	0,0000	-0,0022	1101,45	-3576,03	15119,46	11543,43	-0,51	11543,43	-2,65	0,00	0,00	13142,29
365	0,0007	1,0156	1094,86	-3554,64	17830,47	14275,84	298,04	14195,83	1538,46	0,00	0,00	15794,69
370	0,0028	2,0212	1075,15	-3490,66	18791,16	15300,50	637,52	14957,97	3281,89	0,00	0,00	16556,84
375	0,0063	3,0027	1042,71	-3385,31	18020,17	14634,86	910,17	13901,52	4664,25	0,00	0,00	15500,39
380	0,0111	3,9484	998,12	-3240,55	16200,11	12959,56	1066,81	11814,20	5432,59	0,00	0,00	13413,06
385	0,0173	4,8475	942,21	-3059,05	14016,91	10957,87	1116,72	9460,37	5641,21	0,00	0,00	11059,24
390	0,0246	5,6900	876,01	-2844,13	11889,18	9045,05	1092,92	7287,88	5467,56	0,00	0,00	8886,75
395	0,0331	6,4669	800,72	-2599,68	10002,73	7403,06	1028,58	5475,29	5087,67	0,00	0,00	7074,16
400	0,0426	7,1704	717,67	-2330,04	8408,30	6078,26	948,81	4047,29	4633,03	0,00	0,00	5646,15
405	0,0530	7,7939	628,32	-2039,94	7092,89	5052,95	869,95	2958,70	4187,51	0,00	0,00	4557,57
410	0,0642	8,3324	534,18	-1734,30	6019,94	4285,64	801,43	2141,62	3797,69	0,00	0,00	3740,49
415	0,0761	8,7821	436,82	-1418,19	5148,36	3730,16	747,82	1527,70	3484,17	0,00	0,00	3126,57
420	0,0886	9,1408	337,79	-1096,68	4440,30	3343,62	710,38	1057,30	3250,62	0,00	0,00	2656,17
425	0,1015	9,4076	238,61	-774,70	3863,62	3088,92	688,29	682,31	3090,25	0,00	0,00	2281,17
430	0,1148	9,5830	140,74	-456,94	3392,07	2935,13	679,39	366,11	2990,40	0,00	0,00	1964,98
435	0,1282	9,6690	45,52	-147,78	3004,63	2856,85	680,79	82,48	2935,69	0,00	0,00	1681,34
440	0,1416	9,6685	-45,85	148,86	2684,65	2833,51	689,21	-186,05	2910,19	0,00	0,00	1412,82
445	0,1550	9,5856	-132,31	429,56	2418,98	2848,54	701,37	-449,77	2898,93	0,00	0,00	1149,09
450	0,1682	9,4253	-212,98	691,47	2197,24	2888,71	714,16	-713,49	2888,87	0,00	0,00	885,37
455	0,1812	9,1932	-287,17	932,35	2011,25	2943,60	724,81	-977,93	2869,46	0,00	0,00	620,93
460	0,1937	8,8957	-354,40	1150,62	1854,52	3005,14	731,02	-1241,08	2832,84	0,00	0,00	357,79
465	0,2058	8,5392	-414,37	1345,31	1721,19	3066,50	730,84	-1498,94	2773,22	0,00	0,00	99,92
470	0,2174	8,1306	-466,98	1516,12	1608,05	3124,17	723,28	-1747,54	2688,80	0,00	0,00	-148,67
475	0,2283	7,6767	-512,31	1663,30	1511,87	3175,18	707,67	-1982,62	2579,10	0,00	0,00	-383,76
480	0,2386	7,1841	-550,63	1787,70	1429,90	3217,60	683,80	-2200,38	2445,17	0,00	0,00	-601,52
485	0,2482	6,6591	-582,32	1890,59	1359,95	3250,55	651,88	-2397,86	2289,39	0,00	0,00	-798,99
490	0,2570	6,1076	-607,92	1973,71	1300,25	3273,96	612,49	-2573,12	2114,94	0,00	0,00	-974,26
495	0,2651	5,5350	-628,05	2039,06	1249,22	3288,28	566,40	-2725,18	1925,35	0,00	0,00	-1126,32
500	0,2724	4,9461	-643,39	2088,88	1204,95	3293,83	514,45	-2853,46	1723,87	0,00	0,00	-1254,60
505	0,2788	4,3449	-654,68	2125,53	1165,41	3290,94	457,55	-2957,83	1513,57	0,00	0,00	-1358,96
510	0,2844	3,7348	-662,65	2151,40	1128,79	3280,18	396,67	-3038,72	1297,36	0,00	0,00	-1439,85
515	0,2892	3,1186	-668,00	2168,76	1093,62	3262,38	332,80	-3097,08	1077,94	0,00	0,00	-1498,22
520	0,2931	2,4984	-671,38	2179,74	1058,69	3238,44	266,92	-3134,20	857,62	0,00	0,00	-1535,33

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.02.ПЗ</i>	Архивизация
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

525	0,2961	1,8758	-673,37	2186,21	1022,98	3209,19	199,93	-3151,41	638,33	0,00	0,00	-1552,55
530	0,2983	1,2517	-674,44	2189,68	985,60	3175,28	132,65	-3149,97	421,60	0,00	0,00	-1551,10
535	0,2996	0,6270	-674,94	2191,30	945,79	3137,09	65,84	-3130,83	208,69	0,00	0,00	-1531,97
540	0,3000	0,0020	-675,08	2191,76	902,86	3094,62	0,21	-3094,62	0,65	0,00	0,00	-1495,76
545	0,2996	-0,6230	-674,94	2191,31	856,25	3047,56	-63,56	-3041,56	-201,44	0,00	0,00	-1442,69
550	0,2983	-1,2478	-674,45	2189,70	805,48	2995,18	-124,73	-2971,45	-396,43	0,00	0,00	-1372,58
555	0,2961	-1,8718	-673,38	2186,24	750,22	2936,46	-182,56	-2883,82	-582,85	0,00	0,00	-1284,95
560	0,2931	-2,4944	-671,40	2179,80	690,29	2870,09	-236,20	-2778,00	-758,87	0,00	0,00	-1179,14
565	0,2892	-3,1146	-668,02	2168,85	625,77	2794,62	-284,74	-2653,39	-922,22	0,00	0,00	-1054,52
570	0,2844	-3,7309	-662,69	2151,53	557,02	2708,55	-327,22	-2509,60	-1070,15	0,00	0,00	-910,73
575	0,2788	-4,3410	-654,74	2125,73	484,75	2610,48	-362,65	-2346,74	-1199,55	0,00	0,00	-747,87
580	0,2724	-4,9423	-643,48	2089,15	413,58	2502,73	-390,63	-2168,69	-1308,84	0,00	0,00	-569,82
585	0,2652	-5,5313	-628,16	2039,42	356,13	2395,55	-412,39	-1985,94	-1401,70	0,00	0,00	-387,07
590	0,2571	-6,1040	-608,06	1974,18	315,30	2289,47	-428,11	-1800,04	-1478,11	0,00	0,00	-201,18
595	0,2483	-6,6557	-582,50	1891,18	291,26	2182,45	-437,50	-1610,65	-1536,32	0,00	0,00	-11,79
600	0,2387	-7,1808	-550,85	1788,42	280,77	2069,19	-439,59	-1415,78	-1571,74	0,00	0,00	183,09
605	0,2284	-7,6737	-512,58	1664,17	276,67	1940,84	-432,45	-1212,66	-1575,86	0,00	0,00	386,21
610	0,2174	-8,1279	-467,29	1517,13	273,99	1791,12	-414,58	-1002,66	-1541,00	0,00	0,00	596,21
615	0,2059	-8,5368	-414,73	1346,48	271,58	1618,05	-385,57	-791,68	-1462,88	0,00	0,00	807,19
620	0,1938	-8,8936	-354,80	1151,93	269,24	1421,17	-345,67	-587,63	-1339,37	0,00	0,00	1011,23
625	0,1812	-9,1915	-287,62	933,82	266,93	1200,74	-295,65	-399,55	-1170,28	0,00	0,00	1199,32
630	0,1683	-9,4240	-213,47	693,07	264,61	957,68	-236,76	-237,07	-957,61	0,00	0,00	1361,79
635	0,1551	-9,5848	-132,84	431,29	262,25	693,54	-170,77	-109,91	-705,75	0,00	0,00	1488,96
640	0,1417	-9,6682	-46,42	150,70	259,81	410,51	-99,86	-27,20	-421,60	0,00	0,00	1571,67
645	0,1283	-9,6693	44,92	-145,85	257,23	111,39	-26,55	3,15	-114,46	0,00	0,00	1602,01
650	0,1148	-9,5839	140,13	-454,94	254,50	-200,44	46,41	-24,88	204,23	0,00	0,00	1573,99
655	0,1016	-9,4090	237,98	-772,65	251,58	-521,08	116,14	-114,78	521,38	0,00	0,00	1484,09
660	0,0887	-9,1428	337,15	-1094,63	248,43	-846,19	179,84	-267,07	822,84	0,00	0,00	1331,80
665	0,0762	-8,7847	436,19	-1416,16	245,10	-1171,05	234,87	-478,92	1094,15	0,00	0,00	1119,94
670	0,0643	-8,3355	533,57	-1732,31	241,69	-1490,63	278,89	-744,06	1321,41	0,00	0,00	854,81
675	0,0530	-7,7976	627,73	-2038,03	238,28	-1799,76	310,04	-1052,87	1492,21	0,00	0,00	545,99
680	0,0426	-7,1746	717,12	-2328,26	235,26	-2092,99	326,94	-1392,62	1596,28	0,00	0,00	206,25
685	0,0331	-6,4716	800,22	-2598,03	232,96	-2365,07	328,87	-1748,15	1626,56	0,00	0,00	-149,28
690	0,0246	-5,6951	875,56	-2842,66	232,05	-2610,61	315,75	-2102,42	1579,50	0,00	0,00	-503,55
695	0,0173	-4,8530	941,82	-3057,78	233,96	-2823,82	288,12	-2436,96	1455,40	0,00	0,00	-838,10
700	0,0112	-3,9543	997,80	-3239,51	241,35	-2998,15	247,18	-2732,35	1258,69	0,00	0,00	-1133,48
705	0,0063	-3,0088	1042,46	-3384,51	257,64	-3126,87	194,87	-2969,53	998,60	0,00	0,00	-1370,66
710	0,0028	-2,0276	1074,99	-3490,12	283,28	-3206,84	134,04	-3134,60	690,01	0,00	0,00	-1535,73
715	0,0007	-1,0221	1094,77	-3554,36	309,47	-3244,89	68,18	-3226,47	351,91	0,00	0,00	-1627,60
720	0,0000	-0,0043	1101,45	-3576,03	324,99	-3251,04	0,29	-3251,04	1,49	0,00	0,00	-1652,17

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.02.ПЗ</i>	Архив
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		31

