

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування технічного обслуговування та ремонту акумуляторної

паливної системи Common Rail легкових автомобілів з дослідженням паливної

економічності

Виконав: студент 6 курсу, групи МАм-62

спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Володимир ПОЛІЯН

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник

Роман ХОРОШУН

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Нормоконтроль

Михайло ЛЕВКОВИЧ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Рецензент

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Олег ЦЬОНЬ
(підпис) (ім'я та прізвище)
«14» листопада 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Полянчу Володимирчу Ярославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування технічного обслуговування та ремонту акумуляторної паливної системи Common Rail легкових автомобілів з дослідженням паливної економічності

Керівник роботи Хорошун Роман Васильович., доктор філософії PhD.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » листопада 2025 року № 4/7-972

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025

3. Вихідні дані до роботи Базовий ТП технічного обслуговування та ремонту акумуляторної паливної системи Common Rail легкових автомобілів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ. 4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Технологічний процес ремонту форсунок – 4А1.

Стенд для випробування насосу високого тиску – 1А1.

Стенд для притирання плунжерних пар – 2А1.

Результати наукових досліджень – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, ім'я та прізвище консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 14.11.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	18.11.25	
2	Технологічний розділ	25.11.25	
3	Конструкторський розділ	02.12.25	
4	Науково-дослідний розділ	09.12.25	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.12.25	
6	Оформлення графічної частини	16.12.25	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра		

Студент

(підпис)

Володимир ПОЛІАН

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Роман ХОРОШУН

(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Проектування технічного обслуговування та ремонту акумуляторної паливної системи Common Rail легкових автомобілів з дослідженням паливної економичності».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра доктор філософії PhD. Хорошун Роман Васильович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 69 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини 1 сторінки додатків.

Ключові слова: діагностика, форсунка, витрата палива, упорскування, ремонт.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Принцип функціонування паливної системи Common Rail.....	8
1.2 Основні функціональні можливості системи.....	9
1.3 Характеристики процесу впорскування палива.....	11
1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....	18
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	20
2.1 Очищення зовнішньої поверхні форсунки.....	20
2.2 Вхідний контроль технічного стану форсунки.....	21
2.3 Розбирання форсунки та контроль заводських параметрів.....	22
2.4 Контроль зношування елементів форсунки.....	25
2.5 Притирання сидла клапана-мультиплікатора.....	29
2.6 Оцінювання заводських аналогів пристрою для притирання сідел клапана-мультиплікатора.....	30
2.7 Складання та стендове тестування форсунок.....	34
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	36
3.1 Технічна пропозиція щодо створення установки для миття деталей.....	36
3.2 Розрахунок основних параметрів системи та вибір комплектуючих вузлів.....	44
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	46
4.1 Період інтенсивного дифузійного горіння та завершального догорання залишків палива після припинення впорскування	46
4.2 Інженерний підхід до визначення затримки займання палива у дизельному двигуні з акумуляторною системою живлення Common Rail.....	48
4.3 Розрахунок початкового складу паливоповітряної суміші.....	50
4.4 Термодинамічне визначення параметрів робочого середовища наприкінці такту стискання.....	52
4.5 Температура паливоповітряної суміші в локальному об'ємі.....	54
4.6 Фізична складова затримки займання палива.....	54
4.7 Хімічна складова затримки займання палива.....	55

	6
4.8 Алгоритм визначення затримки займання палива.....	56
4.9 Результати розрахунково-теоретичного дослідження.....	57
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	
СИТУАЦІЯХ.....	60
5.1 Загальні вимоги безпеки під час технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів.....	60
5.2 Організація та здійснення евакуаційних заходів.....	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	68
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Сучасний етап розвитку автомобільного транспорту характеризується посиленням вимог до паливної економічності та екологічної безпеки транспортних засобів. Дизельні двигуни легкових автомобілів продовжують займати значну частку світового автопарку завдяки високому коефіцієнту корисної дії та низькому питомому споживанню палива. Водночас саме паливна апаратура є найбільш технологічно складним і критичним елементом силового агрегату, що визначає рівень токсичності відпрацьованих газів, енергоефективність та надійність роботи двигуна.

Однією з найпоширеніших систем живлення дизельних двигунів є акумуляторна паливна система типу Common Rail, яка забезпечує високий тиск уприскування незалежно від частоти обертання колінчастого вала, точне дозування палива та можливість багаторазового впорскування протягом одного робочого циклу. Це дозволяє значно підвищити ефективність згоряння і виконання вимог сучасних екологічних стандартів (Euro 5, Euro 6). Разом з тим, складність конструкції й високоточність елементів системи висувають підвищені вимоги до її технічного обслуговування та ремонту.

Експлуатація автомобілів із системою Common Rail в умовах наявності низькоякісного палива, забруднення та зношування елементів паливної апаратури призводить до погіршення економічних показників, зростання витрати палива, нестабільної роботи двигуна, утворення недопустимих рівнів шкідливих викидів та підвищення вартості технічного утримання автотранспорту. Тому актуальною є розробка науково обґрунтованих технологій технічного обслуговування, діагностування та відновлення працездатності акумуляторних паливних систем.

Дослідження паливної економічності після проведення регламентних або ремонтних робіт дає змогу оцінити ефективність запропонованих технологічних рішень, підтвердити доцільність впровадження сучасних сервісних процедур і визначити їхній вплив на експлуатаційні характеристики автомобіля.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Принцип функціонування паливної системи Common Rail

У системах живлення типу Common Rail (CR) процеси генерування високого тиску та впорскування палива розмежовані як за призначенням, так і за їхнім функціональним виконанням. Формування необхідного тиску відбувається автономно від режимів роботи двигуна внутрішнього згоряння, зокрема від частоти обертання колінчастого вала та поточної величини паливоподачі.

Паливо, попередньо стиснуте до необхідних параметрів, накопичується у загальній паливній магістралі – рейці, яка виконує функцію акумулятора тиску. Об'єм циклової подачі визначається дією водія на органи керування, тоді як тиск і момент впорскування встановлюються електронним блоком керування (ЕБК) відповідно до попередньо промодельованих характеристичних залежностей, що зберігаються у його пам'яті.

ЕБК формує електронні керуючі сигнали, які подаються на соленоїдні або п'єзоелектричні керувальні клапани форсунок. Після їх активації відбувається точне дозоване впорскування палива у відповідні циліндри двигуна.

Система Common Rail складається з комплексу сенсорів і виконавчих елементів, що забезпечують стабільність процесів подачі та перетворення енергії пального. До її складу входять:

- електронний блок керування (ЕБК);
- датчик частоти обертання колінчастого вала;
- датчик положення розподільного вала;
- сенсор положення педалі акселератора;
- датчик тиску наддувного повітря;
- датчик тиску у паливній рейці;
- датчик температури охолоджувальної рідини;
- масовий витратомір повітря.

Використовуючи сигнали від комплексу наведених датчиків, електронний блок керування здійснює неперервний аналіз поточного стану силового агрегату та транспортного засобу загалом. Зокрема, за положенням педалі акселератора

визначається навантаження на двигун і бажана величина крутного моменту, що задається водієм. На цій основі ЕБК формує керуючі впливи в режимах як розімкненого, так і замкненого контурів керування, забезпечуючи динамічну адаптацію параметрів системи живлення.

Частота обертання колінчастого вала реєструється спеціалізованим датчиком, а узгодженість послідовності робочих тактів у циліндрах контролюється сенсором положення розподільного вала. Сигнал, сформований потенціометром педалі акселератора, дозволяє ЕБК оцінити ступінь натискання на педаль, тобто рівень бажаного прискорення автомобіля.

Дані від масового витратоміра повітря забезпечують точне коригування кількості впорскуваного палива відповідно до фактичного повітряного заряду, що є важливим для мінімізації шкідливих викидів. У разі використання турбонаддуву, зокрема турбокомпресора зі змінною геометрією або керованим тиском наддувного повітря, тиск у впускному тракті контролюється відповідним сенсором.

Під час пуску та роботи холодного двигуна ЕБК опрацьовує дані про температуру охолоджувальної рідини та повітря у впускному колекторі. Це дозволяє реалізовувати корекції моменту та тривалості впорскування, а також застосовувати додаткові цикли впорскування для забезпечення стабільного горіння за несприятливих температурних умов.

Залежно від комплектації транспортного засобу система може додатково оснащуватися сенсорами контролю тяги, температури палива, атмосферного тиску тощо, що сприяє підвищенню ефективності, безпеки та комфорту керування.

Схематичне відображення будови та взаємодії елементів акумуляторної системи Common Rail для чотирициліндрового дизельного двигуна наведено на рисунку 1.1.

1.2 Основні функціональні можливості системи

Ключовим призначенням акумуляторної паливної системи є високоточне керування процесом упорскування дизельного палива з урахуванням трьох

основних параметрів: моменту впорскування, його тривалості (циклової подачі) та тиску впрыску. Забезпечення оптимальних значень цих параметрів дозволяє досягти стабільної, динамічно ефективної та паливозберігаючої роботи дизельного двигуна.

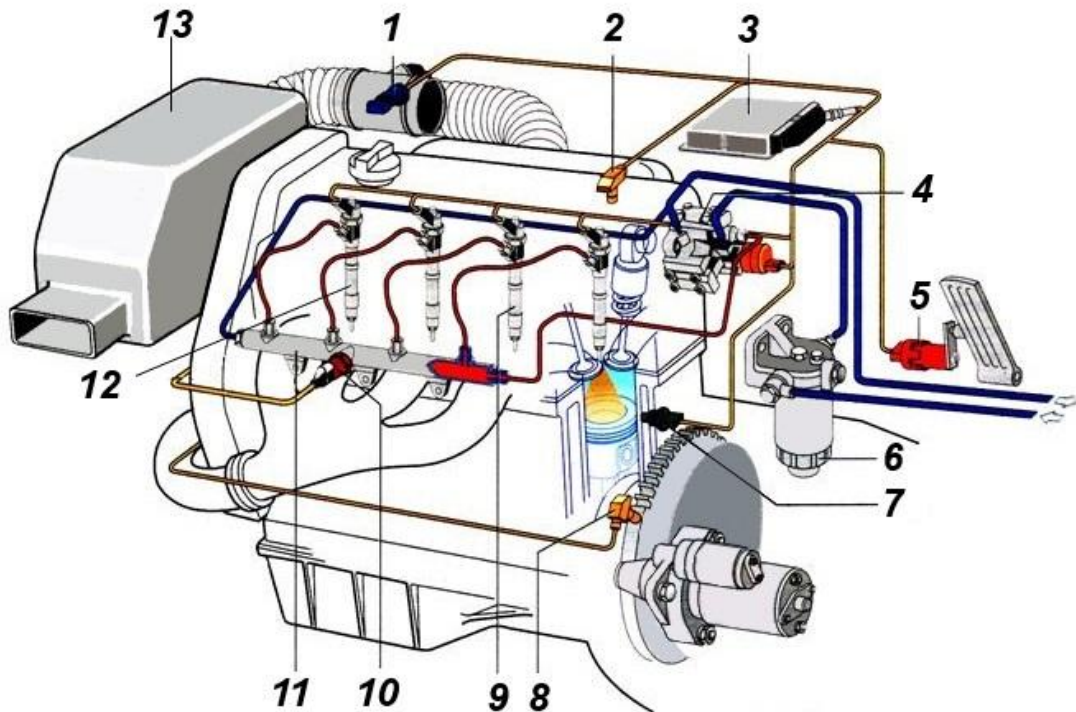


Рис. 1.1. Схема розміщення акумуляторної паливної системи Common Rail на чотирьохциліндровому дизелі:

1 – масовий витратомір повітря, 2 – датчик положення розподільчого валу, 3 – ЕБУ, 4 – ПНВТ, 5 – датчик положення педалі газу, 6 – паливний фільтр, 7 – датчик температури охолоджуючої рідини, 8 – датчик частоти обертання колінчастого валу, 9 – електрично-керовані форсунки, 10 – датчик тиску палива, 11 – акумулятор палива (паливна рейка), 12 – форсунка, 13 – повітряний фільтр.

Окрім базового керування подачею палива, система реалізує низку додаткових функцій як у режимах із прямим зворотним зв'язком, так і без нього.

Вони спрямовані на:

- зменшення токсичності відпрацьованих газів;
 - зниження питомої витрати пального;
 - підвищення рівня безпеки й комфорту керування транспортним засобом.
- До таких функцій належать, зокрема:
- система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR);

система регулювання тиску наддувного повітря;
 адаптивні програми керування тягою;
 підтримання встановленої швидкості руху (Cruise Control);
 електронний іммобілайзер та інші протиугінні засоби.

Завдяки інтеграції мережевого інтерфейсу CAN відбувається обмін інформацією між різними електронними блоками автомобіля – наприклад, системою ABS, ESP, модулями автоматичної трансмісії тощо.

Для технічного обслуговування передбачено діагностичний інтерфейс, який дозволяє зчитувати, аналізувати та інтерпретувати відомості, збережені у пам'яті ЕБК, що значно полегшує виявлення відхилень у роботі та прогнозування потенційних несправностей.

1.3 Характеристики процесу впорскування палива

У традиційних системах живлення дизельних двигунів, де застосовуються рядні або розподільні паливні насоси високого тиску плунжерного типу, формування паливоподачі здійснюється у вигляді однієї імпульсної фази впорскування. Такий процес характеризується відсутністю попередніх або додаткових порцій пального, тому структура подачі є одноетапною (монофазною), як умовно відображено на рисунку 1.2.

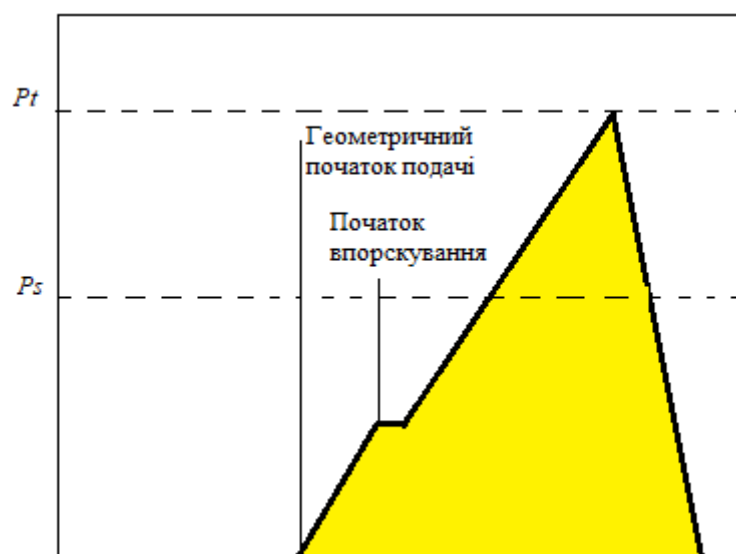


Рис. 1.2. Характеристика тиску впорскування в традиційних паливних системах:

P_t - середній тиск впорскування, P_s - максимальний тиск впорскування.

У паливних насосах високого тиску розподільного типу, оснащених електромагнітним регуляторним клапаном, можливо реалізувати двоконтурне (двохфазне) впорскування, за якого основній порції палива передують попередній імпульс. Така конструктивна модернізація дозволяє частково оптимізувати розвиток процесу згоряння порівняно з класичними системами.

Для традиційних дизельних ПНВТ характерним є жорсткий кінематичний зв'язок між механізмом створення тиску (кулачковою шайбою) та елементами подачі (плунжерною парою). Внаслідок цього формування тиску та кількості впорскуваного палива невіддільно залежить від режиму роботи двигуна. Така взаємозалежність зумовлює специфічні особливості характеристик впорскування:

ріст тиску впорскування пропорційний збільшенню частоти обертання колінчастого вала та циклової подачі пального;

динаміка тиску під час упорскування має характерний піковий максимальний рівень на початку процесу та поступове зниження в заключній фазі впорскування – у момент закриття голки форсунки.

Такий спосіб формування подачі палива характеризується низкою специфічних наслідків, що впливають на ефективність паливного процесу:

при низьких режимах роботи двигуна зменшується кількість палива, що впорскується, і, відповідно, знижується тиск упорскування – на відміну від режимів з підвищеною подачею, де тиск є суттєво вищим (умовно показано на рисунку 1.2);

пік тиску впорскування значно перевищує його середнє значення – інколи більш ніж удвічі, що зумовлює ударний характер процесу;

графік зміни тиску має наближену трикутну конфігурацію, що не відповідає сучасним вимогам рівномірного розвитку процесу згоряння.

Величина максимального тиску впорскування є визначальною для вибору матеріалів та ресурсних характеристик елементів паливної апаратури, передусім плунжерної пари та розподільних механізмів.

З точки зору процесу сумішоутворення та екологічних параметрів роботи двигуна, важливо забезпечити плавніший профіль тиску, оскільки саме він впливає на:

якість формування паливно-повітряного заряду,
рівень токсичності відпрацьованих газів,
інтенсивність шуму та вібрацій під час роботи двигуна.

