

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технологічного процесу діагностики дизельних форсунок з дослідженням акумуляторної паливної системи

Виконав: студент 6 курсу, групи МАм-62
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Шалай Т.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Навроцька Т.Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Левкович М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зав. кафедри Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2023

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

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«20» листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Шалаю Тарасу Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу діагностики дизельних форсунок з дослідженням акумуляторної паливної системи

Керівник роботи Навроцька Тетяна Дем'янівна., к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 20 » листопада 2023 року № 4/7-1072

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2023

3. Вихідні дані до роботи Характеристика дизельних форсунок двигуна.

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)

Аналіз дизельних форсунок – 2А1.

Стенд для дослідження системи дизельних двигунів – 1А1.

Стенд для притирання плунжерних пар – 2А1.

Стенд для випробування насоса високого тиску – 1А1.

Результати наукових досліджень – 2А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада 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 20.11.2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	23.11.2023	
2	Технологічний розділ	29.11.2023	
3	Конструкторський розділ	04.12.2023	
4	Науково-дослідний розділ	06.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	13.12.2023	
6	Оформлення графічної частини	20.12.2023	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	25.12.2023	

Студент

_____ (підпис)

Шалай Т.А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Навроцька Т.Д.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Удосконалення технологічного процесу діагностики дизельних форсунок з дослідженням акумуляторної паливної системи».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра к.т.н. Навроцька Т.Д.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 61 сторінки формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини 4 сторінок додатків.

Ключові слова: якість, керування, аналіз, відновлення, технологія.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	7
1.1 Огляд дизельних форсунок.....	7
1.2 Система Common-Rail для впорскування палива.....	8
1.3 Електрична форсунка.....	10
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	12
2.1 Діагностика роботи дизельного двигуна.....	12
2.2 Тестування на стиск.....	13
2.3 Тестування балансу опору свічок накали.....	13
2.4 Перевірка форсунок дизельного двигуна.....	14
2.5 Тест на викиди дизельних двигунів.....	15
2.6 Тест на раптове прискорення.....	16
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	18
3.1 Експериментальне обладнання.....	18
3.2 Покращення систем живлення з використанням акумуляторних технологій.....	22
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	28
4.1 Теоретично частина дослідження.....	28
4.2 Експериментальне дослідження.....	32
4.3 Вивчення характеристик масового витрати електрогідравлічних інжекторів різного дизайну при тиску інжекції до 300 мегапаскалів.....	39
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	50
5.1 Вимоги безпеки до лабораторних приміщень та обладнання для наукових досліджень.....	50
5.2 Захисні споруди.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	58
БІБЛІОГРАФІЯ.....	59
ДОДАТКИ	

ВСТУП

У сучасному світі, де технічний прогрес і інновації стрімко розвиваються, особливу увагу привертають технології, пов'язані з дизельними двигунами. Центральною частиною ефективності та надійності дизельних двигунів є форсунки, які відіграють ключову роль у підвищенні продуктивності та зниженні викидів. У цьому контексті, моя магістерська робота зосереджена на Удосконаленні технологічного процесу діагностики дизельних форсунок з дослідженням акумуляторної паливної системи.

Ця тема є важливою з кількох причин. По-перше, висока точність та надійність дизельних форсунок є критичними для забезпечення оптимальної продуктивності двигуна та відповідності екологічним стандартам. По-друге, з удосконаленням діагностичних методів можна значно знизити експлуатаційні витрати та продовжити термін служби обладнання. Нарешті, розуміння акумуляторної паливної системи та її взаємодії з форсунками є ключовим для розробки більш ефективних та екологічно чистих дизельних двигунів.

У рамках цієї магістерської роботи буде проведено глибоке дослідження існуючих методів діагностики дизельних форсунок, а також аналізуватимуться новітні підходи і технології, які можуть бути впроваджені для підвищення ефективності цих процесів. Крім того, буде проведено аналіз акумуляторної паливної системи, її компонентів та взаємодії з форсунками, з метою ідентифікації потенційних напрямків для оптимізації.

Метою даної роботи є не тільки удосконалення технічних аспектів діагностики, але й надання комплексного погляду на виклики та можливості, які стоять перед інженерами та дослідниками в даній галузі. Ця робота покликана сприяти подальшому розвитку технологій діагностики та обслуговування дизельних двигунів, що, у свою чергу, має значний вплив на автомобільну промисловість та суміжні галузі.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд дизельних форсунок

У дизельній системі впорскування функціонують два різновиди форсунок, класифіковані в залежності від методу введення палива: це механічні та електричні форсунки. Механічна форсунка зазвичай застосовується в класичних системах впорскування.

Головне завдання форсунки – це введення палива під високим тиском. Механічна форсунка для цього використовує пружину та голчастий клапан, щоб регулювати тиск впорскування. Голчастий клапан активується, лише коли тиск палива достатньо високий, аби подолати опір пружини. Стандартна будова інжектора демонструється на рисунку 1.1.

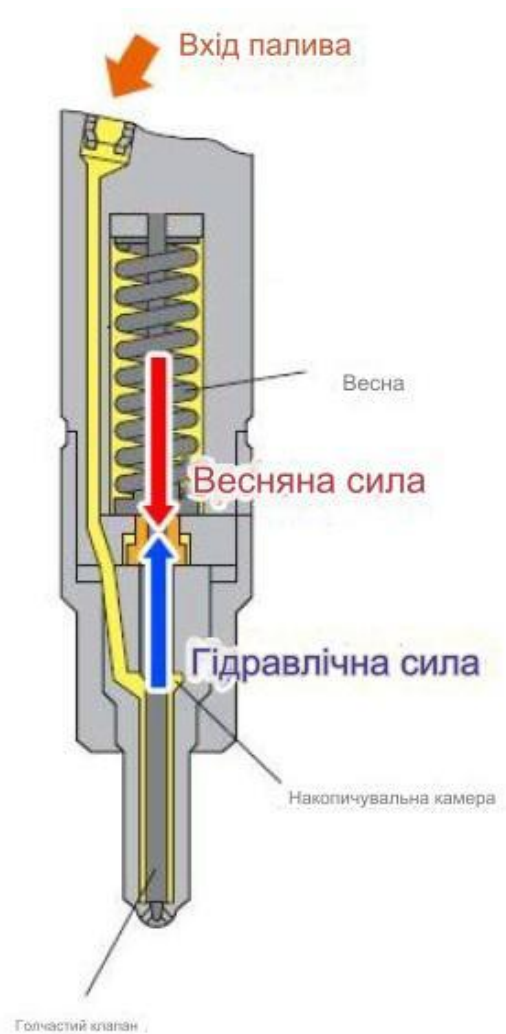


Рис. 1.1. Механічна форсунка.

Паливо спочатку потрапляє в камеру акумуляції, коли воно досягає форсунки. Як тільки тиск продовжує накопичуватися, тиск палива перевищує силу пружини форсунки та відкриває клапан, після чого паливо під високим тиском впорскується у камеру згорання.

1.2 Система Common-Rail для впорскування палива

Система Common Rail (CR) для впорскування палива представляє собою удосконалену технологію в цій галузі. Вона пропонує варіативний метод впорскування, використовуючи електричні інжектори, що дозволяє електричним соленоїдним клапанам реагувати швидше та точніше, ніж у випадку з конвенційними форсунками. Особливістю конструкції системи CR є те, що вона робить процес подачі палива та процес впорскування палива незалежними один від одного, дозволяючи впорскувати паливо незалежно від положення розподільчого валу.

Завдяки використанню різних електронних датчиків, система здатна слідкувати за параметрами роботи двигуна в реальному часі при будь-яких умовах навантаження. До цих параметрів належать обороти двигуна, тиск у циліндрі, температура, швидкість потоку палива і інші. Надсилаючи ці дані на мікропроцесор, система Common Rail може налаштовувати момент впорскування, швидкість впорскування та тиск палива, що забезпечує оптимальну роботу двигуна.

В системі Common Rail паливо спочатку подається низькотискним насосом до високотискного насосу, де воно стискається. Обидва ці насоси - низькотискний і високотискний - працюють на електричній основі і безперервно забезпечують паливо під необхідним тиском до спільної магістралі.

Ця магістраль діє як проміжний бак, що накопичує паливо від насосів і утримує його під високим тиском.

У системі CR електрично управляемі форсунки отримують паливо з магістралі та розпорошують його, отримуючи командний сигнал від електронного блоку управління (ECU). Система Common Rail має можливість

контролювати рівень і швидкість впорскування палива, забезпечуючи гнучке та точне впорскування. Основними елементами, що забезпечують цю можливість, є спільна магістраль та соленоїдна форсунка.

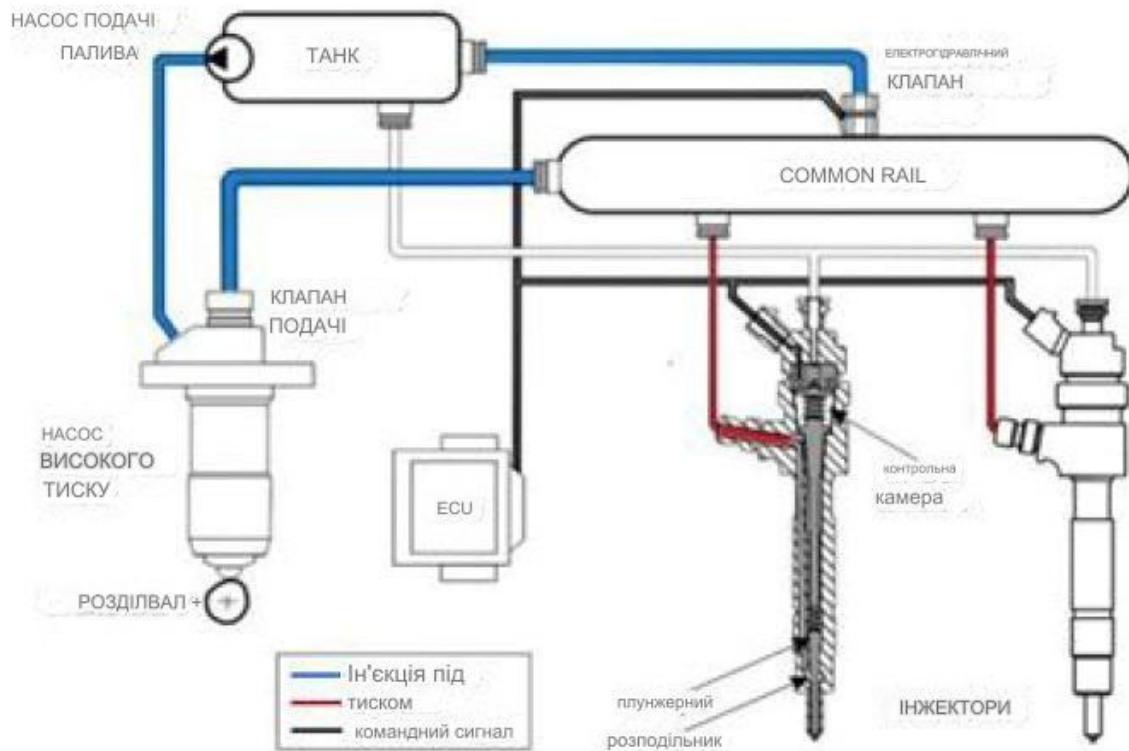


Рис. 1.2. Схема роботи системи Common Rail.

Рис. 1.3 демонструється, що спільна магістраль обладнана вхідним портом, з'єднаним із високотискним насосом, а також декількома вихідними портами, що підключаються до інжекторів. Додатково, наявність труби для зворотного потоку забезпечує виведення зайвого палива.

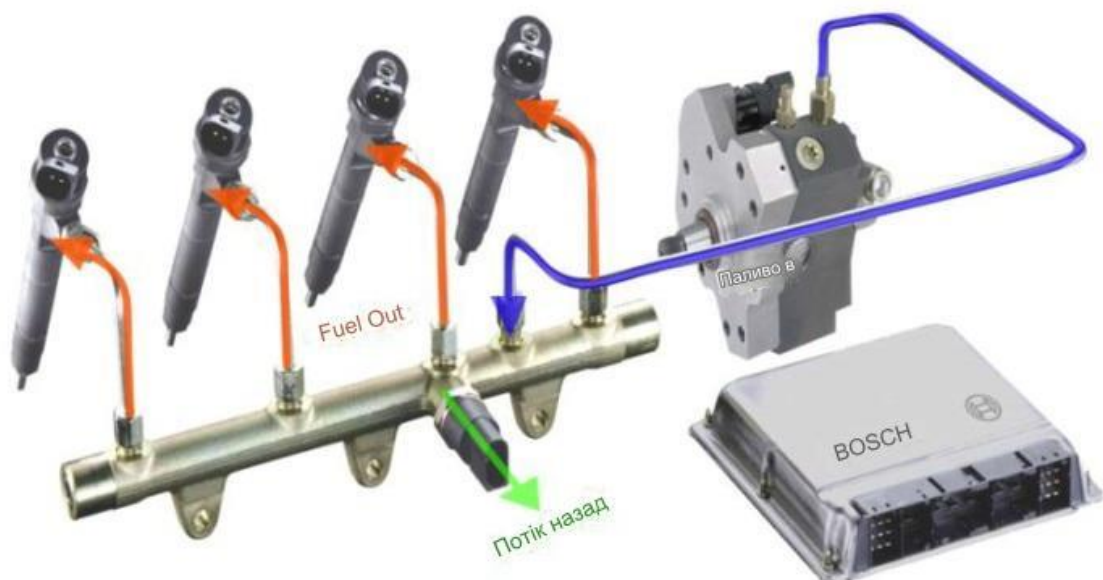


Рис. 1.3. Система спільного впорскування BOSCH.

1.3 Електрична форсунка

Форсунка відіграє важливу і складну роль в системі впорскування. Він приймає паливо під високим тиском зі спільної магістралі та впорскує його через мікроскопічні інжекційні отвори у камеру згоряння, де паливо перетворюється на дрібні крапельки при проникненні в циліндр. Соленоїдний клапан відрізняється від звичайних інжекторів швидкою реакцією на командні сигнали. Гідравлічна сила всередині цієї форсунки завжди нижча від сили пружини, а управління голчастим клапаном здійснюється виключно через електричний сигнал, оскільки тільки комбінація магнітної сили від соленоїду та гідравлічної сили може подолати силу пружини, забезпечуючи точний контроль впорскування з можливістю гнучкого відкривання голчастого клапану. Принцип роботи електричних інжекторів викладений таким чином.

Перед активацією соленоїда контрольний клапан залишається в закритому положенні, а паливо надходить у інжектор через вхідний отвір, як демонструється на рисунку 1.4 (а). Потім паливо розподіляється на два напрямки: одна частина залишається у верхній частині сервопістона в камері контролю тиску, інша - спускається у акумуляційну камеру, розташовану в середині голчастого клапана. В цей час, як камера контролю тиску, так і акумуляційна камера, з'єднані зі спільною магістраллю через отвори.

Через відсутність різниці тиску між цими двома камерами і більшу площу сервопістона порівняно з голчастим клапаном, гідравлічна сила діяла вниз, утримуючи голчастий клапан у закритому стані.

Процес впорскування показаний на рисунку 1.4(б). Подача командного напруги на соленоїд викликає магнітну силу, яка піднімає якір і кульковий клапан вгору. Це призводить до зниження тиску у камері контролю тиску, оскільки паливо стікає в лінію повернення палива. Паралельно тиск у акумуляційній камері залишається високим, піднімаючи голчастий клапан і відкриваючи шлях для потоку палива через форсункові отвори.

По завершенню впорскування, коли напруга на соленоїді зникає, контрольний клапан закривається. Тиск у камері контролю тиску зростає до рівня тиску магістралі, внаслідок чого різниця тисків і пружина клапана

штовхають голчастий клапан вниз, закриваючи його і зупиняючи процес впорскування.

