

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 БАКАЛАВРА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу ремонту системи живлення
бензинового двигуна 11174-114-30

Виконав: студент 4 курсу, групи МА-41
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Олександр
НАКОНЕЧНИЙ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Тетяна НАВРОЦЬКА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Марія СПРАВСЬКА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2024

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)

(прізвище та ініціали)

«29» січня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Наконечному Олександрові Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу ремонту системи живлення бензинового двигуна 11174-114-30

Керівник роботи Навроцька Т.Д., к.т.н., ст. викл.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 29 » січня 2024 року № 4/7-73

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2024

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес ремонту системи живлення бензинового двигуна 11174-114-30

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

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

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

Конструктивні елементи систем живлення сучасних двигунів – А1;

Елементи системи живлення двигунів – А1;

Можливі несправності інжекторної системи та методи їх усунення – А1;

Стенд для випробування форсунок – А1;

Технологічна карта на десонтаж паливного насоса – А1;

План зони ТО і ПР системи живлення – А1;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	к.т.н. доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 29.січня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	14.02.2024	
2	Технологічний розділ	13.03.2024	
3	Конструкторський розділ	17.04.2024	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	09.05.2024	
5	Оформлення графічної частини	21.05.2024	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	27.06.2024	

Студент

(підпис)

Олександр НАКОНЕЧНИЙ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Тетяна НАВРОЦЬКА

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Розроблення технологічного процесу ремонту системи живлення бензинового двигуна 11174-114-30».

Робота виконана на кафедрі автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра к.т.н., старший викладач Навроцька Т.Д.

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів і 54 сторінок формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини 2 сторінок додатків.

Ключові слова: ремонт, двигун, технологічний процес, відновлення, технічне обслуговування.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1 Типи систем подачі палива в бензинових двигунах сучасності.....	7
1.2 Структурні компоненти та функціонування систем подачі палива новітніх двигунів.....	
1.3. Постановка завдання на виконання кваліфікаційної роботи бакалавра...	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Найновіші інновації у впровадженні автомобільних електронних систем	17
2.2 Ознаки впливу дефектів паливної системи на функціонування бензинових двигунів.....	19
2.3 Фактори, що впливають на зниження тиску палива в колекторі акумуляції.....	21
2.4 Методи контролю тиску та стану компонентів паливної системи.....	22
2.5 Апаратура для виконання операцій.....	22
2.6 Вплив заниженого тиску палива в рампі на термічний баланс двигуна.....	25
2.7 Результати аналізу електромотора паливного насоса.....	26
2.8 Процес діагностичної роботи.....	26
2.9 Вихідних характеристик електричних паливних насосів під час симуляції штучних несправностей.....	31
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	43
3.1 Обчислення механізму для електричного насосу палива.....	43
3.2 Обчислення теплового балансу двигуна при адекватному та неадекватному тиску палива у рампі.....	44
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	47
4.1 Дія електричного струму на організм людини.....	47
4.2 Види місцевих електричних травм.....	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	51
БІБЛІОГРАФІЯ	52
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Бензинові двигуни, зокрема, потребують особливої уваги у контексті технічного обслуговування та ремонту, оскільки їхня ефективність безпосередньо впливає на економічність і екологічність автомобіля.

Система живлення є вирішальною складовою бензинового двигуна, оскільки вона забезпечує належне формування паливно-повітряної суміші, що є фундаментом для ефективного згоряння. Двигун 11174-114-30, який широко використовується у багатьох моделях транспортних засобів, вимагає особливого підходу до ремонту та обслуговування його системи живлення. На жаль, процеси ремонту часто ускладнені через відсутність стандартизації та уніфікації у підходах, що призводить до подовження часу ремонту та збільшення витрат.

Ця кваліфікаційна робота має на меті розробити оптимізований технологічний процес ремонту системи живлення двигуна 11174-114-30, який би враховував сучасні вимоги до якості ремонтних робіт, ефективності процесів та екологічних стандартів. Завданням дослідження буде аналіз існуючих методів, виявлення їхніх недоліків та розроблення нової, вдосконаленої методики, що сприятиме підвищенню довговічності двигунів, зниженню вартості ремонтів та покращенню загальної ефективності роботи двигуна.