На відміну від класичних систем подачі палива, акумуляторна система Common Rail має забезпечувати низку критично важливих вимог, пов'язаних із формуванням оптимальної характеристики впорскування. Основні з них можна сформулювати так:

незалежність параметрів впорскування: тиск і циклова подача мають регулюватися окремо один від одного в усіх режимах функціонування двигуна. Такий принцип є ключовим для досягнення точного співвідношення паливо–повітря, що гарантує високу економічність та екологічність згоряння;

мінімальна подача на початковому етапі впорскування: невелика попередня порція пального подається в період затримки запалювання, тобто між початком упорскування та фактичним початком горіння. Це дає змогу згладити перебіг початкової фази згоряння, зменшуючи шумові й ударні навантаження.

Саме двохфазна концепція впорскування, реалізована в системах Common Rail, дозволяє забезпечити виконання зазначених вимог. На рисунках 1.3 та 1.5 схематично представлено характерні параметри процесу впорскування для даного типу паливної системи.

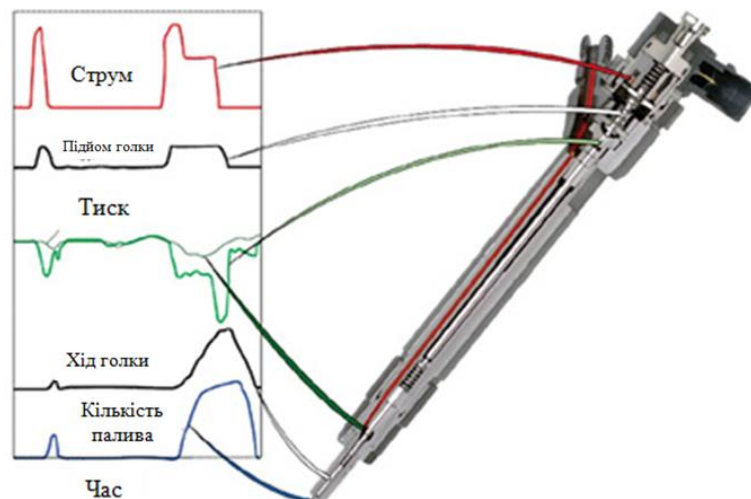


Рис. 1.3. Характеристика тиску впорскування в паливній системі Common Rail.

Паливна система Common Rail має модульну архітектуру, у якій кожен елемент виконує конкретну функцію у формуванні параметрів палива, що

впорскується. Основними складовими, які безпосередньо впливають на характеристики впорскування, є:

керовані електромагнітні форсунки, інтегровані у головку блока циліндрів, що забезпечують точне дозування та момент подачі палива в кожен циліндр;

рейка високого тиску (акумулятор) – елемент, у якому підтримується стабільний тиск палива, незалежний від режиму роботи двигуна;

паливний насос високого тиску (ПНВТ), призначений для генерування та подавання палива до рейки під необхідним тиском.

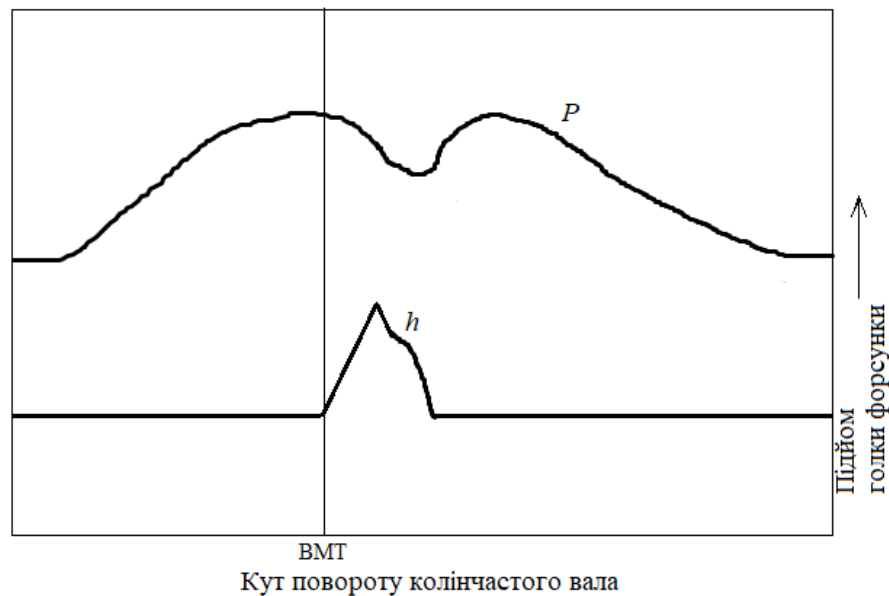


Рис. 1.4. Характеристика зміни тиску в циліндрі двигуна і підйому голки форсунки по частоті обертання колінчастого вала при відсутності попереднього уприскування палива.

Для коректного функціонування системи необхідна також наявність елементів електронного контролю й зворотного зв'язку, серед яких:

електронний блок керування (ЕБК) – центральна ланка системи, що здійснює аналіз та керування процесом паливоподачі;

датчик частоти обертання колінчастого вала, який визначає поточний режим роботи двигуна;

датчик положення розподільного вала, що забезпечує синхронізацію подачі палива з фазами газорозподілу.

У сучасних дизельних силових агрегатах легкових автомобілів для формування високого тиску в системі живлення застосовуються радіально-плунжерні насоси високого тиску. Принципова особливість системи Common Rail

полягає в повному розмежуванні процесів створення тиску та впорскування палива: насос генерує тиск постійно, тоді як момент і тривалість подачі визначаються окремо – без прив'язки до фази роботи насоса.

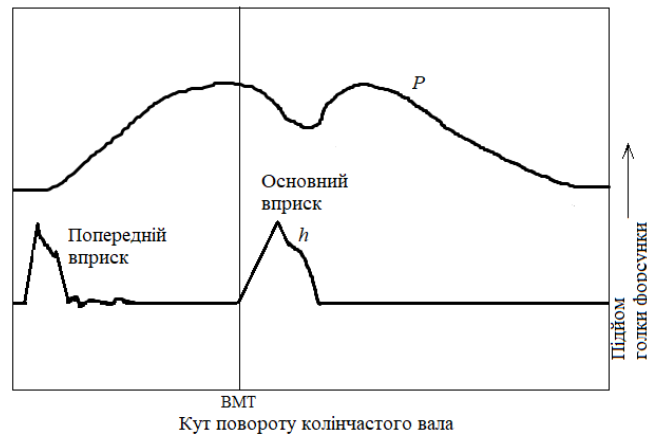


Рис. 1.5. Характеристика зміни тиску в циліндрі двигуна і підйому голки форсунки по частоті обертання колінчастого вала при наявності попереднього впорскування палива.

Передавання обертання на ПНВТ здійснюється від колінчастого вала через привід із фіксованим передаточним числом, що гарантує стабільність подачі. Оскільки наповнення рейки палива відбувається рівномірно, конструкція насоса може бути компактнішою, а його елементи працюють за значно менших механічних навантажень, ніж у традиційних системах.

Паливні форсунки сполучені з рейкою короткими магістралями високого тиску та оснащені соленоїдними клапанами, що керуються електронним блоком керування. Впорскування починається у момент подання електричного сигналу на клапан, а припиняється при його деактивації.

Підтримання постійного високого тиску в рейці дає змогу реалізувати дозування за часом відкриття форсунки: чим довше клапан залишається активованим, тим більша порція палива надходить у циліндр. Важливо, що цей процес не залежить від частоти обертання двигуна чи ПНВТ, що забезпечує абсолютну свободу керування подачею.

Швидкодія керованого клапана забезпечується застосуванням підсилених електричних імпульсів – високої напруги та потужності струму, що вимагає оптимізованих алгоритмів керування фазою вмикання.

Кут випередження впорскування регулюється системою електронного управління дизельним двигуном (EDC), яка використовує інформацію від датчика частоти обертання колінчастого вала й датчика положення розподільного вала для точної синхронізації впорскування із фазами робочого циклу.

Попереднє (пілотне) впорскування, або подача запальної порції палива, виконується з певним кутом випередження до досягнення поршнем верхньої мертвої точки. Його значення може сягати до 90° повороту колінчастого вала, однак у разі скорочення випередження до менше ніж 40° існує ризик осідання палива на поверхнях камери згоряння – стінках циліндра та днищі поршня. Такий ефект може спричинити розрідження моторної оливи та погіршення умов змащування.

Попереднє впорскування передбачає подачу невеликої порції дизельного пального (близько $1 \dots 4 \text{ мм}^3$) ще до початку основного впорскування. Це забезпечує низку важливих ефектів:

- скорочення періоду затримки самозаймання після подачі основної порції палива через частковий ініційований розвиток реакцій горіння, що дещо підвищує тиск стиснення;

- пом'якшення протікання процесу згоряння, оскільки зменшується різкість зростання тиску й відповідно – жорсткість та шумність роботи дизеля;

- зниження токсичності відпрацьованих газів та економія пального завдяки кращому сумішоутворенню й стабільнішому горінню.

У випадку однофазного впорскування, коли попередня порція відсутня, характер зміни тиску є іншим: тиск починає зростати різко вже поблизу ВМТ, формуючи пізній та дуже крутий пік після її проходження (рис. 1.4), що і є джерелом посиленого шуму згоряння.

Застосування попереднього впорскування, як видно з графіка змін тиску в циліндрі (рис. 1.5), приводить до того, що тиск у момент проходження ВМТ є вищим, а подальше зростання відбувається плавно і контролювано, що є ключовим для зниження акустичного навантаження та покращення паливної економічності.

Скорочення фази затримки самозаймання при реалізації двохфазного впорскування зумовлює непрямий позитивний вплив попередньої порції палива на формування кривої крутного моменту. Проте зміна питомої ефективної витрати

палива залежить від параметрів керування – зокрема, від вибору кута випередження основного впорскування та темпорального інтервалу між пілотною та основною порціями впорскування. Оптимізація цих величин дає змогу досягти найкращих балансів між економічністю, токсичністю та акустичними характеристиками двигуна.

Саме основна порція впорскуваного палива є джерелом енергії, яка перетворюється на корисну роботу під час робочого ходу поршня. Від цієї фази безпосередньо залежить величина крутного моменту, що реалізується двигуном, і, відповідно, його потужнісні характеристики.

У системах Common Rail тірскоп тиску залишається практично незмінним протягом усього процесу подачі палива. Це дозволяє формувати постійну інтенсивність розпилення, покращувати формування суміші та мінімізувати втрати, які спостерігаються в традиційних системах зі змінним тиском протягом упорскування.

Додаткове, або вторинне, впорскування використовується як екологічна функція системи впорскування, особливо у двигунах, оснащених каталітичними нейтралізаторами для зменшення рівня оксидів азоту (NO_x).

Основні особливості такої подачі:

виконується після основного впорскування;

здійснюється у фазі розширення, інколи до 200° п.к.в. після ВМТ;

обсяг подачі є невеликим і ретельно дозованим.

На відміну від пілотної та основної порції, вторинне паливо не бере участі в активному згорянні. Завдяки високій температурі відпрацьованих газів воно випаровується, а його пари сприяють зниженню концентрації NO_x за рахунок додаткових хімічних реакцій у вихлопному тракті. Такий підхід забезпечує відповідність жорстким екологічним нормам (зокрема, Euro 5/6).

Упродовж такту випуску до вихлопного тракту надходить суміш відпрацьованих газів із парами палива, що утворилися внаслідок вторинного впорскування. Частина цієї суміші може повертатися до камери згорання через систему рециркуляції відпрацьованих газів (EGR), що надає додатковий ефект, подібний до пілотного впорскування – зменшується інтенсивність тепловиділення

під час основного згоряння, що сприяє зниженню шумності та жорсткості роботи двигуна.

За наявності спеціалізованого каталітичного нейтралізатора оксидів азоту (NO_x) упорснене вторинне паливо виконує роль хімічного відновника, сприяючи реакціям редукції NO_x у потоці відпрацьованих газів. Це дозволяє досягти відповідності сучасним екологічним нормативам.

Водночас слід ураховувати, що надмірно пізня подача вторинної порції може призводити до потрапляння не випарованого палива на стінки циліндра, розмиваючи мастильну плівку і погіршуючи умови змащування, що прискорює зношування пари «поршень–циліндр». Тому застосування цього режиму впорскування має здійснюватися лише згідно з технологічними рекомендаціями та калібруванням виробника двигуна.

1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра

У межах виконання кваліфікаційної роботи передбачається комплексне дослідження технологічних, конструкторських та науково-теоретичних аспектів, пов'язаних з діагностуванням, ремонтом та дослідженням робочих процесів дизельної паливної апаратури із системою упорскування Common Rail.

Робота охоплює три взаємопов'язані блоки: технологічний, конструкторський та науково-дослідний, кожен з яких має чітко визначені цілі та перелік завдань.

1. Технологічний розділ. У цьому розділі необхідно розробити та обґрунтувати повний технологічний процес відновлення та контролю технічного стану інжекторів дизельних двигунів із системою живлення Common Rail.

У межах розділу потрібно: очищення зовнішньої поверхні форсунки та видалення забруднень, що впливають на точність діагностування; проведення вхідного контролю технічного стану форсунки з оцінюванням відповідності базовим параметрам; технологія розбирання форсунки та перевірка заводських характеристик окремих елементів; визначення ступеня зношення конструктивних деталей, оцінка їх працездатності та придатності до подальшої

експлуатації; проведення операції притирання сидла клапана-мультиплікатора, забезпечення герметичності та точності спрацювання елемента; аналіз існуючих промислових аналогів обладнання для притирання сидел клапана-мультиплікатора, визначення їх переваг і недоліків; складання форсунки після відновлення та стендові випробування для перевірки характеристик впорскування.

2. Конструкторський розділ. Завдання даного розділу полягає у проєктуванні допоміжного обладнання, необхідного для відновлення та діагностики елементів паливної апаратури.

У межах розділу потрібно: розробити технічну пропозицію щодо створення установки для миття деталей, сформулювати її функціональні вимоги, конструктивну схему та принцип дії; виконати розрахунок основних параметрів системи, визначити гідравлічні характеристики, підібрати насосне обладнання, арматуру та інші комплектуючі елементи, необхідні для забезпечення працездатності установки.

3. Науково-дослідний розділ. У цьому розділі належить провести поглиблене теоретичне дослідження процесів формування та займання паливоповітряної суміші у дизельному двигуні з акумуляторною паливною системою.

Потрібно виконати: аналіз стадій інтенсивного дифузійного горіння та завершального догорання залишків палива після припинення впорскування; побудову інженерного підходу до визначення періоду затримки займання палива у системі Common Rail; розрахунок початкового складу паливоповітряної суміші; термодинамічне визначення температури і тиску робочого середовища наприкінці такту стискання; визначення температури паливоповітряної суміші в локальному об'ємі камери згоряння; оцінку фізичної та хімічної складових затримки займання; розроблення алгоритму визначення періоду затримки займання палива; представлення результатів розрахунково-теоретичного дослідження з відповідними графічними та аналітичними матеріалами.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Очищення зовнішньої поверхні форсунки

На початковому етапі обслуговування виконують очищення зовнішніх елементів форсунки за допомогою ультразвукової ванни. При цьому слід забезпечити, щоб електромагнітна котушка не контактувала з рідиною, оскільки її занурення може спричинити порушення ізоляції та вихід з ладу (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Ультразвукова ванна.

У разі значного забруднення корпусу рекомендується перед ультразвуковою обробкою витримати форсунку у спеціальному хімічному розчині протягом кількох годин для пом'якшення відкладень (рис. 2.2). Після цього залишки забруднень видаляють струменем води під підвищеним тиском з метою остаточного відмивання поверхні (рис. 2.3).



Рис. 2.2. Ванна з хімічним очищувачем.



Рис. 2.3. Мийка форсунок під високим тиском

2.2 Вхідний контроль технічного стану форсунки

На початковому етапі діагностики проводять візуальний контроль форсунки з метою оцінювання її зовнішнього технічного стану. Особливу увагу приділяють цілісності корпусу та штуцерів високого тиску, перевіряючи відсутність тріщин, слідів прогару, механічних деформацій, а також пошкоджень або зриву різьбових поверхонь.

Під час огляду доволі легко виявити форсунки, які раніше зазнавали неякісного або непрофесійного ремонту. Такі вироби вимагають поглибленої дефектоскопії, оскільки після некваліфікованого втручання форсунка найчастіше втрачає можливість подальшого відновлення.

Прикладами неправильно виконаного ремонту є:

- надмірна деформація корпусу під час розбирання, що призводить до руйнування гайки розпилювача при згинальних навантаженнях (рис. 2.4);
- спроби герметизації прориву газів зі сторони камери згоряння за допомогою сторонніх матеріалів побутового призначення, зокрема сантехнічної замазки (рис. 2.5).



Рис. 2.4. Погнуті під час демонтажу корпуси форсунок.



Рис. 2.5. Наслідки неправильного встановлення форсунок.

Після проведення зовнішнього огляду форсунку піддають стендовому вхідному контролю. Для цього використовується випробувальна установка, що дозволяє створити необхідний тиск у паливній магістралі, а керувальний імпульс на електромагнітний клапан подається від електронного діагностичного пристрою Common Rail Tester (рис. 2.6). На стенд монтується відповідний перехідник, який забезпечує герметичне та надійне кріплення форсунки.