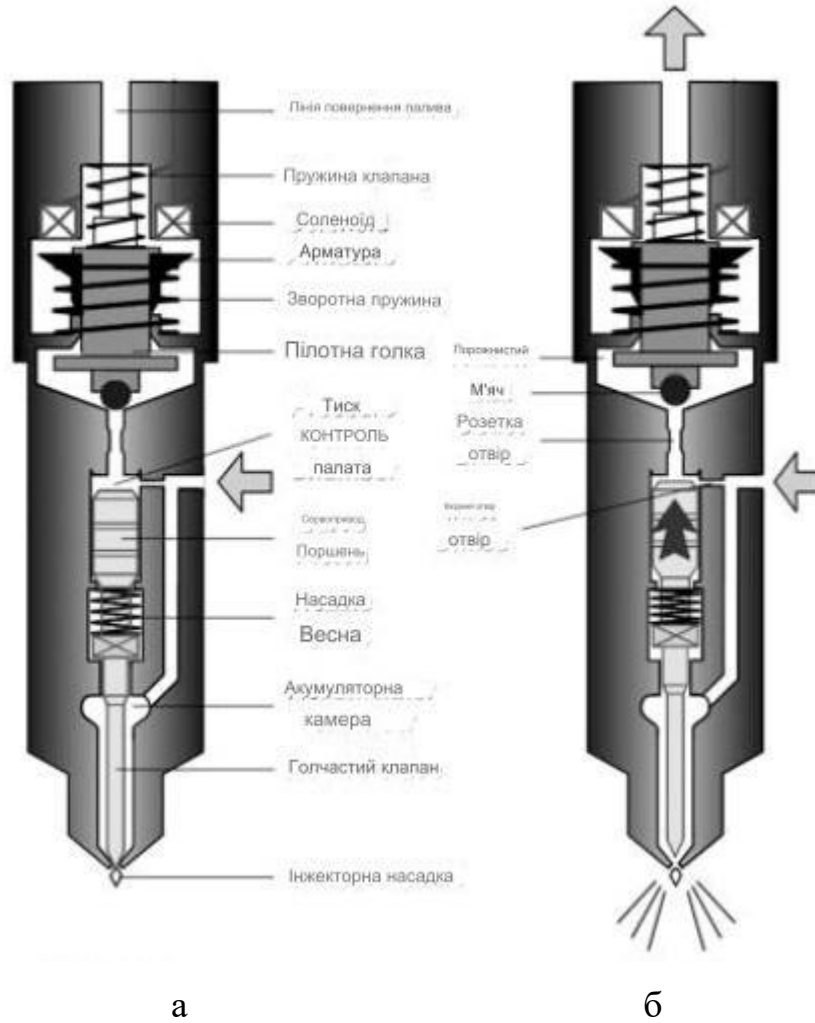


Рис. 1.4. Електрична форсунка.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Діагностика роботи дизельного двигуна

Починати діагностику проблем дизельного двигуна з перевірки масла. Рівень масла вище норми може свідчити про те, що дизельне паливо просочилося в масло. Діагностика дизельних двигунів, як правило, може здійснюватися за допомогою сканувального приладу, оскільки значення більшості датчиків тиску можуть бути відображені. Загальні несправності включають:

Труднощі при запуску.

Неможливість запуску.

Продовжене крутіння стартера перед запуском.

Низька потужність.

Використовуючи сканувальний прилад, перевірте значення датчиків, щоб допомогти встановити джерело проблеми. Також перевірте мінімальні тиски, які необхідні для запуску двигуна, якщо діагностується неможливість запуску
рис. 2.1.



Рис. 2.1. Використання манометра для вимірювання тиску палива з підйомного насоса в 6.7-літровому дизельному двигуні Cummins.

2.2 Тестування на стиск

Перевірка стискування є ключовою для оцінки механічної працездатності дизельного мотора. Щоб оцінити стискування в дизельному двигуні, слід виконати такі дії:

Зняти свічку накали (у разі наявності) або інжектор.

Застосувати спеціальний манометр для вимірювання стискування дизельних двигунів, адже для цих цілей не підійде манометр для бензинових моторів через високий рівень стискування.

Нормальний дизельний двигун має створювати тиск стискування не менше 300 PSI (2,068 кПа), при цьому різниця між циліндрами не повинна перевищувати 50 PSI (345 кПа).

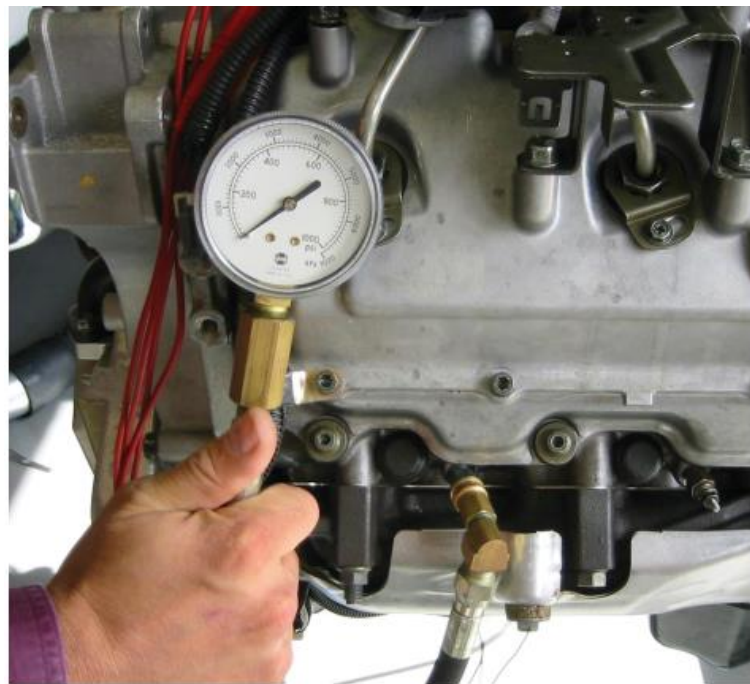


Рис. 2.2. Для перевірки стиснення у дизельних двигунах із високим ступенем стиснення рекомендується використовувати спеціалізований компресійний манометр.

2.3 Тестування балансу опору свічок накали

Опір свічок накали зростає з підвищенням їхньої температури. Норма передбачає, що всі свічки накали мають схожий опір, який можна перевірити за

допомогою омметра. Таке випробування на опір свічок накалу корисне для виявлення проблемних циліндрів, особливо у дизельних двигунах без комп'ютерного управління. Для перевірки рівності роботи циліндрів на основі опору свічок накалу на розігрітому двигуні виконайте наступне:

Відключіть, виміряйте та зафіксуйте опір кожної свічки накалу.

Запустіть двигун, не підключаючи дроти до свічок накалу.

Дайте двигуну попрацювати кілька хвилин, щоб внутрішнє згоряння нагріло свічки накалу.

Знову виміряйте та запишіть опір кожної свічки накалу.

Опір свічок накалу повинен збільшитися порівняно з початком тесту. Свічка в циліндрі з некоректним запалюванням покаже менше збільшення опору, ніж інші.

Альтернативний метод - це вимірювання температури вихлопних газів біля кожного вихлопного отвору за допомогою інфрачервоного термометра або пірометра. Циліндри з порушеннями згоряння мають меншу температуру порівняно з циліндрами, які працюють нормально.

2.4 Перевірка форсунок дизельного двигуна

Для оцінки роботи дизельних форсунок використовується спеціальний пристрій. При натисканні на ручку відображається тиск спрацювання на манометрі рис. 2.3.



Рис. 2.3. Типовий пристрій для перевірки, який використовується для тестування візерунка розпилення форсунки дизельного двигуна.

Очікуваним результатом є розпилення у формі порожнистого конуса, але це може змінюватися залежно від конструкції форсунки. Важливо також перевіряти форсунку на наявність витоків під тиском. Якщо розпилення не відповідає стандартам, форсунку може знадобитися очистити, відремонтувати або замінити.

2.5 Тест на викиди дизельних двигунів

Тест на оптичну щільність - це найпопулярніший метод тестування викидів вихлопних газів дизельних двигунів в державних та місцевих програмах. Оптична щільність показує, який відсоток світла блокується димом.

0% оптичної щільності означає відсутність видимого диму у вихлопних газах та відсутність перешкод для світла, що проходить через дим.

Використовуйте картон для пошуку високотискних витоків.

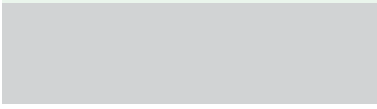




У разі виявлення слідів дизельного палива на двигуні, існує ризик високотискного витоків. Перед проведенням перевірки на витік обов'язково одягніть захисний одяг, в тому числі окуляри, маску для обличчя, захисні рукавички та сорочку з довгими рукавами. Для виявлення джерела високотискного витоків скористайтеся картоном. У робочому стані дизельного двигуна Duramax тиск в загальній трубі та інжекторах може перевищувати 20,000 PSI. При такому тиску паливо розпилюється настільки дрібно, що стає невидимим, але може проникати в шкіру, викликаючи травми. Місце витоків на картоні буде виділене темними плямами. Після виявлення протікання негайно зупиніть двигун та точно визначте місце витоків, коли двигун вимкнений.

Будьте обережні, адже у деяких випадках витік може навіть прорізати картон.

Показник непрозорості 100% вказує на те, що вихлопні гази настільки густі, що повністю перешкоджають проходженню світла через дим. У разі 50% непрозорості, вихлопні гази затримують лише половину світлового променя.

Детальніше в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Тест на непрозорість на викиди для дизельних двигунів.

	Не прозорість
	Не прозорість
	Не прозорість
	Не прозорість
	Не прозорість

2.6 Тест на раптове прискорення

Виконуючи тест на раптове прискорення, автомобіль фіксується на місці за допомогою упорів для коліс, при цьому гальма не застосовуються. Двигун швидко прискорюється до високих оборотів на холостих обертах з вільною передачею, при цьому проводиться вимірювання викидів диму. Тест повторюється не менше шести разів, і для фінального результату враховуються три найбільш стабільні показники.

У минулому часто вдавалися до переміщення інжекторів дизельного палива з одного циліндра в інший для виявлення проблем із неробочим циліндром. Проте, у сучасних дизельних двигунах, які оснащені високотискними системами спільної рейки, використовуються інжектори з точною калібровкою, що не повинні бути переставлені під час технічного обслуговування. Для кожного інжектора передбачений індивідуальний номер калібрування.

Виконується на автомобілях з ручною коробкою передач, швидко збільшуючи швидкість на першій передачі від холостого ходу до верхньої межі оборотів двигуна, при цьому проводиться вимірювання димності викидів.



Рис. 2.4. Букви на боці цього інжектора на дизельному двигуні Cummins об'ємом 6.7 літра вказують на номер калібрування інжектора.

Тест на стаціонарне прискорення Для автомобілів з автоматичною коробкою передач, які утримуються на місці за допомогою ручного та основного гальм, здійснюють прискорення на драйві. Акселератор натискається на короткий час, під час якого проводиться вимірювання димності викидів.

Критерії для дизельних двигунів залежать від типу автомобіля та інших чинників, але зазвичай передбачають непрозорість на рівні 40% або менше.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Експериментальне обладнання

Оцінка ефективності батарейних паливних механізмів, оснащених цифровим контролем за розподілом енергоносія, де рівень тиску інжектора досягає 300 мегапаскалів, була здійснена за допомогою спеціалізованого обладнання, зображеного на малюнку 4.1.

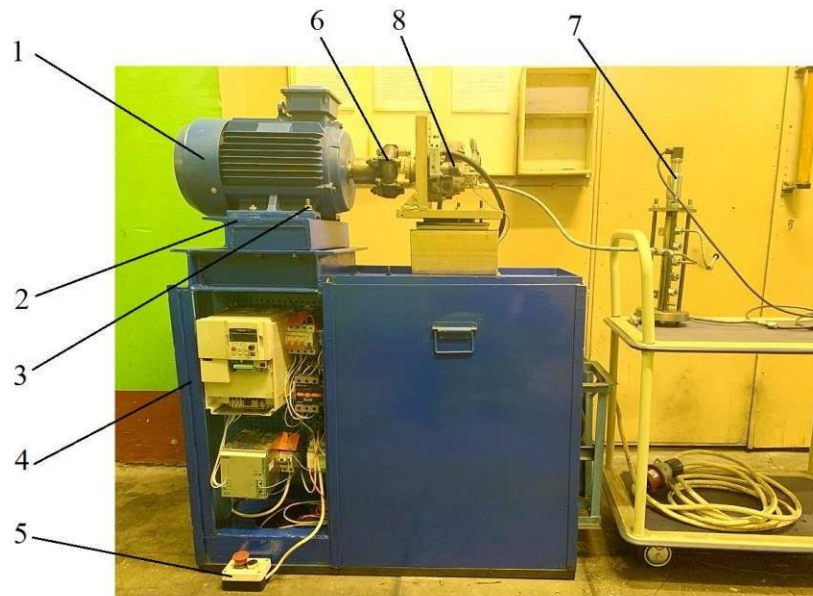


Рис. 4.1. Лабораторний агрегат для тестувань систем згоряння: 1 – мотор на електричному приводі; 2 – база для мотора; 3 – фіксатор для мотора; 4 – опорна конструкція; 5 – перемикач для негайної зупинки; 6 – з'єднувальна деталь; 7 – бак для пального; 8 – високотискний насос палива.

Конструкція агрегату - стенд без двигуна, обладнаний пристроями для тестування системи подачі палива батарейного типу з цифровим керуванням:

- з включенням інвертора для зміни частоти (контроль швидкості обертання мотора) в трьохфазному асинхронному моторі, загальною потужністю 11 кіловат ($n = +1445$ об/хв);

З включеним інвертором для перетворення частоти (налаштування швидкості обертання мотора) в трьохфазному асинхронному моторі з потужністю 11 кіловат ($n = +1445$ об/хв);

- За допомогою системи додаткової фільтрації палива та клапана для контролю тиску;
- З високотискним насосом палива, що містить у своєму корпусі бак для палива для підсилення різьбових з'єднань (див. малюнок 4.2);
- Використання датчика високого тиску та датчика частоти обертання валу високотискного насоса палива.

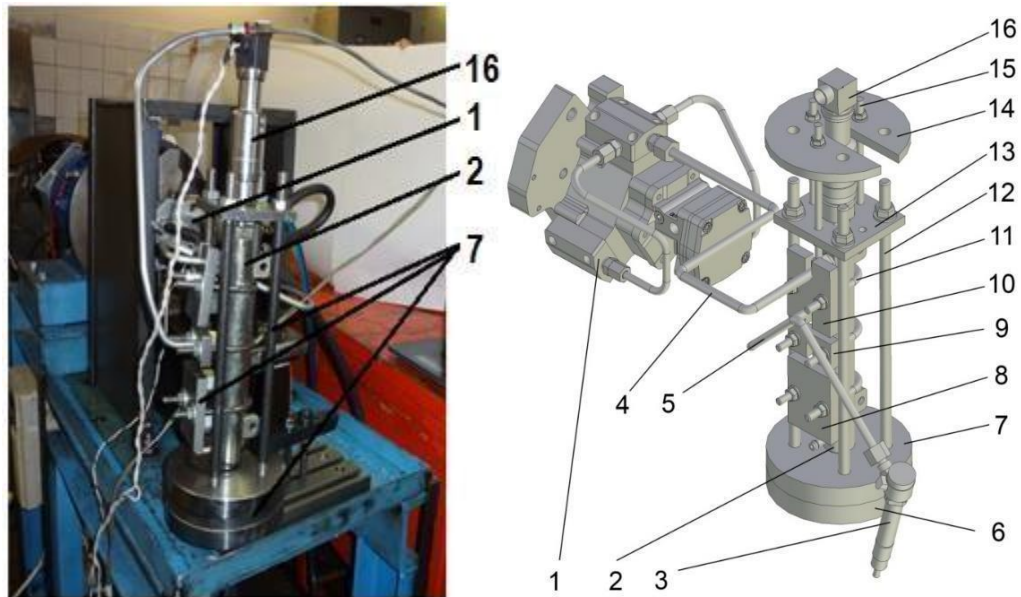


Рис. 4.2. Система високотискної лінії тестового обладнання для перевірки паливних механізмів:

1 - високотискний насос палива; 2 - бак для палива; 3 - елемент гідрофільтрації; 4, 5 - трубопровідні мережі; 6, 7 - опори для фіксації; 8, 9, 10, 13 - стискаючі металеві пластини; 11 - сходи; 12 - болт для закріплення бака; 14 - опорна пластина для монтажу датчика тиску; 15 - болти для фіксації датчика тиску; 16 - датчик тиску.

Стенд без вбудованого двигуна включає в себе високотискну систему (див. малюнок 4.2) для перевірки устаткування подачі палива під час тестувань паливних механізмів. З метою аналізу характеристик роботи системи подачі палива при підвищених (до 300 ... 400 мегапаскалів) рівнях тиску, стандартний бак додатково оснащений конструкцією з болтів і металевих пластин (див. малюнок 4.2).

Для надійного та точного функціонування системи подачі палива необхідна експериментальна цифрова система керування, яка проводить аналіз за допомогою спеціально створених тестових програм для стендів, розроблених для тестування цієї системи. Ці програми були створені спеціально для масово вироблених моделей паливної апаратури. Сигнали цих тестових програм відрізняються від сигналів системи керування двигуном.

Колінчастий вал високотискного насоса палива з'єднаний за допомогою з'єднувальної деталі з трьохфазним електродвигуном з потужністю 11 кіловат і $n = 1500$ об/хв.

Регулювання електродвигуна відбувається через векторний конвертер частот, який функціонує у двох режимах: керування вектором електричного струму або співвідношенням напруги до частоти (U / f).

Контроль паливної системи під час тестувань можливий у трьох різних режимах:

повне керування системою користувачем через комп'ютер режим 1;

напівавтоматичне керування користувачем, де час подачі палива визначається за допомогою датчиків кутової синхронізації згідно з заданим кутом передчасного впорскування режим 2;

повністю автоматизоване керування згідно з калібровками, збереженими у пам'яті мікропроцесора режим 3.

Фіксація форми та кількості управляючих імпульсів проводиться шляхом відстеження змін управлінської напруги U_f за допомогою цифрового осцилографу моделі АКІП-4116/2.

Для доставки палива до високотискного насоса палива, стенд оснащено електронасосом, який працює від постійного електричного струму з напругою 12 вольт. Перед тим, як потрапити на вхід високотискного насоса палива, паливо проходить через фільтр мікрочистки.

У таблиці 4.1 представлені ключові параметри та використовувані методи для тестування, моніторингу та вимірювань.