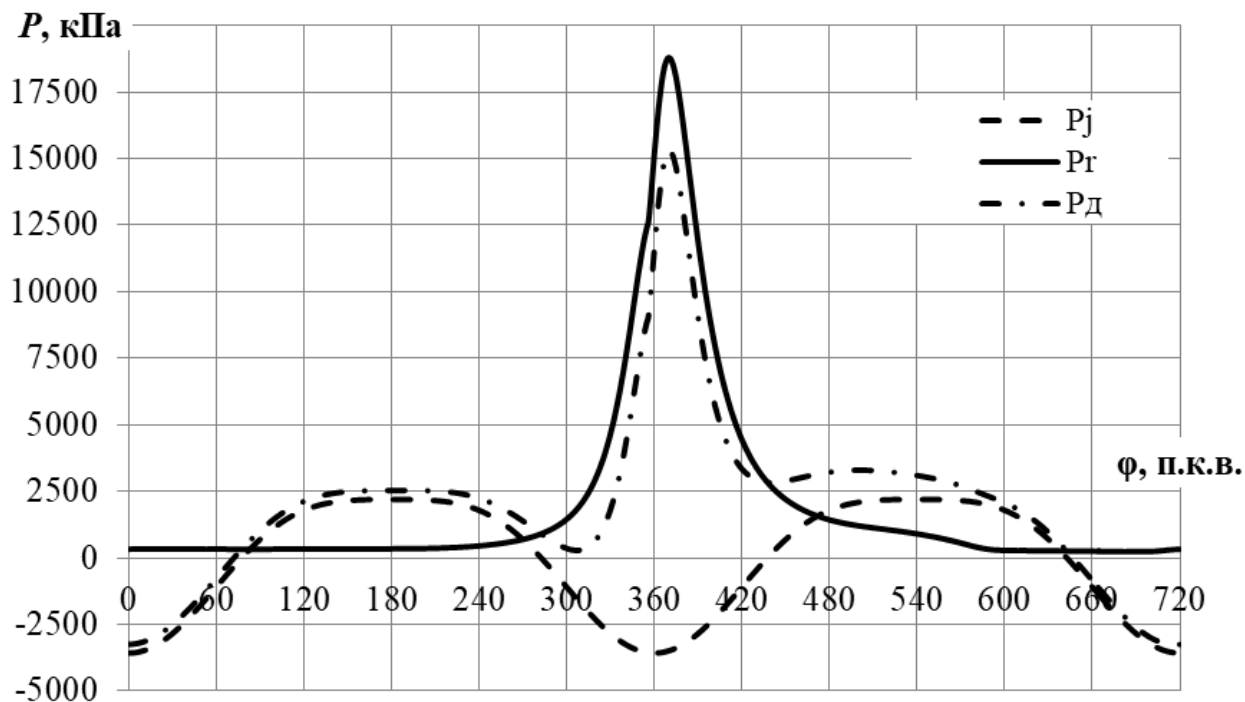


Рисунок 2.5 – Залежності зміни сили тиску газів P_r , інерції P_j , а також рушійної сили P_{dv} на номінальному режимі роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

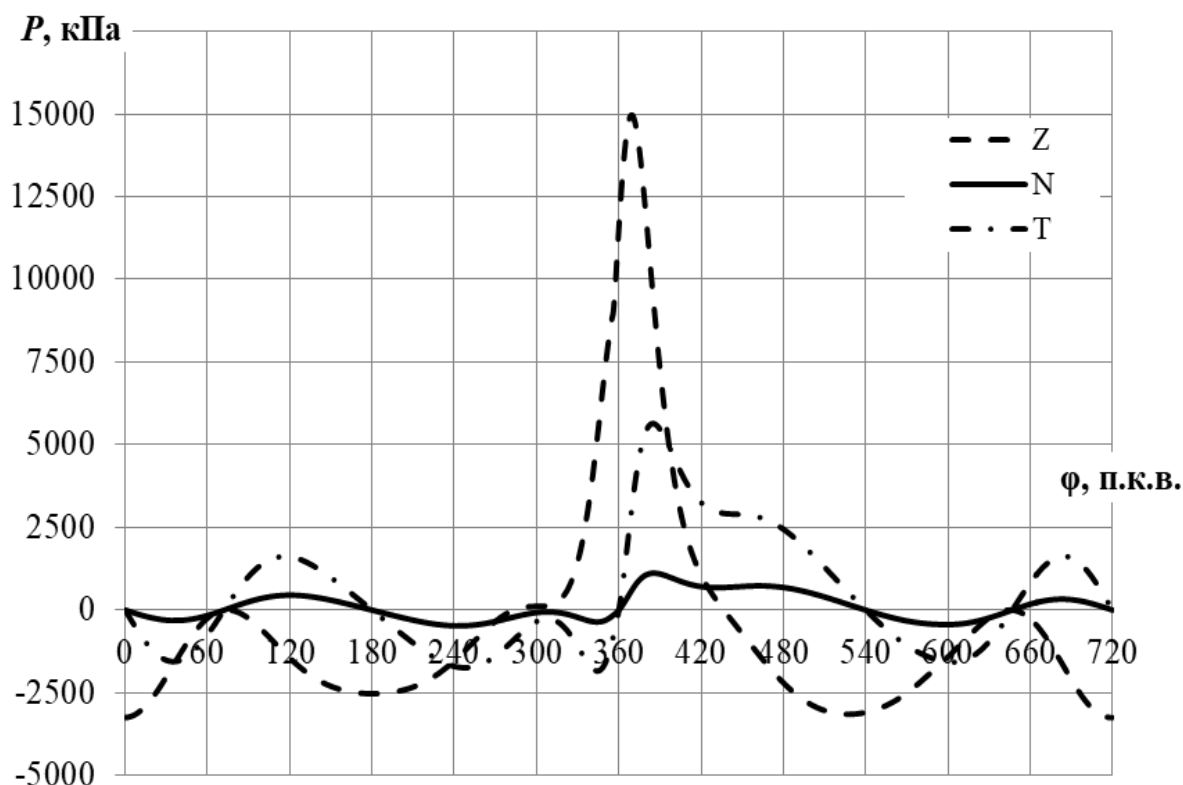


Рисунок 2.6 – Залежності зміни бічної сили N , радіальної сили Z , а також тангенціальної T на номінальному режимі роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

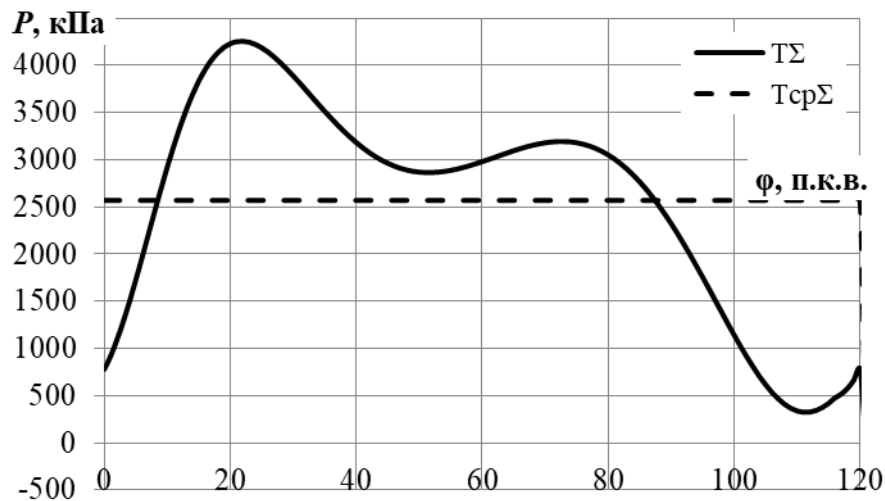


Рисунок 2.7 – Залежність зміни сумарної дотичної сила T_{Σ} , а також середньої дотичної $T_{\Sigma}^{сер}$ на номінальному режимі роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

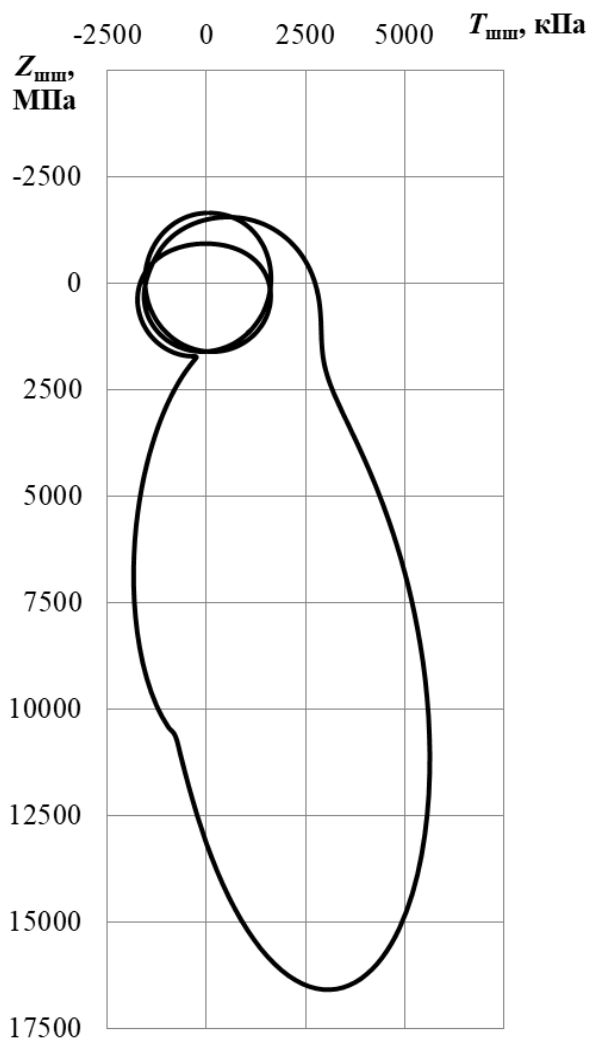


Рисунок 2.8 – Полярна діаграма навантажень шатунної шийки на номінальному режимі роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30)

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.25.13.02.ПЗ

Аркуш

33

2.4. Висновок до розділу

У розділі виконано розрахунок робочого циклу та динаміки номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30) із застосуванням математичної моделі, яка відноситься до термодинамічних моделей у яких реалізовано розрахунок зміни параметрів стану робочого тіла у циліндрі двигуна, базуючись на вирішенні комплексу диференціальних рівнянь. Отримані результати слугуватимуть основою для подальших досліджень та проведення модернізаційних заходів.

					КРМ.142.6221мз.25.13.02.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОГО ДВИГУНА

3.1. Сучасних тенденцій у напрямку розвитку систем паливоподачі дизелів

Нові покоління суднових дизельних двигунів вимагають застосування досить складних систем управління процесом паливоподачі та згоряння, висока вартість (як собівартість так і вартість ремонту та обслуговування) яких трохи знижує ефект від поліпшення паливної економічності та підвищення питомої потужності дизеля. Однак такі додаткові витрати на впровадження нових систем є неминучими, оскільки одним з головних факторів, що визначає в наш час розвиток двигунобудування є постійно посилювані нормування емісії токсичних речовин а також суворі вимоги щодо економічних показників двигуна.

На сьогодні вже майже повсюдно було впроваджено досить прості однак дуже дієві електронні регулятори стабілізуючого типу для багатоплунжерних паливних насосів та насос-форсунок із золотниковим способом регулювання паливоподачі. Досі більш широко застосовувані багатоплунжерні паливні насоси високого тиску замінюються сучасною паливною апаратурою наступного покоління – індивідуальними насосними секціями та паливними насос-форсунками з дозуванням циклової дози палива за допомогою швидкодіючих електромагнітних клапанів, керованих спеціальними програмованими мікроконтролерами. Створення та масове не дороге виробництво швидкодіючого малогабаритного електромагнітного клапанного приводу з досить значним переставним зусиллям значно прискорило розробку та впровадження на дизелях паливної апаратури нового покоління. Найбільш перспективною паливною системою за оцінкою багатьох фахівців є паливна система Common Rail System. Вона надає розробникам двигунів найбільші можливості при виборі тиску упорскування, а також при формуванні законів впорскування палива. Таким чином, завдяки системі Common Rail System будуть найбільш повно та всебічно виконуватися обмеження дизеля по шуму роботи та токсичності відпрацьованих газів, а також вимоги по потужності та паливній економічності. Досить серйозну конкуренцію акумуляторним системам Common Rail System, можуть, скласти системи з насо-

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.03.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

сфорсунками. Такі системи при певних обставинах можуть бути трохи дешевшими для двигунів з малою кількістю робочих циліндрів.

3.2. Критерії якості розпилювання палива в камері згоряння дизеля

Дрібність та якість розпилювання палива форсунками дизельних і газотурбінних двигунів оцінюють найрізноманітнішими методами, що ускладнює порівняння результатів різноманітних досліджень. Про необхідність найбільш повного та об'єктивного визначення характеристик розпилювання палива форсунками свідчать численні наукові дослідження процесів змішування та згоряння рідкого палива.

Процес сумішоутворення поділяють на наступні стадії.

1. Введення рідкого палива в потік повітря, при якому визначальними є відповідні умови роботи самої системи подачі палива.

2. Розпилення струменя поданого палива. Ефективність та якість розпилення (розміри крапель і їх розподіл в об'ємі) напряму залежить від умов подачі палива та стану середовища, в якому відбувається зазначений процес.

3. Мікрозмішування – випаровування розпилених крапель палива та дифузія парів – супроводжується теплообміном між паливом та повітрям. Ці зазначені процеси в своїй більшості є випадковими протікають одночасно з процесом горіння та завершуються вже в зоні полум'я. Вони обумовлюють розташування зони полум'я та умови його стабілізації. Ці процеси значною мірою впливають на повноту згоряння палива у робочому циліндрі дизеля.