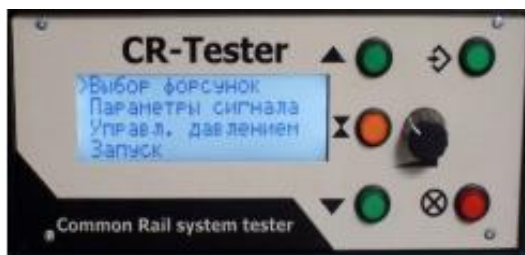


Рис. 2.6. Прилад для перевірки форсунок Common Rail Tester.

Для перевірки герметичності гідросистеми форсунки встановлюють режим із середньою тривалістю керуючого сигналу та підвищеною частотою спрацювання інжектора – це дає змогу виявити навіть мінімальні втрати ущільнення. Для оцінювання стану розпилювача – наявності засмічення чи, навпаки, надмірного зношення соплових отворів – використовується інший алгоритм: тривалий імпульс керування при низькій частоті спрацювання. Такий режим дозволяє детально спостерігати форму та рівномірність паливного факела (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Common Rail Tester в роботі.

2.3 Розбирання форсунки та контроль заводських параметрів

Після завершення вхідного випробування переходять до розбирання форсунки з метою детального контролю стану її внутрішніх елементів. Для

виконання цієї операції застосовується спеціалізований затискний пристрій, конструкція якого забезпечує можливість безпечного демонтажу та подальшого складання будь-яких сучасних дизельних форсунок системи безпосереднього уприскування палива (рис. 2.8). Така оснастка надійно фіксує форсунку, усуваючи ризик пошкодження корпусних і прецизійних деталей під час операцій роз'єднання.

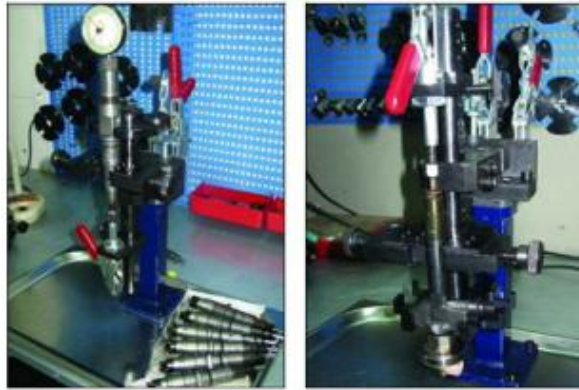


Рис. 2.8. Зажимний пристрій для ремонту дизельних форсунок.

Після встановлення форсунки на випробувальний стенд послідовно виконують операції розбирання та контролю прецизійних елементів. Спершу відгвинчують гайку розпилювача (рис. 2.9), після чого демонтують осьовий затискач із вертикальної стійки. На місце демонтованого розпилювача встановлюють спеціальний адаптер з індикатором, за допомогою якого вимірюють величину робочого ходу голки розпилювача (рис. 2.10).

Далі вертикальну стійку повертають на 180° та фіксують у положенні, коли прецизійні елементи орієнтовані вгору (рис. 2.11). У такій позиції електромагніт форсунки розташований максимально зручно для проведення наступних демонтажних операцій, а сама форсунка надійно утримується радіальним притискачем, що унеможливорює її зміщення або пошкодження під час розбирання.



Рис. 2.9.

Рис. 2.10.

Рис. 2.11.

Після фіксації форсунки у пристрої проводять демонтаж внутрішніх елементів. Спочатку відкручують гайку й обережно знімають керувальний електромагніт (рис. 2.12). Далі виконується контроль магнітного зазору між електромагнітною котушкою та якорем за допомогою індикаторного вимірювального пристрою (рис. 2.13).



Рис. 2.12.



Рис. 2.13.

На місце демонтованого електромагніта встановлюють адаптер із вимірювальним індикатором (рис. 2.14), що дає змогу визначити величину робочого ходу кулькового клапана (рис. 2.15). Потім спеціальним шестигранним ключем з осьовим каналом (рис. 2.16) відгвинчують гайку мультиплікаторного клапана (рис. 2.17).



Рис. 2.14.



Рис. 2.15.



Рис. 2.16.

За допомогою цангового знімача (рис. 2.18) обережно витягують із корпусу форсунки клапан-мультиплікатор і пілотний плунжер (рис. 2.19), а також демонтують ущільнювальні елементи – кільця та прокладки.



Рис. 2.17.



Рис. 2.18.



Рис. 2.19.

Після виконання зазначених операцій форсунка повністю розібрана, що забезпечує можливість проведення подальшої дефектоскопії і відновлювального ремонту прецизійних компонентів (рис. 4.20).



Рис. 2.20.

2.4 Контроль зношування елементів форсунки

Після розбирання форсунки проводять детальний аналіз технічного стану її прецизійних вузлів – розпилювача, клапана-мультиплікатора та пілотного плунжера. Метою цієї діагностичної операції є визначення можливості подальшої експлуатації зазначених елементів або необхідності їх заміни на нові.

Одним із найважливіших факторів, що впливає на працездатність форсунки, є герметичність з'єднання «кулька – сідло» у клапані-мультиплікаторі. Саме порушення герметичності цього контакту в більшості випадків спричиняє підвищений злив палива в зворотну магістраль, що негативно відображається на тиску упорскування та ефективності дозування палива. На рисунку 2.21 наведено конструктивну схему клапана-мультиплікатора в розрізі, що дає змогу наочно оцінити місця потенційного утворення зношування, локальних пошкоджень або корозійних дефектів. Окрім того, перевірці підлягає стан поверхонь розпилювача та пілотного плунжера, які повинні зберігати високу точність посадок і мінімальні зазори, передбачені виробником.

Перевірку прецизійних деталей виконують поетапно. На першому етапі оцінюють стан сидла клапана-мультиплікатора. Для цього елемент у комплекті з новою кулькою встановлюють у пневматичний тестер. До клапана підводять стиснене повітря під контрольованим тиском і спостерігають за появою повітряних бульбашок у прозорій контрольній камері приладу (рис. 2.22).

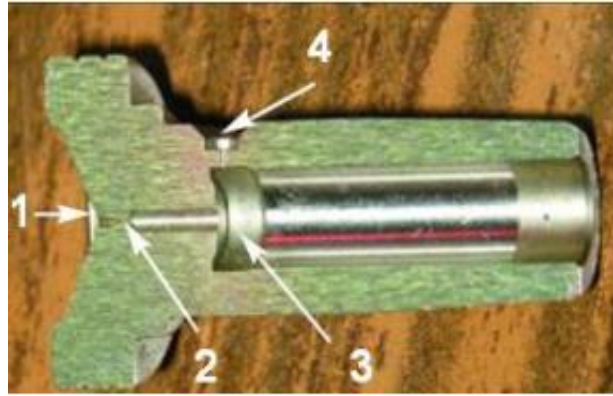


Рис. 2.21. Клапан мультиплікатор в розрізі:

1 – сідло шарикового клапана; 2 – керуючий жиклерний отвір; 3 – контрольна камера; 4 – наповнюючий жиклерний отвір.



Рис. 2.22. Пневматичний тестер для контролю стану сідла клапана мультиплікатора.

Подальший контроль передбачає візуальне оцінювання стану кінцевого сідла клапана-мультиплікатора. Для цього застосовується тринокулярний стереомікроскоп із можливістю підбору необхідного збільшення. Отримане за допомогою цифрової камери зображення транслюється на екран персонального комп'ютера, що забезпечує комфортний огляд і точне виявлення мікрodefektів, слідів ерозії чи корозійного пошкодження (рис. 2.23).

Для ілюстрації результатів контролю нижче наведено приклад справного вузла: новий клапан-мультиплікатор у комплекті з пілотним плунжером. На рисунку 2.24 подано загальний вигляд цієї пари елементів, а на рисунку 2.25

наведено зображення конічного сидла клапана, отримане під мікроскопом при оптимальному збільшенні.

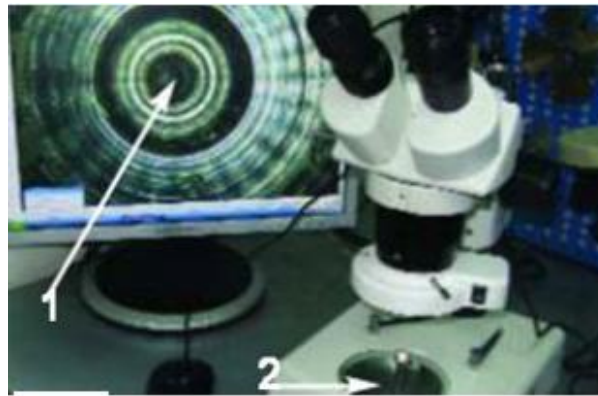


Рис. 2.23. Визначення стану конічного сидла клапана:

1 – конусне сидло при необхідному збільшенні; 2 – клапан мультиплікатор.



Рис. 2.24.

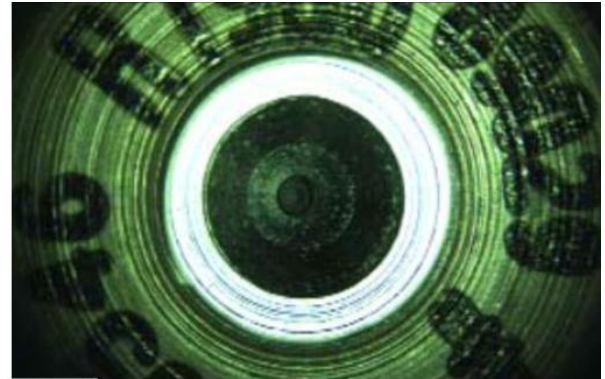


Рис. 2.25.

Типовим проявом експлуатаційного зносу конічного сидла клапана-мультиплікатора є поступове формування вм'ятин, ерозійних борозен або поясків на поверхні контакту, що з'являються внаслідок тривалого впливу високих тисків та багаторазових циклів спрацювання. На рисунках 2.26 і 2.27 наведено приклади характерних ушкоджень, які погіршують герметизацію в парі «кулька – сидло» та призводять до зростання обсягів витоку палива в лінію зворотного зливу.



Рис. 2.26.

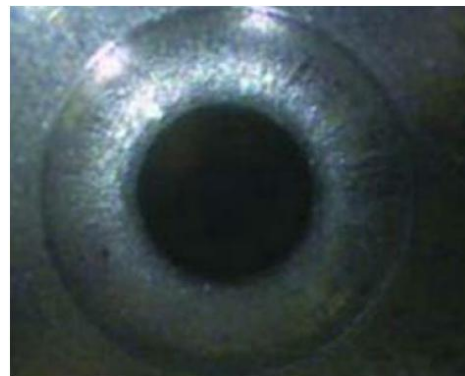


Рис. 2.27.

Ще одним поширеним видом пошкоджень є абразивне зношення конічних сідел, спричинене попаданням у паливний канал твердих частинок забруднень. Такі включення діють як мікрорізці, залишаючи на поверхні характерні подряпини, промиви та локальні вибоїни. Подібні дефекти значно знижують якість прилягання кульки до сидла та, відповідно, погіршують герметичність з'єднання. Приклади виявлених пошкоджень цього типу наведені на рисунках 2.28 та 2.29.

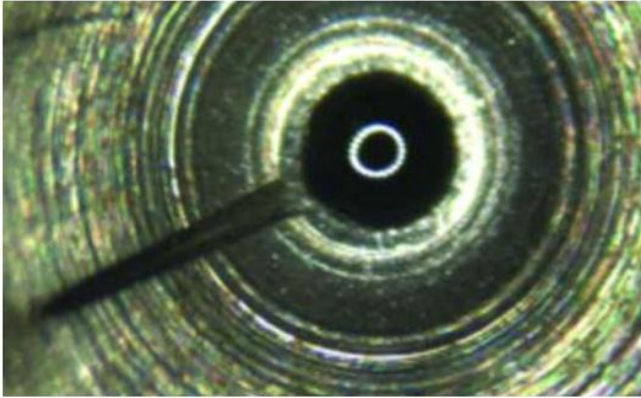


Рис. 2.28.

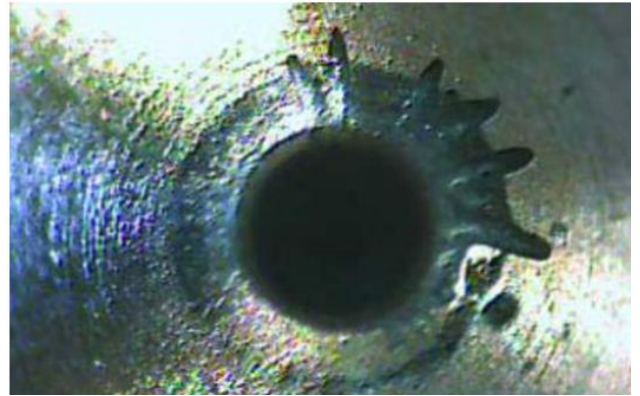


Рис. 2.29.

До особливо критичних дефектів належать пошкодження, що виникають у результаті некваліфікованого або надмірно інтенсивного притирання сидла. У таких випадках спостерігається порушення геометрії конічної поверхні, поява широких поясів притирання, мікрорзвів металу та втрати точності прилягання кульки. Подібні дефекти практично завжди призводять до повної втрати герметичності вузла та роблять подальшу експлуатацію елемента недоцільною. На рисунках 2.30 та 2.31 наведені характерні приклади сидла клапана-мультіплікатора після неправильного ручного притирання.

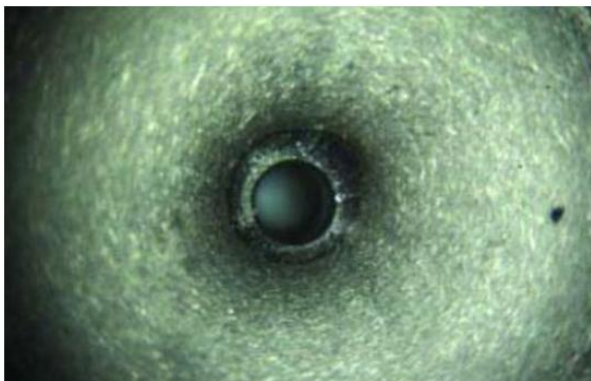


Рис. 2.30.

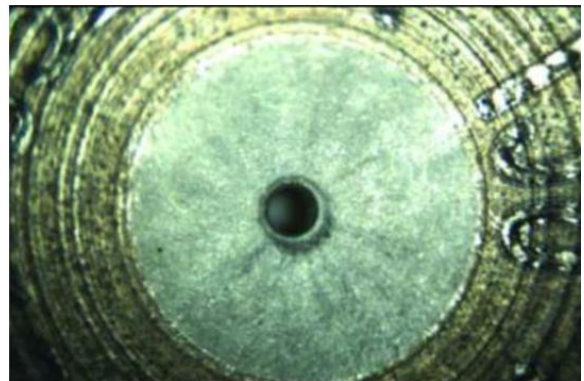


Рис. 2.31.

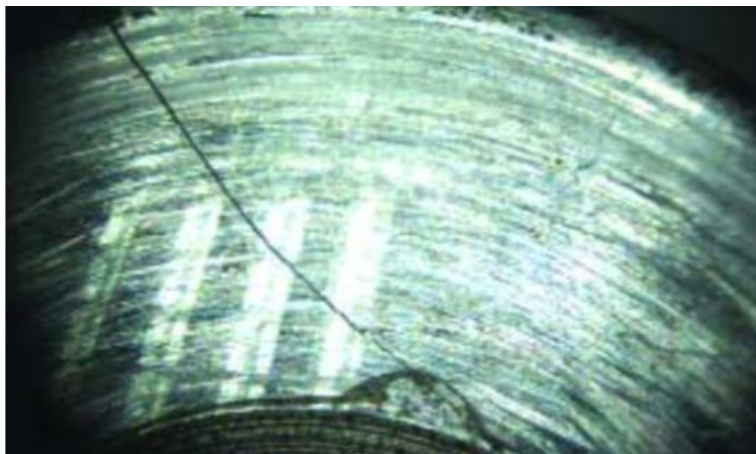


Рис. 2.32. Тріщина на корпусі клапана мультиплікатора.

Після виконаного аналізу технічного стану сідла клапана-мультиплікатора необхідно прийняти обґрунтоване рішення щодо подальших ремонтних дій. Важливо правильно оцінити ступінь зношування:

якщо дефекти не порушують геометрію поверхні в критичних межах – допускається відновлення шляхом притирання;

у випадку значної ерозії, деформацій або глибоких пошкоджень – елемент підлягає обов’язковій заміні.

На практиці часто намагаються зберегти клапан-мультиплікатор і відновити працездатність його сідла шляхом локального притирання у зоні робочого контакту. Однак така технологія потребує високої точності виконання та контролю результату.

2.5 Притирання сідла клапана-мультиплікатора

Для відновлення робочої поверхні сідла застосовується спеціалізована установка – станок для притирання (рис. 2.33). Конструктивно він складається з двох горизонтально орієнтованих станин: Нижня станина. нерухома опорна база на трьох регульованих ніжках; у корпусі встановлено електродвигун з прямим приводом на відцентровий патрон; патрон змонтований на підшипниках кочення та слугує для фіксації сідла мультиплікатора; для живлення двигуна достатньо джерела постійної напруги з діапазоном 10–30 В, споживаний струм становить 2–4 А, що дозволяє використовувати побутові зарядні пристрої для автомобільних акумуляторів.