Інтервали значень та точності їх фіксації за допомогою приладів, вказаних у таблиці 4.1, представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1. Ключові характеристики, що встановлюються під час тестувань

Оцінюваний параметр	Вимірює пристрій
Частота обертів кулачкового валу ПНВТ n_k	векторний перетворювач частоти E2-8300
Напруга сигналу управління електромагнітом форсунки U_ϕ	Блок живлення конструкції МАДИ
Сила струму сигналу управління електромагнітом форсунки I_ϕ	цифровий осцилограф АКП- 4116/2, з'єднаний з шунтувальним резистором
Атмосферний тиск B_0	Безпружинний барометр-анероїд БАММ
Температура повітря в приміщенні з випробувальним стендом $t_{\text{в}}$	вимірювальний перетворювач температури і вологості НПП «Елемер» ИРТВ-056, з'єднаний з імімерителем-регулятором «Елемер» ИРТВ 5215
Вологість повітря в приміщенні з випробувальним стендом	вимірювальний перетворювач температури і вологості НПП «Елемер» ИРТВ-056, з'єднаний з імімерителем-регулятором температури і вологості НПП «Елемер» ИРТВ 5215
Маса мірної порції палива, що впорскується форсункою палива M_T	Лабораторні ваги виробництва ОКБ «ВЕСТА» VM153
Температура палива t_T	Термопара хромель-алюмелієвая виробництва НВП «Елемер», поєднана з технологічним вимірником-регулятором НПП «Елемер» ИРТ5323Н
Динамічна в'язкість палива h_δ	Ротаційний віскозиметр Fungilab Expert
Щільність палива ρ_0	Денсиметром

Таблиця 4.2. Спектри визначення показників та неточності вимірювань.

Оцінюваний параметр	Діапазон
Управління частотою обертання кулачкового валу ПНВТ n_k	0 ... 2860 хв ⁻¹
Управління напругою сигналу управління електромагнітом форсунки U_ϕ	0 ... 350 В
Сила струму сигналу управління електромагнітом форсунки I_ϕ	0 ... 40 А
Атмосферний тиск B_0	600 ... 800 мм рт. ст.
Температура повітря в приміщенні з випробувальним стендом t_b	0 ... 100 °С
Вологість повітря в приміщенні з випробувальним стендом	5 ... 98%
Маса мірної порції палива, що впорскується форсункою палива M_T	0,02 ... 150 г

3.2 Покращення систем живлення з використанням акумуляторних технологій

На основі здійсненого дослідження впливу розмірів параметрів та дизайну електрогідравлічної форсунки (ЕГФ) на ефективність впорскування, були розроблені рекомендації для покращення її структури. Таке керування можливе шляхом налаштування характеристик управління сигналом, що передається на електромагнітний клапан форсунки. Проте, цей метод має обмеження, пов'язані з швидкістю реакції драйвера керуючого клапана та можливостями системи керування. Для вдосконалення цієї техніки пропонується варіант ЕГФ із двома керуючими клапанами (див. мал. 4.2). Такий дизайн також може бути застосований для регулювання подачі паливної суміші залежно від умов експлуатації дизельного двигуна

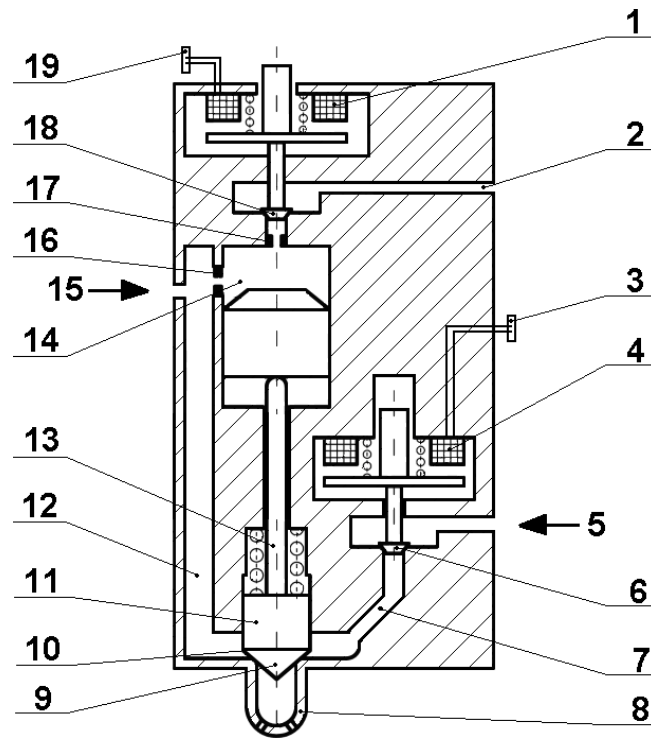


Рис. 2.1. Зображено прогресивний дизайн ЕГФ:

1 - електродвигун для управління клапаном; 2 - шлях відведення дизельного пального (ДП); 3 - електричні контакти електродвигуна блокуючого клапана; 4 - електродвигун блокуючого клапана; 5 - трубопровід для постачання альтернативного пального з акумулятора альтернативного пального в ЕГФ; 6 - блокуючий клапан; 7 - трубопровід альтернативного пального; 8 - оболонка розпилювача; 9 - конічна частина; 10 - основа блокуючого конуса; 11 - голка розпилювача; 12 - трубопровід подачі ДП до блокуючого конуса голка розпилювача; 13 - підсилювач; 14 - керуюча камера; 15 - трубопровід для постачання ДП з акумулятора ДП в ЕГФ; 16 - вхідний жиклер керуючої камери; 17 - вихідний жиклер керуючої камери; 18 - регулюючий клапан; 19 - електричні контакти електродвигуна регулюючого клапана.

Пропонована модель ЕГФ розроблена для використання у мультипаливній акумуляторній системі, що включає два резервуари для збереження дизельного пального та альтернативного виду пального. Також вона має два паливоперекачувальних насоси, дві високотискні паливні системи, два паливних акумулятори з максимальним тиском до 300 МПа, а також трубопроводи високого тиску.

Регулюючий клапан разом з його електромагнітом розміщені у верхній секції корпусу ЕГФ. Коли на електромагніт регулюючого клапана надходить управлінський сигнал через електричні клеми, клапан відкривається, що дозволяє підніматися голці розпилювача та забезпечує подачу дизельного пального та альтернативного пального у формі суміші через проміжок між блокуючим конусом та корпусом розпилювача до циліндра двигуна. Дизельне пальне у ЕГФ потрапляє через канал від акумулятора дизельного пального, а потім у канал і керуючу камеру через вхідний жиклер.

Управлінська камера з'єднана з системою рециркуляції пального через вихідний жиклер, куди пальне потрапляє у систему рециркуляції, коли регулюючий клапан відкритий. Коли регулюючий клапан закритий, гідравлічний тиск, що діє на підсилювач, перевищує тиск, що впливає на іглу розпилювача та блокуючий конус.

Унаслідок цього, блокуючий конус голки розпилювача тісно прилягає до сидіння оболонки розпилювача 8, блокуючи прохід дизельного пального під високим тиском до оболонки розпилювача та, відповідно, у циліндр двигуна. Блокуючий клапан знаходиться під впливом різниці тисків. Тиск у трубопроводі подачі альтернативного пального до блокуючого конуса голки розпилювача відповідає тиску всередині корпусу ЕГФ та акумулятора дизельного пального, тоді як тиск перед клапаном у трубопроводі 5 збігається з тиском у акумуляторі альтернативного пального. При цьому тиск альтернативного пального у трубопроводі 5 на 25% вищий, ніж тиск пального у трубопроводах 15, 12, 7 для подачі дизельного та альтернативного пального до основи блокуючого конуса голки розпилювача ЕГФ.

У звичайному режимі, коли відсутній управлінський сигнал на електричні контакти електромагніту блокуючого клапана, цей клапан залишається закритим. Між циклами впорскування пального, коли електромагніт регулюючого клапана не отримує сигналу і блокуюча частина 9 голці розпилювача перебуває в контакті з сидінням оболонки розпилювача, сигнал передається через електричні клеми 3 на електромагніт блокуючого клапана. Тоді клапан відкривається, дозволяючи проникненню в трубопровід 7 порції альтернативного пального, яке потрапляє туди через вищий тиск у

трубопроводі 5 та акумуляторі подачі альтернативного пального, порівняно з тиском у акумуляторі дизельного пального.

Коли припиняється надходження електричного сигналу до електромагніту блокуючого клапана, він закривається через різницю тисків, зупиняючи потік альтернативного пального у трубопровод 7. Коли через електричні клеми на електромагніт регулюючого клапана подається управлінський сигнал, клапан активується, дозволяючи дизельному пальному з управлінської камери потрапляти в систему відведення дизельного пального через вихідний жиклер. Таким чином, тиск у керуючій камері знижується, що веде до зменшення гідравлічного тиску, що впливає на підсилювач.

Через те, що тиск гідравліки на підсилювач виявляється слабшим порівняно з тиском, що прикладається до основи блокуючого конуса голки розпилювача, остання активується, що спричиняє піднімання голки розпилювача та початок подачі дизельного та альтернативного пального у вигляді суміші через простір між блокуючим конусом голки та оболонкою розпилювача до циліндра двигуна.

Отже, наявність блокуючого клапану з електромагнітом, а також додаткова паливна лінія для постачання альтернативного пального до блокуючого конуса голки розпилювача, дозволяє комбінувати дизельне та альтернативне паливо біля основи блокуючого конуса голки розпилювача, з подальшою подачею отриманої суміші через проміжок між блокуючим конусом голки та оболонкою розпилювача. Склад цієї суміші можна коригувати, змінюючи тривалість та частоту управлінських імпульсів, що передаються через електричні клеми на електромагніт блокуючого клапана.

У ситуації, коли управління відбувається через лідируючу хвилю, параметри впорскування та усунення хвильових ефектів, що з'являються в трубопроводі високого тиску, діаграма, представлена на рисунку 4.1, функціонує так, що вибір частоти активації обох клапанів допомагає мінімізувати хвильові ефекти, що виникають у трубопроводі високого тиску під час впорскування пального через розпилювач ЕГФ. Додатково, презентовано передовий розпилювач ЕГФ (див. рис.4.3), що поліпшує функціональність ЕГФ за рахунок зменшення кількості компонентів, відповідальних за точне

розміщення голки розпилювача на її місці з певною швидкістю. Розпилювач ЕГФ для акумуляторної паливної системи дизеля включає корпус з блокуючим конусом, на якому розташовані входні кромки для розпилювальних отворів.

Тиск у камері, створеній за допомогою радіальної канавки, відповідає тиску в акумуляторі пального. Експериментальні випробування виявили, що для ефективної роботи електрогідравлічної форсунки, тиск у камері біля основи блокуючого конуса голки має бути ідеально на 10% нижчим, ніж у камері, сформованій радіальною канавкою. Ця мінімальна різниця тисків забезпечує надійне розташування голки на її місце, реалізоване у корпусі, коли припиняється подача електричного сигналу до електромагніту управлінського клапана.

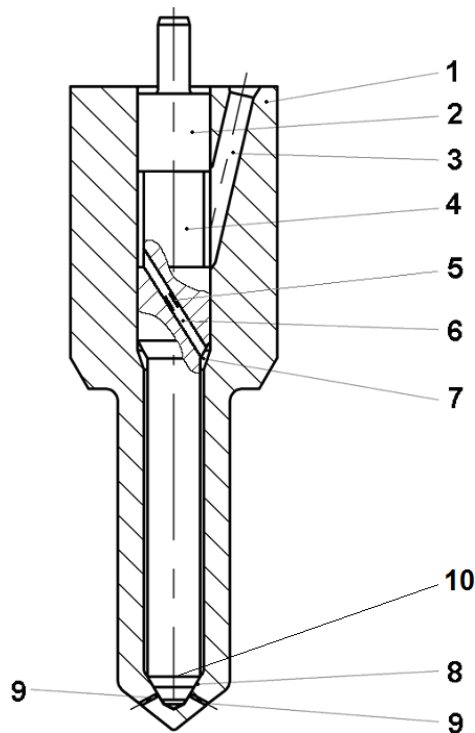


Рис. 4.2. Розпилювач: 1 - оболонка; 2 - блокуюча голка; 3 - трубопровід для подачі пального; 4 - радіальна канавка на голка; 5 - жиклер; 6 - внутрішній трубопровід голки; 7 - камера між оболонкою та блокуючою голкою; 8 - блокуючий конус; 9 - входні грані розпилюючих отворів; 10 - основа блокуючого конуса.

Подальше підвищення різниці тисків веде до значного падіння тиску усередині камери, що спричиняє ще більше зменшення пов'язаного з цим тиску

впорскування, вимагаючи підвищення тиску на вході до оболонки розпилювача. Необхідний контраст тисків у зазначених камерах забезпечується за допомогою жиклера 5 з певним прохідним перерізом. Регулювання прохідного перерізу жиклера дозволяє досягти потрібної різниці тисків у цих камерах за різних тисках у акумуляторі, це загалом покращує функціональність електрогідравлічної форсунки з таким розпилювачем.

Розмір прохідного перетину жиклера $F_{\text{ж}}$ визначається на основі загального розміру прохідного перерізу розпилювальних отворів розпилювача f_c , щоб забезпечити відношення $F_{\text{ж}} / f_c$ у межах 0,7 ... 0,9.

У процесі функціонування паливної системи, пальне під тиском насоса протікає з трубопроводу 3 через радіальну канавку 4 до трубопроводу 6 і через жиклер 5 потрапляє в камеру 7. Гідродинамічні параметри трубопроводу 6 та розмір проходу жиклера 5 налаштовуються так, що під час одного циклу роботи форсунки, а саме перед процесом впорскування, тиск у камері 7 підвищується точно до заданого рівня, згідно з визначеною різницею тисків у згаданих камерах.

Після того, як голка піднімається, пальне протікає з камери 7 через блокуючий конус до розпилюючих отворів, здійснюючи впорскування пального в камеру згоряння дизеля.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Теоретично частина дослідження

Комп'ютерний аналіз робочого циклу дизельного двигуна був здійснений за допомогою програмного забезпечення Дизель-РК. Відповідно до використаної математичної моделі, весь робочий цикл дизеля поділяється на дві стадії. Газовий обмін відбувається, коли впускні або випускні клапани відкриті, або коли обидва клапани відкриті одночасно.

Методика обчислення процесу газообміну базується на застосуванні формули енергетичного балансу (для відкритих систем) та рівняння маси газу. Підхід до розрахунку робочих процесів заснований на принципі збереження енергії, з урахуванням втрати частки заряду через стиснення між поршнем та циліндром. Інтегроване розв'язання цих рівнянь дозволяє визначити характеристики робочої речовини в кожен момент циклу.

Протягом фази заповнення, склад заряду, що входить до циліндра двигуна, змінюється. Спершу відбувається змішування відкинутих газів із новою сумішшю у співвідношенні 1:1. При цьому вважається, що температура входящого заряду є середньою між температурами свіжої суміші та продуктів горіння. Вхідна суміш змішується з залишковими газами горіння у циліндрі. Припускається, що це змішування відбувається миттєво і, у разі відкриття випускного клапана та тривання процесу випуску, суміш, яка проходить через випускний клапан, містить як продукти горіння, так і свіжий заряд у відповідних пропорціях.

Обчислення швидкості теплового випромінювання виконується з використанням формули, яка була виведена шляхом диференціювання залежно від кута обертання колінчастого вала за формулою І.І. Вібе, що відноситься до пропорції згорілого пального.

Застосовуються емпіричні формули, засновані на узагальненні даних про теплове випромінювання в двигуні, які залежать від основних факторів управління. Для обчислення циклу використовуються такі початкові дані, як габарити двигуна, умови навколишнього середовища, характеристики

впускного трубопроводу, режими роботи двигуна, тиск у випускному трубопроводі та інші важливі параметри.

На основі розрахунків ключових параметрів газу всередині циліндра встановлюються такі характеристики: індикаторна робота, індикаторна ефективність, середній індикаторний тиск, специфічне індикаторне споживання пального, індикаторна продуктивність, пікові рівні тиску, максимальні темпи зростання тиску та температури, часи їх досягнення, теплові втрати в стінках циліндра.

Обчислення розпочинається з моменту, коли починають відкриватися випускні клапани. На цей момент встановлюються значення тиску і температури робочої речовини всередині циліндра. У початкових параметрах також фіксуються тиск у впускному трубопроводі, температури повітря і газу до впускних клапанів та характеристики навколишнього повітря для двигунів без турбонаддуву.

У методі циклічних уточнень спершу приблизно визначають тиск та температуру речовини у циліндрі у момент, коли починає відкриватися випускний клапан. Після цього ці значення уточнюються через циклічні уточнення до досягнення задовільної точності 1%. На завершальному етапі проводиться остаточний розрахунок та створення діаграм.

У процесі обчислення викиду сажі ключовою є удосконалена модель, розроблена Н.Ф. Разлейцевим. Ця модель акцентує на вимірюванні середнього діаметра частинок Заутер на етапі розпилення, протягом цього процесу та після його завершення. Особливо важливим є включення в розрахунки коефіцієнта окислення k_{O_2} , що враховує якість палива та об'єм повітря, необхідний для горіння під час повторного впорскування палива.

Для розрахунку викидів NO_x слід застосовувати метод, описаний у документі. Цей метод враховує NO_x , що утворюються через "термічний" процес, пропонується Зельдовичем, а також "швидкі" NO_x , що з'являються у зоні горіння через реакції між молекулами азоту та вуглеводневими радикалами.