Згідно з результатами різних досліджень, процес випаровування крапель напряму залежить від характеристик розпилення палива, що дають найбільш повне та широке уявлення про співвідношення між розмірами і кількістю крапель палива, що містяться в факелі розпиленого форсункою палива. Особливу складність при цьому викликає потреба забезпечення такого спектру розпиленого форсункою палива, який дозволяв би отримати досить помірну жорсткість роботи дизеля й малий період догоряння палива. Таким чином, дрібність розпилення форсункою палива значною мірою визначає перебіг робочого процесу дизельного двигуна при впорскуванні.

					КРМ.142.6221мз.25.13.03.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Методи оцінки дрібності та якості розпилення можна умовно розділити на дві основні групи. До першої з них відносяться такі методи оцінки сукупності крапель палива (що містяться в струмені палива або уловлених на сприймаючу поверхню та ін.) за одним або декількома деякими усередненими критеріями, до другої – методи, що дозволяють встановити відносну кількість крапель палива різних розмірів, з яких складається дана сукупність. Результати, отримані при використанні методів другої групи оцінки дрібності, зазвичай, представляють у вигляді кривих розпилення палива. По ординаті кривих розпилення палива можуть відкладатися як саме число, так і об'єм (або маса) крапель палива (в абсолютних або відносних величинах).

За допомогою методів оцінки дрібності та якості, віднесених до першої групи, можна отримати також критерії, які у значній мірі спрощують розрахункові дослідження процесів сумішоутворення, горіння та ін. У якості критеріїв зазвичай приймають так звані середні діаметри крапель палива, а іноді діаметри найбільших крапель палива та ін. Найбільш поширені способи усереднення крапель палива і формули для визначення їх середніх діаметрів наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні способи усереднення крапель палива та залежності для визначення їх середніх діаметрів

№ з/п	Середній діаметр крапель	Сумарний параметр зважування	Розрахункова формула	Показник ступеня	
				<i>q</i>	<i>p</i>
1	Арифметичний, d_{10}	Кількість крапель	$\frac{\sum z_i d_i}{\sum z_i}$	1	0
2	Поверхневий, d_{20}	Кількість крапель	$\left(\frac{\sum z_i d_i^2}{\sum z_i} \right)^{0,5}$	2	0
3	Об'ємний, d_{30}	Кількість крапель	$\left(\frac{\sum z_i d_i^3}{\sum z_i} \right)^{0,333}$	3	0
4	Об'ємний (по Проберту), d_{31}	Довжина крапель	$\left(\frac{\sum z_i d_i^3}{\sum z_i d_i} \right)^{0,5}$	3	1
5	По Заутеру, d_{32}	Поверхня крапель	$\frac{\sum z_i d_i^3}{\sum z_i d_i^2}$	3	2
6	Об'ємний, d_{43}	Об'єм крапель	$\frac{\sum z_i d_i^4}{\sum z_i d_i^3}$	4	3

Вираз для визначення середніх діаметрів отриманий із загального розрахункового рівняння

$$d_{qp} = \left(\frac{\sum z_i d_i^q}{\sum z_i d_i^p} \right)^{\frac{1}{q-p}},$$

де z_i – число крапель діаметром d_i .

Методи оцінки дрібності та якості розпилення, віднесені до другої групи, базуються на кривих розподілу (кривих частоти), які широко використовуються при оцінці дрібності розпилення палива в дизелях. Згідно з цим методом оцінки ордината кожної точки кривої розпилення палива визначає відносну кількість крапель, діаметр (або радіус) яких відповідає абсцисі цієї ж точки (рис. 3.1).

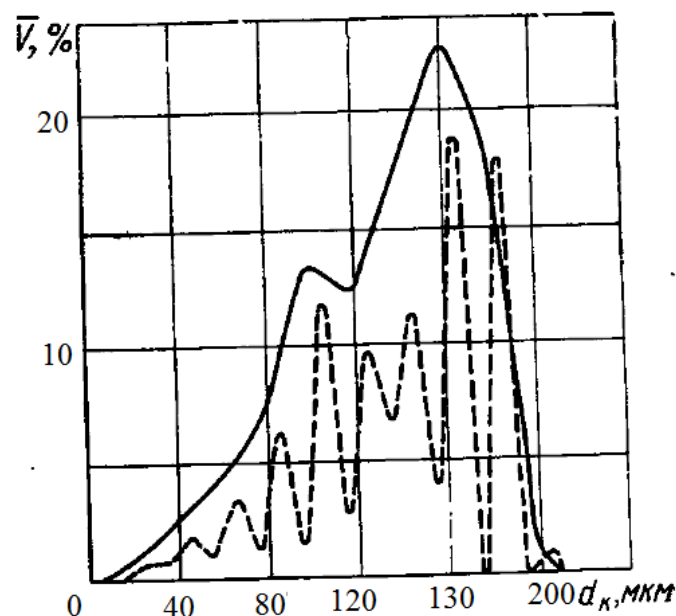


Рисунок 3.1 – Зміна форми кривої розпилення Гейссера – Штробля при поділі однієї і тієї ж сукупності крапель на різну кількість груп

Досить неважко переконатися в неточності такого визначення. Для цього достатньо вибрати 10...15 діаметрів крапель палива, що знаходяться в межах графіка, та підсумувати відповідні їм ординати. Отримана цифра значно перевищить значення у 100 %. Якби на графіку були вказані межі груп, на які поділялися краплі палива при обробці експериментальних дослідів, то число ординат, які можна підсумувати, не перевищило б числа відповідних груп, а їх загальна сума була б меншою або дорів-

нювала 100 %. Від числа груп крапель палива та різниці їх граничних діаметрів на-
пряму залежить також і форма кривої розпилення палива, побудованої за зазначеним
методом. Однак у ряді літературних наукових джерел не вказується різниця гранич-
них діаметрів крапель палива, що відносяться до цих груп.

На рис. 3.1 наведено відповідні криві розподілу залежності відносного об'єму
крапель палива від діаметра, отримані при обробці експериментальних результатів
вимірювання для одного і того ж дослідження. Діаметри виміряних крапель палива
поділялися на групи з максимальною різницею діаметрів у 10 мкм (на рисунку –
штрихова лінія) і 20 мкм (на рисунку – суцільна лінія).

Виходячи з рис. 3.1, зі зміною кількості груп, на які були розділені краплі
палива, отримані при здійсненні одного і того ж експерименту, змінилася як від-
носна кількість крапель палива кожної групи, так і форма самої кривої. При роз-
діленні крапель палива на певні групи з різницею граничних їх діаметрів, рівною
20 мкм, на кривій було отримано два максимуми. При зменшенні різниці гранич-
них діаметрів крапель палива до 10 мкм та відповідному збільшенні кількості
груп крапель палива екстремумів на кривій стало більше в декілька разів. Іншим
граничним значенням діаметрів крапель палива всередині груп (а отже, і кількості
груп) будуть відповідати криві, що відрізняються між собою не тільки ордината-
ми V для одних і тих же діаметрів крапель палива, але і своєю формою. При за-
стосуванні такого методу не можна встановити, яка ж з цих кривих є істинною,
що ускладнює перевірку результатів дослідів в різних експериментах. Подібних
недоліків не містить метод оцінки якості розпилення палива за сумарними та ди-
ференціальними кривими розпилення.

3.3. Розробка конструкції електрокерованої форсунки суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30)

При розробці конструкції електрокерованої форсунки суднового двигуна
Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) ставиться задачі підвищення ефективності роботи, точ-
ності дозування, забезпечення відсутності підвприсків, зменшення демпфірування
коливальних процесів у підвісних деталях форсунки, зниження мас рухомих дета-

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.03.ПЗ</i>	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

лей, а також зменшення ударних навантажень суміжних деталей форсунки, що також сприятиме надійності та довговічності самої форсунки.

Ці зазначені вище задачі вирішується за рахунок того, що при розробці конструкції електрокерованій паливній форсунці було прийнято багато нових технічних рішень. Електрокерована паливна форсунка містить корпус з розміщеними в ньому паливопідвідними та зливними каналами та наскрізною осьовою порожниною. На корпусі закріплено порожнистий розпилювач палива з сопловими отворами. Запірну голку встановлено в порожнині розпилювача з утворенням підгольної камери і сполучену з несучою частиною мультиплікатора замикання. У форсунці крім того міститься пружина замикання голки, центруюча проставка, ущільнювальна частину мультиплікатора замикання, яка виконана у вигляді поршня, діаметр якого перевищує діаметр ущільнювальної частини голки розпилювача і який прецизійно встановлений у втулці мультиплікатора замикання з утворенням камери гідроправління. Також розміщено жиклер камери гідрокерування, кульковий клапан гідрокерування, якір, шток, електромагніт, пружину клапана гідрокерування. Так пропонується між несучою частиною мультиплікатора замикання та наскрізною осьовою порожниною корпусу паливної форсунки коаксіально розміщений демпфер, що складається з циліндричної форми порожнистого корпусу й циліндричної форми порожнистого пружного елемента з еластомеру, вбудованого між внутрішньою поверхнею порожнистого корпусу демпфера та зовнішньою поверхнею несучої частини мультиплікатора замикання. Причому пружний елемент з еластомеру жорстко пов'язаний з цими поверхнями, а корпус демпфера притиснутий до торцевої поверхні втулки мультиплікатора замикання пружиною замикання голки і додатково пружною сферичною шайбою. Демпфування коливальних процесів у рухомій системі клапана гідрокерування здійснюється за рахунок того, що пружний елемент кулькового клапана гідрокерування являє собою сталеву циліндричну пружину, розміщену всередині порожнистого циліндра з еластомеру, причому сталева циліндрична пружина по всій поверхні жорстко пов'язана з еластомером.

					<i>КРМ.142.6221мз.25.13.03.ПЗ</i>	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Розроблена електрокерована паливна форсунка (рис. 3.2) суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) містить у собі корпус 1 з розміщеними в ньому паливними 2 і зливними каналами 3 і наскрізною осьовою порожниною.

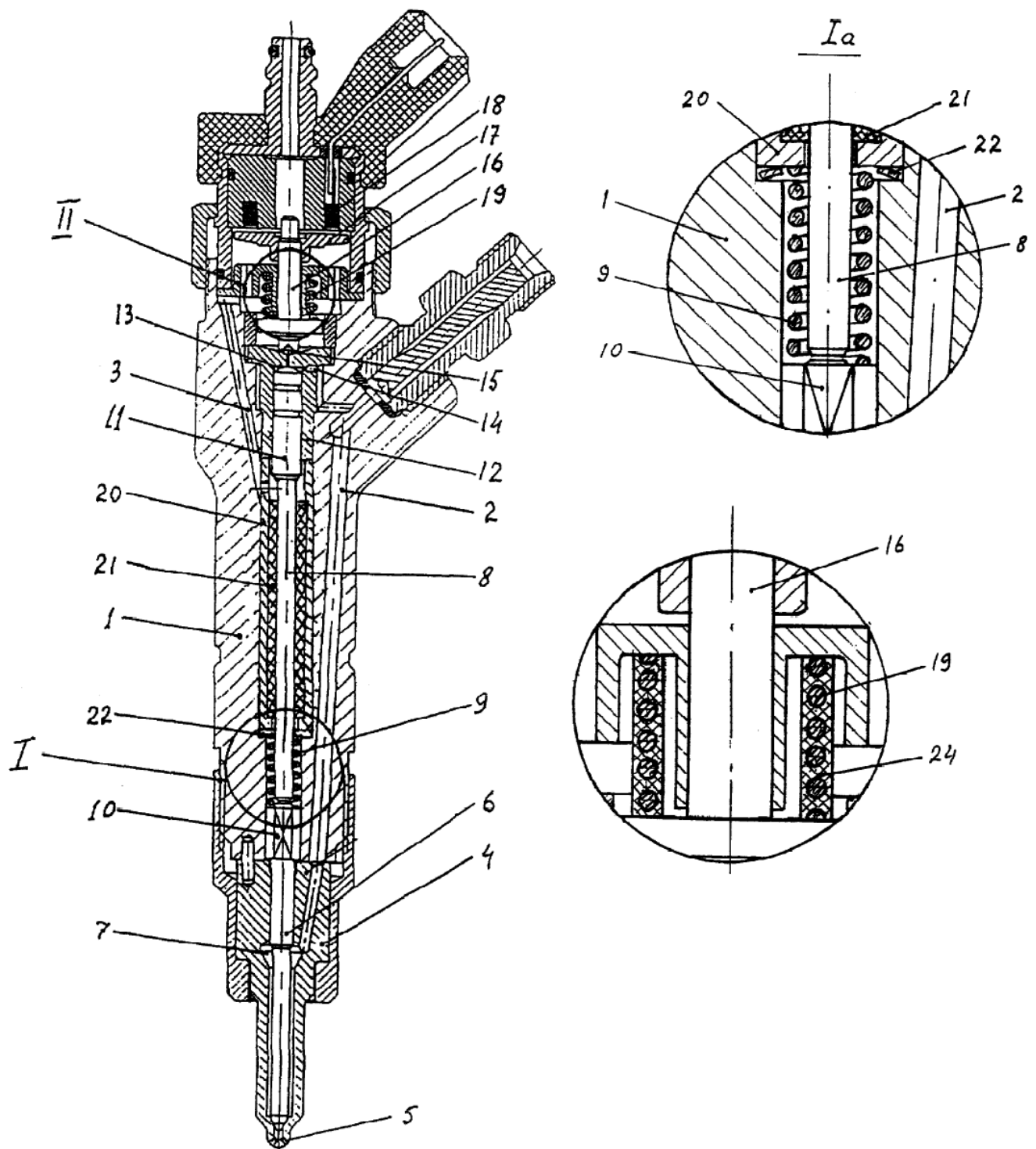


Рисунок 3.2 – Розроблена конструкція електрокерованої форсунки суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30)

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.25.13.03.ПЗ

Аркуш

41

На корпусі закріплено порожнистий розпилювач палива 4 з сопловими отворами 5. Голку 6, встановлена в порожнині розпилювача 4 з утворенням підголкової камери 7 та сполучену з несучою частиною 8 мультиплікатора замикання.