Робота орієнтована на викладачів і студентів автомеханічних спеціальностей, інженерів-механіків, а також усіх, хто займається ремонтом та обслуговуванням автомобільних двигунів. Результати даного дослідження можуть бути використані на практиці в автосервісах та на виробництвах, де відбувається обслуговування та ремонт бензинових двигунів.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Типи систем подачі палива в бензинових двигунах сучасності

Системи впорскування палива для бензинових двигунів новітнього типу можуть бути класифіковані за кількома критеріями:

за локацією введення палива (центральне однокочкове, множинне впорскування, пряме впорскування у згорянні камери); залежно від способу та місця подачі палива, кожен тип має свої переваги та особливості, що впливають на ефективність згоряння та економічність двигуна. Центральне однокочкове впорскування використовує один інжектор для подачі палива у впускний колектор, що забезпечує простоту та знижену вартість системи. Множинне впорскування забезпечує кожен циліндр окремим інжектором, що покращує розподіл палива та підвищує ефективність двигуна. Пряме впорскування у згорянні камери вносить паливо безпосередньо в циліндри, що дозволяє досягти оптимального згоряння та зменшити викиди шкідливих речовин.

методом подачі палива (безперервне або імпульсне); залежно від обраного методу, можна оптимізувати роботу двигуна та зменшити витрати палива. Безперервне подавання палива забезпечує постійний потік палива до двигуна, що зазвичай використовується у більш старих або простіших двигунних системах і сприяє стабільності ходу двигуна, але може бути менш ефективним з точки зору споживання палива. Імпульсне подавання палива контролюється за допомогою електроніки, яка регулює відкриття інжекторів на короткі моменти, що дозволяє точніше дозувати кількість палива відповідно до поточних потреб двигуна. Це забезпечує краще управління паливною ефективністю та зниження емісій. типами пристроїв для подачі палива (плунжерні насоси, розподільні, з інжекторами, з контролерами тиску);

методами регуляції обсягу паливної суміші (пневматичний, механічний, електронний); вибір способу регулювання впливає на точність контролю за складом паливно-повітряної суміші та здатність двигуна пристосовуватися до різних режимів роботи. Пневматичне регулювання використовує зміни тиску повітря для керування кількістю палива, що впорскується, і часто зустрічається

в старіших системах. Механічне регулювання залежить від фізичних налаштувань і регуляторів, які можуть вимагати частішого обслуговування, але забезпечують надійність в умовах, де електроніка може бути недоречною. Електронне регулювання використовує датчики і комп'ютерні алгоритми для найточнішого контролю над введенням палива і повітря, дозволяючи оптимізувати роботу двигуна для забезпечення максимальної потужності, економічності та зниження шкідливих викидів.

методами контролю за складом суміші (вакууметричний тиск у впускній системі, кут нахилу дросельної заслінки, обсяг спожитого повітря); ці параметри дозволяють точно налаштувати вміст паливно-повітряної суміші для оптимального згорання. Вакууметричний тиск у впускній системі використовується для оцінки потреб двигуна у повітрі, а кут нахилу дросельної заслінки допомагає регулювати швидкість і об'єм впускаемого повітря. Обсяг спожитого повітря є критичним показником, який впливає на кількість палива, необхідного для збереження оптимального співвідношення у паливній суміші. Ці методи разом забезпечують динамічне і адаптивне управління двигуном, що відповідає різним умовам експлуатації та дозволяє досягти кращих показників потужності та ефективності.

1.2 Структурні компоненти та функціонування систем подачі палива новітніх двигунів

На зображенні 1.1 представлена інжекторна система подачі палива з електронним керуванням.

Варто зазначити, що такі системи можуть класифікуватись за кількістю інжекторів та локацією їх розташування на моноінжекторні (одноточкові), див. рис. 1.2, та індивідуальні для кожного циліндра, де кожен циліндр оснащений окремим інжектором. Це дозволяє вводити паливо прямо во впускний канал на конічну поверхню впускного клапана, що ініціює вихровий рух газопаливної суміші в камері стиснення індивідуального циліндра, див. рис. 1.3.