Верхня рухома станина. переміщується по двох вертикальних напрямних-салазках; оснащена обмежувальними пружинами, що формують контрольований притискний зусилля; у конструкції передбачений шпindel для надійного закріплення притира, який передає обертання та керує геометрією обробки.



Рис. 2.33. Станок для притирання сидла мультиплікатора.

2.6 Оцінювання заводських аналогів пристрою для притирання сидел клапана-мультиплікатора

Запропонована конструкція притиранного станка має вагому перевагу – низьку вартість самостійного виготовлення (орієнтовно 5–7 тис. грн), тоді як за функціональними можливостями вона не поступається промисловим зразкам. Для порівняння: Adduswin T0030 оцінюється на ринку приблизно у 32 тис. грн, а MP-250 – близько 55 тис. грн, що істотно підвищує собівартість ремонтних робіт.

Функціональна сутність процесу притирання полягає в фінішному шліфуванні конічної робочої поверхні сидла, яка зазнала зношування через експлуатаційне навантаження. Для цього використовуються спеціальні конусні притири, спроєктовані для ремонту сидел форсунок системи Common Rail (рис. 2.34). Їх основні параметри:

діаметр притира – 6 мм,

довжина – 32 мм,

кут робочої фаски:

120° – для форсунок легкових автомобілів,

124° – для форсунок вантажних автомобілів (рис. 2.35).

Конструкція притирів передбачає подвійне заточування – обидва торці виконують функцію робочих поверхонь, що забезпечує можливість відновлення 6–10 сідел до фактичного зносу інструмента.



Рис. 2.34. Конусні притири для сідел форсунок Common Rail.

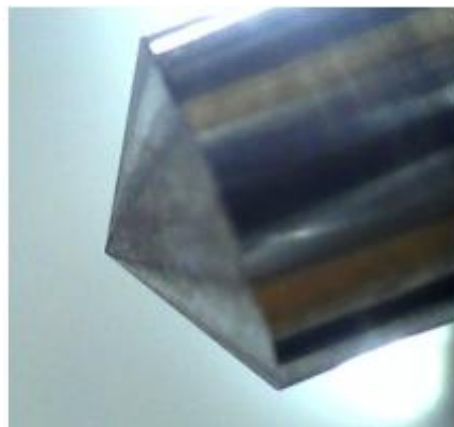


Рис. 2.35. Робоча зона конусного притира (кут заточування 120°).

Перед проведенням операції притирання клапан-мультиплікатор обов'язково піддають очищенню в ультразвуковій ванні. Це дозволяє видалити мікрочастинки абразиву та забруднення в зоні майбутньої обробки, що є критично важливим для забезпечення якісного відновлення поверхні.

Після очищення клапан фіксують у відцентровому патроні притиранного станка. На конічну робочу поверхню сидла наносять спеціальну абразивну пасту. У процесі обробки пасту періодично розріджують моторною оливою або дизельним паливом, що сприяє стабільності процесу та рівномірному зняттю матеріалу.

Характерною перевагою застосовуваної пасти є контрольоване зменшення розміру абразивних частинок у процесі роботи. Завдяки цьому обробка виконується в кілька стадій: від інтенсивного формування робочого профілю – до остаточного полірування поверхні без потреби переходу на пасти з дрібнішою зернистістю. Початкова дисперсність абразиву становить ≈ 400 мкм і оптимізована для використання з притирами, призначеними для сідел форсунок системи Common Rail. На відміну від алмазних паст, цей склад легко вимивається й не втирається в метал, що запобігає вторинному зношуванню після ремонту.

Після запуску станка та встановлення необхідної частоти обертів патрона притир плавно подають до поверхні сидла й забезпечують рівномірний контакт з мінімальним зусиллям. Притирання здійснюється поетапно з періодичним мікроскопічним контролем стану поверхні, що гарантує точність формоутворення. У результаті робоча фаска сидла вирівнюється, дефекти усуваються, а поверхня набуває дзеркальної структури, необхідної для герметичного контакту «кулька – сидло».

Для порівняння на рисунку 2.36 представлено сидло клапана-мультиплікатора до ремонту, а на рисунку 2.37 – результат відновлення після якісного притирання, що підтверджує ефективність застосованої технології.

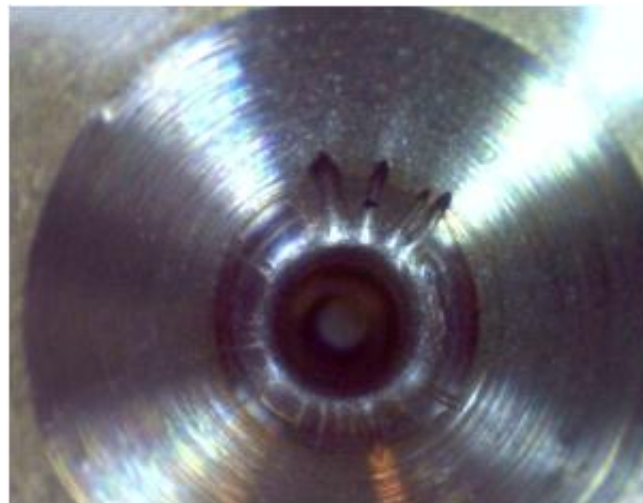


Рис. 2.36. Зношене сидло мультиплікатора.

Після завершення операції притирання сидла проводять діагностику пілотного плунжера, оскільки ефективність і довговічність роботи клапана-мультиплікатора значною мірою залежать від точності його взаємодії з

плунжером. Особливої уваги потребують елементи, що вже проходили ремонт із нанесенням твердого хромового покриття.

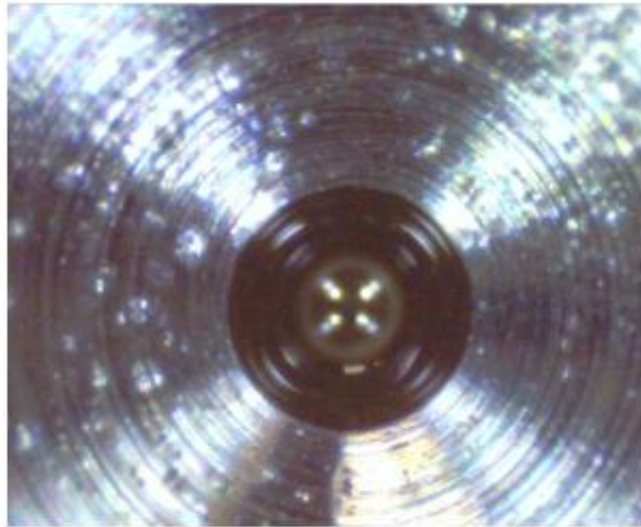


Рис. 2.37. Притерта поверхня сидла мультиплікатора.

Практичний досвід свідчить, що повторне використання хромованих плунжерів є недопустимим, оскільки саме хром, а не паливо, найчастіше стає джерелом критичних пошкоджень. У процесі експлуатації та за високих циклічних навантажень на кутах кільцевих канавок утворюються локальні відшарування покриття, які спричиняють заклинювання плунжера в напрямній частині клапана-мультиплікатора, що призводить до повної втрати працездатності форсунки.

На рисунках 2.38 і 2.39 наведені приклади плунжерів із дефектами хромового шару: характерні сколи й “осипання” покриття чітко простежуються в зоні канавок. Такі пошкодження розцінюються як критичні, а деталь підлягає обов’язковій заміні.

Під час мікроскопічного контролю легко ідентифікувати характерні дефекти хромового покриття на пілотному плунжері. При збільшенні добре помітні напливи хрому в зоні кільцевих канавок, а також значна неоднорідність нанесення шару. Такі відхилення спричиняють локальне спучування плівки та подальше її руйнування із відривом металевих частинок, що, в свою чергу, призводить до заклинювання плунжера та виходу форсунки з ладу вже після першого використання після «відновлювального ремонту» (рис. 2.40).



Рис. 2.38.

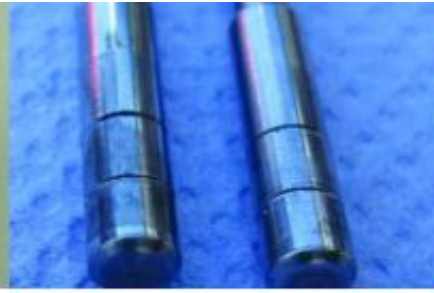


Рис. 2.39.

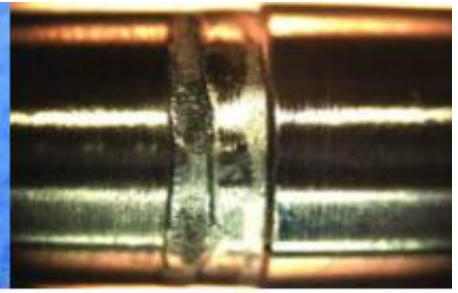


Рис. 2.40.

Після перевірки плунжера здійснюють візуальний контроль розпилювача, особливо його циліндричної поверхні, яка виконує роль напрямної для голки. Її зношення є другою за поширеністю причиною збільшеного зворотного витoku палива, оскільки порушується щільність прилягання голки та підвищується витік через прецизійний зазор. На рисунку 2.41 наведений приклад характерного зносу циліндричної ділянки голки розпилювача, який унеможливорює відновлення герметичності вузла.

Не менш важливою є перевірка стану запірного конуса голки розпилювача, оскільки саме ця поверхня забезпечує герметичність вузла при високих тисках упорскування. На рисунку 2.42 подано приклад значного зношення конічної частини: поверхня має характерні сліди грубого абразивного впливу, ніби оброблена наждачним папером.



Рис. 2.41.



Рис. 2.42.

2.7 Складання та стендове тестування форсунок

Після завершення дефектування і очищення елементів форсунки в ультразвуковій ванні виконують складання у зворотній послідовності, починаючи зі встановлення електромагнітного вузла (рис. 2.43). На кожному етапі монтажу здійснюється контроль точності взаємного розташування

компонентів, оскільки прецизійні зазори визначають функціональну надійність інжектора під час роботи в двигуні.



Рис. 2.43. Збирання форсунки починають з сторони електромагніту.

У процесі складання виконуються всі необхідні регулювальні операції, зокрема:

- у діапазоні тисячних часток міліметра – налаштування ходу кулькового клапана та магнітного зазору;

- у межах сотих часток міліметра – калібрування ходу голки розпилювача.

Після завершення процесу складання форсунка проходить контроль працездатності на спеціалізованому випробувальному стенді у комплекті з модулем керування сигналами Common Rail Tester. Метою цього етапу є підтвердження коректної роботи інжектора за всіма регламентованими режимами упорскування, а також перевірка відсутності похибок, які могли виникнути під час збирання. На основі тестових даних робиться висновок щодо відповідності форсунки вимогам технічної експлуатації та можливості її встановлення на двигун.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Технічна пропозиція щодо створення установки для миття деталей

На цьому етапі формується попереднє конструктивне рішення установки, яке представлено у вигляді структурної схеми (рисунок 3.1). Запропонована схема дає змогу визначити основні функціональні елементи, їх взаємозв'язки та послідовність виконання технологічних операцій у процесі очищення деталей.

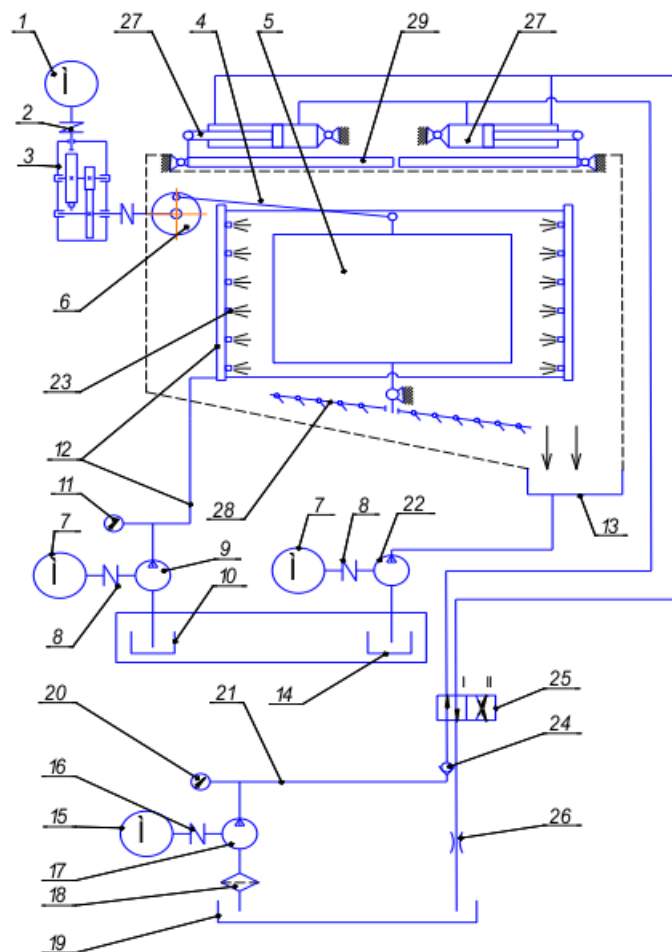


Рис. 3.1. Гідравлічна та кінематична схеми установки:

1 – електродвигун приводу хитання рами; 2 – муфта; 3 – циліндричний редуктор; 4 – шатун; 5 – рухома рама; 6 – кривошип; 7 – електродвигун; 8 – муфта; 9 – насос; 10 – бак із чистим мийним розчином; 11 – манометр; 12 – трубопроводи; 13 – прямик; 14 – бак для відведення відпрацьованого розчину бічним відсмоктуванням із камери; 15 – електродвигун; 16 – муфта; 17 – насос; 18 – фільтр; 19 – гідробак із робочою рідиною; 20 – манометр; 21 – трубопроводи високого тиску; 22 – фекальний насос; 23 – форсунки; 24 – зворотний клапан; 25

– двопозиційний розподільник; 26 – дросель; 27 – гідроциліндри; 28 – скребкова рама; 29 – розпашні двері.

Робочий процес установки можна описати як поетапну передачу механічної енергії від приводу до функціональних вузлів обладнання.

Механізм хитання рами (поз. 5) активується електродвигуном 1, крутний момент від якого через муфти 2 та циліндричний редуктор 3 передається на кривошип 6. Останній за допомогою шатуна 4 перетворює обертальний рух на зворотно-обертальні коливання рами з кутовою амплітудою близько $\pm 5^\circ$. Така кінематика забезпечує привід скребкової рами 28, яка, переміщуючись по днищу камери миття, розпушує забруднення та спрямовує бруд і відпрацьований розчин у приямок 13, покращуючи видалення відкладень.

Система циркуляції мийного розчину (рисунок 8) функціонує завдяки роботі насоса 9, що обертається від електродвигуна 7 через муфту 8. Мийний розчин подається трубопроводами 12 з бака 10, а використана рідина з камери, потрапляючи в приямок 13, відводиться бічним відсмоктуванням за допомогою фекального насоса 22. Далі забруднена рідина надходить у накопичувальний бак 14 для подальшої утилізації або очищення.

Нижня частина функціональної схеми демонструє гідравлічний контур керування силовими механізмами установки. Насос 17, що отримує привід від електродвигуна 15 через муфту 16, створює та підтримує необхідний тиск у магістралях високого тиску 21. Робоча рідина, профільтрована через елемент 18, спрямовується до гідроциліндрів 27, а після виконання роботи повертається у гідробак 19, формуючи замкнений цикл.

Контроль тиску в системі забезпечує манометр 20, що дозволяє оперативно відстежувати режими функціонування гідропривода. Розподіл робочої рідини між виконавчими механізмами здійснюється двопозиційним розподільником 25, який керує роботою гідроциліндрів приводу розпашних дверей 29, забезпечуючи їхнє надійне відкривання та закривання залежно від технологічної потреби.

Для забезпечення надійної та безаварійної роботи установки необхідно регулярно здійснювати технічний контроль елементів трубопровідної системи. Зокрема, необхідно:

перевіряти геометричну правильність трубопроводів, виключаючи наявність вигинів, вм'ятин чи мікротріщин, що можуть спричинити падіння тиску або розгерметизацію системи;

оглядати стан верхньої призми, нижнього фіксатора та педальної насадки, оскільки навіть незначні деформації цих деталей знижують конструктивну жорсткість та можуть вплинути на стабільність функціонування обладнання.

Функціонування розподільника ґрунтується на керуванні потоками робочої рідини у виконавчому контурі гідросистеми.

Після розміщення касети з деталями в рухомій рамі 5 розподільник 25 встановлюють у положення І. За такого режиму робоча рідина спрямовується до гідроциліндрів 27, що через систему важелів, закріплених на розпашних дверях 29, забезпечують їх плавне відкривання та доступ до робочої камери.

По завершенню операції миття розподільник переводять у положення ІІ, за якого рідина відводиться у бак 19 через дросель 26. Кероване дроселювання дозволяє зменшити швидкість переміщення виконавчих механізмів, запобігаючи ударній дії та підвищуючи довговічність гідропривода.

Після вилучення очищеної деталі у раму встановлюють новий елемент. Далі розподільник знову перемикається у положення І і робочий цикл повторюється в аналогічній послідовності.