У корпусі встановлено пружину замикання голки 9, центруючу проставку 10, ущільнювальну частину 11 мультиплікатора замикання, виконану у вигляді поршня, діаметр якого перевищує діаметр ущільнювальної частини голки 6 і який прецизійно встановлений у втулці 12 мультиплікатора замикання з утворенням камери гідрокерування 13. Крім того форсунка містить жиклер камери гідрокерування 14, кульковий клапан гідрокерування 15, шток 16, якір 17, електромагніт 18, пружину клапана гідрокерування 19, корпусу демпфера 20, пружний елемент з еластомеру 21, пружні сферичні шайби 22 та 23, пружний елемент 24 кулькового клапана гідрокерування 15.

Розроблена електрокерована паливна форсунка суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) працює наступним чином. При надходженні імпульсу електричного струму в електромагніт 18, якір 17 через шток 16 відкриває кульковий клапан гідрокерування 15, через який відбувається витік палива з камери гідрокерування 13 на злив. Паливо під високим тиском в підголкової камері 7 діє на диференціальну площадку голки 6, яка переміщається, долаючи зусилля пружини 9 замикання голки і інерцію мультиплікатора замикання – відбувається впорскування палива в камеру згоряння дизельного двигуна через соплові отвори 5.

Закінчується процес впорскування палива в момент припинення подачі електричного струму на електромагніт 18. Під дією зусилля стиснення пружини клапана гідрокерування 19 шток 16 притискає кульковий клапан гідрокерування 15 до свого гнізда у втулці 12 мультиплікатора замикання і злив палива з камери гідрокерування 13 припиняється, тиск палива в камері гідрокерування 13 зростає, оскільки воно надходить з лінії високого тиску через паливопідвідний канал 2 і жиклер камери гідрокерування 14 в камеру гідрокерування 13.

Під дією високого тиску в камері гідрокерування 13 мультиплікатор замикання переміщається, впливаючи на голку 6 розпилювача 4 в напрямку закриття

					<i>КРМ.142.6221мз.25.13.03.ПЗ</i>	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

паливної форсунки. Впорскування палива в камеру згоряння дизельного двигуна припиняється.

Під час здійснення процесу впорскування рухома система електрокерованої паливної форсунки, що складається з мультиплікатора замикання 8, 11, голки розпилювача 6 і частини пружини 9 замикання голки, здійснює коливальні рухи у зв'язку з наявністю зворотного зв'язку щодо відповідного положення голки розпилювача 6.

Така нестійкість виникає у зв'язку з тим, що в процесі впорскування циклової дози палива торець ущільнювальної частини 11 мультиплікатора запирання, наближаючись при підйомі голки розпилювача 6 та мультиплікатора запирання до отвору кулькового клапана гідрокерування 15, дроселює потік палива, що йде на злив, за рахунок чого тиск палива в камері гідрокерування підвищується та мультиплікатор разом з голкою розпилювача форсунки переміщається у бік закриття самої форсунки та злив палива з камери гідрокерування знову зростає.

Такий наявний зворотний зв'язок за положенням голки розпилювача форсунки забезпечує скорочення витрати палива на керування та прискорення закриття голки розпилювача за рахунок більш високого, що виник над мультиплікатором замикання тиску палива в процесі закінчення процесу впорскування.

Таким чином, наявність відповідного зворотного зв'язку за положенням голки розпилювача має досить значне позитивне значення, однак при цьому виникають небажані коливальні явища в рухомій системі форсунки. Демпфер, що містить корпус 20 та пружний елемент з еластомеру 21, значною мірою гасить ці утворені коливання рухомої системи паливної форсунки.

Розміри корпусу демпфера 20 та його розміщення відносно відповідної несучої частини мультиплікатора замикання при виготовленні підбираються так, щоб при монтажі паливної форсунки при притиснутій за допомогою пружини 9 замикання голки розпилювача і пружної сферичної шайби 22 до торцевої поверхні втулки мультиплікатора замикання 12 корпусу демпфера 20 пружний елемент демпфера 21 не відчував відповідні напруги зсуву або ці напруги були б досить незначними за рахунок допусків на виготовлення самих деталей та монтаж паливної

					КРМ.142.6221мз.25.13.03.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

форсунки дизеля. У процесі впорскування циклової дози палива при переміщенні несучої частини мультиплікатора замикання 8 у бік відкриття паливної форсунки дизеля при нерухомому корпусі демпфера 20 пружний елемент з еластомеру 21 сприймає напруження зсуву.

Зусилля, що утворюється при цьому, яке діє на несучу частину мультиплікатора замикання 8 на самому початку відсікання, в кінці впорскування палива спрямовано в бік замикання паливної форсунки та воно складається із зусиллям на мультиплікатор тиску палива в камері гідрокерування, що сприяє прискоренню відсікання палива.

У момент закінчення відсічення палива зусилля від відповідного пружного елемента демпфера зникає, та це сприяє значному зниженню ударних навантажень у рухомій системі паливної форсунки дизеля. Товщина пружного елемента з еластомеру 21 обирається з умов дотримання відповідних допустимих напружень зсуву застосованого матеріалу пружного елемента демпфера при знакозмінному динамічному навантаженні.

Наявність відповідної пружини 9 блокування голки розпилювача обов'язкова для блокування голки при зупинці самого дизельного двигуна. Протікання палива через ущільнювальну частину голки розпилювача 6 потрапляють у зливний канал 3 крізь зазор між корпусом паливної форсунки 1 і зовнішньою поверхнею корпусу демпфера 20.

Розроблена конструкція електрокерованої паливної форсунки суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) завдяки наявності демпфера дозволяє знизити масу рухомих деталей за рахунок зниження маси несучої частини мультиплікатора блокування. Зниження маси рухомих деталей електрокерованої паливної форсунки та демпфування коливальних процесів значно знижують ударні навантаження в сполуках рухомої системи та, отже, підвищують довговічність й надійність паливної форсунки дизеля.

В електрокерованої паливної форсунки суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) при використанні електромагнітного приводу для зниження зносу і підвищення надійності та довговічності клапана гідрокерування необхідний дем-

					КРМ.142.6221мз.25.13.03.ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

пфуючий ударні маси елемент. У розробленій конструкції електрогідравлічної форсунки двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) демпфування ударних мас при роботі кулькового клапана гідрокерування 15 здійснюється за рахунок особливої конструкції пружного елемента клапана. Пружний елемент кулькового клапана гідрокерування являє собою сталеву циліндричну пружину 19, розміщену всередині порожнистого циліндра з еластомеру 24, причому така сталева циліндрична пружина по всій поверхні досить жорстко пов'язана з матеріалом самого еластомеру.

При стисненні сталева циліндрична пружина зазнає деформації кручення, а матеріал порожнистого циліндра з еластомеру зазнає досить складного напруження – стиснення й зсуву. При однаковій попередній зтяжці та жорсткості пружини кулькового клапана гідрокерування 19 зі сталевою циліндричною пружиною та розробленою конструкцією пружного елемента (19, 24) пружина пружного елемента клапана вибирається менш жорсткою, а отже, вона має і меншу масу. Крім того, розроблена конструкція пружного елемента клапана має нелінійну характеристику, що сприяє значному посиленню ефекту демпфування утворених коливань.

3.4. Розрахунок та аналіз ефективності застосування розробленої електрокерованої форсунки суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30)

Розроблена електрокерована паливна форсунка суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) дає змогу здійснювати більш точне дозування, забезпечити необхідне регулювання початку та кінця паливоподачі, що у свою чергу дозволяє дещо спростити конструкцію паливного насосу високого тиску. Відповідно ці чинники відобразяться на процесі паливоподачі та якості розпилювання, а як наслідок зміниться процес згоряння та відповідно індикаторні показники. Відповідно у цьому підрозділі головним завданням буде визначення та аналіз цих змін.

Для встановлення змін у робочому циклі здійснюється математичне моделювання та визначення індикаторних та ефективних показників модернізованого дизеля Daihatsu 6DK20 (табл. 3.1 та 3.2)

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.03.ПЗ</i>	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для визначення змін у роботі двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) від встановлення розробленої електрокерованої паливної форсунка

№ з/п	Найменування параметру	Позначення та розмірність	Значення
1	Діаметр	D , м	0,200
2	Хід поршня	S , м	0,300
3	Кількість циліндрів	i_z , шт.	6
4	Частота обертання колінчатого валу	n , хв ⁻¹	900,00
5	Ефективна потужність	N_e , кВт	1040,00
6	Механічний ККД	η_m	0,910
7	Ступінь стискування	ε	15
8	Кривошипно-шатунне відношення	λ	0,224
9	Температура навколишнього повітря	T_0 , К	298
10	Тиск навколишнього середовища	P_0 , кПа	100,200
11	Втрата тиску в ОНП	ΔP_k , кПа	2
12	Опір вихлопної системи (ділянки від виходу з робочого колеса турбіни до зрізу вихлопної труби)	ΔP_t , кПа	2
13	Адіабатний ККД компресора	$\eta_{a.k}$	0,84
14	Адіабатний ККД турбіни	$\eta_{a.t}$	0,82
15	Механічний ККД турбокомпресора	$\eta_{m.tk}$	0,95
16	Температура води на вході в ОНП	$T_w^{\text{ОНП}}$, К	297
17	ККД системи охолодження наддувочного повітря	η_{co}	0,95
18	Число циліндрів, об'єднаних спільною секцією випускного колектора	i_{z1k}	3,00
19	Відношення об'єму секції випускного колектора до робочого об'єму циліндра	$V_{\text{в.к.}}/V_s$	5,000
20	Константа імпульсності	Φ	1,280
21	Кут початку впорскування палива	$\varphi_{\text{н.}}^{\text{ВП.}}$, град. п.к.в.	350
22	Тривалість уприскування палива	$\varphi_{\text{впр.}}$, град. п.к.в.	26
23	Кут відкриття випускного клапана	$\varphi_{\text{о.}}^{\text{ВИП.}}$, град. п.к.в.	492
24	Кут закриття випускного клапана	$\varphi_{\text{з.}}^{\text{ВИП.}}$, град. п.к.в.	30
25	Кут відкриття впускного клапана	$\varphi_{\text{о.}}^{\text{ВП.}}$, град. п.к.в.	670
26	Кут закриття впускного клапана	$\varphi_{\text{з.}}^{\text{ВП.}}$, град. п.к.в.	203
27	Тривалість відкривання впускного клапана	$\varphi_{\text{п.о.}}^{\text{ВП.}}$, град. п.к.в.	90,00
28	Тривалість відкривання випускного клапана	$\varphi_{\text{п.о.}}^{\text{ВИП.}}$, град. п.к.в.	90,00
29	Тривалість закривання впускного клапана	$\varphi_{\text{п.з.}}^{\text{ВП.}}$, град. п.к.в.	90,00
30	Тривалість закривання випускного клапана	$\varphi_{\text{п.з.}}^{\text{ВИП.}}$, град. п.к.в.	90,00
31	Діаметр впускного клапана	$d_{\text{ВП.}}^{\text{КЛ.}}$, м	0,070
32	Кількість впускних клапанів	$n_{\text{ВП.}}^{\text{КЛ.}}$	2
33	Діаметр випускного клапана	$d_{\text{ВИП.}}^{\text{КЛ.}}$, м	0,070
34	Кількість випускних клапанів	$n_{\text{ВИП.}}^{\text{КЛ.}}$	2
35	Висота підйому впускних клапанів	$h_{\text{ВП.}}^{\text{КЛ.}}$, м	0,025
36	Кут конуса тарілки тарілки впускних клапанів	$\alpha_{\text{ВП.}}^{\text{КЛ.}}$, град.	60
37	Висота підйому випускних клапанів	$h_{\text{ВИП.}}^{\text{КЛ.}}$, м	0,025