Цей аспект є критичним для моторів з множинним введенням пального; моторів з інтенсивною рецикляцією вихлопних газів; а також для двигунів, які працюють на нестандартних видах палива.

Слід підкреслити, що в цьому процесі задіяний кінетичний механізм, який включає реакції утворення як швидких, так і термічних оксидів азоту. Щоб забезпечити ефективну роботу сучасних моторів, необхідний високий рівень рециклювання вихлопних газів, але не більше 50%, а також двоетапне підвищення тиску.

Важливо підкреслити, що ця модель є корисною у дослідженні, спрямованому на виявлення оптимальної комбінації різних характеристик двигуна для визначення максимуму або мінімуму функціоналу, заснованого на масиві різноманітних незалежних параметрів.

Оскільки в області нелінійного програмування не існує чіткого розмежування між ефективними та неефективними методами вирішення задач, рекомендується застосовувати різні підходи одночасно та аналізувати їхні результати для порівняння.

Виявлення ідеальної цільової функції для мінімізації викиду шкідливих речовин з двигунів внутрішнього згоряння має свої складнощі. Це пояснюється тим, що досягнення найнижчого рівня емісії NO_x не завжди можливе за тими ж принципами, що й мінімізація викиду твердих частинок чи зниження споживання палива. Тому, як цільову функцію пропонується використовувати комплексний показник сукупної емісії, який дозволяє збалансувати різні компоненти. Наприклад, $SE = NO_x^2 + PM^2$, або відповідно до підходів, описаних в роботах Reitz і Montgomery та Desantes із колегами.

Оскільки перевищення стандартів не є необхідним, рекомендується використовувати таку цільову функцію, яка забезпечує мінімізацію споживання палива, не допускаючи при цьому перевищення встановлених лімітів емісій.

Початкова стадія досліджу була зосереджена на оцінці точності моделі, розробленої в рамках програмного забезпечення.

Для програмного комплексу було внесено наступні вихідні параметри дизельного двигуна:

Швидкість обертання вала: $n = 1400$ об/хв;

Час тривалості інжекторного впорскування: $\varphi_{\text{впр}} = 18,6^\circ$ до верхньої мертвої точки;

Коефіцієнт стиснення: $\varepsilon = 15,4$;

Час відкриття впускного клапана перед верхньою мертвою точкою: $\varphi_{\text{ВТК}} = 10^\circ$ до верхньої мертвої точки;

Час закриття впускного клапана після нижньої мертвої точки: $\varphi_{\text{ВП ЗКР}} = 15^\circ$ після нижньої мертвої точки;

Кількість отворів у форсунці: $n = 6$;

Діаметр сопел форсунки: $D_p = 0,24$ мм;

Зовнішній діаметр головки циліндра: $D_{\text{кс}} = 101$ мм;

Кут випередження впорскування палива: $\Delta\theta = 13^\circ$ до верхньої мертвої точки.

Задано профіль характеристики впорскування, ілюстрований на малюнку 4.1.

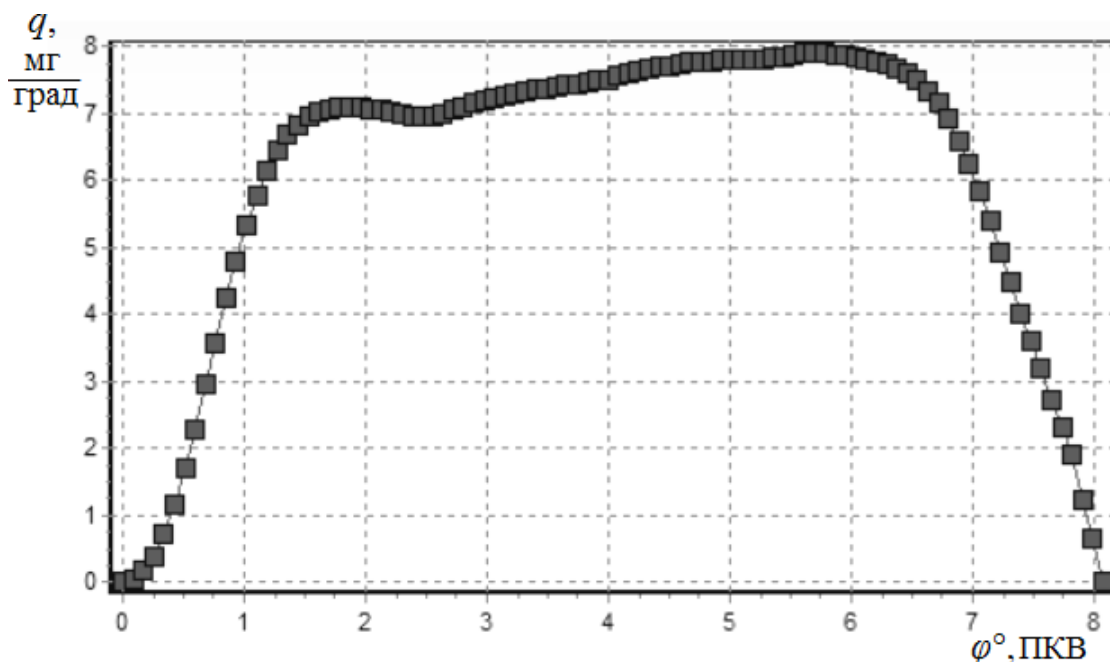


Рис. 4.1. Представлення заданого профілю впорскування у програмному забезпеченні.

У таблиці 4.1 представлено порівняння обчислених показників циклу з даними, отриманими в ході експериментів. Тут $\Delta\delta$ вказує на відсоткове відхилення між експериментальними та обчисленими даними, віднесене до експериментального значення.

Таблиця 4.1. Дані за результатами циклових показників.

характеристика двигуна	відомі	отримані	$\Delta\delta, \%$
T_k, K	875	831	-5,02
коефіцієнт наповнення	0,91	0,92	1,1
T_s, K	300	320	6,67
$NO_x, \text{млн}^{-1}$	650	721	10,9
$C, \text{Мг} / \text{л}$	0,14	0,15	7,14
Коефіцієнт надлишку повітря	1,9	1,93	1,58
індикаторний ККД	0,45	0,45	0
$P_e, \text{МПа}$	1,25	1,22	-2,4
$P_s, \text{МПа}$	0,19	0,19	0
$g_e, \text{г} / \text{кВт} \cdot \text{год}$	220	227	3,18
$G_m, \text{кг} / \text{год}$	4,5	4,4	-2,22
$g_i, \text{г} / \text{кВт} \cdot \text{год}$	185	191	3,24

З аналізу таблиці 4.1 випливає, що вибраний робочий режим дизеля досягнув адекватної узгодженості між обчисленнями та експериментальними даними. Для вивчення впливу первинного впорскування на параметри двигуна були використані два варіанти багатократного впорскування первинне - наступне: мінімальне - середнє та мінімальне - максимальне, що стосуються обсягів первинного та головного впорскувань палива.

Під час двократного впорскування тривалість управління імпульсами встановлена на рівнях 0,15 мс для мінімального, 0,7 мс для середнього та 1,2 мс для максимального режимів, які в умовах одноразового впорскування забезпечують циклову подачу палива 32, 75 і 167 мг відповідно. Ці обсяги подачі палива були визначені як стандартні.

4.2 Експериментальне дослідження

Під час створення моделі автомобільного експерименту у програмному забезпеченні було сформовано профіль впорскування, що відповідає кожному

режиму за умови незмінного кута випередження впорскування $\Delta\theta = 13^\circ$ до верхньої мертвої точки для первинного впорскування, який був встановлений згідно з вихідними параметрами, зазначеними у попередньому розділі.

Характеристики впорскування для режиму "максимальний" показані на рисунку 4.3.

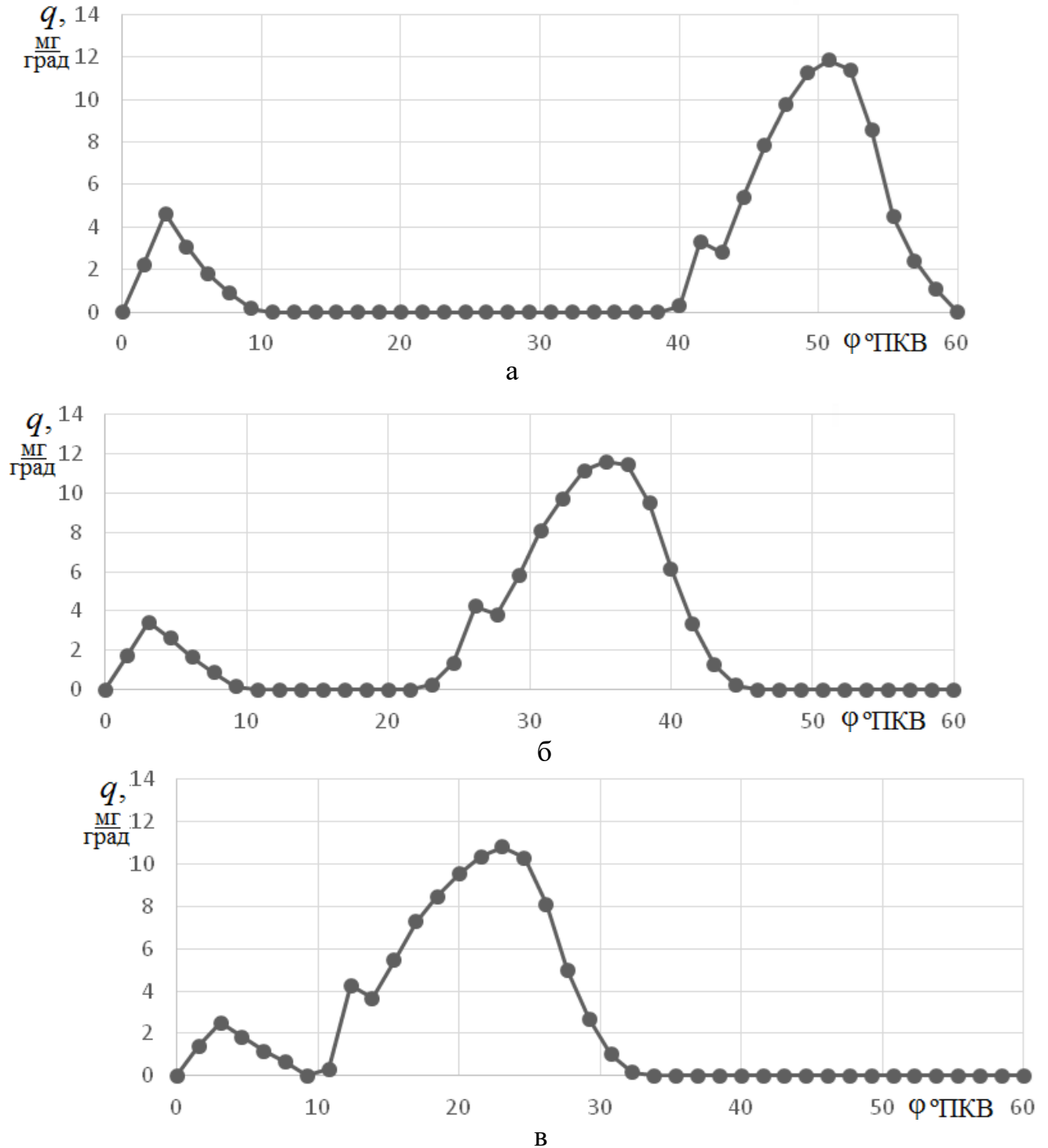


Рис. 4.3. Профілі впорскування у режимі максимальний за наступних умовах:

$$a - \Delta\tau = 5\text{ ms}, б - \Delta\tau = 3\text{ ms}, в - \Delta\tau = 1,5\text{ ms}.$$

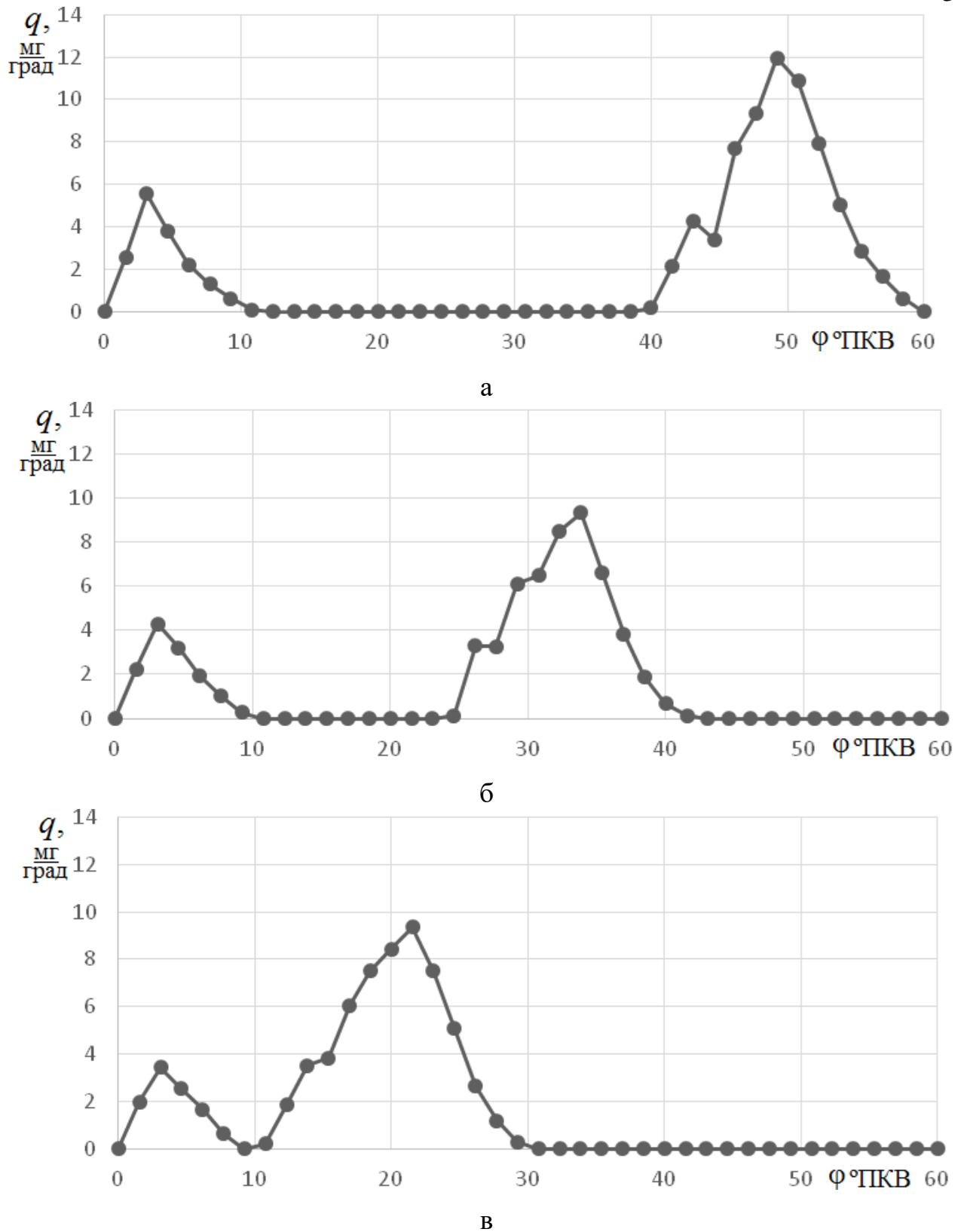


Рис. 4.4. Характеристики впорскування.

У першому наборі обчислень незмінність кута опереження впорскування була використана для оцінки впливу інтервалу між двома послідовними впорскуваннями на цикловий показник, враховуючи зсув часу початку введення наступної частини палива. Паралельно з цим аналізом, було виконано

дослідження ефекту часу початку введення первинної частини палива за умови незмінності часу початку впорскування головної частини палива відносно верхньої мертвої точки.

Таблиця 4.2. Результати змодельованого розрахункового експерименту

№	характеристика	про оз	хв -	хв -	хв -	хв -	хв -	хв -
			мах, 5 мс	мах, 3 мс	мах, 1,5 мс	>□, 5 мс	>□, 3 мс	>□, 1,5 мс
1	УОВ попередньої, °ПКВ до ВМТ		13	13	13	13	13	13
2	УОВ подальшої, °ПКВ до ВМТ		-27	-12	4	-27	-12	4
3	Потужність, кВт	N_e	14,02	15,4	15,78	6,67	8,16	10,19
4	середнє ефективне тиск, МПа	p_e	0,882	0,897	0,921	0,359	0,439	0,548
5	Циклова подача палива, г	$q_{ц}$	0,103	0,103	0,102	0,060	0,061	0,060
6	Уд. ефект. витрата палива, г / (кВт · год)	g_e	309	280	271	377	308	247
7	ефективний КПД	η_e	0,274	0,302	0,312	0,224	0,274	0,342
8	індикаторний КПД	η_i	0,377	0,412	0,425	0,358	0,409	0,481
9	Коефф. надлишку повітря сумарний	α	1,96	1,96	1,95	3,71	3,69	3,66
10	Емісія твердих частинок, г / (кВт · год)	час тиц и	1,842	0,931	0,632	0,490	0,293	0,071
11	Концентр. вологих NO _x , млн-1	NO _x	278,2	325,9	409,8	75,2	152,6	152,4
12	Максимальна температура циклу, К	T_z	1 452	1573	тисячу п'ятсот вісімдесят дві	1207	1229	1 363

В другому ряду обчислень, зі зміною кута опереження впорскування на такий, що наступне впорскування відбувається при $\Delta\theta = 13^\circ$ до верхньої мертвої точки, було встановлено зв'язки для визначених режимів багаторазового впорскування, зокрема для мінімальний - максимальний і мінімальний - середній.