Послідовність виконання операцій під час функціонування установки передбачає чітку взаємодію виконавчих механізмів та систем керування:

об'єкт очищення подається у робочу камеру та жорстко фіксується у технологічному оснащенні, що виключає його зміщення під час впливу механічних і гідродинамічних навантажень;

установка приводиться у робочий стан шляхом правильної фіксації на опорній поверхні та під'єднання пневморозподільника із магістралями подачі стисненого повітря;

оператор, використовуючи регулятор тиску, встановлює оптимальний рівень повітряного тиску для забезпечення необхідної сили приводу відповідно до технологічних вимог;

активується обертальний рух роликів механізмів, після чого задається раціональна швидкість їх обертання залежно від герметичності та ступеня забрудненості поверхні деталей;

датчики контролю динамічних параметрів реєструють уповільнення обертання, яке є індикатором технологічного опору, а зібрані дані порівнюються з еталонними значеннями для оцінювання результатів процесу.

Подальша частина розділу присвячена аналізу можливих конструктивних модифікацій установки для миття деталей. На рисунках 3.2 і 3.3 представлено варіант конструкції механізму регулювання натягу ремня головного електродвигуна, який приводить у дію систему хитання рухомої рами. Така конструкція сприяє підтриманню оптимального передавання крутного моменту та зменшує ризик пробуксовування під час тривалої експлуатації.

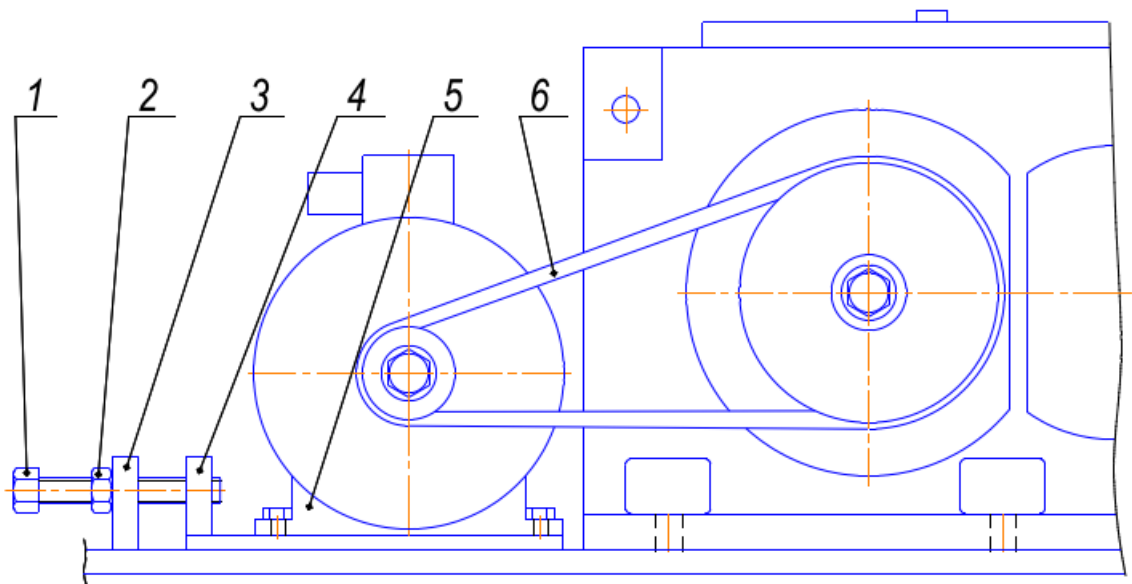


Рис. 3.2. Перший варіант компоновки натягача ремня:

1 – регулювальний гвинт; 2 – стопорна гайка; 3 – упорна рейка; 4 – рухома основа; 5 – електродвигун; 6 – приводний ремінь.

Конструкція натягача приводного ремня передбачає наявність двох взаємодіючих елементів. Базовим елементом є опорна рама, що слугує місцем встановлення електродвигуна і забезпечує жорсткість кріплення приводу. Другий елемент – напрямна рейка з різьбовими отворами, по яких переміщуються регулювальні гвинти. Під час натягування ремня обертальний рух гвинтів призводить до поступового зміщення рухомої плити, що дозволяє цілеспрямовано змінювати міжосьову відстань та забезпечувати необхідний

рівень натягу. Після завершення регулювання положення плити закріплюють за допомогою стопорних гайок, що унеможливорює самовільне ослаблення ременя.

Переваги даної компоновки, що доводять її ефективність у практичному застосуванні:

- здатність до високоточного налаштування натягу приводного ременя;
- оперативна адаптація під змінні умови навантаження;
- низька ймовірність відмови завдяки простоті та міцності конструкції;
- можливість використання уніфікованих елементів, доступних у серійному виробництві.

До недоліків можна віднести дещо ускладнену процедуру регулювання, що потребує технічних навичок і додаткового часу при обслуговуванні.

Альтернативна компоновка, наведена на рисунку 3.3, також складається із двох функціональних частин. У цьому випадку:

- рухома частина виконує основне регулювальне переміщення і включає натяжний ролик;

- нерухома частина із кронштейном обладнана спеціальним пазом, що формує напрям руху призми відносно фіксованих болтів кріплення.

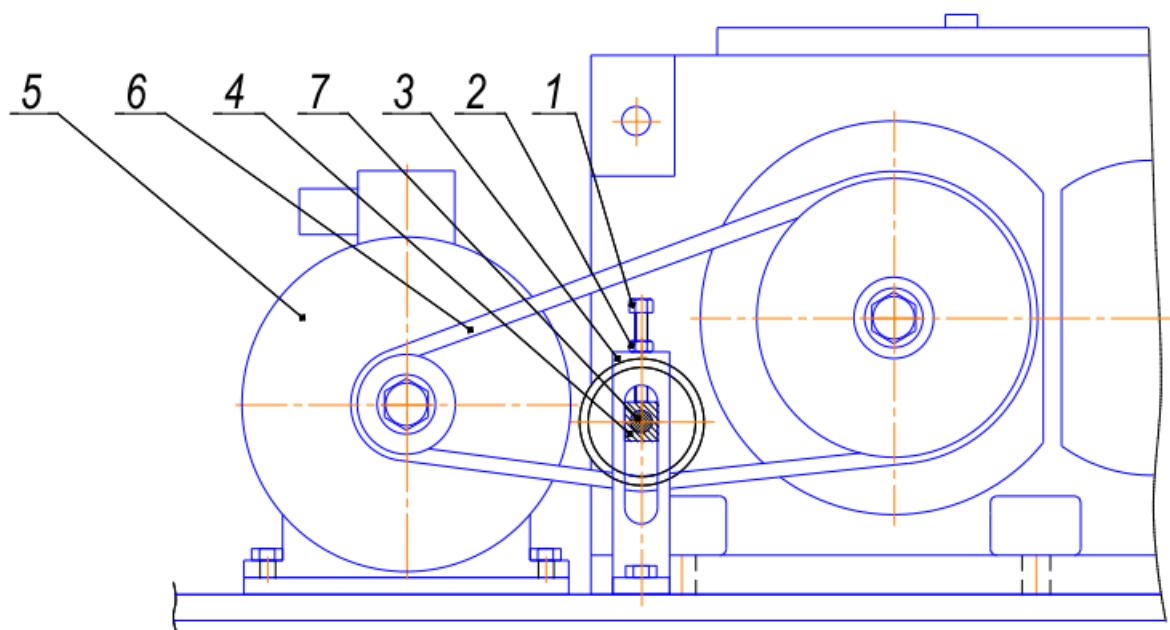


Рис. 3.3. Другий варіант компоновання натягувача ременя:

1 – регулювальний гвинт; 2 – стопорна гайка; 3 – кронштейн натягувача; 4 – рухома призма; 5 – електродвигун; 6 – приводний ремінь; 7 – натяжний ролик.

Процес регулювання реалізується шляхом обертання регулювальних гвинтів, що призводить до вертикального переміщення призми й натяжного ролика. Після встановлення необхідного натягу механізм фіксується стопорними гайками, що гарантує стабільність у роботі ремінного приводу протягом тривалого періоду експлуатації.

Аналіз другого конструктивного рішення натягувача приводного ремня дає змогу визначити певні позитивні риси, серед яких варто відзначити простішу процедуру регулювання натягу за умови правильної організації доступу до виконавчих елементів.

Разом із тим, під час практичної експлуатації виявляються істотні недоліки, що обмежують ефективність його застосування:

- обмежена ергономіка регулювання – доступ до гвинтових елементів складніший, що ускладнює технічне обслуговування;

- підвищена складність виготовлення вузла, зумовлена необхідністю високоточної обробки пари тертя типу «призма – паз», що збільшує собівартість виробу;

- недостатня жорсткість фіксації після налаштування, що створює ризик самовільного послаблення натягу ремня під час тривалої роботи;

- відсутність гнучкості щодо конструктивної адаптації натягувача для різних типів та профілів ремнів.

Беручи до уваги результати порівняльного аналізу, перший варіант конструкції натягувача вибирається як пріоритетний для подальшого проектного опрацювання, оскільки його конструктивні переваги є суттєвими, а виявлений недолік не впливає на надійність і функціональність системи в умовах реальної експлуатації рис. 3.4.

Вібронизжувальна опора є одним із ключових елементів конструкції мийної установки, що забезпечує зменшення динамічних навантажень та підвищення стійкості обладнання під час роботи.

Основу конструкції становить регульована вісь опори (1), на якій жорстко фіксується пружний демпфуючий елемент (7). Регулювання висоти опори виконується шляхом зміни положення осі обертанням, а необхідне положення фіксується стопорною гайкою (2). Пружний елемент виконаний зі сталі

підвищеної міцності, має форму багатопроменевої зірочки, опирається на п'ятку опори (6) та зверху закритий захисною кришкою (5), що оберігає елемент від пошкоджень і впливу агресивного середовища.

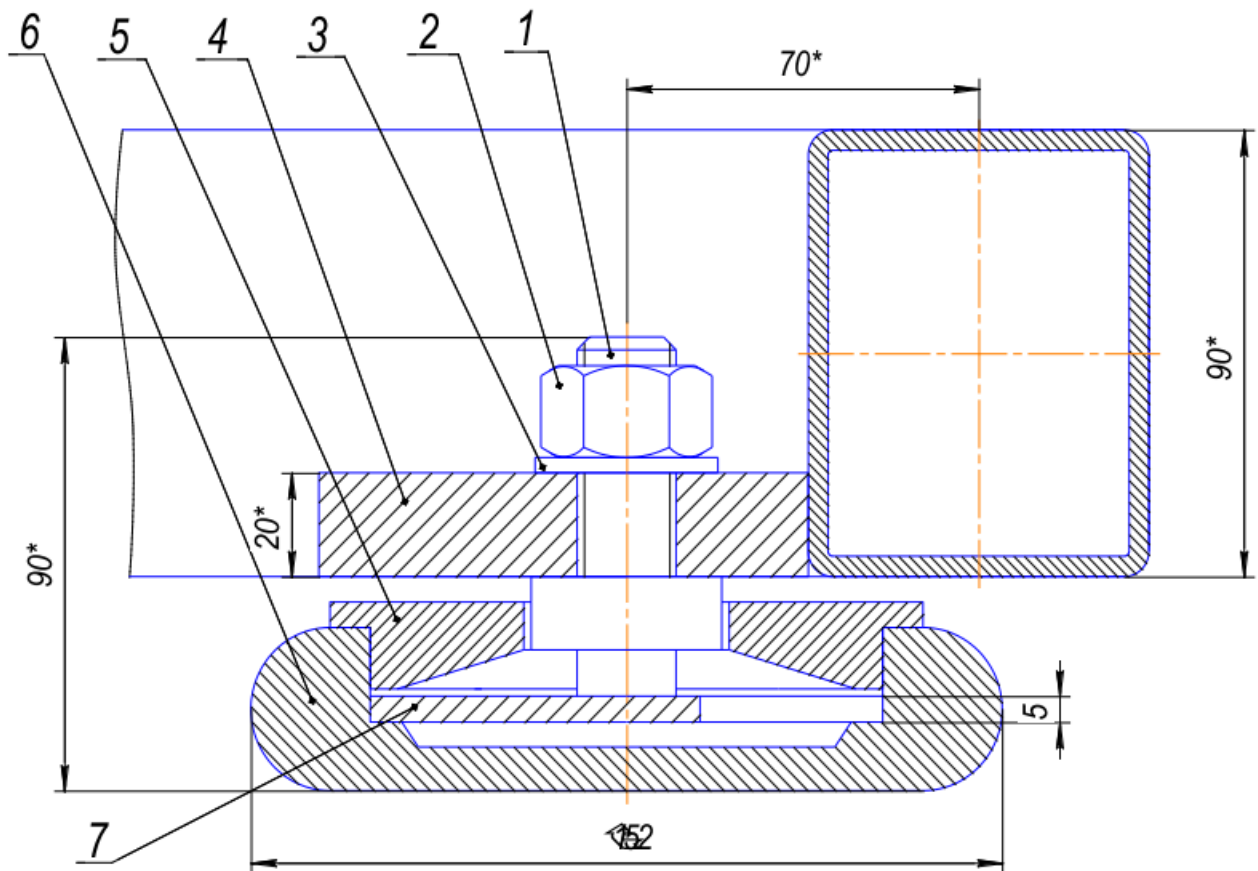


Рис. 3.4. Конструктивна схема вібрознижувальної опори.

Монтаж опори здійснюється до основи мийної установки (4) через шайбу (3), що забезпечує рівномірний розподіл навантаження.

У процесі роботи вібрації від корпусу установки через вісь передаються до пружного елемента, пелюстки якого деформуються та активно поглинають коливання, перетворюючи механічну енергію на теплову. Завдяки цьому на опорну поверхню передається значно менша частка вібрацій.

Переваги запропонованої конструкції:

- технологічна простота та невелика кількість складових деталей;
- надійність і довговічність у реальних умовах експлуатації;
- легкість проведення сервісних робіт і можливість швидкої заміни елементів;

універсальність застосування для різних типорозмірів обладнання.

Недоліки конструкції:

потреба у застосуванні спеціалізованих пружних матеріалів із високою пружністю та міцністю;

відносна складність та точність регулювання висоти в умовах виробництва.

Конструктивне виконання підшипникової опори приводу коливної механізми рами наведено на рисунку 3.5, де буде розглянуто особливості розміщення та роботи вузла.

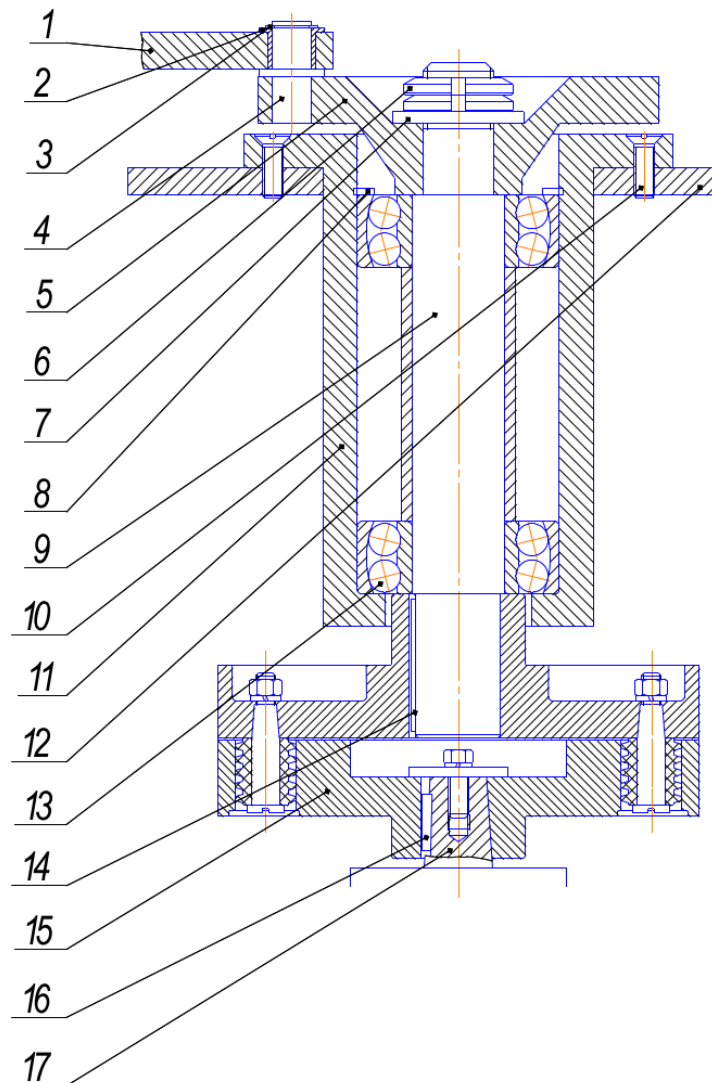


Рис. 3.5. Підшипникова опора приводу коливної рами.

Підшипниковий вузол механізму приводу рами має компактне та технологічне конструювання. Основним елементом є корпус 11, у якому встановлено вал 9, що обертається на двох дворядних самовирівнювальних підшипниках 13. Такий тип підшипників забезпечує автоматичну компенсацію можливих перекосів, що позитивно впливає на ресурс вузла.

З боку приводу на валу розташована гумово-пальцева муфта 15, яка виконує функцію компенсації невеликих відхилень співвісності між валом 17 редуктора та валом опори, одночасно демпфуючи ударні навантаження, що виникають під час пуску та зупинки механізму.