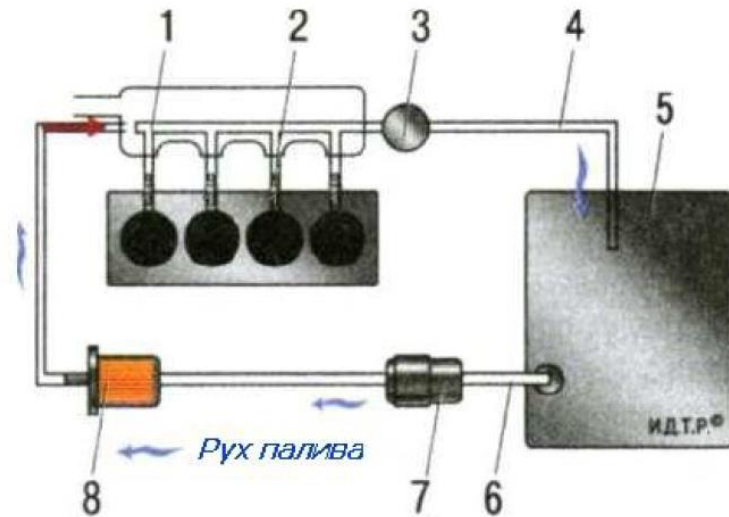


Рис. 1.1. Інжекторна система подачі палива з електронним керуванням.

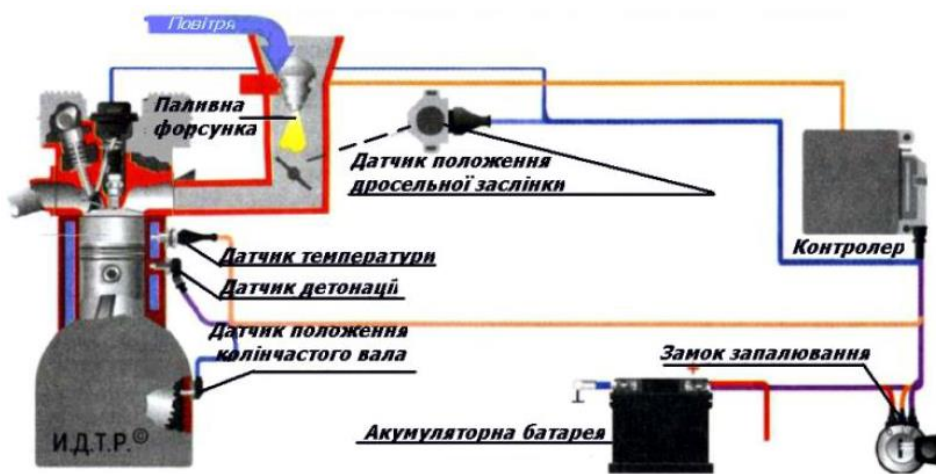


Рис. 1.2. Графічне представлення моноінжектора.

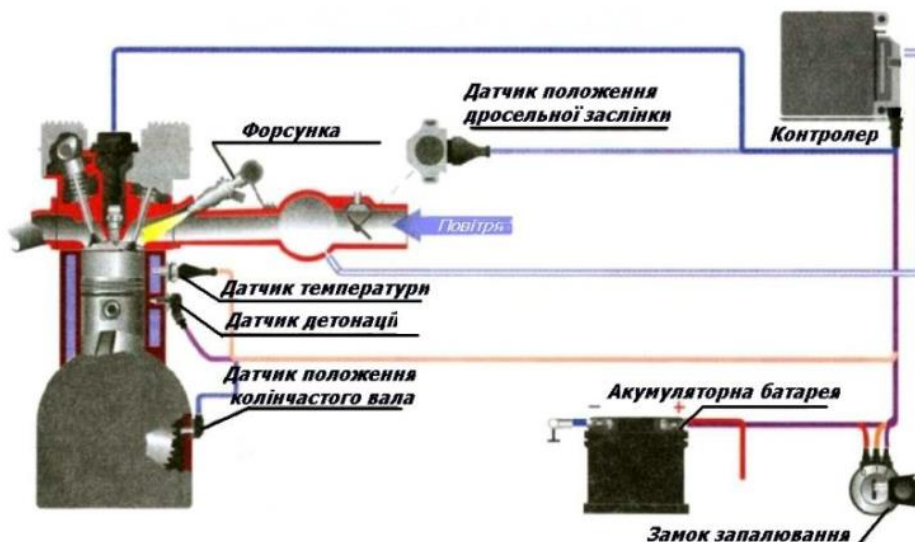


Рис. 1.3. Графіка комплексного інжектора для системи подачі палива.