Результати цієї серії розрахунків зібрані у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Результати другої серії розрахунків.

№	характеристика		хв -	хв -	хв -	хв -	хв -	хв -
			мах, 5 мс	мах, 3 мс	мах, 1,5 мс	γ_{\square} , 5 мс	γ_{\square} , 3 мс	γ_{\square} , 1,5 мс
1	УОВ попередньої, °ПКВ до ВМТ		53	38	22	53	38	22
2	УОВ подальшої, °ПКВ до ВМТ		13	13	13	13	13	13
3	Потужність, кВт	N_e	13,24	15,89	14,72	7,44	8,49	9,67
4	середнє ефективне тиск, МПа	p_e	0,758	0,926	0,858	0,400	0,456	0,520
5	Циклова подача палива, г	$q_{ц}$	0,102	0,102	0,102	0,060	0,060	0,060
6	Уд. ефект. витрата палива, г / (кВт · год)	g_e	320	264	292	338	296	260
7	ефективний КПД	η_e	0,265	0,320	0,290	0,250	0,285	0,325
8	індикаторний КПД	η_i	0,400	0,448	0,401	0,399	0,431	0,468
9	Коефф. надлишку повітря сумарний	α	1,93	1,94	1,95	3,62	3,62	3,63
10	Емісія твердих частинок, г / (кВт · год)	Годину тиц и	0,034	0,170	0,983	0,010	0,020	0,030

Дослідження результатів модельного експерименту, виконаного із вихідними параметрами, налаштованими так, що час наступного впорскування випадав на $\Delta\theta = 13^\circ$ до верхньої мертвої точки в режимі "мінімальний - максимальний", виявило наступне.

Зі скороченням інтервалу часу до наступного впорскування Δt з 5 до 3 мс, що призводить до зниження кута опереження впорскування первинної порції з 53 до 38° , спостерігається зростання потужності двигуна та середнього ефективного тиску на 22% , підвищення ефективного ККД на 20% та зростання індикаторного ККД на 12% . Проте, при подальшому скороченні цього інтервалу з 3 до 1,5 мс, що знижує кут опереження первинної порції до 22° , відзначається зниження потужності двигуна та середнього ефективного тиску на 7% , падіння ефективного ККД на 9% та зменшення індикаторного ККД на 11% .

Зі скороченням інтервалу Δt до наступного впорскування спостерігається падіння максимального тиску та найвищої температури у циклі. Водночас це призводить до зростання обсягу циклової подачі палива, коефіцієнта надлишкового повітря і середньої температури перед турбіною.

З точки зору екологічних характеристик, спостерігається помітне підвищення викидів твердих частинок та зниження рівня оксидів азоту зі скороченням інтервалу Δt для наступного впорскування з 5 до 1,5 мілісекунд.

При використанні одноразового впорскування, рівень NO_x у вихлопних газах становить $3623 \dots 3653$ частин на мільйон, в той час як при множинному впорскуванні на різних режимах фіксується падіння концентрації NO_x у вихлопних газах.

Під час багатократного впорскування з налаштуванням кута випередження так, що час наступного впорскування відповідає $\Delta\theta = 13^\circ$ до верхньої мертвої точки, зменшення інтервалу до наступного впорскування призводить до падіння концентрації NO_x з 3101 до 475 частин на мільйон.

Проте, коли час початку первинного впорскування залишається незмінним при $\Delta\theta = 13^\circ$ до верхньої мертвої точки і зменшується інтервал до основного впорскування, рівень NO_x утримується в діапазоні $278 \dots 409$ частин на мільйон, що демонструє позитивний ефект багатократного впорскування на концентрацію NO_x у вихлопних газах.

Під час однократного впорскування викиди твердих частинок (сажі) становлять $1,192 \dots 1,259$ г/кВт•год у вихлопних газах, однак за умов багаторазового впорскування в різних режимах відзначається помітне зниження

емісії сажі. У контексті багаторазового впорскування, вирішальну роль у показниках двигуна грає інтервал між впорскуваннями різних порцій. Скорочення $\Delta\tau$ та $\Delta\theta = 13^\circ$ до верхньої мертвої точки на всіх режимах призводить до підвищення потужності двигуна, зменшення питомої ефективної витрати палива та зростання середнього ефективного тиску.

З налаштуванням кута випередження так, що час наступного впорскування відповідає $\Delta\theta = 13^\circ$ до верхньої мертвої точки, майже на всіх режимах спостерігається підвищення потужності двигуна, зниження витрат ефективності палива та зростання середнього ефективного тиску, особливо при середніх значеннях інтервалів затримки між впорскуваннями.

На малюнках 4.5 та 4.6 зображено два набори режимів, де суцільні лінії вказують на режими з кутом опереження впорскування $\Delta\theta = 13^\circ$ до верхньої мертвої точки для наступного впорскування.

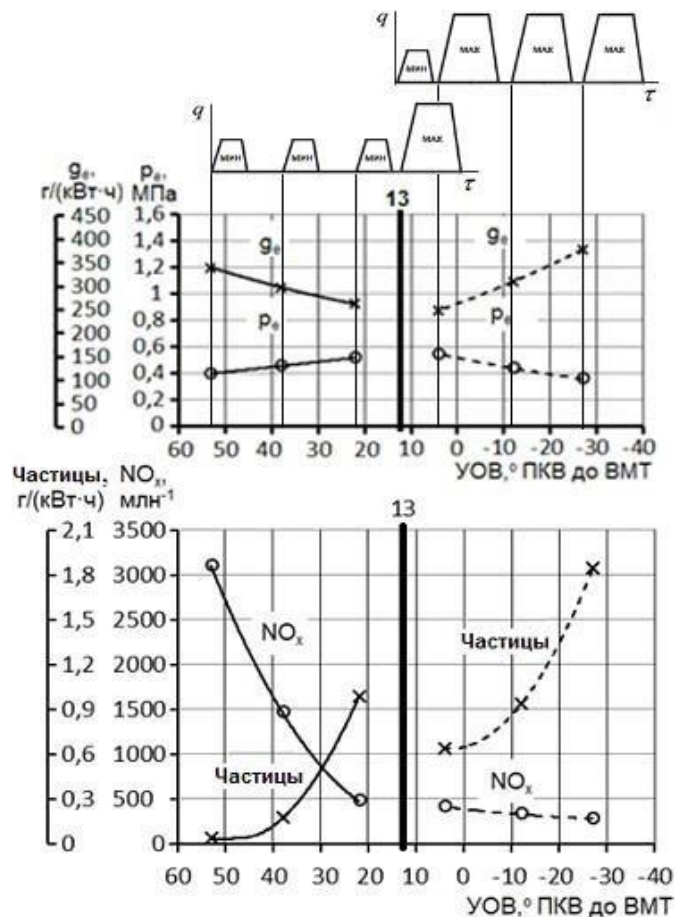


Рис. 4.5. Комбінований вплив кута випередження впорскування та інтервалу $\Delta\tau$ на характеристики дизельного двигуна у режимі мінімальний - максимальний.

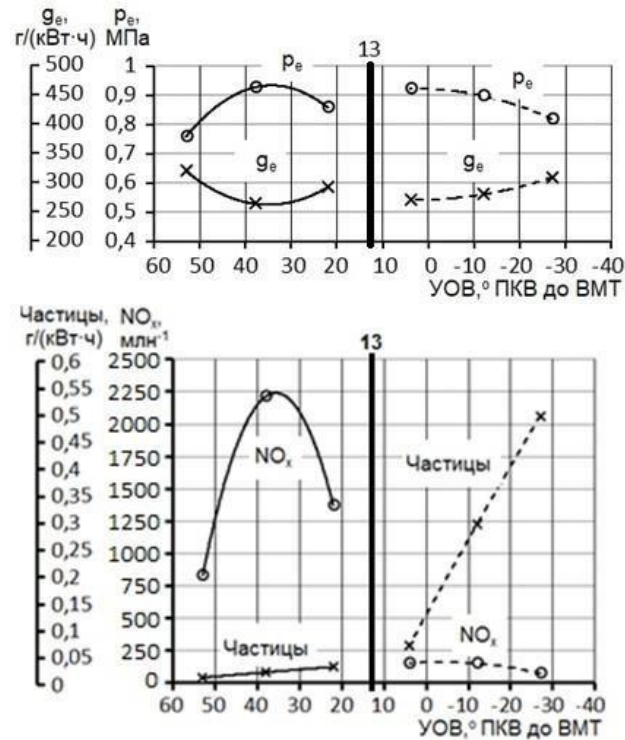


Рис. 4.6. Комбінований ефект кута випередження впорскування та затримки Δt на параметри дизельного двигуна у режимі мінімальний - середній.

У другій категорії режимів, показаних штриховими лініями, кут випередження впорскування $\Delta\theta = 13^\circ$ до верхньої мертвої точки був встановлений для початку первинного впорскування. На ілюстраціях 4.5 та 4.6 слід відзначити, що найсуттєвіший вплив хвильових процесів у лінії високого тиску паливної системи відбувається при ранньому впорскуванні $\Delta\theta = 52^\circ$ до верхньої мертвої точки. У випадку множинного впорскування, ключовим чинником, що впливає на показники двигуна, є інтервал між впорскуваннями окремих порцій палива. Зі зменшенням цього інтервалу та стабільним початком первинного впорскування на $\Delta\theta = 13^\circ$ до верхньої мертвої точки, на всіх режимах спостерігається збільшення потужності двигуна, зниження питомого ефективного споживання палива та підвищення середнього ефективного тиску.

4.3 Вивчення характеристик масового витрати електрогідравлічних інжекторів різного дизайну при тиску інжекції до 300 мегапаскалів

Під час тестування системи подачі палива оцінюють її здатність забезпечити: тиск інжекції до 300 мегапаскалів; регулювання параметрів

інжекції; керування кутом передчасного інжекції та тиском інжекції; можливість повторної інжекції.

Тести виконуються за температури навколишнього середовища $t_{\text{в}}$ у діапазоні від 10 до 40°C і атмосферного тиску B_0 між 600 та 825 міліметрами ртутного стовпа. У разі відхилення від цих параметрів, відомості про температуру та тиск фіксуються у звіті про тестування.

У процесі тестування електрогідравлічних форсунок системи подачі палива були визначені їх навантажувальні параметри - вплив довжини управляючого сигналу на рівень залежності від циклічного обсягу подачі.

Визначення цих параметрів проводиться за умови сталої частоти управляючих сигналів, шляхом послідовного збільшення їх тривалості, але не перевищуючи границю зміни обсягу циклічної подачі від мінімальної до максимально можливої. У ході тестування незначні неполадки виправляються без зупинки робочого процесу паливної системи. У випадках, коли ліквідація несправностей вимагає припинення роботи, тести призупиняються, тестовий паливний стенд зупиняється для усунення дефектів. Діаграми, що показують масові циклічні витратні характеристики ($G_{\text{ц}}$) та витрати палива на управління ($G_{\text{у}}$) для ЕГФ №1 при тиску інжекції 50 ... 180 мегапаскалів дизельного палива, рослинного масла і їх суміші залежно від тривалості управляючого сигналу τ , представлені на рисунках 4.7 до 4.10.

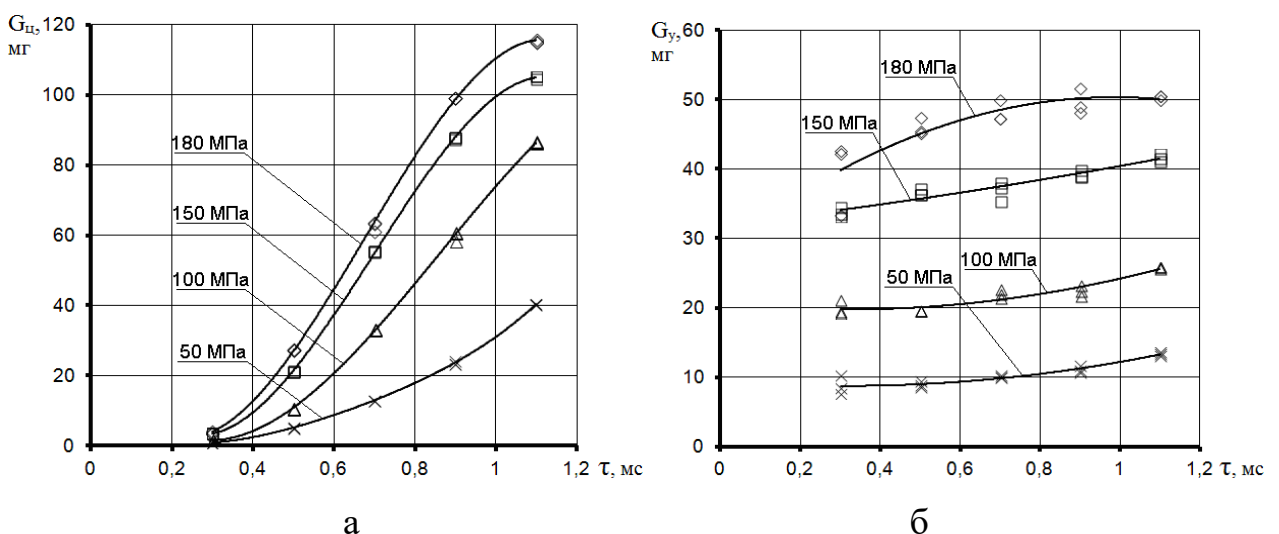


Рис. 4.7. Характеристики масової витрати електрогідравлічної форсунки №1 при використанні дизельного палива з тисками в баку 50, 100, 150, 180 мегапаскалів: а - обсяг циклічної подачі; б - споживання палива для керування.

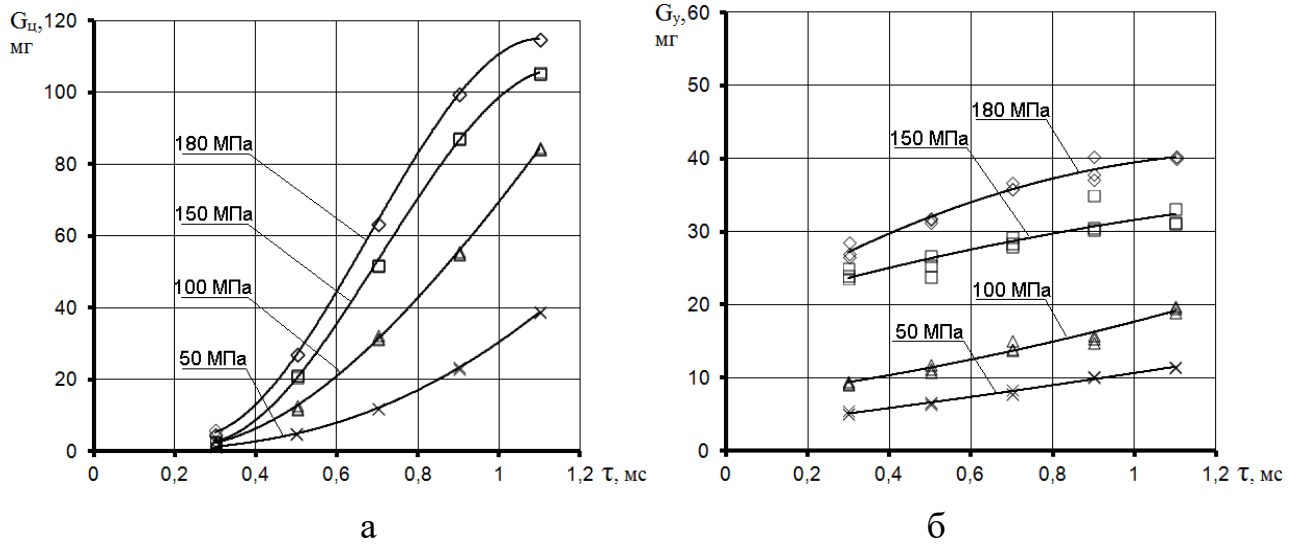


Рис. 4.8. Показники масового витрати електрогідравлічної форсунки №1 при використанні суміші «80% дизельного палива + 20% рослинного масла» з тисками у баку 50, 100, 150, 180 мегапаскалів: а - обсяг циклічної подачі; б - споживання палива для управління.