38	Кут конуса тарілки випускних клапанів	$\alpha_{\text{вип.кл.}}$, град.	60
39	Коефіцієнт витрати для впускного клапана	$\mu_{\text{вп.к.}}$	0,83
40	Коефіцієнт витрати для випускного клапана	$\mu_{\text{вип.к.}}$	0,86
41	Пропускна здатність турбіни	μF_t , м ²	0,00688
42	Коефіцієнт у формулі Толстого для визначення часу затримки займання палива	A_i	0,0000038
43	Нижча теплота згоряння палива	Q_n , кДж/(кг·К)	42427,4
44	Показник характеру процесу згоряння	m	0,400
45	Частка згорілого палива до кінця процесу згоряння	X_z	0,999
46	Щільність палива	ρ_p , кг/м ³	848
47	Цетанове число палива	—	45
48	Молекулярна маса палива	μ_p , кг/кмоль	220
49	Коефіцієнт поверхневого натягу палива	σ_p , Н/м	0,0280
50	Коефіцієнт у формулі Толстого для визначення часу затримки займання палива	k_n	0,00016
51	Умовна енергія активації	E_a , кДж/кмоль	21000,00
52	Кількість соплових отворів форсунки	i_c	6,00
53	Діаметр соплових отворів форсунки	d_c , м	0,00035
54	Коефіцієнт у формулі визначення середнього діаметра крапель	E_c	1,7
55	Відстань від розпилювача форсунки до стінки камери згоряння	L_{wall} , м	0,07
56	Товщина стінки втулки	Δ_s , м	0,02
57	Коефіцієнт термічного опору стінки втулки	$R_{\text{ствт}}$, (м ² ·К)/кВт	0,300
58	Коефіцієнт термічного опору стінки кришки	$R_{\text{сткр}}$, (м ² ·К)/кВт	0,300
59	Коефіцієнт термічного опору стінки поршня	$R_{\text{стпр}}$, (м ² ·К)/кВт	0,300
60	Довжина охолоджуваної частини втулки (у відсотках від ходу поршня)	$h_{\text{ов}}$, %	80
61	Частка теплоти тертя, що відводиться з водою	$a_{\text{тр.}}^w$	0,78
62	Частка теплоти тертя, що відводиться з маслом	$a_{\text{тр.}}^m$	0,22
63	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки втулки до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{вт}}$, кВт/(м ² ·К)	3
64	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки кришки до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{кр}}$, кВт/(м ² ·К)	3
65	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки поршня до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{пр}}$, кВт/(м ² ·К)	2,5
66	Середня температура води в сорочці двигуна	$T_w^{\text{вт}}$, К	358
67	Середня температура води в кришці двигуна	$T_w^{\text{кр}}$, К	358
68	Середня температура масла, що охолоджує поршень	$T_w^{\text{пр}}$, К	373

Таблиця 3.2 – Результати визначення змін у роботі двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) від встановлення розробленої електрокерованої паливної форсунки

№ з/п	Найменування параметру	Позначення та розмірність	Значення
1	Ефективна потужність ДВЗ	N_e , кВт	1039,63

2	Питома ефективна витрата палива ДВЗ	g_e , кг/(кВт·год)	0,1850
3	Ступінь підвищення тиску в компресорі	Π_k	3,446
4	Тривалість згорання	$\varphi_{зг.}$, град.	94,60
5	Кут затримки займання палива	$\varphi_{з.}^{восп.}$, град.	5
6	Кут початку видимого згорання	$\varphi_{н.}^{згор.}$, град.	355
7	Середній тиск впорскування всієї порції палива	P_{inj} , МПа	63,146
8	Середній діаметр крапель	d_{32} , мкм	12,315
9	Кут, під яким факел досягає стінок камери згорання	φ_{wall} , град.	15
10	Тривалість взаємодії факела зі стінками камери згорання	φ_{fr} , град.	8
11	Максимальний тиск згорання	P_z , кПа	19591,71
12	Максимальна температура згорання	T_z , К	1569,12
13	Середній індикаторний тиск	P_i , кПа	2693,80
14	Середній ефективний тиск	P_e , кПа	2451,36
15	Тиск повітря в ресивері	P_s , кПа	343,24
16	Температура повітря в ресивері	T_s , К	304,57
17	Тиск суміші наприкінці стиснення	P_c , кПа	12218,82
18	Температура суміші наприкінці стиснення	T_c , К	755,27
19	Середня температура газів перед турбіною	T_t , К	686,6
20	Середній тиск газів перед турбіною	P_t , кПа	235,4
21	Середня температура газів за турбіною	T_{zt} , К	633,3
22	Температура газів у момент відкриття випускного клапана	T_b , К	943,2
23	Тиск газів у момент відкриття випускного клапана	P_b , кПа	1230,1
24	Температура наддувного повітря	T_k , К	448,4082
25	Температура залишкових газів	T_r , К	320,13
26	Тепло, відведене у воду	Q_w , кВт	126,9
27	Тепло, відведене в масло	Q_m , кВт	38,6
28	Тепло, що відводиться в ОНП від стиснутого повітря	$Q_w^{ОНП}$, кВт	298,6
29	Тепло, що втрачається з ВГ	$Q_w^{ВГ}$, кВт	754,4
30	Витрата повітря через компресор	G_k , кг/с	1,9773
31	Витрата газу через газову турбіну	G_t , кг/с	2,0253
32	Потужність турбіни газової турбіни	N_{et} , кВт	298,7451
33	Потужність компресора	N_{ek} , кВт	298,9438
34	Коефіцієнт залишкових газів	γ_r	0,0265
35	Коефіцієнт надлишку повітря при згоранні	α	2,24
36	Коефіцієнт продувки	φ_a	1,158

За результатами визначення змін у роботі двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) від встановлення розробленої електрокерованої паливної форсунки було також одержано ряд залежностей наведених на рис. 3.3–3.8.

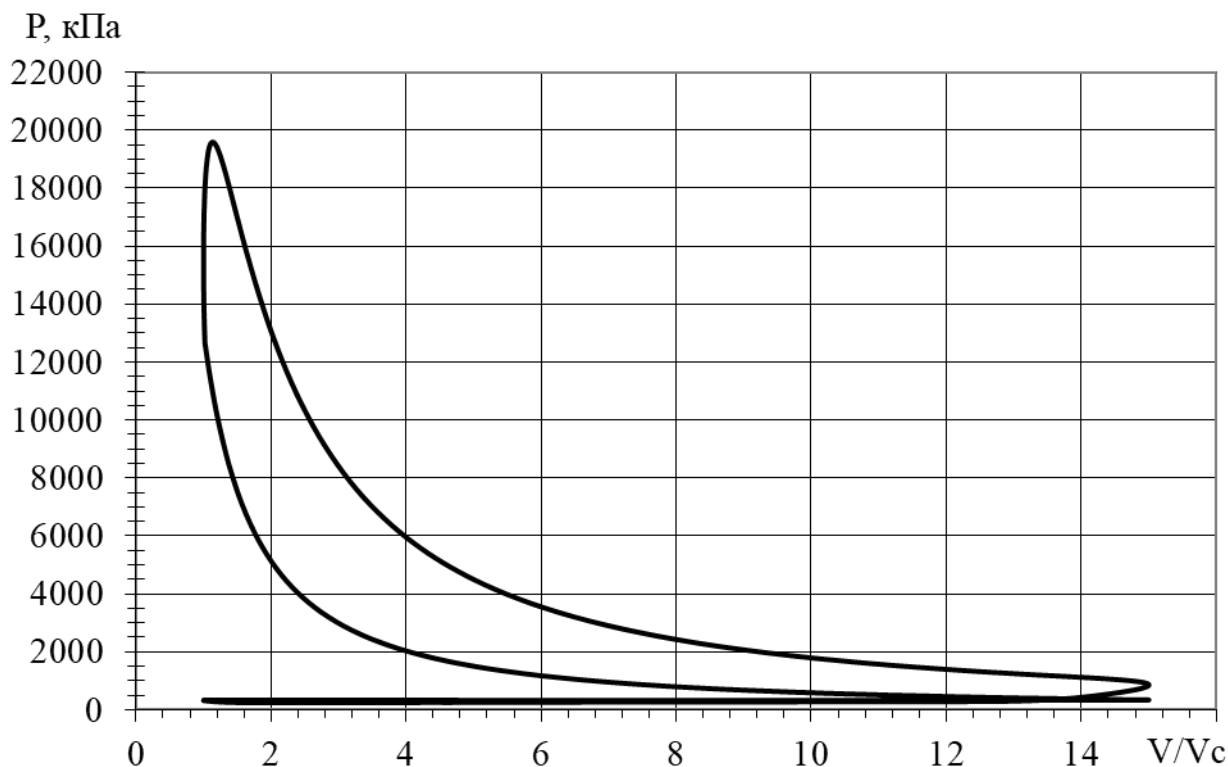


Рисунок 3.3 – Згорнута індикаторна P - V діаграма номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) при встановленні розробленої електрокерованої паливної форсунки

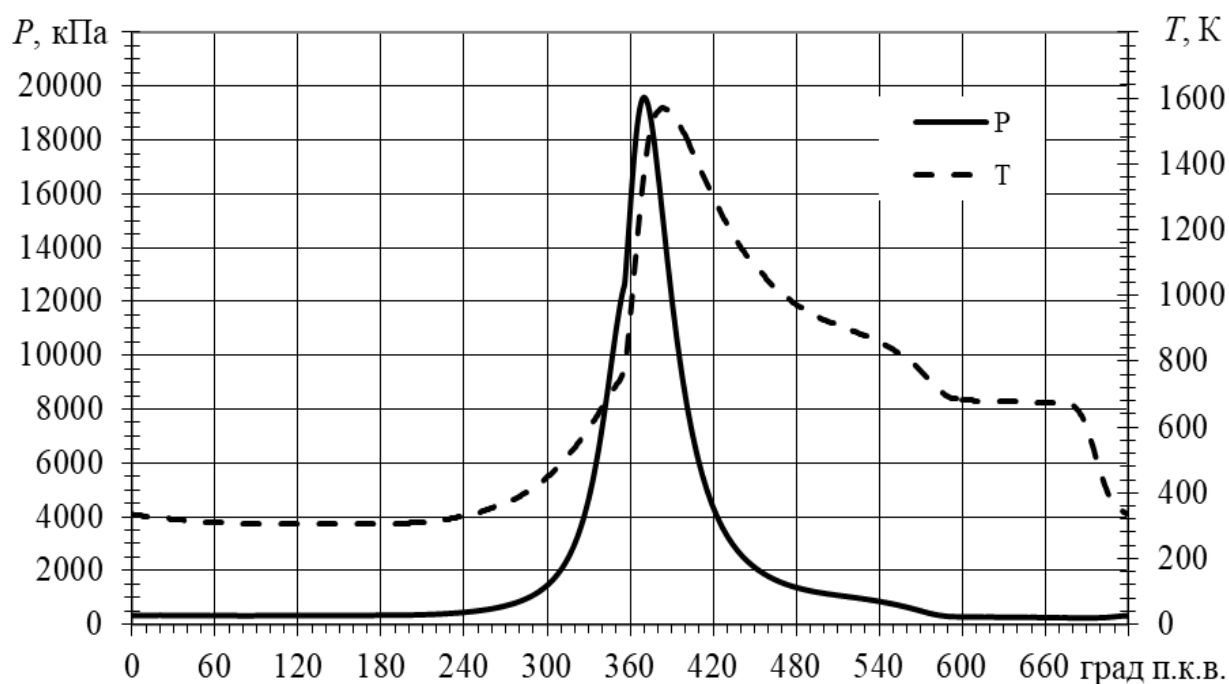


Рисунок 3.4 – Розгорнута індикаторна $P = f(\varphi)$ діаграма та діаграма температури $T = f(\varphi)$ номінального режиму роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30) при встановленні розробленої електрокерованої паливної форсунки