У системі моноінжекції, потоки паливно-повітряної суміші спрямовуються через колектор до циліндрів двигуна подібно до того, як це відбувається в карбюраторних системах бензинових двигунів.

Наразі, сучасні автомобілі оснащені системами інжекції, які контролюються виключно за допомогою електронних процесорів.

До переліку основних компонентів базових інжекторних систем можна додати наступні елементи:

Датчик кисню (лямбда-зонд) - вимірює вміст кисню в вихлопних газах для оптимального управління складом паливно-повітряної суміші.

Датчик масового потоку повітря - визначає кількість повітря, що надходить в двигун, що допомагає ЕБУ регулювати кількість впорскуваного палива.

Датчик атмосферного тиску - допомагає адаптувати роботу двигуна до змін умов навколишнього середовища (наприклад, висота над рівнем моря).

Датчик температури повітря, що надходить - використовується для коригування густини повітря та оптимального управління впорскуванням палива.

Датчик положення педалі акселератора - дає інформацію про ступінь натискання педалі газу, що впливає на кількість палива, що впорскується.

Зазвичай, інжекторні системи оснащуються електричними роторними насосами з роликівим механізмом, див. рис. 1.4.

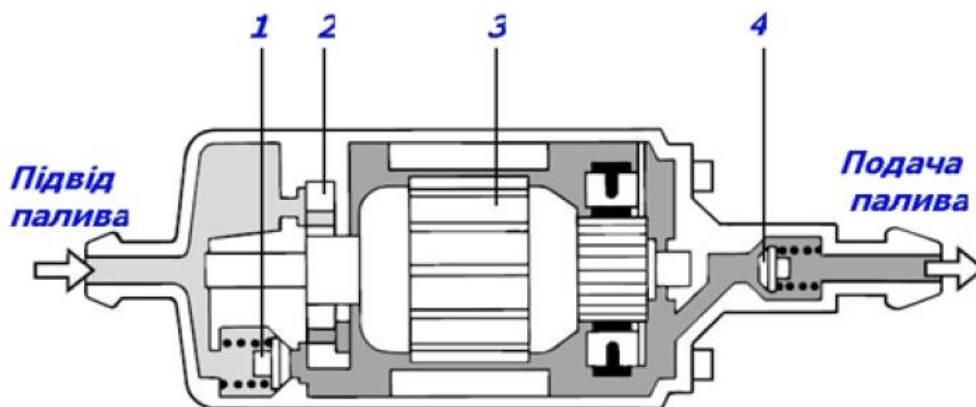


Рис. 1.4. Роторно-роликівий електричний бензиновий насос:

1 – клапан перепуску. 2 - бензиновий насос роторно-роликівий конструкції. 3 – електричний двигун. 4 – клапан нагнітання.

На рис. 1.5 представлено електричний паливний насос разом з додатковими компонентами конструкції.

Зазвичай його монтують усередині паливного бака, звідки паливо під тиском понад 0.3 МПа транспортується до рампи системи.



Рис. 1.5. Загальний вид електричного бензинового насосу.

На рис. 1.6 представлено електромагнітний паливний інжектор складається з декількох ключових компонентів: корпусу, соленоїда, плунжера, пружини та форсунки. Коли на соленоїд подається електричний струм, він створює магнітне поле, яке змушує плунжер переміщатися, відкриваючи або закриваючи отвір форсунки, через який паливо потрапляє в камеру згоряння.