На робочому кінці вала змонтовано кривошип 5, жорстко зафіксований круглими гайками 6. Дисковий профіль кривошипа обрано з метою зниження інерційних коливань при високих частотах роботи. У кривошип запресована вісь 4, на якій шарнірно закріплено шатун 1 приводу хитання рами. Для зменшення втрат на тертя та полегшення технічного обслуговування у зчленуванні застосована бронзова втулка 3, а ось шатуна додатково зафіксована стопорним кільцем 2.

Кріплення опорного корпуса до рами установки 12 виконується через шість гвинтів 10, що гарантує достатню жорсткість. Підшипники на валу розташовані з розпірною втулкою, а їхнє осьове положення визначається упорним буртом з одного боку та стопорним кільцем 8 – з іншого. Передача крутного моменту муфтою здійснюється через шпоночні з'єднання 16 і 14.

Аналіз конструктивних особливостей. Переваги вузла:
 мінімальна кількість деталей задіяних у з'єднанні;
 висока технологічність і ремонтпридатність конструкції;
 самовирівнювальні підшипники зменшують чутливість до монтажних похибок;

надійність фіксації та робочої стабільності механізму;
 знижене інерційне навантаження завдяки дисковій формі кривошипа.

Недоліки:

застосування неметалевого матеріалу корпуса може обмежувати жорсткість і ресурс при інтенсивних навантаженнях.

3.2 Розрахунок основних параметрів системи та вибір комплектуючих вузлів

Технологічний процес миття деталей передбачає безперервний рух робочих середовищ – мийного розчину, води та змащувальних компонентів – у

замкненому гідравлічному контурі. Тому ключовою задачею є формування раціональної гідросхеми, що враховує втрати тиску у трубопроводах, арматурі та виконавчих пристроях установки. Узагальнена структурно-гідравлічна схема подачі й повернення робочої рідини наведена на рисунку 3.6.

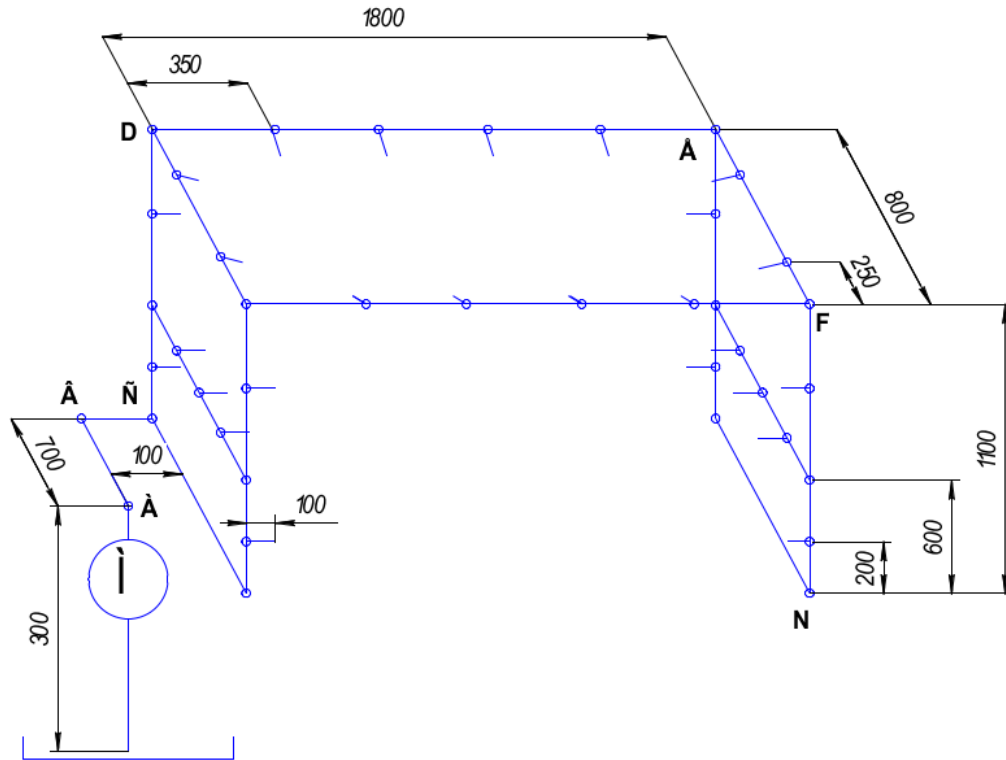


Рис. 3.6. Схема розміщення форсунок і гідроприводних механізмів мийної установки.

З огляду на значний обсяг розрахункових операцій в роботі наведено найбільш важливі результати гідравлічного аналізу. Розрахункове значення напору, необхідного для забезпечення ефективного функціонування системи подачі мийного середовища, становить:

$$H_{\text{розр.}} \geq 229,34 \text{ м}$$

На підставі зазначеного значення обґрунтовано вибір занурювального багатоступінчастого відцентрового насоса ФГ 16/27-в, який працює з частотою обертання валу $n = 2950$ об/хв і забезпечує подачу до 240 м, що відповідає вимогам системи з урахуванням її гідравлічного опору.

У зв'язку з тим, що конструктивне рішення насосного обладнання ідентичне промисловому аналогу, вибір електроприводу доцільно здійснювати за апробованим варіантом – асинхронний двигун типу А03-42-4, параметри якого забезпечують стабільний режим роботи насоса.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Період інтенсивного дифузійного горіння та завершального догорання залишків палива після припинення впорскування

На початку цього етапу процес формування та розвитку паливних факелів фактично завершено: основна частина крапель розпиленого палива сповільнюється та переміщується разом із крупномасштабними турбулентними потоками в камері згорання. У зоні локальних осередків полум'я формується підвищена концентрація продуктів окиснення, де частина пального переходить у парову фазу в середовищі з обмеженим вмістом кисню. Неповністю згорілі компоненти суміші розподіляються в об'ємі циліндра нерівномірно, що зумовлює змінність локальних умов горіння.

Інтенсивність вигорання палива на цьому етапі визначається, насамперед, коефіцієнтом надлишку повітря, ступенем неоднорідності паливоповітряної суміші та характером турбулентного перемішування, тобто швидкістю дифузійного перенесення реагуючих складових. У зв'язку з одночасним перебігом процесів окиснення випарованого палива та догорання продуктів неповного згорання, а також подібністю їх залежності від інтенсивності дифузійних явищ, у науковій літературі прийнято об'єднувати третій і четвертий періоди розвитку процесу згорання в єдиний дифузійно-догоральний етап.

У процесі аналізу кінетики згорання на даному етапі недоцільно оперувати усередненою концентрацією кисню по всьому об'єму камери згорання, оскільки паливоповітряний заряд має виражену неоднорідність та значно розшарований за складом. Полум'я поширюється лише в обмежених областях, тоді як решта простору циліндра виконує роль своєрідного резервуара, звідки кисень надходить у реакційну зону завдяки турбулентному перемішуванню та молекулярній дифузії.

На початковій стадії цього періоду інтенсивно зростає концентрація продуктів окиснення, зокрема CO_2 та CO , паралельно зі швидким зниженням частки вільного кисню. Мінімум вмісту O_2 фіксується вже в першій половині дифузійно-догорального етапу. При цьому локальні значення коефіцієнта

надлишку повітря у фронті полум'я суттєво відрізняються як за рівнем, так і за характером змін від середнього значення α по всьому об'єму циліндра, що свідчить про складну просторово-часову структуру процесу згоряння.

Процес згоряння у дизельних двигунах відбувається в надзвичайно складних та неоднорідних умовах. Спочатку запалюється частина палива, що перебуває на периферії паливного факела, де забезпечений кращий доступ повітря. Після цього фронт полум'я поступово проникає у внутрішні шари факела, охоплюючи ядро, а також формує численні локальні осередки горіння поблизу скупчень частинок палива, що інтенсивно випаровуються.

Ефективність окиснення основної маси палива, зосередженої всередині об'єму полум'я, значною мірою визначається здатністю кисню надходити до реакційної зони та своєчасним відведенням продуктів згоряння. Проте у міру формування вогнища горіння продукти реакції, що виникають на його межах, частково екранують активну область, утворюючи бар'єр, який перешкоджає притоку свіжого повітря.

У початковій фазі цього періоду, коли швидкість хімічних реакцій різко зростає, інтенсивність споживання кисню всередині полум'я стає вищою, ніж можливість його підведення з навколишнього середовища. Унаслідок цього спостерігається неповне окиснення вуглеводнів, що супроводжується підвищенням концентрації оксиду вуглецю (CO) та інших проміжних продуктів горіння у циліндрі двигуна.

Після того як вигоріє близько половини впорскнутої порції палива, спостерігається помітне зниження швидкості перебігу процесів окиснення. Водночас посилюється притік кисню в реакційну зону завдяки зростанню інтенсивності турбулентного перемішування та дифузійних потоків, що обумовлено багатоосередковою природою горіння й рухом поршня від верхньої мертвої точки. Унаслідок цього вміст кисню в області полум'я, досягнувши мінімального рівня, знову зростає, що сприяє активному догоранню оксиду вуглецю і поступовому вирівнюванню концентрацій CO₂ та O₂ по всьому об'єму камери згоряння.

Такі зміни поточного значення коефіцієнта надлишку повітря в зоні реакції наочно демонструють роль турбулентної дифузії у процесі розподілу

компонентів заряду та вирівнюванні часткових концентрацій реагуючих речовин.

У фазі розвиненого дифузійного горіння початкова швидкість зародження хімічних ланцюгів (w_0) практично не визначає інтенсивність реакційного процесу. Провідним фактором стає швидкість підведення кисню до окремих зон, де накопичена основна частина пальної речовини та продуктів неповного згоряння, тобто динаміка зміни концентрації O_2 у фронті полум'я.

Зміна об'єму камери згоряння під час переміщення поршня після проходження верхньої мертвої точки чинить складний вплив на випаровування та вигорання палива. З одного боку, збільшення об'єму призводить до зменшення загальної концентрації компонентів, що теоретично має знижувати швидкість процесу згоряння. Проте водночас зростає інтенсивність турбулізації заряду, що посилює тепло- та масообмін і, відповідно, сприяє прискоренню реакцій окиснення.

4.2 Інженерний підхід до визначення затримки займання палива у дизельному двигуні з акумуляторною системою живлення Common Rail

У момент початку впорскування паливо надходить у камеру згоряння у вигляді високодисперсного факела, однак процес окиснення не стартує миттєво. Протягом певного проміжку часу відбувається підготовка паливоповітряного середовища до реакції самозаймання. До цього комплексу фізико-хімічних процесів належать: розпилювання та дроблення паливних струменів на дрібні краплини, їх нагрівання та випаровування, дифузійне змішування парів з повітрям, а також накопичення активних радикалів і перекисних сполук, здатних ініціювати хімічні реакції.

У зоні зовнішніх меж факела формуються численні осередки самозаймання — локальні об'єми, в яких умови для хімічного вибухового перетворення досягають критичного рівня. Один із таких осередків досягає температурно-концентраційного порогу раніше за інші, що викликає його швидке займання у режимі так званого теплового вибуху. Далі полум'я з великою швидкістю охоплює увесь факел впорснутого палива. Весь цей часовий інтервал від початку

упорскування до появи видимого фронту полум'я прийнято називати затримкою займання.

Динаміка затримки запалення має двокомпонентний характер:

Фізична складова – охоплює явища диспергування палива, його теплову підготовку, випаровування та змішування з повітрям;

Хімічна складова – визначається швидкістю утворення активних проміжних продуктів і переходом реакції до автокаталітичного режиму.

Розглянутий інженерний метод оцінювання затримки займання дає можливість врахувати термодинамічний стан робочого середовища на момент упорскування, тепловий режим паливної краплини та орієнтовний період її випаровування. Під час проведення такого розрахунку приймають низку спрощень, що дозволяють узагальнити фізико-хімічні процеси без істотної втрати точності.

Передбачається, що в ролі ініціатора займання виступає окремий локальний об'єм (ЛО), у межах якого розташована одна умовна паливна крапля. Нагрівання та випаровування цієї краплини відбувається виключно за рахунок внутрішніх енергетичних ресурсів ЛО, без теплообміну з навколишнім газовим середовищем та сусідніми частинками палива до моменту самозаймання. Така модель дозволяє відокремити визначальний вплив фундаментальних процесів підготовки суміші на момент виникнення автозапалювання.

У результаті загальний час затримки займання розглядається як адитивна величина, що складається з фізичної та хімічної складових, кожна з яких характеризує певну фазу підготовки паливоповітряної суміші до початку інтенсивного горіння.

$$\tau_i = \tau_{\text{фіз}} + \tau_{\text{хім}} \quad (4.1)$$

Для виконання інженерного розрахунку індукційного періоду самозаймання пального в дизельному двигуні необхідно задати комплекс вихідних параметрів, що визначають термодинамічні умови в камері згоряння та характеристики паливоповітряної суміші. До таких параметрів належать геометричні дані двигуна – діаметр циліндра D , хід поршня S , ступінь стискування ϵ та форма камери згоряння (коефіцієнт λ). Важливо також

врахувати частоту обертання колінчастого вала n , тиск p_k і температуру T_k повітряного заряду в момент упорскування, а також температуру палива T_f і його фракційний склад.

Серед інших суттєвих характеристик – циклова подача та параметри процесу газообміну: кут закриття впускного клапана φ_a , момент початку упорскування φ_1 , коефіцієнт наповнення η_v , частка залишкових газів у циліндрі γ . Окрім цього, для оцінювання хімічної складової затримки займання необхідні кінетичні константи, що описують реакції окиснення палива: енергія активації E , передекспоненційний множник у рівнянні швидкості реакції k та сумарний порядок реакції s .

4.3 Розрахунок початкового складу паливоповітряної суміші

Під час аналітичного визначення параметрів займання розглядається модель локального об'єму (ЛО), у якому суміш складена з основних компонентів: кисню O_2 , азоту N_2 та умовного представника вуглеводневого палива зі стехіометричним складом $C_cH_hO_o$. У будь-який момент часу парціальний тиск газової суміші в ЛО визначається через кількість речовини відповідно до рівняння стану ідеального газу $p_k V_k = v_k R T_k$.

Склад атмосферного повітря, який приймається для розрахунків, становить:

частка $O_2 = 0,20640$,

частка $N_2 = 0,78084$.

Для опису дизельного палива застосовано узагальнену емпіричну формулу $C_cH_hO_o$, де кількість атомів основних елементів приймаємо як:

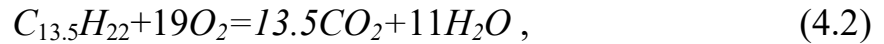
вуглець: $c = 13.5$,

водень: $h = 22$,

кисень: $o = 0$.

Ці значення відповідають типовому складу дизельного палива нафтового походження з переважанням вуглеводнів парафінової групи.

Для подальших розрахунків реакційна схема повного окиснення умовної паливної молекули може бути записана у вигляді:



З урахуванням атомних мас основних елементів вуглеводневого палива – для вуглецю $M_C = 0,012$ кг/моль, для водню $M_H = 0,001$ кг/моль, а для кисню $M_O = 0,016$ кг/моль – можна встановити масове співвідношення компонентів умовного дизельного палива. Так, в 1 кг пального міститься орієнтовно 0,8797 кг вуглецю та 0,1203 кг водню, що відповідає типовому фракційному складу дизельної фази.

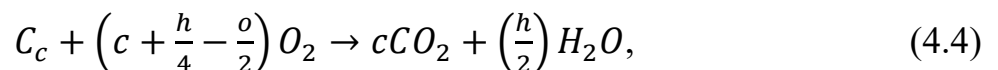
Для повного окиснення такої кількості палива необхідна подача приблизно 103,08 моль кисню O_2 , що еквівалентно 499,36 моль повітря при стандартних умовах вологості. Це значення є базовим для визначення стехіометричної потреби в кисні під час подальших розрахунків коефіцієнтів надлишку повітря та параметрів автозаймання.

Розглядаючи локальний об'єм суміші (ЛО), що асоціюється з окремою паливною краплею в камері згоряння, його стан у будь-який момент описується рівнянням стану ідеального газу, яке пов'язує термодинамічні параметри робочого тіла з кількістю речовини, що бере участь у теплообмінних та реакційних процесах:

$$P_W = m_{\text{ло}} R_0 / \langle M_{\text{ло}} \rangle = m_{\text{ло}} R_0 / \sum_{j=1}^6 a_{jkj} M_j = v_{\text{ло}} R_0, \quad (4.3)$$

У період індукції, що передує тепловому вибуху, в локальному об'ємі суміші відбувається так звана передвибухова брутто-реакція – сукупність перехідних хімічних перетворень, які формують умови для самозаймання. Для опису кінетики цих процесів застосовується макроскопічне рівняння, виписане для умовної молекули дизельного палива складу $C_c H_h O_o$, c – кількість атомів вуглецю, h – кількість атомів водню, o – кількість атомів кисню, $j = 6$ – індекс, що відображає характер реакційного механізму.