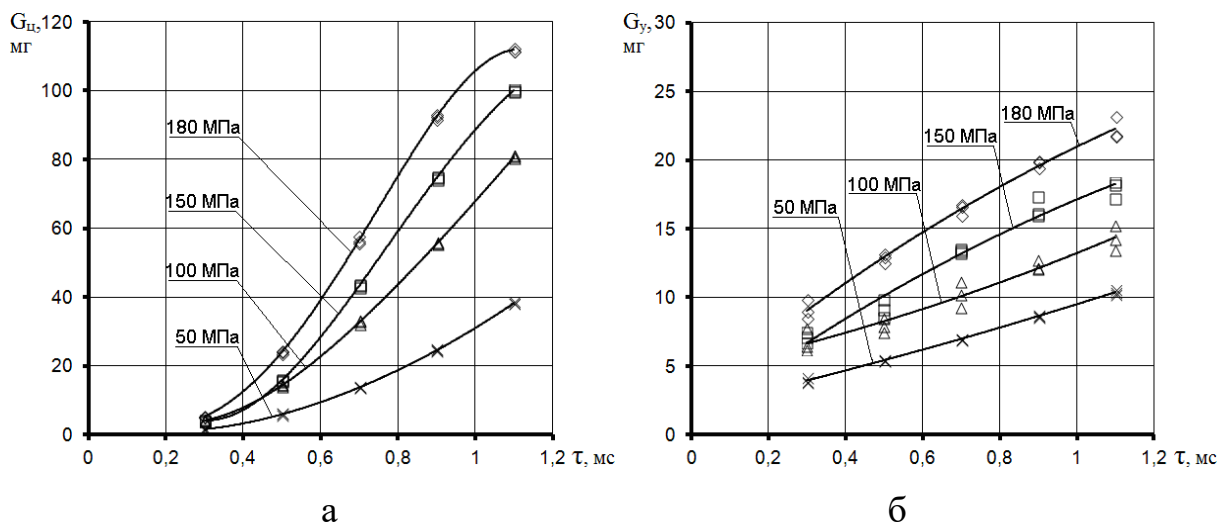


Рис. 4.9. Показники масового споживання електрогідравлічної форсунки №1 при використанні суміші «20% дизельного палива + 80% рослинного масла» за тисками у баку 50, 100, 150, 180 мегапаскалів: а - обсяг циклічного впорскування; б - споживання палива для керування.

Діаграми, що ілюструють характеристики споживання за масовими циклічними впорскуваннями ($G_{ц}$) та витратами палива для керування (G_y) електрогідравлічної форсунки №2, за тиском інжекції 50 ... 300 мегапаскалів дизельного палива, рослинного масла та їхніх сумішей в залежності від тривалості управляючого сигналу τ , представлені на рисунках 4.11 до 4.13.

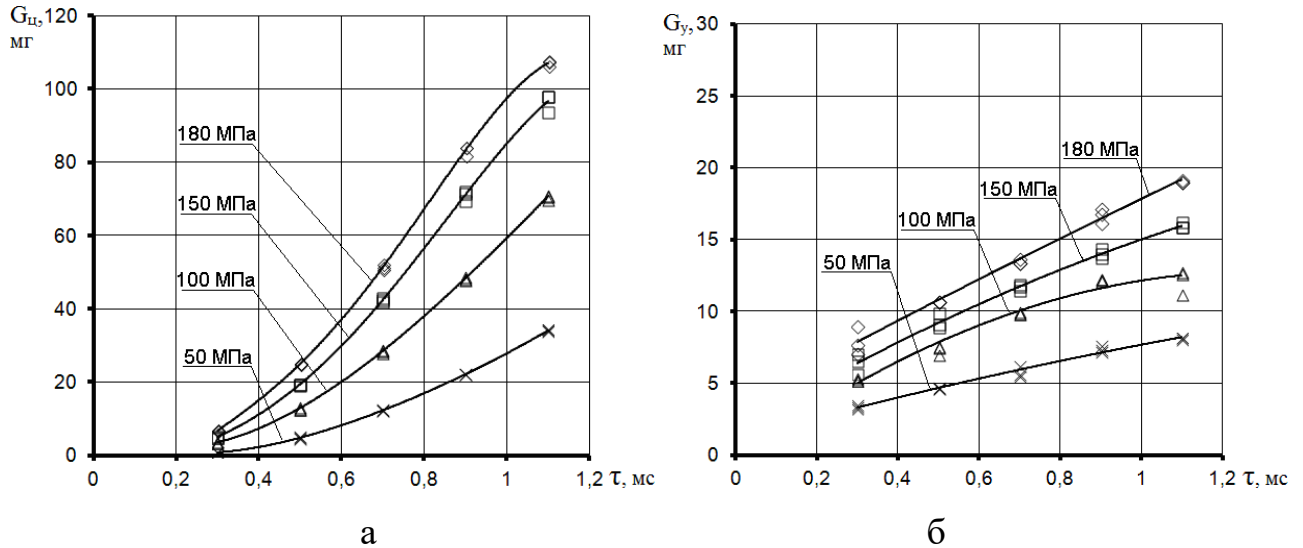


Рис. 4.10. Показники масової витрати електрогідравлічної форсунки №1 при використанні рослинного масла та тисках у резервуарі 50, 100, 150, 180 мегапаскалів: а - обсяг циклічної подачі; б - споживання палива для керування.

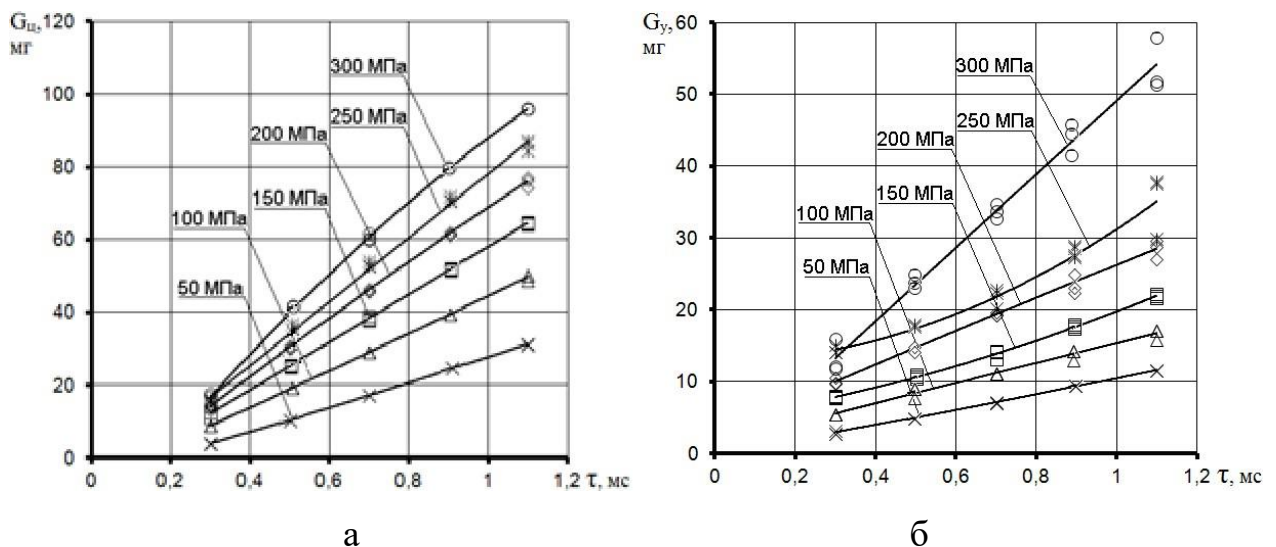


Рис. 4.11. Характеристики масового витрати електрогідравлічної форсунки №2 при використанні дизельного палива з тисками в резервуарі 50, 100, 150, 200, 250, 300 мегапаскалів: а - обсяг циклічного впорскування; б - споживання палива для керування.

Для забезпечення точності експерименту проводилося трьохразове фіксування режимної точки та оцінка її повторюваності шляхом запису однієї режимної точки, розміщеної у середині плану експерименту.

Для оцінки робочого режиму аналізованих електрогідравлічних форсунок, які функціонують на паливі різного складу, було запроваджено коефіцієнт δ .

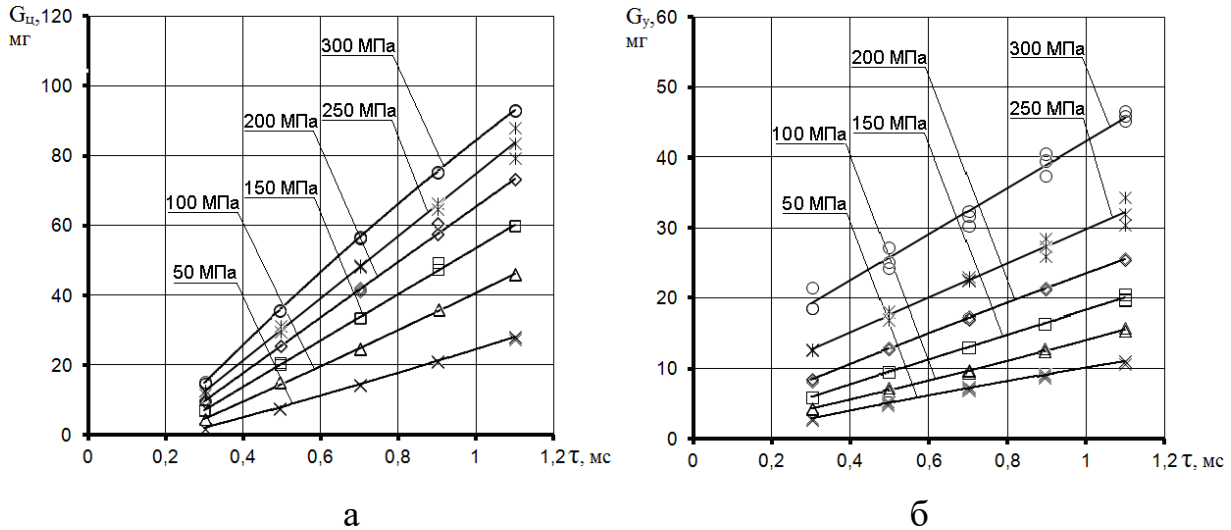


Рис. 4.12. Показники масового споживання електрогідравлічної форсунки №2 при використанні суміші «80% дизельного палива + 20% рослинного масла» за тисками у баку 50, 100, 150, 200, 250, 300 мегапаскалів: а - обсяг циклічного впорскування; б - споживання палива для керування.

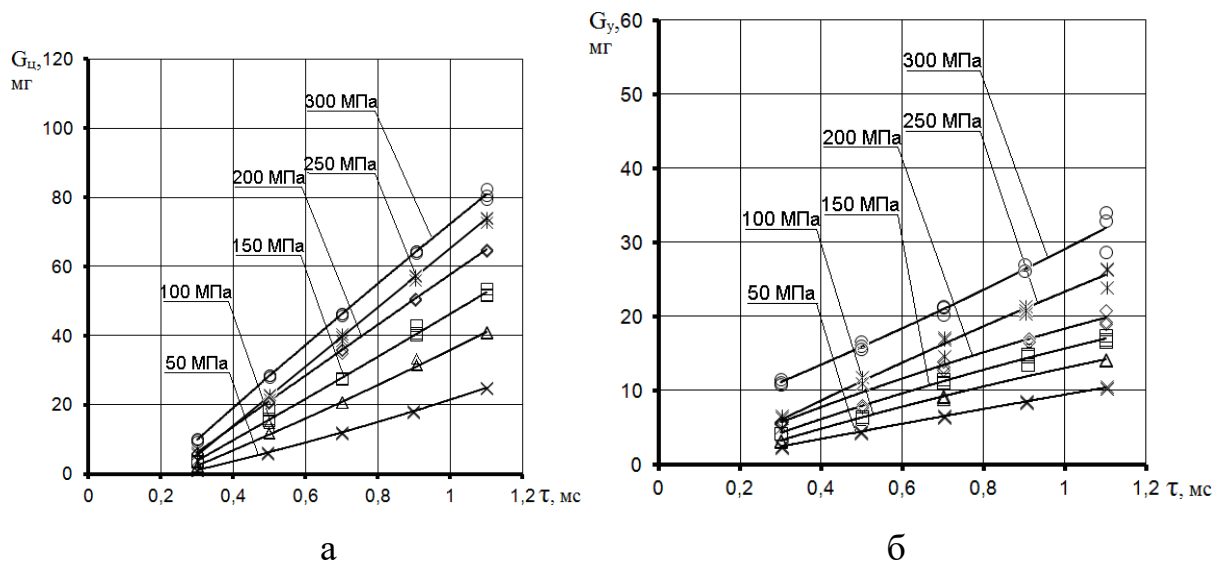


Рис. 4.13. Характеристики масового витрати електрогідравлічної форсунки №2 при використанні суміші «20% дизельного палива + 80% рослинного масла» за тисками у резервуарі 50, 100, 150, 200, 250, 300 мегапаскалів: а - обсяг циклічного впорскування; б - споживання палива для керування.

Цей коефіцієнт використовується для вимірювання відносних гідравлічних затрат на здійснення процесу інжекції, що представляє співвідношення між об'ємом циклічної подачі та загальною кількістю палива за один цикл:

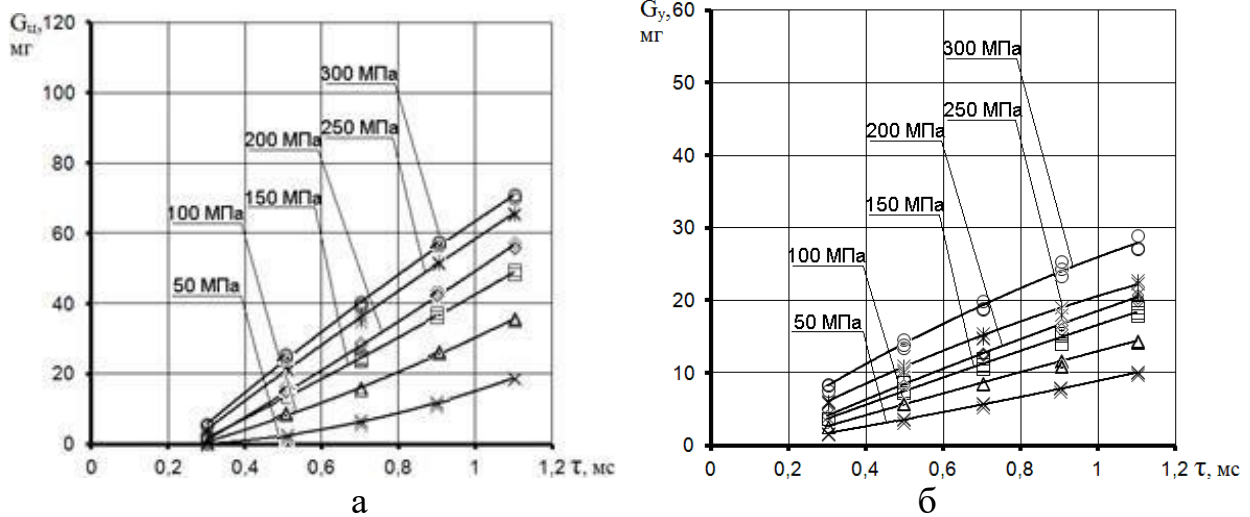


Рис. 4.14. Показники масової витрати електрогідравлічної форсунки №2 при використанні рослинного масла та тисках у баку 50, 100, 150, 200, 250, 300 мегапаскалів: а - обсяг циклічного впорскування; б - споживання палива для керування.

$$\delta = G_{\text{ц}} / (G_{\text{ц}} + G_{\text{y}}), \quad (4.1)$$

Це означає, що коли G_{y} дорівнює 0, тоді значення δ становить 1. Зображені залежності δ від τ для електрогідравлічної форсунки №1 представлені на рисунку 4.15.

Під час використання електрогідравлічної форсунки №1 на дизельному паливі, тиск інжекції в циліндр слабо впливає на коефіцієнт δ цієї форсунки (див. рис. 4.15. А). Також, тиск інжекції мало впливає на коефіцієнт δ електрогідравлічної форсунки №1 при тривалості керуючого імпульсу $> 0,8$ мс. У цьому випадку, коефіцієнт δ для форсунки залежить від часу її відкриття. Коли тривалість керуючого імпульсу досягає 1 мс, коефіцієнт δ для цієї форсунки не перевищує 0,8.

При використанні суміші «80% дизельного палива + 20% рослинного масла», коефіцієнт δ електрогідравлічної форсунки №1 не істотно зростає з підвищенням тиску інжекції. Тут, коефіцієнт δ залежить від тривалості часу, протягом якого форсунка №1 залишається відкритою. Коли тривалість керуючого імпульсу τ досягає 0,9 мс та тиск у резервуарі $P_{\text{ак}}$ перевищує 100

мегапаскалів, коефіцієнт δ для форсунки №1 починає знижуватися.

Коефіцієнт δ для форсунки №1 на цій суміші не перевищує 0,82.