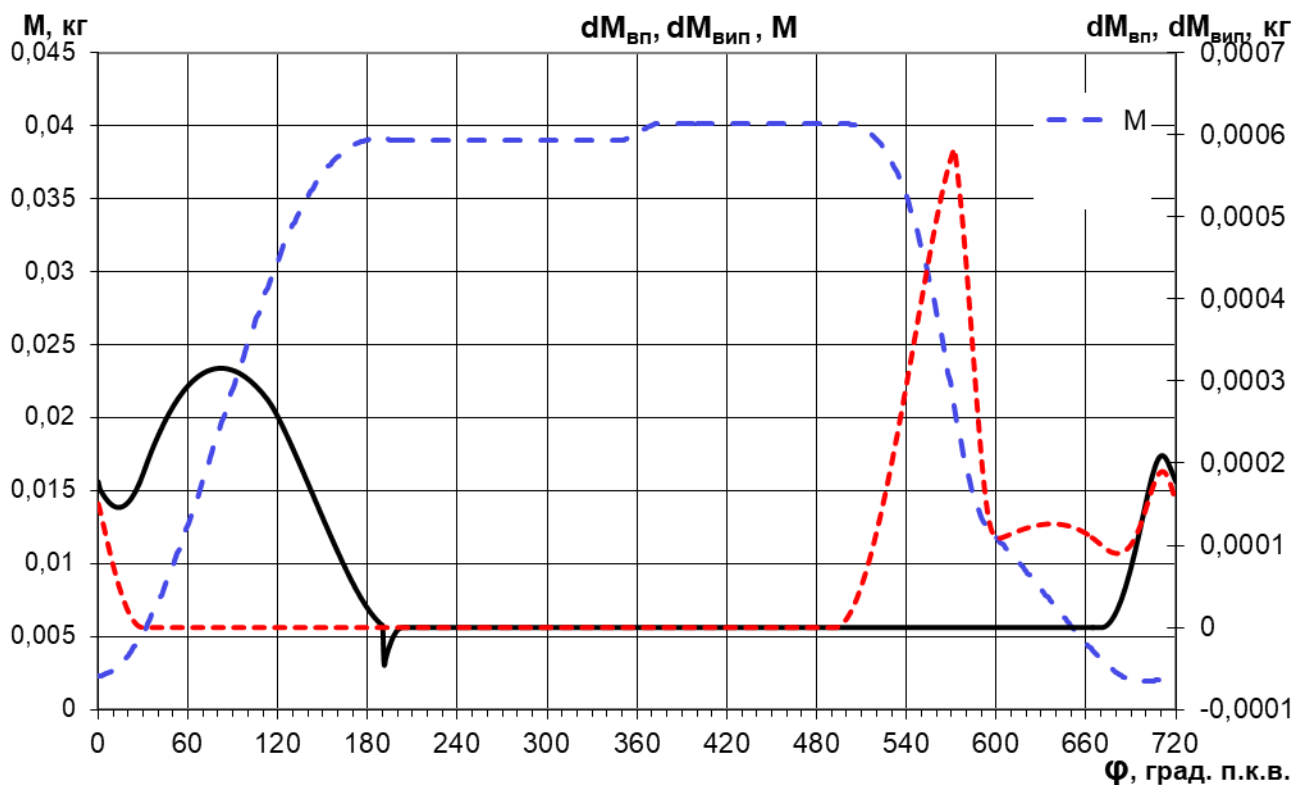


Рисунок 3.5 – Зміна маси робочого тіла у циліндрі на номінальному режимі роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30) при встановленні розробленої електрокерованої паливної форсунки

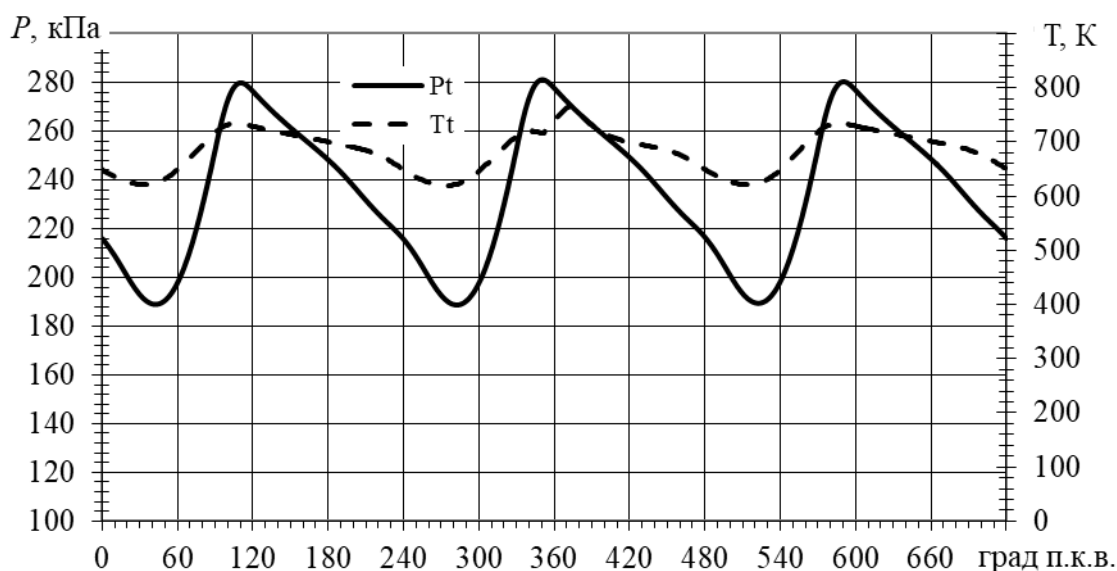


Рисунок 3.6 – Зміна тиску P_t та температури T_t у випускному колекторі суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30) при встановленні розробленої електрокерованої паливної форсунки

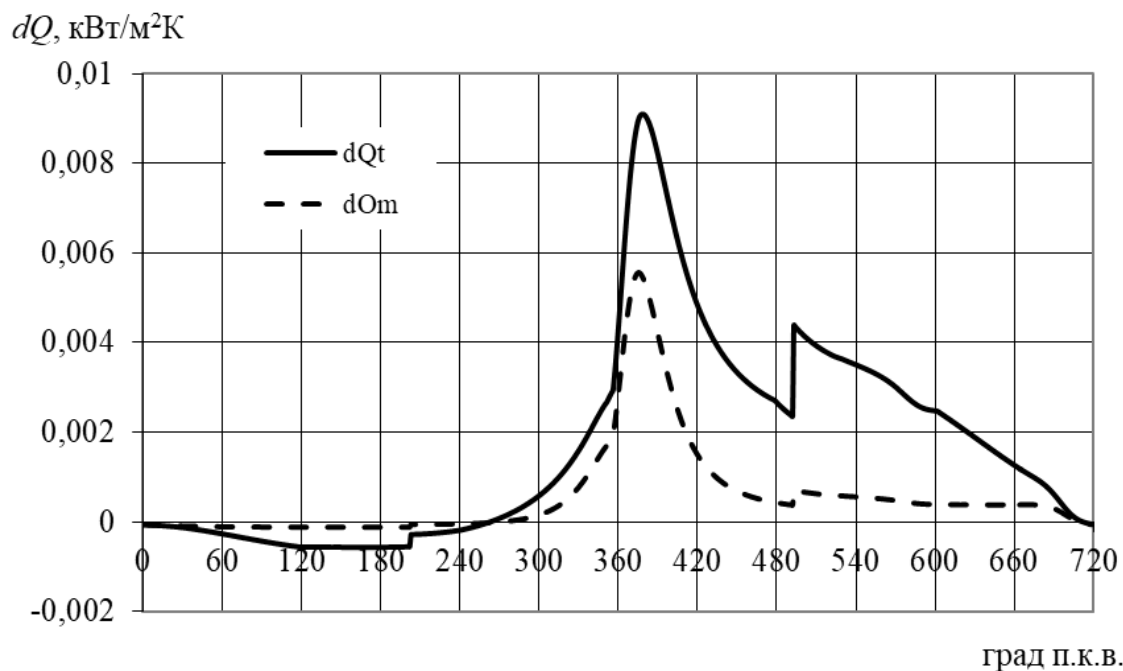


Рисунок 3.7 – Втрати тепла у теплоносії (охолоджуючу рідину та масло) на номінальному режимі роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30) при встановленні розробленої електрокерованої паливної форсунка

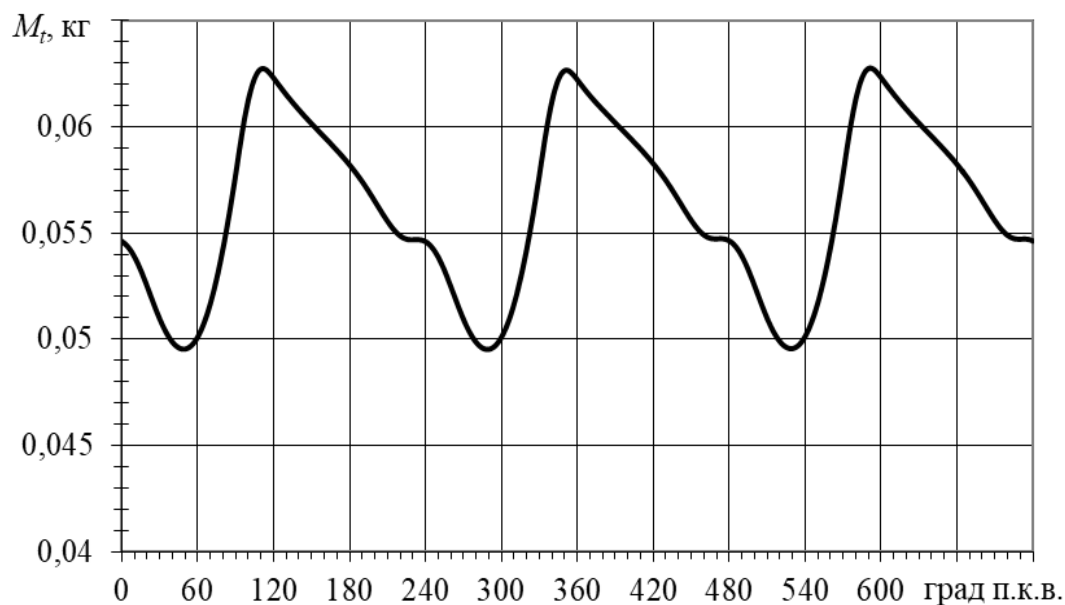


Рисунок 3.8 – Зміна маси M_t у випускному колекторі на номінальному режимі роботи суднового двигуна Daihatsu Diesel 6DK20 (6ЧН 20/30) при встановленні розробленої електрокерованої паливної форсунка

3.5. Висновки до розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто сучасні тенденції у напрямку розвитку систем паливоподачі дизельних двигунів, а також проаналізовано критерії якості розпилювання палива в камері згоряння дизелів.

Розроблено конструкцію електрокерованої паливної форсунки суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30), а також виконано розрахунок та аналіз ефективності застосування розробленої електрокерованої форсунки. Застосування розробленої форсунки забезпечує підвищення тиску упорскування на 13,6 %, зменшення тривалості упорскування на 2 град. п.к.в., а також зменшення середнього діаметру крапель на 5,2 %.

Зміни у процесах упорскування палива, сумішоутворення та згоряння, обумовлені застосуванням розробленої електрокерованої форсунки, забезпечили зниження питомої ефективної витрати палива двигуном Daihatsu 6DK20 на 4,10 г/(кВт·год).