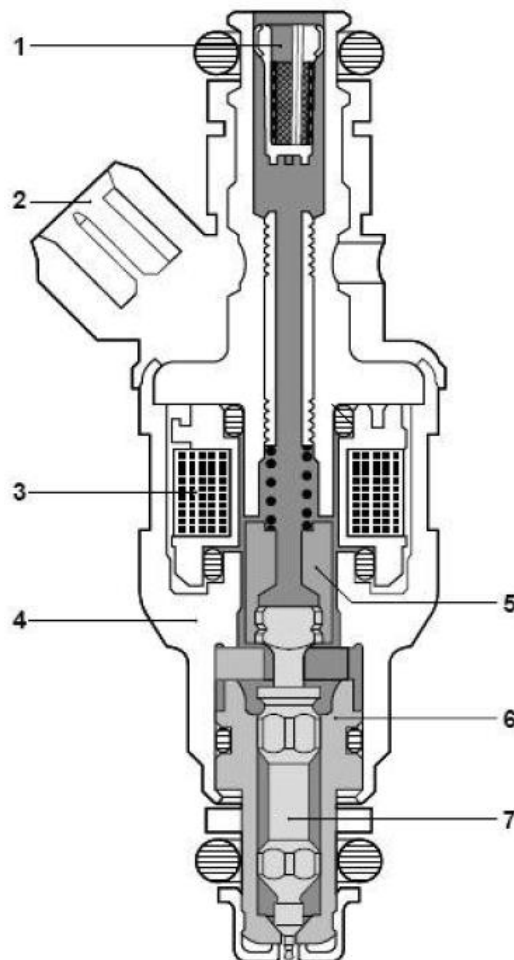


Рис. 1.6. Інжекторний паливний інжектор.

Регулятор тиску палива на рампі, представлений на рис. 1.7, забезпечує належний градієнт тиску палива в інжекторах у порівнянні з тиском повітряного заряду в інтейку. Його ключовим робочим елементом є мембранний клапан, який монтований прямо на рампі паливної системи двигуна.

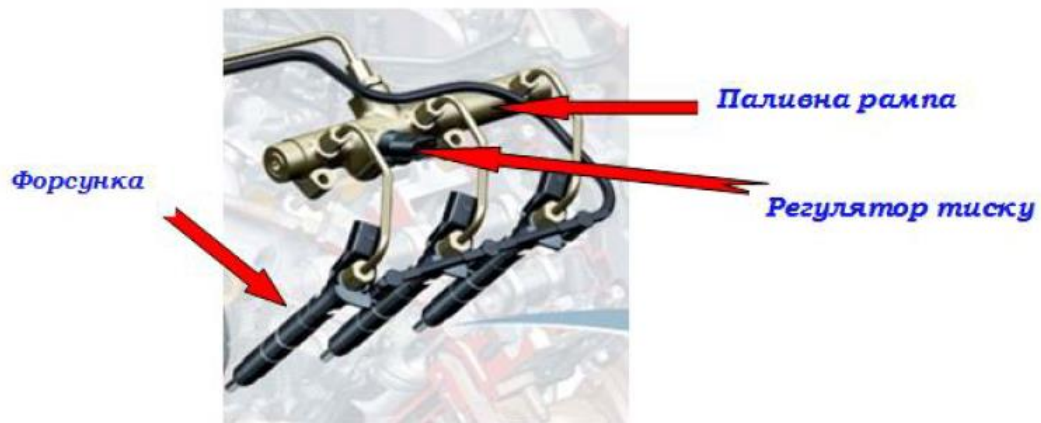


Рис. 1.7. Акумуляюча рампа з електромагнітними інжекторами.

Під час водіння автомобіля, при зростанні навантаження на двигун, регулятор активізується та збільшує тиск палива у рампі, що має прямий зв'язок з інжекторами. При зменшеному навантаженні тиск знижується, що призводить до перерозподілу зайвого палива назад у паливний резервуар через паливні лінії.

Бортовий електронний блок управління виступає як центральний контрольний елемент, ефективно функціонуючи як мозок системи. Він обробляє дані, отримані від датчиків, що забезпечує згуртоване управління паливною системою. Цей блок неперервно аналізує інформацію про стан бортової системи транспортного засобу, включаючи його швидкість, положення і обороти колінчастого та розподільних валів, ступінь відкриття дросельної заслінки, об'єм повітряного заряду, температуру охолоджувальної рідини, наявність детонації та рівень кисню в відпрацьованих газах.

Агреговані дані від датчиків дозволяють блоку управління керувати такими системами як запалювання, регулятор холостого ходу, вентилятор системи охолодження, адсорбер для збору парів бензину (застосовується активоване вугілля), а також системою самодіагностики, що відображає коди помилок або активує індикатор перевірки на панелі приладів автомобіля. Рисунок 1.8 демонструє блок управління.



Рис. 1.8. Електронний блок управління для інжекторної системи.

Під час функціонування двигуна внутрішнього згоряння можуть виникнути збої в роботі окремих виконавчих компонентів системи. У таких випадках, електронний блок управління (ЕБУ) негайно відгукується на ці порушення та інформує водія за допомогою сигнальної лампи "CHECK ENGINE" або піктограми, що зображує двигун. Оперативна пам'ять бортового комп'ютера фіксує діагностичні коди, що допомагають визначити місця виникнення несправностей.