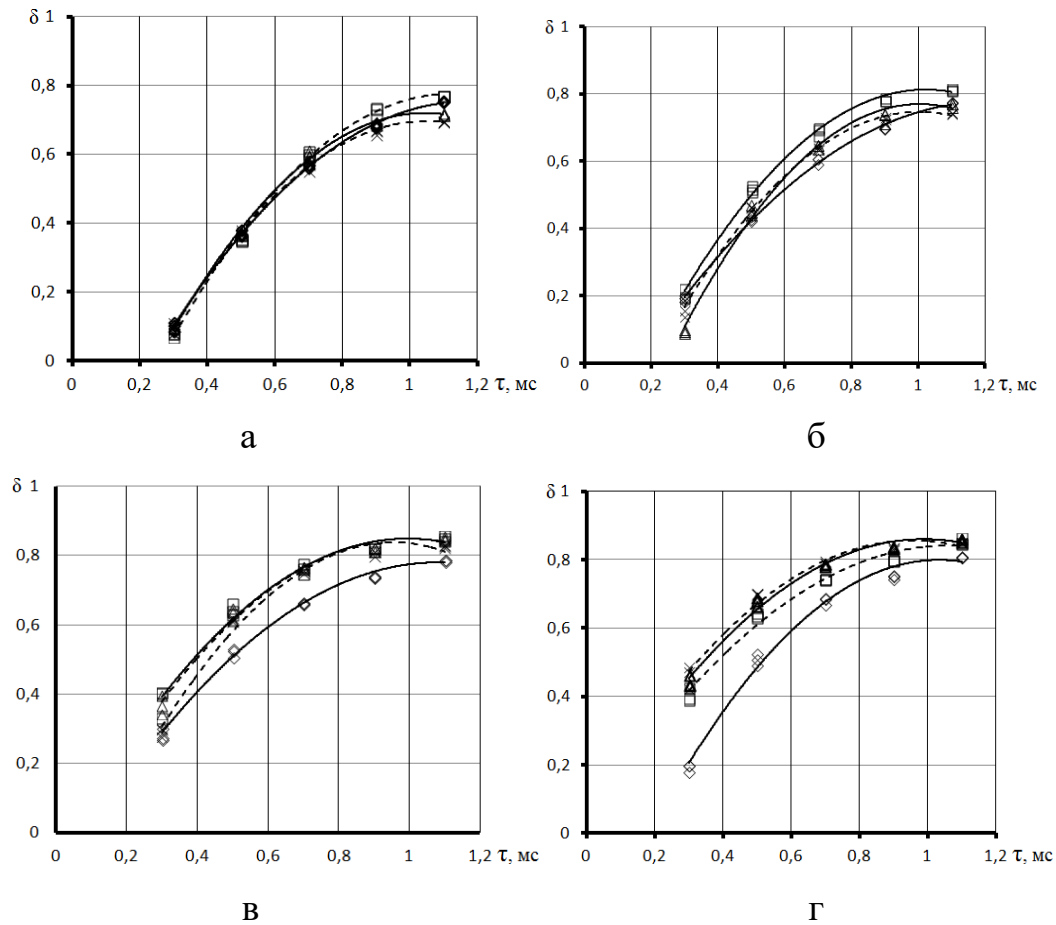


Рис. 4.15. Графік коефіцієнта δ ЕГФ №1 при роботі на різних сумішах.

Отримані залежності δ від τ для ЕГФ №2 наведені на рис. 4.16.

Використовуючи суміш «20% дизельного палива + 80% рослинного масла», коефіцієнт δ електрогідравлічної форсунки №1 зростає з підвищенням тиску інжекції. Водночас, коефіцієнт δ для форсунки №1 починає знижуватися, коли тривалість керуючого імпульсу τ досягає 0,9 мс при тисках більше 100 мегапаскалів. Коефіцієнт δ для форсунки №1 при використанні такої суміші не перевищує 0,85.

Під час роботи на рослинному маслі, тиск інжекції палива в циліндр суттєво впливає на коефіцієнт δ електрогідравлічної форсунки №1. В таких умовах, коефіцієнт δ наближається до нуля за короткого часу відкриття форсунки №1, а саме менше ніж 0,2 мс, та тиску нижче 50 мегапаскалів. Коефіцієнт δ для форсунки №1 відповідає тривалості її відкриття. Коли

тривалість керуючого імпульсу τ досягає 1 мс, коефіцієнт δ починає знижуватися при будь-якому тиску. Коефіцієнт δ для форсунки №1 на рослинному маслі не перевищує 0,87.

Діаграми, які відображають коефіцієнт δ для електрогідравлічної форсунки №2, а саме співвідношення палива, доставленого форсункою в циліндр ($V_{ц}$), до загального обсягу паливної суміші, поданої від системи подачі палива до форсунки, залежно від складу суміші та тривалості відкриття форсунки, представлені на малюнку 5.16.

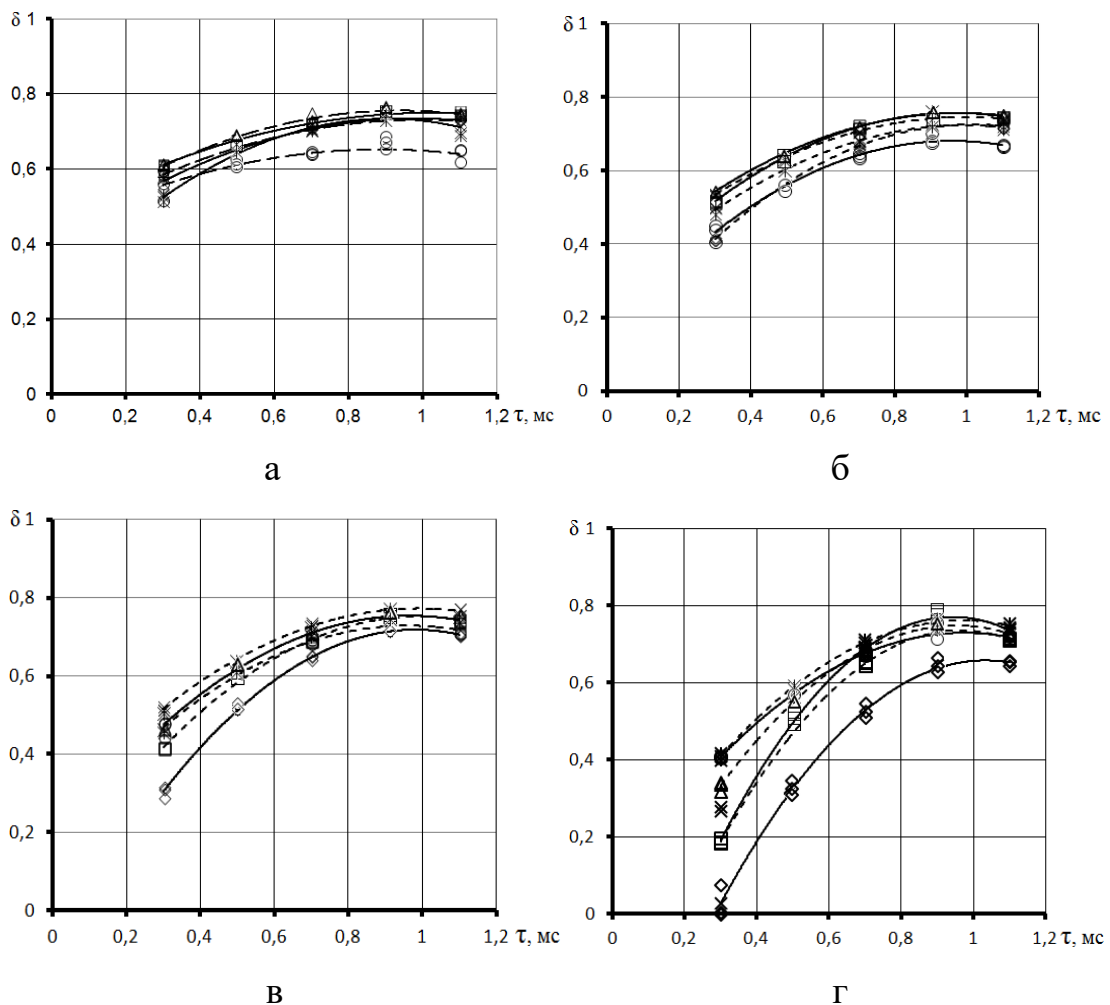


Рис. 4.16. Графік коефіцієнта δ ЕГФ №2 при роботі на різних сумішах.

У дослідженнях з електрогідравлічною форсункою №1 (див. рис. 4.17), для генерації 42,5 МДж/кг теплової енергії, що виділяється під час згоряння 40 мг дизельного палива, з урахуванням тиску в 150 мегапаскалів, необхідно на 10% збільшити обсяг подачі чистого рослинного масла до 45,6 мг кількісний аналіз.

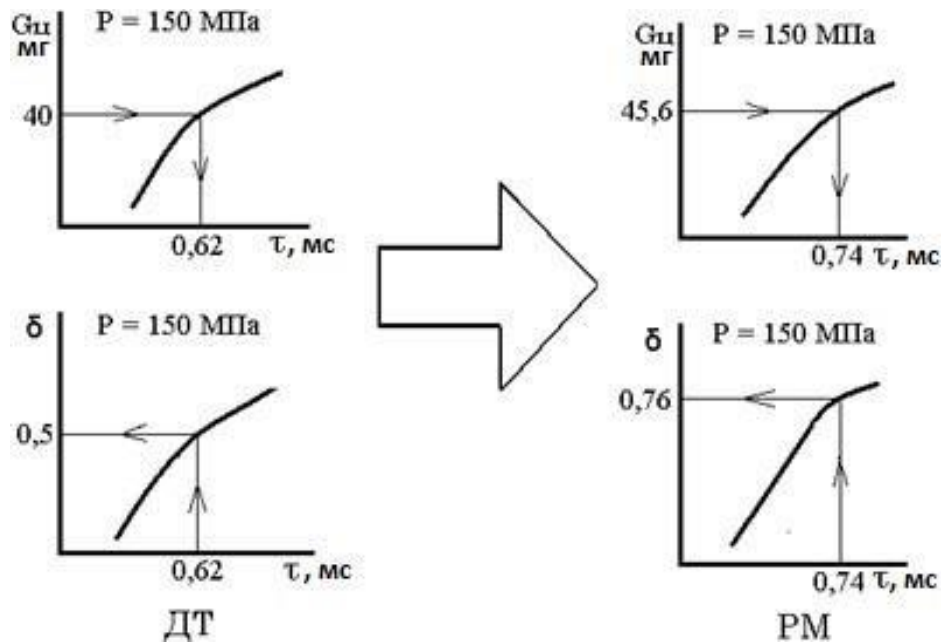


Рис. 4.17. Кількісний аналіз за допомогою електрогідравлічної форсунки №1.

Для досягнення умов, в яких на електрогідравлічній форсунці №1 (згідно з рис. 4.18) відбувається виділення тепла при згорянні 20 мг дизельного палива під тиском 100 мегапаскалів із стабільним імпульсом, наприклад, $\tau = 0,6$ мс, необхідно підвищити тиск інжекції рослинного масла до 120 мегапаскалів (20% збільшення, якісний аналіз). Коефіцієнт δ для форсунки підвищиться з 0,5 до 0,7, тобто на 40%.

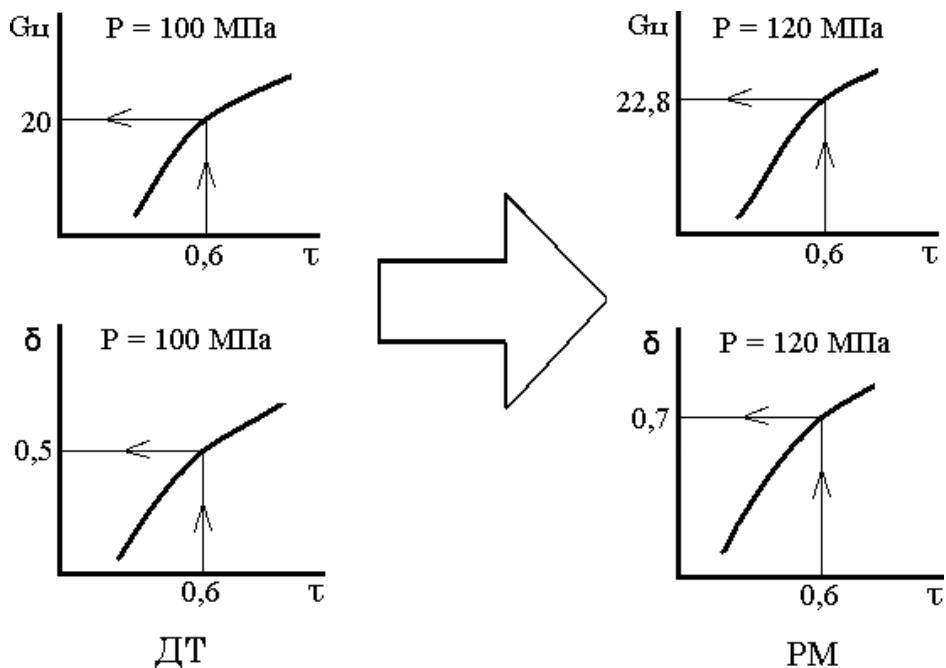


Рис. 4.18. Якісний аналіз за допомогою електрогідравлічної форсунки №1.

З малюнків 4.15 та 4.16 видно основний тренд: зі зростанням тривалості керуючого сигналу τ , коефіцієнт δ для електрогідравлічної форсунки зростає. Це відбувається через те, що при підвищенні тривалості імпульсу τ ефективність потоку через проходи розпилювача покращується, і, відповідно, розподіл витрати палива зміщується на більшу подачу через соплові отвори розпилювача. Зважаючи на значний вплив коливань на процес подачі палива, було здійснено аналіз впливу складу сумішевого палива на коливальні явища при вході в ЕГФ. Вплив складу сумішевого палива аналізувався зміною частки рослинного масла в суміші та її впливом на коливання тиску в штуцері форсунки, що впливає на подачу наступної порції палива при повторному впорскуванні. Результати дослідження представлені на малюнку 4.19.

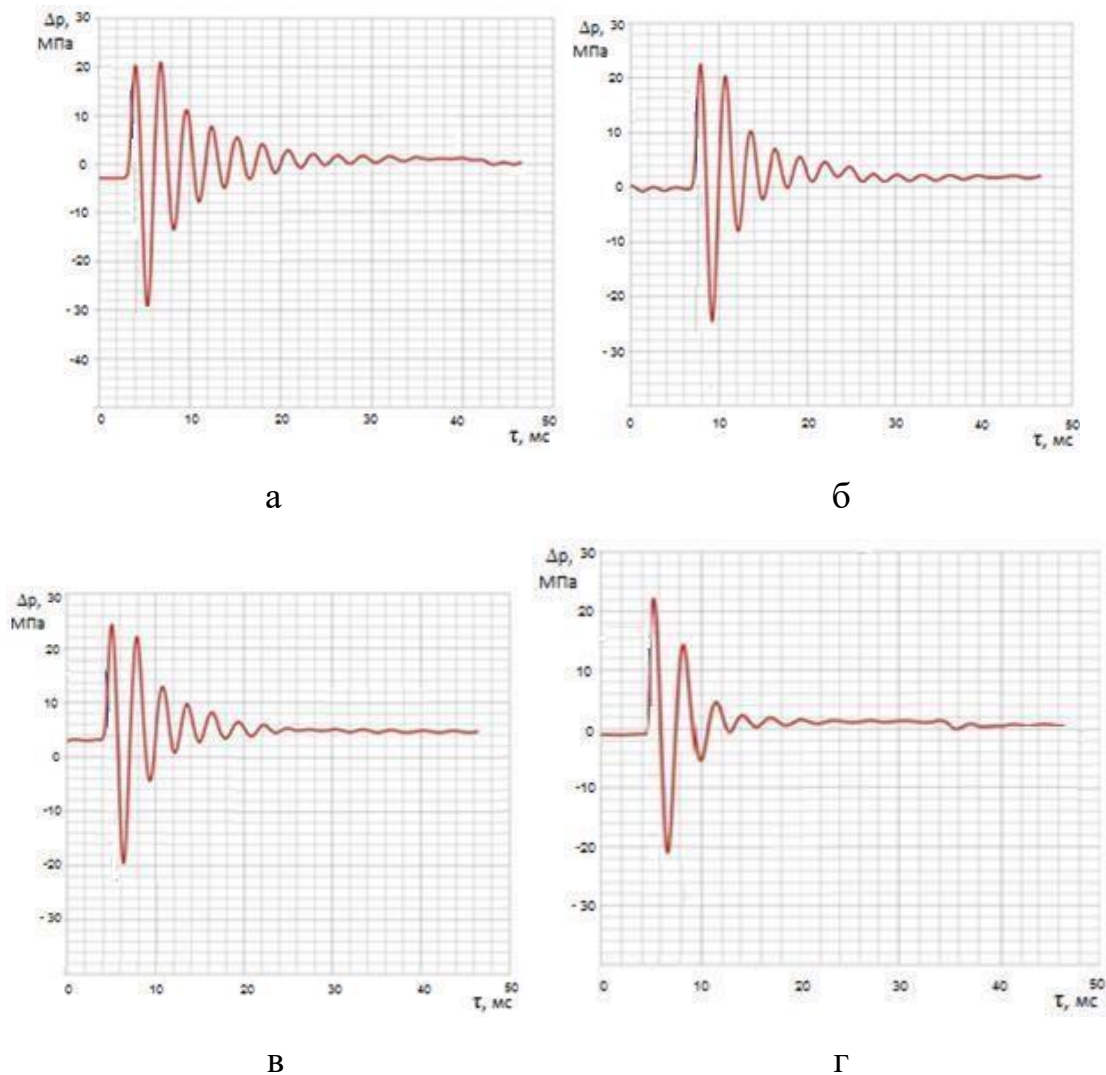


Рис. 4.19. Діаграма відображення сигналів з сенсора, що фіксує коливання тиску палива в електрогідравлічній форсунці №2: а - під час використання дизельного палива; б - під час використання суміші «80% дизельного палива +

20% рослинного масла»; в - із сумішшю «20% дизельного палива + 80% рослинного масла»; г - під час використання рослинного масла.