					КРМ.142.6221мз.25.13.03.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		52

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗДІЙСНЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОГО ДВИГУНА DAIHATSU 6DK-20 (6ЧН 20/30)

4.1. Техніко-економічне обґрунтування здійснення модернізації паливної системи суднового двигуна DAIHATSU 6DK-20 (6ЧН 20/30)

Проведення техніко-економічного обґрунтування здійснення модернізації паливної системи суднового двигуна DAIHATSU 6DK-20 (6ЧН 20/30) фактично є одним з базових етапів виконання кваліфікаційної роботи. Цей етап роботи має включати в себе аналіз технічної можливості, економічної обґрунтованості й суспільної потреби здійснення модернізації паливної системи суднового двигуна DAIHATSU 6DK-20 (6ЧН 20/30). При цьому базовими етапами техніко-економічного обґрунтування є:

- аналіз та попередній збір усіх необхідних даних; дослідження рівня технічного розвитку подібних аналогів двигунів, а саме їх умови експлуатації, характеристик роботи, ресурсу, можливих відмов; аналіз та розгляд експлуатаційної та технічної документації; розрахунок поточних затрат на паливо, ремонтування й обслуговування;

- встановлення основних цілей та завдань модернізації; формулювання проміжних етапів та цілей; оцінка очікуваних результатів від модернізації;

- обрання можливих варіантів модернізації двигуна; розробка та аналіз декількох можливих технічних рішень зі здійснення модернізації дизеля (наприклад, встановлення нових систем впорскування, заміна певних вузлів, покращення системи охолодження тощо); оцінка та аналіз технічної реалізації кожного з розроблених варіантів;

- техніко-проектний аналіз ймовірних варіантів; оцінювання впливу модернізації суднового дизеля на техніко-економічні характеристики; встановлення та відокремлення потенційних переваг і недоліків кожного з розроблених варіантів; встановлення екологічного, а також ресурсозберігаючого ефекту від модернізації суднового дизеля;

					КРМ.142.6221мз.25.13.04.ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– економічне оцінювання усіх розроблених варіантів; визначення капітальних витрат на здійснення модернізації кожного з розроблених варіантів; аналіз та розрахунок усіх можливих експлуатаційних витрат на судновий дизель (паливо-мастильні матеріали, ремонтування, тех. обслуговування тощо); визначення економічного ефекту від модернізування (питома економія палива, зменшення можливих експлуатаційних витрат чи собівартості виготовлення); встановлення можливого терміну окупності потрібних інвестицій у розроблений проект з модернізації суднового дизеля;

– визначення ймовірних ризиків, а також обрання оптимального напрямку; теоретична оцінка технічних, а також ймовірних економічних ризиків; обрання найбільш вигідного з розроблених варіантів з модернізації суднового дизельного двигуна;

– формування та підготовка потрібного звіту, підсумовування та систематизація даних та одержаних результатів і висновків, а також розробка рекомендацій щодо здійснення розробленого проекту з модернізації дизельного двигуна;

– прийняття необхідного рішення і підготовка до можливої реалізації проекту з модернізації дизельного двигуна, презентація з модернізації дизельного двигуна зацікавленим особам, а також одержання позитивного рішення й планування впровадження проекту.

Виконана модернізація за рахунок застосуванням розробленої електрокерованої форсунки, забезпечила зниження питомої ефективної витрати палива двигуном Daihatsu 6DK20 на 4,10 г/(кВт·год), що забезпечує зниження витрат на паливо судновласником.

Техніко-економічні характеристики двигуном Daihatsu 6DK20 до та після застосуванням розробленої електрокерованої форсунки, а також розрахунок обґрунтування подано у таблицях 4.1 та 4.2.

					<i>КРМ.142.6221мз.25.13.04.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні характеристики двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) до та після застосуванням розробленої електрокерованої форсунки

№ з.п.	Найменування показників	Позначення	Розмірність	Базовий DAIHATSU 6DK-20	Модернізований DAIHATSU 6DK-20
1	Потужність	N_e	кВт	1040	1040
2	Частота обертання	n	хв ⁻¹	900	900
3	Діаметр циліндра	D	м	0,2	0,2
4	Хід поршня	S	м	0,3	0,3
5	Питома витрата палива	g_e	кг/кВт·год	0,1891	0,185
6	Механічний ккд	η_m	–	0,91	0,91
7	Питома витрата масла	g_m	кг/кВт·год	0,000567	0,000555
8	Вага	G	кг	7650	7650
9	Габарити	L	мм	3275	3275
10		B	мм	1800	1800
11		H	мм	2890	2890
12	Ціна двигуна	Π	грн	8956700	9159550
13	Ціна палива	$\Pi_{\text{п}}$	грн/кВт·год	13,19302	12,90697674
14	Ціна масла	$\Pi_{\text{м}}$	грн/кг	29,5	29,5
15	Час роботи за рік	t	год	3550	3550
16	Число контрольних ремонтів	η	–	1	1
17	Сумарний коефіцієнт по капітальних ремонтах	ε_{min}	–	1,1	1,1
18	Коефіцієнт частини вартості роботи	b	–	0,05	0,05
19	Коефіцієнт використання потужності	$K_{\text{п}}$	–	0,95	0,95
20	Коефіцієнт частини вартості капітального ремонту	$K_{\text{к.р}}$	–	0,3	0,3
21	Час безперервної роботи	$t_{\text{н.р}}$	год	20	20
22	Ресурс двигуна до першого перебирання	$t_{\text{пер}}$	год	12000	12000
23	Ресурс двигуна до капітального ремонту	$t_{\text{к.р}}$	–	72000	72000
24	Нормативний коефіцієнт порівняння економ. ефектив.	E	кВт	0,15	0,15

Таблиця 4.2 – Розрахунок техніко-економічного обґрунтування застосуванням розробленої електрокерованої форсунки на двигуні Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30)

№ з.п.	Найменування	Позначення	Спосіб визначення	Базовий DAIHATSU 6DK-20	Модернізований DAIHATSU 6DK-20
1	Річна продуктивність модернізованого ДВЗ	N , кВт·год в рік	$N = K_{\text{п}} \cdot N_e \cdot t$	3507400	3507400

2	Термін служби	Т, рік	$T = \frac{t_{\text{кп}}}{t}$	20,28	20,28
3	Річні поточні витрати на паливо	З _п , грн	$З_n = N \cdot Ц_n \cdot g_{\varepsilon}$	8750263,967	8374937,093
4	Річні поточні витрати на масло	З _м , грн	$З_m = g_m \cdot N \cdot Ц_m$	58697,56659	57424,9065
5	Річні витрати на поточний ремонт	З _{п.р} , грн	$З_{n.p} = \frac{b \cdot t \cdot Ц}{t_{\text{неп}}}$	132484,5208	135485,0104
6	Річні витрати на капітальний ремонт	З _{к.р} , грн	$З_{k.p} = \frac{K_{k.p} \cdot t \cdot Ц}{t_{k.p} \cdot \varepsilon_{\min}}$	120440,47	123168,19
7	Річний економічний ефект у споживача	U ₁ , грн	$U_1 = З_n + З_m + З_{k.p} + З_{n.p}$	9061886,53	8691015,20
8		U ₁ ^{1б} , грн	$U_1^{1б} = \frac{N_c}{N_{\varepsilon}} \cdot U_1^{\varepsilon}$	9061886,528	–
9	Річний економічний ефект у споживача від використання модернізованого ДВЗ	Е _к , грн	$E_k = \left[Ц_{\varepsilon} \cdot \frac{N_c}{N_{\varepsilon}} \cdot \left(\frac{\frac{1}{T_{\varepsilon}} + E_{\varepsilon}}{\frac{1}{T_c} + E_c} \right) + \frac{U_1^{1б} - U_1^c}{\frac{1}{T_c} + E_c} \right] - Ц_c$	1657967,806	
10	Додаткові одноразові витрати на модернізацію ДВЗ	ΔК, грн	–	202850	
11	Річна економія при експлуатації модернізованого ДВЗ	ΔS, грн	$\Delta S = U_1^{1б} - U_1^c$	370871,33	
12	Час окупності модернізованого ДВЗ	Т _{окуп} , рік/місяць	$T_{\text{окуп}} = \frac{\Delta K}{\Delta S}$	0,55/ 6,6	

4.2. Висновки до розділу

У розділі здійснено техніко-економічне обґрунтування проведення модернізації та застосування розробленої електрокерованої форсунки на двигуні Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30). Було визначено, що річна економія від застосування розробленої електрокерованої форсунки становить 370871,33 грн, а капітальні матеріальні витрати на виготовлення та заміну елементів паливної системи дизеля окупляться за 0,55 року (або 6,60 місяці).

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Розробка вимоги з охорони праці

Модернізація паливної системи суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) потребує розробки певних вимог з охорони праці при її реалізації. Зокрема потрібно демонтувати стару паливну систему та встановити нову, відрегулювати її та випробувати.

До виконання дій щодо демонтажу старої паливної системи та встановлення нової з електрокерованими паливними форсунками допускаються тільки особи, які пройшли відповідний медичний огляд, навчання з техніки безпеки, усі інструктажі з експлуатації необхідного обладнання та пожежної безпеки.

Обов'язково усі робітники повинні знати будову паливної апаратури даного двигуна, мати практичні навички з розбирання та збирання, а також знати усі особливості поводження з рідкими займистими речовинами до яких належить і дизельне паливо.

Робоче місце для виконання зазначених вище робіт з переобладнання паливної системи дизеля повинно бути чистим, сухим, добре освітленим та провітрюваним (мати витяжку). Усі інструменти та пристосування для здійснення демонтажу старої паливної системи та встановлення нової повинні бути справними та повністю відповідати необхідним роботам. Обов'язково потрібно звільнити свій робочий стіл від усіх сторонніх та зайвих предметів.

При здійсненні роботі в машинному відділенні де встановлено дизель Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) повинна забезпечуватися гарна вентиляція для видалення парів палива.

Перед виконанням усіх запланованих робіт з демонтажу старої паливної системи та встановлення нової потрібно виконати підготовчі роботи. Зокрема перед початком робіт необхідно спочатку зупинити двигун, охолодити його, скинути надлишковий тиск у паливній системі. Суворо забороняється виконувати будь-

					КРМ.142.6221мз.25.13.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

який ремонт при обертанні колінчастого валу або коли паливна система дизеля знаходиться під тиском.

Обов'язково необхідно відключити живлення дизеля, а саме відключити подачу палива; живлення електрообладнання двигуна, якщо воно пов'язане з паливною системою або може становити загрозу людині при здійсненні робіт.

Усі наявні залишки дизельного палива з системи необхідно злити в спеціальні ємності з кришками. Суворо забороняється зливати дизельне паливо у відкриті відра або на палубу.

При здійсненні демонтажу старої паливної системи суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) та встановленні нової, регулюванні її та випробуванні обов'язково необхідно користуватися різними засобами індивідуального захисту (ЗІЗ).

При здійсненні робіт необхідно користуватися бавовняним спецодягом (без слідів масла та палива на ньому), захисними окулярами (при продувці та випробуваннях форсунок); рукавичками (при розбиранні та складанні деталей паливної системи). У разі виконання робіт в машинному відділенні при працюючих механізмах необхідно використовувати беруші або навушники. Будь-які роботи з промивання та очищення деталей паливної системи розчинниками необхідно здійснювати у респіраторі.

При здійсненні відповідних робіт при розбиранні та складанні паливної системи суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) потрібно дотримуватися правил безпеки. Так, деталі паливної апаратури (паливні форсунки, насоси високого тиску та насоси для підкачки палива) розбирати лише тільки на спеціально обладнаному і підготовленому для цього столі.

Не застосовувати надмірних зусиль або сильних ударів по корпусах паливної апаратури. Використовувати лише тільки справний інструмент та за їх прямим призначенням.

Промивати та очищувати деталі паливної апаратури в гасі або спеціальному дизельному паливі потрібно обов'язково подалі від джерел вогню. Розчинники

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.05.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		58

для здійснення промивки та очищення використовувати лише тільки в добре провітрюваному приміщенні з гарною вентиляцією.

Після збирання нової паливної системи з електрокерованими паливними форсунками суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) обов'язково необхідно перевірити герметичність усіх з'єднань, особливо тих, що знаходяться під високим тиском (наприклад, паливопровод високого тиску). При перевірці та регулюванні паливних електрокерованих форсунок під тиском не направляти струмін палива на руки або тіло.