Тоді діагностичні фахівці транспортних засобів, використовуючи сканувальне обладнання для аналізу бортової електронної системи автомобіля, здійснюють читання цієї інформації і ефективно визначають джерела несправностей, після чого проводять необхідні ремонтні роботи для відновлення системи.

Наступним ключовим компонентом, який забезпечує належну функціонування системи, є сенсор положення дросельної заслінки, розміщений на вході повітряного каналу та безпосередньо з'єднаний з механізмом дроселя (валом), див. рис. 1.9. Цей сенсор функціонує як потенціометр. Коли водій натискає на педаль газу, дросельна заслінка обертається, що веде до зміни напруги на виході. Електронний блок управління, отримуючи ці дані, аналізує їх і вносить корективи у кількість подаваного палива через інжектори в циліндри двигуна.



Рис. 1.9. Сенсор положення дросельної заслінки.

Сенсор температури охолоджувальної рідини в системі охолодження функціонує як терморезистор, резистанс якого змінюється в залежності від температури: зростає при низькій температурі та знижується при високій. Цей сенсор розміщений в області циркуляції охолоджувальної рідини двигуна. Електронний блок управління реагує на зміни напруги, відповідно до різних температур, і проводить необхідні корекції. Температуру можна точно визначити тільки після підключення до ЕБУ через спеціальний адаптер. Показники температури на інформаційній панелі автомобіля і в бортовому комп'ютері мають бути однаковими, хоча сенсори для кожного вузла є різними та мають індивідуальне підключення.

Сенсор оборотів колінчастого валу, рис. 1.10. Цей електронний компонент відповідає за управління роботою електромагнітних інжекторів. Відомості від сенсора про положення колінчастого валу двигуна надходять до ЕБУ, яке засновано на цих даних регулює послідовність роботи циліндрів. Далі, електричні імпульси послідовно передаються на соленоїди інжекторів, активуючи їх для відкриття у визначеному порядку дії циліндрів.



Рис. 1.10 Сенсор положення колінчастого валу.

Сучасні паливні системи з індивідуальною подачею палива вирізняються порівняно з базовим інжектором завдяки включенню декількох додаткових компонентів: лямбда-сенсор, каталізатор, сенсор детонації, та датчик температури впускного повітря.

На рис. 1.11 показане розташування інжектора в корпусі головки блоку циліндрів.

Центральним управляючим елементом системи інжекції є окремий мікропроцесорний блок. Цей блок управляється через систему зворотного зв'язку і автоматично регулює час запалювання робочої суміші в кожному циліндрі, залежно від ряду параметрів: положення розподільчого валу, швидкості обертання колінчастого валу, навантаження на двигун, стан

дросельної заслінки, температурних умов і показників сенсора детонації. Електронний блок управління сучасного бензинового двигуна інтегровано координує роботу систем інжекції та запалювання, див. рис. 1.12.

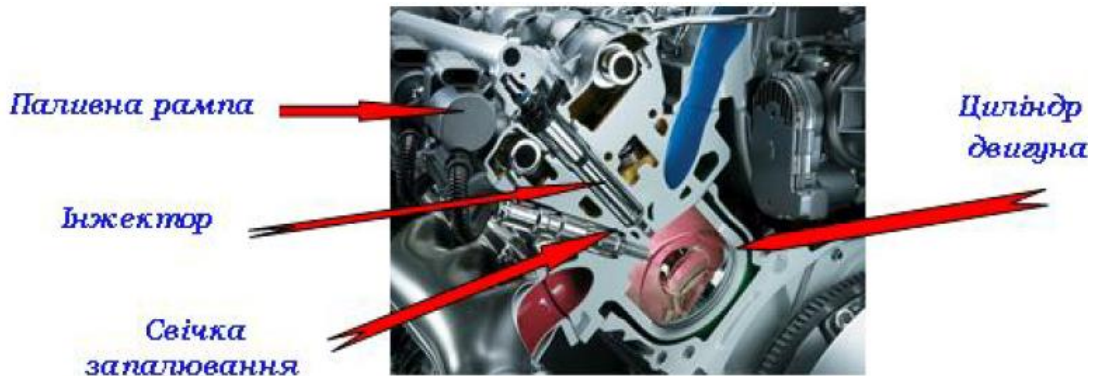


Рис.1.11. Основні компоненти інжекторної паливної системи.