В усіх вимірах тривалість інжекційного імпульсу складала $\tau = 0,6$ мс, а тиск палива в резервуарі Рак становив 100 мегапаскалів. Аналіз даних виявив значний вплив зростання вмісту рослинного масла в сумішевих паливах на зниження коливань тиску палива, що може бути пов'язано зі зростанням щільності та в'язкості суміші. Також важливо відмітити зменшення амплітуди коливань тиску зі збільшенням вмісту рослинного масла в сумішевих паливах.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Вимоги безпеки до лабораторних приміщень та обладнання для наукових досліджень

Згідно НАПБ Б.03.002-2007 лабораторії для дослідження процесів зварювання, різання та наплавлення відносяться до категорії Г. Згідно з ПУЕ, приміщення вищеназваних лабораторій відносяться до класу 2, оскільки всі зварювальні, різальні та наплавочні роботи виконують під витяжними зонтами або панелями, із застосуванням відкритого вогню, при цьому вибухонебезпечне середовище при нормальних умовах експлуатації відсутнє, а якщо виникає, то рідко і триває недовго.

Лабораторні приміщення необхідно розташовувати в окремих будівлях або на нижніх поверхах виробничих споруд, ізольованих від інших приміщень. Ступінь вогнестійкості будівель повинна бути не нижче третьої. Стіни і стелю лабораторії фарбують фарбами, які не допускають всмоктування пилу, зварювального аерозолю, газів і дозволяють виконувати їх очищення, миття чи дегазацію. Підлогу та поверхні робочих столів та стільців необхідно виконувати з негорючих та важкогорючих матеріалів.

У лабораторії повинна бути передбачена можливість відключення подачі газу, води та електроенергії. Крани та рубильники встановлюють у легкодоступних місцях.

Всі приміщення лабораторії повинні бути обладнані загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією, місцевими відсмоктувачами, пило-, газовловлювачами (ЗИЛ, "Мрія" тощо), панелями, зонтами.

Технологічне обладнання при нормальних режимах роботи повинно бути пожежонебезпечним, а на випадок небезпечних аварій та несправностей необхідно передбачати захисні заходи, що обмежують масштаби та наслідки пожежі. Обладнання, призначене для використання пожежонебезпечних та вибухопожежонебезпечних речовин та матеріалів, повинно відповідати вимогам конструкторської документації.

Зварювальні, наплавлювальні, паяльні та інші процеси необхідно виконувати у відповідності з регламентами та іншою, затвердженою керівництвом підприємства нормативно-технічною та експлуатаційною документацією.

На речовини та матеріали, що застосовуються у вищеназваних процесах, повинні бути дані про показники їх пожежної небезпеки згідно ГОСТ 12.1.044-89. Характеристики пожежної небезпеки цих речовин необхідно вивчити обслуговуючим персоналом, який повинен при роботі з пожежовибухонебезпечними речовинами та матеріалами дотримуватись вимог маркування та попереджувальних написів, що нанесені на упаковках та наведені у вказівках із їх застосування.

У приміщеннях лабораторії та на обладнанні, що є потенційним джерелом вибуху або займання необхідно наносити знаки, що забороняють користування відкритим полум'ям, а також знаки, які попереджують про обережність при наявності займистих та вибухонебезпечних речовин згідно ДСТУ ISO 6309:2007. Лабораторії, в яких застосовуються пожежовибухонебезпечні речовини та матеріали, повинні бути оснащені автоматичними засобами контролю параметрів, показники яких визначають пожежовибухонебезпеку досліджуваних процесів, сигналізацією максимальних значень і системами блокувань, що запобігають виникненню аварійних ситуацій.

Конструкції витяжних пристроїв (зонтів, панелей Чорнобережського) повинні запобігати накопиченню пожежонебезпечних відкладень і забезпечувати можливість їх очищення пожежонебезпечними засобами. Роботи з очищення повинні виконуватись систематично згідно з технологічним регламентам і фіксуватись у журналі.

Для наукового і науково-технічного вирішення проблем охорони праці, забезпечення системного й комплексного підходу до організації нормотворчої діяльності, вдосконалення нормативної бази з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища в Україні створено мережу базових (головних) організацій та установ. Їх діяльність охоплює майже всі визначені напрями охорони праці, що потребують розвитку й удосконалення. Такі організації

визначено в більшості галузей народного господарства згідно з рішенням міністерств, відомств, концернів, корпорацій та інших об'єднань підприємств, створених за галузевим принципом. Це провідні науково-дослідні, проектно-конструкторські та інші організації, які спеціалізуються з питань безпеки, гігієни та виробничого середовища.

Для наукового забезпечення охорони праці створено Національний науково-дослідний інститут охорони праці, який разом з інститутами Академії наук України та іншими науково-дослідними і проектно-конструкторськими установами, навчальними закладами здійснює фундаментальні і прикладні наукові дослідження з проблем охорони праці та ідентифікації професійної небезпечності.

На Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці покладено виконання функції головної організації в Україні, яка координує роботу в даному напрямку, надає методичну допомогу фахівцям, організує підвищення їх кваліфікації, а також безпосередньо опрацьовує проект міжгалузевих і окремих галузевих нормативних актів про охорону праці.

5.2 Захисні споруди

Захисні споруди - це інженерні споруди, які спеціально призначені для захисту населення від небезпечних наслідків аварій і катастроф техногенного та природного характеру, зброї масового ураження, а також від впливу їх вторинних вражаючих факторів та застосування звичайних засобів ураження.

Захисні споруди класифікуються за такими ознаками:

за захисними властивостями (сховище, протирадіаційне укриття, просте укриття);

за призначенням (для захисту населення, для захисту органів управління);

за місцем розташування (вбудовані в підвальному або напівпідвальному приміщенні, окремо розташовані);

за терміном виробництва (завчасно збудовані, швидко збудовані).

Сховище - інженерна споруда герметичного типу, яка забезпечує захист людей від дії вражаючих речовин, наслідків аварій та катастроф техногенного та природного характеру.

Встановлено певний порядок використання захисних споруд цивільного захисту.

У режимі повсякденного функціонування єдиної системи цивільного захисту вони можуть бути використані для потреб підприємств, установ і організацій, а також для обслуговування населення.

Підприємства, установи і організації, незалежно від форм власності, на балансі яких є захисні споруди цивільного захисту, забезпечують охорону конструкцій і обладнання, а також утримання їх у стані, який забезпечує приведення в готовність до використання за призначенням в термін до 12 годин.

Захисні споруди на атомних електростанціях, інших потенційно небезпечних об'єктах утримуються в постійній готовності до використання за прямим призначенням для повного забезпечення населення міст спорудами у разі загрози НС.

Сховище складається з основних та допоміжних приміщень. До основних належать: приміщення для укриття людей, медичний пункт та пункт управління сховищем.

До допоміжних належать: фільтровентиляційні приміщення (ФВП), приміщення для дизельної електростанції (ДЕС), санітарні вузли, електрощитові, аварійні виходи, приміщення для зберігання продуктів харчування, тамбури і тамбур-шлюзи та ін.

Для забезпечення тривалого перебування людей (мінімальний термін складає 2 доби) сховище обладнують системами життєзабезпечення: повітропостачання, водопостачання, водовідведення (каналізації), опалення, зв'язку.

У сховищі також мають бути дозиметричні та хімічні прилади розвідки, засоби індивідуального захисту, засоби гасіння пожеж, аварійний запас інструментів, засоби аварійного освітлення, запас медичних засобів, продуктів та води.

За ступенем захисту від ударної хвилі, γ і нейтронного випромінювання, в залежності від коефіцієнтів захисту ($k_{\text{посл}}$), сховища поділяють на 4 класи:

1-го класу - повинні витримувати надлишковий тиск не менше 500 кПа і послаблювати зовнішні γ і нейтронні випромінювання не менше, ніж в 5000 разів ($k_{\text{посл}} = 5000$);

2-го класу - розраховані на надлишковий тиск у фронті ударної хвилі не менше 300 кПа і мають $k_{\text{посл}}$ не менше 3000;

3-го класу розраховані на надлишковий тиск не менше 200 кПа і $k_{\text{посл}} = 2000$;

4-го класу розраховані на надлишковий тиск не менше 100 кПа і $k_{\text{посл}} = 1000$.

За місткістю сховища можуть будуватися на 150, 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100, 2500, 3000 чоловік і більше.

Надійність захисту персоналу в захисних спорудах забезпечується за наявності таких умов:

загальна місткість захисних споруд на ОГ дає змогу укрити найбільш чисельну працюючу зміну;

захисні властивості споруд відповідають вимогам забезпечення захисту від ударної хвилі та іонізуючих випромінювань;

система життєзабезпечення захисних споруд забезпечує безперервне перебування в них не менше 2 діб;

розміщення (віддалення) захисних споруд відносно місця роботи дає людям змогу сховатися після сигналу повідомлення цивільного захисту за встановлений час;

сховища своєчасно приводяться в готовність для приймання людей (протягом 12 год після введення надзвичайного стану);

робітники і службовці навчені правильним діям після сигналу-повідомлення ЦЗ;

система повідомлень діє оперативно і надійно. Норми об'ємно-планових рішень сховищ:

а) площа підлоги:

- 0,5 м²/людину за двоярусного розміщення ліжок;

- 0,4 м²/людину за троярусного розміщення ліжок;

б) внутрішній об'єм приміщень - не менший 1,5 м²/людину; в) висота приміщень - не більша 3,5 м:

при висоті 2,15—2,9 м встановлюються двоярусні ліжка;

при висоті 2,9 м і більше встановлюються троярусні ліжка.

г) кількість місць для лежання становить 20 % за двоярусного і 30 % за троярусного розміщення;

д) на основі директиви начальника ЦЗ України в екстремальних ситуаціях, коли терміново необхідно укрити виробничий персонал, дозволяється переуцільнення захисних споруд на 20 %. Під час оцінювання систем забезпечення сховищ визначається можливість всіх систем забезпечити безперервне перебування людей у сховищах не менше двох діб. Як правило, оцінюють тільки повітропостачання як одну з основних та найуразливіших систем життєзабезпечення людей.

Норми зовнішнього повітря, що подається в захисну споруду, залежать від температури зовнішнього середовища:

за режимом I - 8, 10, 11, 13 м³/год/людину відповідно до 20 °С (I кліматична зона), 20-25 °С (II зона), 25-30 °С (III зона), понад 30 °С (IV зона).

за режимом II - 2 м³/год/людину і 5 м³/год/людину, що працює на пункті управління.

Сьогодні вітчизняна промисловість випускає фільтровентиляційні комплекси ФВК-I і ФВК-II, які застосовують в I-II кліматичних зонах у сховищах місткістю до 600 осіб та III-IV кліматичних зонах у сховищах місткістю до 450, 300 осіб.

У сховищах великої місткості, крім цих комплексів, встановлюють електроручні вентилятори типу ЕРВ-72-2, ЕРВ-72-3 з фільтрами типу ФП-100 і ПФП-1000, які працюють тільки в режимі I.

Продуктивність фільтровентиляційних комплексів:

ФВК-I і ФВК-II в режимі I - 1200 м³/год, в режимі II - 300 м³/год;

ЕРВ-72-2 і ЕРВ-72-3 відповідно 900-1300 м³/год та 1300-1800 м³/год.

ФВК, крім цього, забезпечує роботу в режимі III. За режимом III регенерація повітря забезпечується регенеративною установкою типу РУ-150/6 з фільтрами ФГ-70.

Протирадіаційні укриття (ПРУ) - це споруди, які забезпечують захист людей від дії іонізуючих випромінювань при радіоактивному зараженні місцевості та безперервному перебуванні в них розрахункової кількості людей протягом 1-2 діб.

В зоні можливих слабких руйнувань ПРУ забезпечують також захист від обвалення окремих елементів будинків, для чого їх несучі конструкції повинні бути розраховані на тиск у фронті ударної хвилі повітря, що дорівнює 20 кПа ($0,2 \text{ кг/см}^2$).

ПРУ в межах зон можливих слабких руйнувань необхідно розташовувати в підвалах і цокольних поверхах, а за межами зон можливих руйнувань - також і на перших поверхах. При пристосуванні приміщень під ПРУ, демонтаж технологічного обладнання не передбачається.

Місткість ПРУ визначається сумою місць для сидіння і лежання (на верхніх ярусах) та приймається:

5 чоловік і більше, в залежності від площі приміщень укриттів, обладнаних в існуючих будинках і спорудах;

10-50 чоловік, в укриттях, які швидко зводяться та не використовуються в мирний час;

50 чоловік і більше, в залежності від площі приміщень, що проектуються і будуються в нових будинках та спорудах, які використовуються в мирний час в інтересах суб'єктів господарської діяльності.

В залежності від місця розташування ПРУ повинні мати коефіцієнт захисту k^3 рівний :

а) на об'єктах 1 і 2 категорії по ЦЗ, розташованих поза зонами можливих сильних руйнувань, для працюючих змін підприємств - 200;

б) у зонах можливого небезпечного радіоактивного зараження:

для працюючих змін, формувань ЦЗ і лікувальних установ, що розгортаються у військовий час, - 200;

для населення - 100;

в) у зонах можливого сильного радіоактивного зараження:

для працюючих змін і лікувальних установ, що розгортаються у військовий час, - 100;

для населення - 50;

г) за межами зон можливого сильного радіоактивного зараження:

для працюючих змін і лікувальних установ, що розгортаються у військовий час, - 20;

для населення - 10.

ПРУ повинні мати приміщення для розміщення людей, санітарного вузла, вентиляційної камери, зберігання брудного верхнього одягу.

В ПРУ улаштовуються не менше двох входів.

Приміщення, які застосовуються під ПРУ, повинні бути забезпечені вентиляцією, опаленням, каналізацією і освітленням у відповідності з вимогами їх експлуатації в мирний час і в надзвичайних ситуаціях.

В ПРУ будь-якої місткості, що розташовуються на цокольних і перших поверхах будинках, а також в укриттях місткістю до 50 чоловік, що розміщуються в підвальних поверхах будинків, використовується не примусова вентиляція. В інших випадках - примусова вентиляція.

Система опалення ПРУ є загальною з опалювальною мережею будинків і повинна мати систему відключення.

Водозабезпечення ПРУ повинно здійснюватися від зовнішньої або внутрішньої водопровідної мережі. Норма використання води на одну людину - 25 л на добу. При відсутності водопроводу в укриттях передбачаються місця для розміщення баків з питною водою із розрахунку 3 л на добу на одну людину.

Електрозабезпечення ПРУ передбачається від загальної електромережі.

Параметри повітряного середовища та норми подачі повітря в ПРУ приймаються такими як для сховищ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Ця магістерська робота зосереджується на вивченні та удосконаленні технологічних процесів діагностики дизельних форсунок, зі спеціальним акцентом на акумуляторну паливну систему. В процесі дослідження було виявлено ключові аспекти, які впливають на ефективність та надійність дизельних форсунок, включаючи їх конструкційні особливості, режими роботи та потенційні відмови.

Було проведено глибокий аналіз сучасних методів діагностики, який виявив недоліки існуючих підходів, особливо у випадках, коли стандартні методи не забезпечують достатньої точності та ефективності. В роботі запропоновано нові методики та технічні рішення, спрямовані на підвищення точності діагностики та ефективності ремонту дизельних форсунок.

Особлива увага приділялася акумуляторній паливній системі, яка є ключовою для сучасних дизельних двигунів. Було доведено, що застосування новітніх діагностичних підходів та технологій може значно покращити діагностику та обслуговування цих систем, знижуючи ризик відмов та підвищуючи загальну надійність транспортних засобів.

В роботі також наголошується на важливості інтеграції нових технологій з існуючими системами діагностики та обслуговування. Подальше дослідження в цій області може привести до розробки більш інтегрованих та інтелектуалізованих систем, які будуть відігравати ключову роль у підвищенні ефективності обслуговування та ремонту дизельних двигунів.

У підсумку, ця робота робить важливий внесок у сферу діагностики та обслуговування дизельних форсунок, пропонуючи нові підходи та рішення, які можуть бути застосовані для підвищення ефективності та надійності дизельних транспортних систем.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни. Київ: Арістей, 2004. 476 с.
2. Робота дизелів на нетрадиційних паливах: навч. Посібник // В.А. Марков, А.І. Гайворонський, Л.В. Гріхів. - М.: Легіон-Автодата, 2008. - 464 с.
3. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни. Київ: Арістей, 2004. 476 с
4. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.
5. Гевко І.Б. Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Лещук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.
6. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.
7. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.
8. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.
9. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.

10. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.
11. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.
12. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.
13. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.
14. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2023, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.
15. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Lebid, I., Nevko, I., Khoroshun R Matviyishyn, A. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. Communications, 24(3), B247-B258.
16. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.
17. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom (2023) Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, 118, pp. 161-172. (Scopus).
18. Aulina, V., Kropivnya, V., Kuzyka, O., Lyashuk, O., Bosyia, M., Vovk, Y., Kropivnaa, A., Sokol, M., Senyk, A., Slobodyan, L. The Influence of Titanium as a Desferoidizing Element on the Stability of Production of Magnesium Cast Irons with Compacted Graphite (2021) Tribology in Industry - Kragujevac : University of Kragujevac, 4 (43), pp. 654-666. (Scopus).

19. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В. Вамболь, С. О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ; за ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. – Харків : ТОВ “ПромАрт”, 2021. – 202 с.

20. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І. П., Хом’як Й. В., Хом’як В. В. - 2-ге вид., стер. - Суми : Університетська книга, 2015. - 374 с.

21. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.