Тоді макрокінетичне рівняння швидкості передіндукційного окиснення паливної компоненти можна узагальнено подати у вигляді:



Початковий хімічний склад суміші в локальному об'ємі (ЛО) визначають, виходячи з газового складу на початку процесу стискування, із урахуванням заданого локального коефіцієнта надлишку повітря $\alpha_{\text{ЛО}}$:

$$a_{11} = (c + h/4 - o/2) / B, \quad (4.5)$$

$$a_{21} = (a_{2a} / a_{1a}) (c + h/4 - o/2) / B \quad (4.6)$$

$$a_{31} = 1 / [1 + (c + h/4 - o/2) / a_{1a}] = 1 / B. \quad (4.7)$$

У зв'язку з прийнятими припущеннями для локального об'єму можна ввести узагальнений стехіометричний параметр:

$$B = 1 + (c + \frac{h}{4} - \frac{o}{2}) \cdot \alpha_{1a},$$

де α_{1a} – локальний коефіцієнт надлишку повітря в ЛО.

За результатами розрахунків до моменту повного закриття впускного клапана в об'ємі камери згоряння зосереджена певна кількість молей окиснювального компонента й носійного газу, а саме:

кількість молей кисню – v_{1a} ,

кількість молей азоту – v_{2a} .

Загальне число молей повітряного заряду у циліндрі до моменту початку упорскування палива може бути визначене на основі рівняння стану ідеального газу для умов, що відповідають моменту закриття впускного клапана:

$$v_a = \sum_{j=1}^2 v_{ja} = p_a V_a / RT_a. \quad (4.8)$$

$$M_a = \sum_{j=1}^2 v_{aj} \cdot M_j / \sum_{j=1}^5 v_{aj}, \quad (4.9)$$

4.4 Термодинамічне визначення параметрів робочого середовища наприкінці такту стискання

На цьому етапі виконується термодинамічний аналіз стану газового заряду в циліндрі під час стискання, що є важливим для опису передумов самозаймання палива. Вихідним положенням приймається фіксований кут повороту колінчастого вала, який відповідає моменту закриття впускного клапана $\varphi = \varphi_a$.

При роботі двигуна з газотурбінним наддувом величина тиску повітряного заряду в кінці впуску визначається за емпіричним співвідношенням $p_a = (0,90 \div 0,95) \cdot p_k$.

Температуру робочого тіла після впуску для наддувних дизелів також визначають окремо, враховуючи теплові втрати в процесі подачі повітря та вплив

залишкових газів. Її розрахунок слугує основою для подальшого визначення температури в кінці стискання, що критично впливає на затримку займання та розвиток хімічних реакцій у суміші:

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma_r T_r \xi}{1 + \gamma_r}, \quad (4.10)$$

$$\text{де } T_k = T_0 \left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}} \quad (4.11)$$

$$n_k = 1,4 \dots 2; \Delta T = 5 \dots 10K; T_r = 700 \dots 900K; \gamma_r = 0 \dots 0,04; \xi = 1,1.$$

Параметри робочого середовища в циліндрі на момент початку впорскування палива, що відповідає куту повороту колінчастого вала $\varphi = \varphi_1$, визначаються з урахуванням зміни геометричного об'єму камери згоряння в процесі стискання:

$$V = V_c \frac{\varepsilon - 1}{2} \left(\frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1} - \cos + \frac{1}{\lambda} - \sqrt{\frac{1}{\lambda^2} - \sin^2} \right), \quad (4.12)$$

Тиск робочого середовища в циліндрі на момент початку упорскування палива визначають за політропним законом стискання, який описує зміну параметрів газу з урахуванням теплообміну зі стінками циліндра. В загальному вигляді це співвідношення записують так:

$$pV^n = \text{const}, \quad (4.13)$$

$$p_1 = p_a \left(\frac{V_a}{V_1} \right)^n, \quad (4.14)$$

$$n = 1,35.$$

Температуру заряду в циліндрі на момент початку упорскування палива визначають із використанням рівняння стану ідеального газу, яке пов'язує тиск, об'єм і температуру робочого тіла. Розрахунковий вираз можна подати у вигляді:

$$T_1 = \frac{p_1 V_1}{v_a R}, \quad (4.15)$$

$$R = 8,314 \text{ Дж/(моль К)}.$$

4.5 Температура паливоповітряної суміші в локальному об'ємі

Після моменту початку впорскування палива температура локального об'єму O_1 визначається із застосуванням рівняння енергетичного (ентальпійного) балансу для одного моля робочої суміші. При цьому враховуються теплові процеси, що супроводжують підготовку палива до окиснення: нагрівання рідкої фази від початкової температури упорскування до температури кипіння та повне випаровування краплин, а також подальше перемішування парів палива з повітрям при заданому локальному коефіцієнті надлишку повітря.

Для спрощення подальших термодинамічних розрахунків приймаємо локальний коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{\text{ЛО}} = 1$,

$$T_1 \sum_{j=1}^2 a_j c_{pj} = a_6 [c_f (T_s - T_f) + L] + \theta_1 \left(\sum_{j=1}^5 a_j c_{pj} + a_6 c_{p6} \right), \quad (4.16)$$

Тоді.

$$\theta_1 = \frac{T_1 \sum_{j=1}^2 a_{j1} C_{pj} + a_{61} [C_f (T_f - T_s) - L]}{\sum_{j=1}^2 a_{j1} C_{pj} + a_{61} C_{p6}}. \quad (4.17)$$

4.6 Фізична складова затримки займання палива

Фізичний період затримки запалення характеризує проміжок часу, необхідний для повного переходу впорснутої паливної краплі у парову фазу та формування змішаного з повітрям середовища, придатного до автозаймання. Цей часовий інтервал визначається як відношення маси окремої краплини до масової швидкості її випаровування. Тобто фізичний час затримки є кількісною оцінкою тривалості процесів тепломасообміну між краплею та оточуючим високотемпературним газом у камері згоряння:

$$t_{\text{исп}} = \frac{d_k^2 \rho_{\text{жс}}}{8(\lambda / c_{\text{нап}}) \cdot \ln \left[1 + \frac{c_{\text{нап}} (T_1 - T_f)}{L} \right]} \quad (4.18)$$

Маса краплі:

$$m = \rho_f V_{\text{капли}} = \frac{1}{6} \pi \rho_f d_{\text{капли}}^3, \quad (4.19)$$

Медіанний діаметр паливної краплі, який використовується як розрахункова характеристика дисперсності факела, визначають за емпіричним рівнянням, що враховує параметри процесу розпилювання та властивості палива:

$$d_{\kappa} = d_0 \cdot \left[\left(1 + \frac{d_c}{d_2}\right) + 2\left(1 - \frac{P_{cp}}{2p_1}\right) \cdot \frac{p_1}{P_{cp} + \frac{p_1}{\pi} \cdot \frac{d_2}{d_c}} \cdot \left(\frac{l_c}{d_c}\right)^{0.125} \right] \cdot \left(\frac{v}{v_0}\right)^{0.15}, \quad (4.20)$$

$d_0 = 16,5$ мкм; $d_2 = 0,30$ мкм; $v_0 = 5,23$ мм²/с; $p_{cp} = 0,6p_{\text{max}}$ – Мпа.

4.7 Хімічна складова затримки займання палива

Хімічна частина індукційного періоду характеризує проміжок часу, необхідний для накопичення в локальному об'ємі (ЛО) достатньої кількості активних радикалів та проміжних продуктів окиснення, після чого реакція переходить у вибуховий (автокаталітичний) режим. Швидкість передвибухової брутто-реакції в ЛО, з урахуванням кінетичного множника $A_j = \frac{a_j p}{R_0}$, можна узагальнено подати у формі:

$$W = k(a_1 a_6)^{s/2} \left(\frac{p}{R\theta}\right)^s \exp\left(-\frac{E}{R\theta}\right). \quad (4.21)$$

Слід зауважити, що в численних емпіричних залежностях, запропонованих різними дослідниками для визначення затримки займання в дизельних двигунах, широко використовується підхід, аналогічний формулі О.М. Тодеса:

$$\tau_{\text{хим}} = B p^n \exp(E/RT), \quad (4.22)$$

$n = 1-s$. $E = 38000$ Дж/моль. $s = 2$.

Порівняльний аналіз емпіричного рівняння О.М. Тодеса, яке описує тривалість індукційного періоду в режимі теплового вибуху, та кінетичного рівняння, що визначає швидкість хімічного перетворення у локальному об'ємі, дає змогу синтезувати узагальнений вираз для визначення хімічної складової затримки займання. На основі математичного зіставлення залежностей одержуємо:

$$\tau_{хим} = \frac{B_0}{k(a_1 a_6)^{S/2}} \left(\frac{p_1}{R\theta_1} \right)^{1-S} \exp\left(\frac{E}{R\theta_1} \right), \quad (4.23)$$

4.8 Алгоритм визначення затримки займання палива

На основі викладеної вище розрахункової методики та отриманих аналітичних залежностей загальний порядок визначення тривалості затримки займання палива у дизельному двигуні з системою упорскування підвищеного тиску можна подати у такій послідовності:

$$C_c + (c + h/4 - o/2)O_2 \rightarrow cCO_2 + (h/2)H_2O, \quad (4.24)$$

$$a_{11} = (c + h/4 - o/2) / B, \quad (4.25)$$

$$a_{21} = (a_{2a} / a_{1a}) (c + h/4 - o/2) / B, \quad (4.26)$$

$$a_{31} = 1 / [1 + (c + h/4 - o/2) / a_{1a}] = 1 / B; \quad (4.27)$$

$$v_a = \sum_{j=1}^2 v_{ja} = p_a V_a / RT_a; \quad (4.28)$$

$$M_a = \sum_{j=1}^2 v_{aj} \cdot M_j / \sum_{j=1}^5 v_{aj}, \quad (4.29)$$

$$p_a = (0.9 \dots 0.95) p_k, \quad (4.30)$$

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma_r T_r \xi}{1 + \gamma_r}, \quad (4.32)$$

$$T_k = T_0 \left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}}; \quad (4.33)$$

$$V = V_c \frac{\varepsilon - 1}{2} \left(\frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1} - \cos + \frac{1}{\lambda} - \sqrt{\frac{1}{\lambda^2} - \sin^2} \right); \quad (4.34)$$

$$p_1 = p_a \left(\frac{V_a}{V_1} \right)^n; \quad (4.35)$$

$$\theta_1 = \frac{T_1 \sum_{j=1}^2 a_{jl} C_{pj} + a_{6l} [C_f (T_f - T_s) - L]}{\sum_{j=1}^2 a_{jl} C_{pj} + a_{6l} C_{p6}}; \quad (4.36)$$

$$t_{исп} = \frac{d_m^2 \rho_{жс}}{8(\lambda / c_{нар}) \cdot \ln \left[1 + \frac{c_{нар} (T_1 - T_f)}{L} \right]}; \quad (4.37)$$

$$d_{\kappa} = d_0 \cdot \left[\left(1 + \frac{d_c}{d_2} \right) + 2 \left(1 - \frac{p_{cp}}{2p_1} \right) \cdot \frac{p_1}{p_{cp} + \frac{p_1}{\pi} \cdot \frac{d_2}{d_c}} \cdot \left(\frac{l_c}{d_c} \right)^{0.125} \right] \cdot \left(\frac{v}{v_0} \right)^{0.15} \quad (4.38)$$

$$\tau_{хим} = \frac{B_0}{k(a_1 a_6)^{S/2}} \left(\frac{p_1}{R\theta_1} \right)^{1-S} \exp \left(\frac{E}{R\theta_1} \right); \quad (4.39)$$

$$\tau_i = \tau_{физ} + \tau_{хим}. \quad (4.40)$$

За результатами виконаних розрахунків було побудовано залежності зміни часу затримки займання від тиску впорскування палива, що дозволило оцінити вплив параметрів системи упорскування на процес автозаймання.

4.9 Результати розрахунково-теоретичного дослідження

У межах розрахунково-теоретичного аналізу розглядалися різні схеми формування циклової подачі палива, характерні для системи Common Rail:

упорскування основної порції з однією попередньою мікроподачею (двоступенева подача);

упорскування основної порції з двома попередніми мікроподачами (тристадійний цикл);

упорскування основної порції з двома попередніми мікроподачами та постподачею (чотиристадійний цикл).

Чисельне моделювання виконано для кожного зазначеного варіанта, а отримані результати подані на рисунках 4.1 і 4.2.

Побудована залежність часу затримки займання від тиску впорскування (рисунок 4.3) демонструє виражений характер впливу високого тиску палива на перехід до стадії автозаймання.

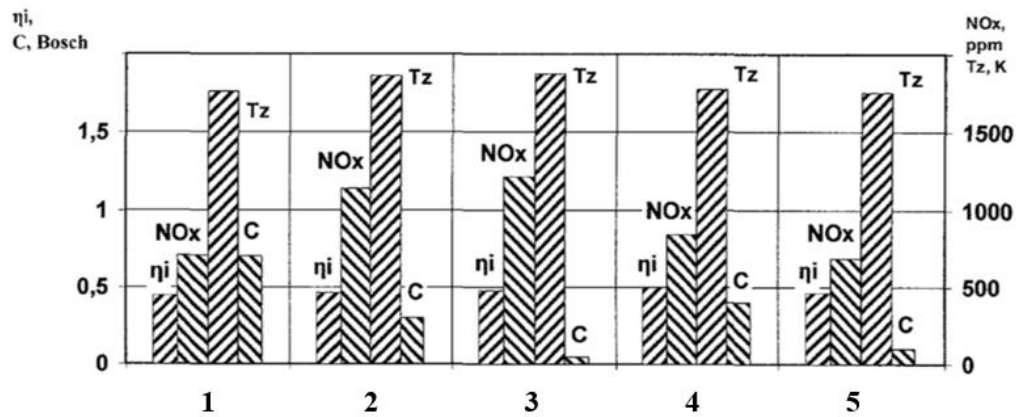


Рис. 4.1. Порівняння індикаторного ККД, вуглецю, окислів азоту і максимальної температури циклу з різними законами подачі палива при $p_i = 1,3$ МПа, $\theta = 16^\circ$ п.к.в. до ВМТ, $n = 1750$ хв $^{-1}$.

1 – Паливна апаратура безпосередньої дії; 2 – CR з одно стадійним циклом. 3 – CR з двох стадійним циклом. Розрахункове дослідження. 4 – CR з трьох стадійним циклом. Розрахункове дослідження. 5 – CR з чотирьох стадійним циклом. Розрахункове дослідження.

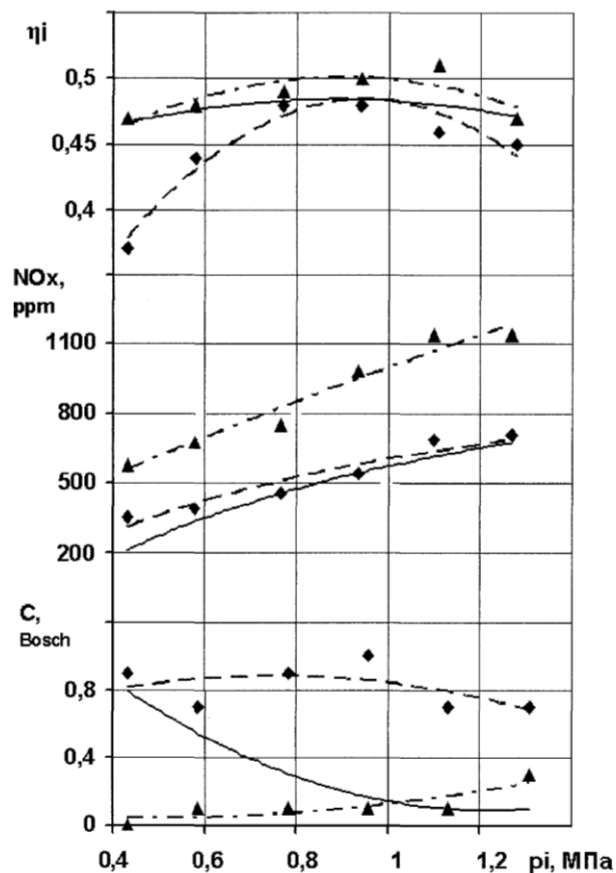


Рис. 4.2. Навантажувальна характеристика при $\theta = 16^\circ$ п.к.в. до ВМТ, $n = 1750$ хв $^{-1}$ (експеримент:----- ТППА, CR з 1-о стадійним циклом подачі палива; розрахункове моделювання:———— CR р 4-х стадійним циклом подачі палива).