На місці виконання усіх робіт повинні бути розміщені вогнегасники (порошкові або вуглекислотні) у доступному для швидкого застосування місці. Куріння та відкритий вогонь поблизу паливної апаратури дизеля суворо заборонені.

У разі виникнення розливу палива потрібно негайно протерти ганчіркою це місце, потім цю забруднену ганчірку скласти в металевий ящик з кришкою, а потім обов'язково провітрити приміщення.

Під час випробувань необхідно особливо ретельно дотримуватися усіх правил безпеки. Випробування паливних насосів високого тиску та паливних електрокерованих форсунок проводять на спеціальних стендах із захисним екраном.

Перед увімкненням для випробування зібраної паливної системи дизеля потрібно обов'язково переконатися, що всі з'єднання добре затягнуті, тиск палива у системі не перевищує допустимого значення, а усі особи перебувають поза зоною можливого викиду палива. Регулювання та налаштування паливної системи дизеля Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) здійснювати лише згідно з розробленими рекомендаціями.

У разі виникнення травмування людиною необхідно надати їй першу домедичну допомогу. Так при попаданні палива на шкіру – швидко змити його теплою водою використовуючи при цьому мило. У разі потрапляння палива в очі – швидко промити великою кількістю чистої води та невідкладно звернутися до лікаря.

При отриманні опіків або отруєнь парами – швидко вивести потерпілого на свіже повітря, а при необхідності викликати медперсонал для надання більш складної допомоги спеціаліста.

					<i>КРМ.142.6221мз.25.13.05.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

По завершенню усіх потрібних робіт з демонтажу старої паливної системи та встановлення нової, регулювання та випробування дизеля Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30) необхідно обов'язково перевірити, чи немає витоків палива. Після цього протерти своє місце роботи, прибрати увесь інструмент, а також злити відпрацьовані рідини в спеціально відведені ємності. Потім необхідно здати усе обладнання під нагляд відповідальної особи.

5.2. Аналіз негативної дії вібрації та шуму на навколишнє середовище та організм людини

Вплив вібрації на людину має як фізіологічні так і психологічні наслідки. Зокрема фізіологічні наслідки проявляються у хронічній втомі, дратівливості, головній білі, порушенні роботи серцево-судинної системи людини (підвищення тиску виникнення тахікардії), значному розладі нервової системи людини, який може проявлятися у вигляді тремору, безсоння, зниження концентрації уваги. Крім того від дії вібрації виникають хвороби опорно-рухового апарату (так звана вібраційна хвороба), ураження суглобів людини та судин кінцівок, а також значне погіршення координації рухів, що підвищує ризик виникнення травм або нещасних випадків.

Зокрема психологічні наслідки проявляються у значному зниженні працездатності людини, її концентрації уваги, пам'яті, а також появі дратівливості, депресії та суттєвих нервових розладів.

Вплив вібрації на навколишнє середовище має як на неживі речі так і на живі. Зокрема вібрація негативно діє на споруди та конструкції сприяючи виникненню мікротріщин, ослабленню конструкцій, прискоренню зносу обладнання та інфраструктури. На тварин вібрація також має досить негативний вплив, зокрема спостерігається стрес, зниження продуктивності, порушення поведінки.

Вплив шуму, як і вібрації на людину має як фізіологічні так і психологічні наслідки. Зокрема фізіологічні наслідки від дії шуму проявляються у зниженні слуху, «шуму» у голові, приглухуватості, підвищенні артеріального тиску у людини, прискорені серцебиття, порушенні нормального фізіологічного сну, постій-

					<i>КРМ.142.6221мз.25.13.05.ПЗ</i>	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

них головних болях, значній втомі, а також значному ослабленню імунітету людини й гормональних збоїв.

Зокрема психологічні наслідки проявляються у значній дратівливості, тривожності та агресивності людини, зниженні у неї концентрації та пам'яті, значному погіршенні працездатності, а у дітей – затримці мовного та психічного розвитку.

На навколишнє середовище вплив шуму також є досить негативним. Зокрема шум у значній мірі впливає на тварин порушуючи їх орієнтацію та комунікацію (особливо у птахів, морських ссавців, комах), викликаючи у них панічні реакції, зміну міграційних маршрутів, а також значне зниження репродуктивної активності.

На усю екосистему в цілому шум має вплив у вигляді зсуву біоценозів (тварини залишають досить галасливі та не комфортні для життя природні райони), що порушує природний екологічний баланс.

Відповідно вібрація і шум – це не просто незначні фактори дискомфорту у людини, а серйозні фізичні забруднювачі, які значно погіршують здоров'я людини, знижують продуктивність праці, руйнують та знижують цілісність конструкцій та ще багато іншого.

Саме тому оцінка і розробка рекомендацій що до зниження цих негативних та шкідливих факторів є вкрай затребуваною. Результати розрахунків рівня шуму та вібрації від дизеля типу 6ЧН 20/30 (Daihatsu 6DK20) подано у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок рівня шуму та вібрації від дизеля типу 6ЧН 20/30 (Daihatsu 6DK20) при номінальному навантаженні

№ з/п	Найменування / Розмірність	Формула для розрахунку	Значення
1	Кількість циліндрів, i	–	6
2	Діаметр циліндра, D м	–	0,200
3	Хід поршня, S м	–	0,300
4	Номінальна частота обертання колінчастого валу, n_H хв ⁻¹	–	900
5	Робоча частота обертання колінчастого валу, n хв ⁻¹	–	900
6	Номінальна ефективна по-	–	1040

	тужність, N_e кВт		
7	Вага дизеля, m кг	–	7650
8	Рівень шуму	$L = \left[54 + 10 \cdot \lg(n_n + Ne^{0,55}) + 30 \lg\left(\frac{n}{n_n}\right) \right]$	83,376
9	Рівень вібрації	$L = 44 + 10 \lg \left(\frac{n_n \cdot Ne^{0,55} \cdot \left(\frac{1+Ne}{m}\right)}{1 + \left(\frac{1}{1500}\right)^3 \cdot \frac{m}{Ne}} + 30 \lg\left(\frac{n}{n_n}\right) \right)$	81,472

Відповідно до проведених розрахунків та рис. 5.1. рівень шуму та вібрації від суднового двигуна типу 6ЧН 20/30 (Daihatsu 6DK20) є припустимим.

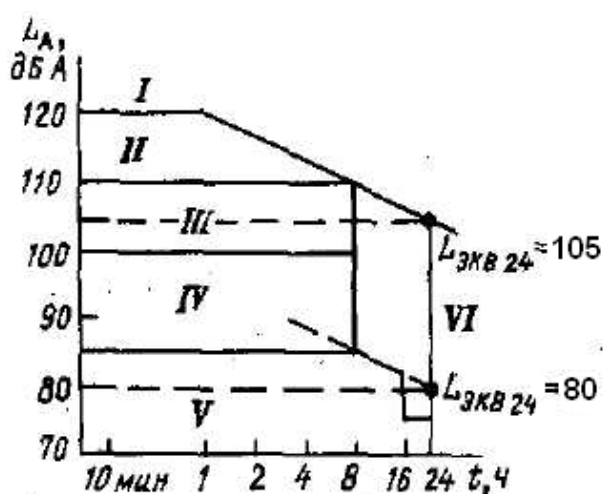


Рисунок 5.1 – Зонування рівню шуму

Зниженню рівня шуму у значній мірі сприяє оптимізація процесу впорскування та відповідно згоряння. Модернізована паливна система двигуна типу 6ЧН 20/30 (Daihatsu 6DK20) забезпечує потрібну характеристику упорскування, яка сприяє зниженню жорсткості роботи двигуна.

Крім того значному зниженню шуму від рухомих частин дизеля 6ЧН 20/30 (Daihatsu 6DK20) сприяє використання більш якісного балансування його обертових частин та допоміжних агрегатів; застосування більш точно виготовлених малошумних зубчастих передач, а також використання високоефективних змащувальних матеріалів (масел та присадок).

5.3. Висновки до розділу

У розділі кваліфікаційної роботи було розроблено основні вимоги з охорони праці при здійсненні демонтажу старої паливної системи та встановленні нової, регулюванні її та випробуванні.

Проведено аналіз шкідливої дії вібрації та шуму на навколишнє середовище і організм людини. За результатами здійснених у розділі розрахунків було встановлено, що рівень вібрації та шуму від суднового дизеля типу 6ЧН 20/30 (Daihatsu 6DK20) не перевищує необхідних норм. Також було запропоновано певні рекомендації щодо покращення рівня шуму та вібрації.

					<i>КРМ.142.6221мз.25.13.05.ПЗ</i>	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК ПО РОБОТІ

Магістерська робота на тему: «*Модернізація паливної системи суднового двигуна шляхом використання електрокерованих форсунок*» має усі потрібні розділи і креслення.

У першому розділі розглянуто основні технічні параметри та особливості конструкції суднового двигуна Daihatsu 6DK20 (6ЧН 20/30).

У другому розділі виконано розрахунок робочого циклу і динаміки для номінального режиму роботи двигуна Daihatsu 6DK20.

У третьому розділі розглянуто сучасні тенденції у напрямку розвитку систем паливоподачі дизельних двигунів, а також проаналізовано критерії якості розпилювання палива в камері згоряння дизелів. Розроблено конструкцію електрокерованої паливної форсунки суднового двигуна Daihatsu 6DK20, а також виконано розрахунок та аналіз ефективності застосування розробленої електрокерованої форсунки. Застосування розробленої форсунки забезпечує підвищення тиску упорскування на 13,6 %, зменшення тривалості упорскування на 2 град. п.к.в., а також зменшення середнього діаметру крапель на 5,2 %. Зміни у процесах упорскування, сумішоутворення та згоряння, обумовлені застосуванням розробленої електрокерованої форсунки, забезпечили зниження питомої ефективної витрати палива на 4,10 г/(кВт·год).

У четвертому розділі здійснено техніко-економічне обґрунтування проведення модернізації та застосування розробленої електрокерованої форсунки. Визначено, що річна економія складатиме 370871,33 грн, а капітальні матеріальні витрати на виготовлення та заміну елементів паливної системи дизеля окупляться за 0,55 року (або 6,60 місяці).

У п'ятому розділі розроблено основні вимоги з охорони праці при здійсненні демонтажу старої паливної системи та встановленні нової, регулюванні її та випробуванні. Проведено аналіз шкідливої дії вібрації та шуму на навколишнє середовище і організм людей.

					КРМ.142.6221мз.25.13.00.ПЗ	Лист
						64
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Підручник / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський, С. Г. Ткаченко. Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. – 332 с.
2. Митрофанов О.С., Проскурін А.Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 151 с.
3. Наливайко В.С. Конструктивні вузли та системи суднових двигунів внутрішнього згоряння : навчальний посібник / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський. – Миколаїв : Нук, 2013. – 100 с.
4. Наливайко В. С., Ткаченко С. Г., Хоменко В. С. Конструкція і динаміка двигунів внутрішнього згоряння. Програма, методичні вказівки та контрольні завдання для студентів заочної форми навчання. – Миколаїв: НУК, 2008. – 64 с.
5. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння : серія підручників у 6 т. Т. 1. Розробка конструкції форсованих двигунів наземних транспортних машин / ред. проф. А. П. Марченко та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Прапор, 2004. –384 с.
6. Наливайко В. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Методичні вказівки до виконання графіко-розрахункових робіт / В. С. Наливайко, С. Г. Ткаченко, В.С. Хоменко. – Миколаїв: НУК, 2012. – 72 с.
7. Mollenhauer, K. Hanbbook of diesel engines / K. Mollenhauer, H. Tschoeke. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. –634 p.
8. Heywood John B. Internal Combustion Engine Fundamentals / John B. Heywood. - New York.: McGraw Hill New York, 1988. – 930 -. – ISBN 0-07-100499-8
9. ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація».
10. An Innovative 3D-CFD-Approach towards Virtual Development of Internal Combustion Engines. / Chiodi M./ Stuttgart. 2011. 275 pp.

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.00.ПЗ</i>	Лист
						65
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Realizing Future Trends in Diesel Engine Development / B. Georgi, S.

12. Hunkert, J. Liang, M. Willmann // SAE Papers. – 1997. – 972686. – P. 2133–2145.

					<i>KPM.142.6221мз.25.13.00.ПЗ</i>	Лист
						66
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		