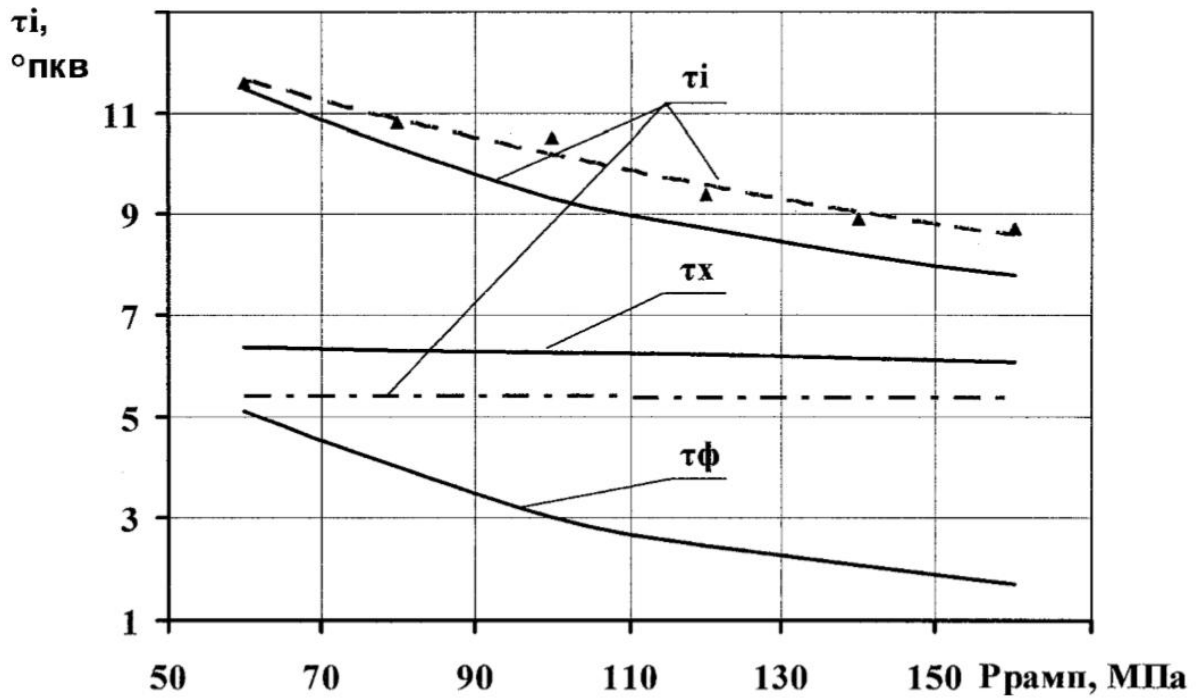


Рис. 4.3. Графік зміни затримки займання від тиску впорскування $\theta = 16^{\circ}$ п.к.в.
до ВМТ, $n = 1750 \text{ хв}^{-1}$

(- - - - експеримент, - - - - - по Дизель CR, — за авторською методикою)

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Загальні вимоги безпеки під час технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів

Технічне обслуговування і ремонт автомобільної техніки мають виконуватися виключно на спеціалізованих робочих постах, обладнаних відповідно до вимог чинних нормативно-технічних документів. Такі робочі місця повинні бути забезпечені сучасним технологічним оснащенням, справним інструментом, контрольно-вимірювальними приладами та необхідними пристосуваннями.

Персонал, який здійснює технічне обслуговування, діагностику або ремонт транспортних засобів, зобов'язаний користуватися інструментом, що відповідає вимогам охорони праці та технічної безпеки. Всі технічні засоби повинні перебувати у справному стані та своєчасно проходити перевірку.

Робочі ділянки, що пов'язані з потенційною небезпекою для працівників, повинні бути промарковані знаками безпеки та галузевих інструкцій з охорони праці.

Під час демонтажу, встановлення або транспортування вузлів і агрегатів масою понад 20 кг необхідно застосовувати підйимально-транспортне обладнання зі спеціальними пристроями для їх безпечного захоплення та переміщення.

У робочих зонах, де можливе утворення запиленості чи викидів шкідливих речовин, експлуатація обладнання допускається лише за умови увімкненої припливно-витяжної вентиляції. Особливо це стосується робіт із запуском двигуном – у таких випадках обов'язкове використання систем відведення відпрацьованих газів.

Категорично забороняється застосовувати відкритий вогонь у виробничих приміщеннях, де розміщені автомобілі з паливом у баках, а також зберігаються або використовуються легкозаймисті матеріали (бензин, гас, фарби, розчинники, стружка, вата тощо). Усі відходи та забруднення необхідно прибирати після завершення зміни. Пролиті горючі рідини підлягають негайному видаленню.

Очищення робочого місця допускається лише щітками, без використання струменя стисненого повітря.

Пуск двигуна, рушання автомобіля з місця, маневрування у виробничому приміщенні повинні здійснюватися лише після переконання у відсутності загрози працівникам.

Знаходження сторонніх осіб у зонах виконання робіт підвищеної небезпеки суворо заборонено.

Працівники, які виконують операції контролю технічного стану транспортних засобів на оглядових канавах, підйомниках або естакадах, зобов'язані використовувати захисні каски, що забезпечують мінімізацію ризику травмування у разі падіння інструмента чи деталей.

У процесі передрейсового та післярейсового контролю технічного стану автомобілів перевірка повинна здійснюватися за умови повної зупинки двигуна та надійного загальмування коліс, за винятком ситуацій, коли проводяться контрольні випробування гальмівної системи або рульового керування.

На контрольно-технічному пункті (КТП) має знаходитися чинний Перелік робіт підвищеної небезпеки, затверджений керівництвом підприємства. Територія КТП повинна утримуватися в належному стані: не допускається наявність пально-мастильних плям чи обмерзання, які можуть призвести до ковзання техніки або персоналу.

В'їзні ворота необхідно закривати одразу після переміщення автомобіля, щоб уникнути неконтрольованого потрапляння транспорту в робочу зону. Забороняється тримати проїзди відкритими, а також допускати переміщення людей через транспортні коридори КТП.

Максимальна дозволена швидкість руху транспортних засобів на території КТП – не більше 5 км/год, що виключає ризик наїздів і зіткнень.

Транспортні засоби, а також агрегати і деталі, які прямують на технічне обслуговування або ремонт, повинні бути попередньо очищені від бруду, льоду і снігу, щоб уникнути потрапляння забруднень до робочих зон та пошкодження інструменту.

Маневри у виробничому приміщенні (зупинка, заїзд на пост) повинні здійснюватися лише з дозволу відповідальної посадової особи – майстра або керівника ділянки.

Під час обслуговування автомобілів на підйомниках на пульт управління підвішується попереджувальна табличка:

«ПІДЙОМНИК НЕ ВМИКАТИ – ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ!»

Кожен рух транспортного засобу між постами дозволений лише після попередньої подачі сигналу – світлового або звукового.

У разі часткового підйому автомобіля домкратами або іншими механізмами під його підвішені елементи повинні бути встановлені жорсткі підставки (козелки) у місцях, визначених технологічною документацією.

Під час виконання робіт на висоті понад 1 м працівники зобов'язані користуватися спеціальними робочими майданчиками, естакадами або сходами-драбинами. Використання приставних (побутових) драбин не допускається. Заборонено підніматися по сходах із інструментом у руках – необхідно застосовувати сумки або контейнери.

Перед демонтажем агрегатів та вузлів систем живлення, змащення чи охолодження необхідно повністю злити паливо, мастила та охолоджувальну рідину у спеціальну тару, виключивши їх потрапляння на підлогу.

Окремі заборони, спрямовані на недопущення травматизму.

Під час технічного обслуговування забороняється: виконувати будь-які операції з автомобілем, що утримується лише підйомними механізмами (домкратами тощо); замінювати штатні підставки випадковими предметами: колесами, цеглою, деревиною тощо; встановлювати домкрат на нестабільні опори; демонтувати ресори без повного розвантаження маси кузова; проводити роботи при працюючому двигуні, за винятком процедур, які технологічно потребують його запуску; здійснювати підйом за буксирні елементи, використовуючи троси чи ланцюги; перевищувати допустиму масу вантажу під час підйому; перебувати між колесом і кузовом автобуса при роботі з пневморесорами; піднімати вантаж із перекошеним натягом стропа або ланцюгів; залишати інструмент або деталі на автомобілі чи поблизу країв оглядової канави; розбирати агрегати системи живлення, що працюють на

етилованому бензині, без проведення нейтралізації тетраетилсвинцевих відкладень.

5.2 Організація та здійснення евакуаційних заходів

Евакуаційні дії можуть реалізовуватися на різних рівнях управління – державному, регіональному, місцевому або безпосередньо на рівні окремих об'єктів критичної інфраструктури. Їх проведення передбачається за умов виникнення загрози життю або здоров'ю населення внаслідок надзвичайних ситуацій природного, техногенного чи воєнного походження.

Відповідно до характеру й масштабів потенційної небезпеки, евакуація може бути:

- обов'язковою,
- загальною або вибірковою,
- тимчасовою чи безповоротною.

Рішення щодо проведення організованого переміщення населення ухвалюють: Кабінет Міністрів України, , обласні та районні державні адміністрації, органи місцевого самоврядування, а також керівники підприємств у межах їхньої відповідальності. В екстрених ситуаціях таке рішення може ініціювати керівник аварійно-рятувальних робіт або командир підрозділу, який першим прибув до зони ураження.

Умови проведення обов'язкової евакуації

Примусове переміщення населення здійснюється у разі виникнення загрози:

- аварій з неконтрольованими викидами радіоактивних або токсичних хімічних речовин;

- катастрофічних паводків чи проривів гідротехнічних споруд;

- масштабних пожеж, землетрусів, зсувів та інших небезпечних геодинамічних процесів;

- збройних конфліктів, коли наслідки бойових дій можуть спричинити масові втрати серед населення.

Просторові масштаби евакуації

Організоване переміщення людей може проводитися:

у межах конкретного населеного пункту чи регіону, якщо загроза носить локальний характер;

з території великих міст та промислових центрів, якщо існує загроза широкомасштабних воєнних дій.

Оскільки евакуація передбачає переміщення значних людських мас у стислі терміни та складних умовах, критично важливо забезпечити чіткість управління процесом для запобігання панічним проявам та мінімізації людських втрат.

Планування евакуаційних заходів. На етапі підготовки здійснюється прогнозування можливої обстановки, зокрема визначаються:

межа зони значних руйнувань (при надлишковому тиску ≥ 30 кПа),

межа зони слабких руйнувань (при надлишковому тиску ≥ 10 кПа).

Сукупність цих двох зон становить зону потенційної руйнації.

Населення, яке проживає в межах цієї території, підлягає переміщенню до заміської зони, що виключає ризик руйнувань.

У районах з низькою щільністю населення та за умови наявності інженерних засобів укриття евакуація може не проводитися.

Категорії населення, що підлягають переміщенню

Евакуйоване населення поділяється на дві категорії:

Першу категорію формують працівники підприємств, які продовжують діяльність у воєнний час, а також співробітники комунальних служб.

Їхні робочі зміни укриваються у захисних спорудах на виробництві, тоді як сім'ї та працівники позмінного графіка – розміщуються поза містами.

Такий захід має назву розосередження:

«працювати в місті – проживати поза межами міста»

Райони розміщення мають обиратися так, щоб час щоденного доїзду не перевищував 4–5 годин сумарно.

Друга категорія – решта населення: особи, підприємства яких призупиняють роботу або евакуюються в інші регіони, а також непрацюючі громадяни.

Для них евакуація означає тривале проживання в заміській зоні до окремого розпорядження.

Заходи щодо розосередження та евакуації населення активізуються в період формування безпосередньої загрози військового нападу. Після завершення переміщення населення у містах продовжують роботу лише працівники чергових змін об'єктів, що забезпечують критичні функції.

Способи переміщення населення з небезпечних територій. Передбачено три основні методи евакуації населення:

Автотранспортом – організований вивіз визначених категорій громадян;

Пішим порядком – самостійний вихід населення за заздалегідь визначеними маршрутами;

Комбінований спосіб, що поєднує пішу евакуацію з використанням транспорту.

До категорій, що переміщуються транспортними засобами першочергово, належать: працівники підприємств, що продовжують роботу у воєнний період, формування цивільного захисту, особи з інвалідністю та тяжкохворі, жінки з малолітніми дітьми (до 10 років).

Принципи формування евакуаційних потоків. Планування і проведення евакуації здійснюється за територіально-виробничим принципом: працівники підприємств – переміщуються організовано за місцем роботи; населення, що не належить до діючого виробництва – евакуюється за місцем проживання через житлово-експлуатаційні організації.

Особливості розміщення евакуйованих осіб

Населення, яке прибуває до заміської зони, розселяється з урахуванням можливостей приймаючої інфраструктури: в існуючому житловому фонді місцевих громад, у пристосованих адміністративних і виробничих приміщеннях, у закладах відпочинку, санаторного та рекреаційного типу, у дачних масивах чи селищах сезонного проживання.

Розташування має диференційований характер: працівники підприємств, які продовжують роботу, розміщуються поблизу міста та магістральних шляхів, що скорочує час на щоденне доїзджання; інші евакуйовані групи населення спрямовуються у більш віддалені, безпечні райони.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне теоретичне та практичне дослідження, спрямоване на підвищення ефективності технічного обслуговування та ремонту паливної апаратури дизельних двигунів, а саме — форсунок з акумуляторною системою живлення типу Common Rail. В роботі реалізовано послідовний підхід, що охоплює технологічні, конструкторські та науково-дослідні аспекти забезпечення надійної роботи системи упорскування сучасних дизелів.

У технологічному розділі систематизовано та вдосконалено технологію обслуговування форсунок, зокрема процеси зовнішнього очищення, вхідного контролю технічного стану, діагностичного розбирання, оцінювання зношування високоточної прецизійної пари, притирання сідла клапана-мультиплікатора та подальшого стендового тестування. Запропоновані рішення підвищують відновлюваність і довговічність елементів системи впорскування, зменшуючи ризики відмов під час експлуатації.

У конструкторській частині роботи проведено технічне обґрунтування створення спеціалізованої установки для миття дрібногабаритних деталей з високими вимогами до чистоти поверхні. Виконано добір оптимальних комплектуючих та розрахунок параметрів системи циркуляції мийного середовища, що гарантує стабільність технологічного процесу й можливість інтеграції обладнання у виробничі підрозділи сервісних центрів.

У науково-дослідному розділі виконано математичне моделювання та аналіз процесів утворення паливоповітряної суміші й початку займання у дизельному двигуні з системою Common Rail. Застосовано інженерний підхід до визначення затримки займання з урахуванням фізичної та хімічної складових, термодинамічного стану робочого середовища, локальної температури й параметрів впорскування. Розроблено алгоритм оцінювання затримки займання та проведено розрахунково-теоретичне дослідження, яке дозволяє прогнозувати якість процесу згоряння та впливати на вибір режимів упорскування з урахуванням екологічних і технічних вимог.

Отримані в роботі результати підтверджують наукову й практичну значущість дослідження. Запропоновані технологічні рішення та аналітичний апарат можуть бути використані в реальних умовах автотранспортних підприємств, сервісних станцій та виробничих підрозділів, що займаються ремонтом паливної апаратури. Впровадження напрацьованих рекомендацій сприятиме підвищенню надійності дизельних систем уприскування, зменшенню експлуатаційних витрат і покращенню технічних показників автомобілів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О.Л. Ляшук, М.Г. Левкович, Д.В. Міронов, В.О. Тесля. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» галузі знань 27 «Транспорт». – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2023. – 60 с.
2. Кукурудзяк Ю. Ю. Розробка та реалізація методу автоматизованого діагностування системи запалювання автомобільного двигуна на основі порівняння спектрів сигналів : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Ю. Ю. Кукурудзяк. – Харків, 2005. – 205 с.
3. Назар Ф. А. Обґрунтування та реалізація методів автоматизованого діагностування бензинових двигунів на основі аналізу параметрів в їх системах: автореф. дис. на здобуття вчен. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.03 / Ф. А. Назар ; Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". – Х., 2003. – 20 с.
4. Буренніков Ю.Ю. Економіка транспорту: навчальний посібник / Ю.Ю. Буренніков – Вінниця: ВНТУ, 2019 – 121 с.
5. Кукурудзяк Ю.Ю. Метод автоматизованого діагностування системи запалювання та системи керування автомобільним двигуном. Монографія / Кукурудзяк Ю.Ю., Ребедаєло В.М. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 143 с.
6. Біліченко В.В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів: навчальний посібник / В.В. Біліченко, В.Л. Крещенецький, Ю.Ю. Кукурудзяк, С.В. Цимбал. – Вінниця: ВНТУ – 2010. – 132 с.
7. Митрофанов О. С. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння: навч. посіб. / О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін. – Миколаїв: видавець Торубара В.В., 2018. – 152 с.
8. Шапко В.Ф., Шапко С.В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник. – Харків : Точка, 2016. – 232 с.
9. Шапко В.Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згоряння: Навчальний посібник. - Кременчук: КНУ, 2011. - 194 с.
10. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту

автомобілів. Книга 1 :теоретичні основи. Технологія: підручник / В. Є.

Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К. : "Вища школа", 1994. – 342 с.

11. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 2: організація, планування і управління : підручник / В. Є.

Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К.: "Вища школа", 1994. – 383 с.

12. Автомобілі. Теорія : навч. посіб. / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков, В. Г. Головань, О.В. Лисий; Військ. акад. - Одеса: Військ. акад., 2017. - 412 с.

13. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – 8-те вид. - К.: Либідь, 2018. – 400 с.

14. Кисликов В.Ф. Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. – К.: Либідь, 2016. – 400 с. 5. Ю.А.

15. О.П. Строков, М.Г. Макаренко, В.Ф.Фролов Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Підручник: У 2 кн. К.: Грамота, 2005.

16. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред.. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.

17. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навчальний посібник / В.С. Стручок.– Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. – 156 с.

18. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108.

19. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.

20. Дикань С.А., Зима О.Є. Безпека в галузі та надзвичайних ситуаціях. Університетський курс [Текст]: підручник для студ. вищ. навч. закл. С.А. Дикань, О.Є. Зима. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 273 с.: табл., іл.