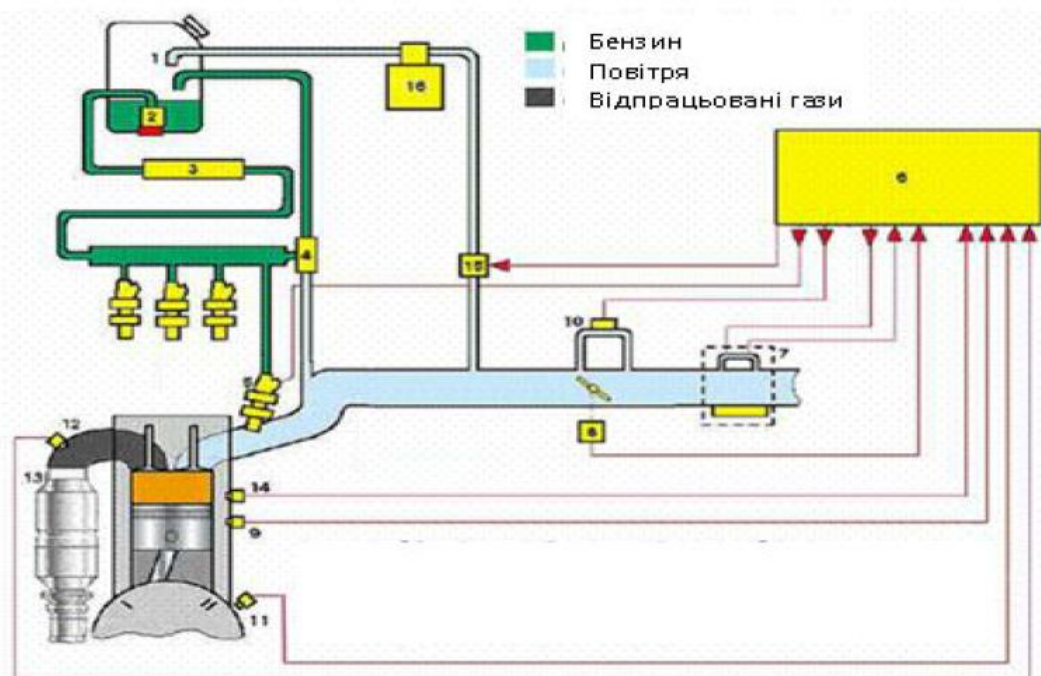


Рис. 1.12. Діаграма розташування ключових компонентів електронної системи інжекції.

1.3 Постановка завдання на виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Ознайомитися з новітніми інноваціями у впровадженні автомобільних електронних систем. Дослідити ознаки впливу дефектів паливної системи на функціонування бензинових двигунів. Проаналізувати фактори, що впливають

на зниження тиску палива в колекторі акумуляції. Вивчити методи контролю тиску та стану компонентів паливної системи. Ознайомитися з апаратурою для виконання операцій. Проаналізувати вплив заниженого тиску палива в рампі на термічний баланс двигуна. Розглянути результати аналізу електромотора паливного насоса.

Вивчити процес діагностичної роботи. Проаналізувати вихідні характеристики електричних паливних насосів під час симуляції штучних несправностей.

Виконати розрахунки механізму для електричного насоса палива. Обчислити тепловий баланс двигуна при адекватному та неадекватному тиску палива у рампі.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Найновіші інновації у впровадженні автомобільних електронних систем

Зі зростанням автомобільної промисловості збільшується і використання електронних бортових систем у автомобілях. Нещодавно, електронне управління такими системами як гальма, інжекція палива та інші механізми стали вершиною досягнень у галузі сучасного автомобілебудування.

На сьогоднішній день, такі електронні системи вважаються стандартними та широко використовуються в більшості транспортних засобів. Зі стрімким прогресом в області електроніки, останні моделі автомобілів отримують оновлення, включаючи встановлення інноваційних автоматичних систем на борту, таких як мікропроцесорне інформаційне обладнання для водія, супутникові навігаційні системи, системи для покращення комфорту салону, круїз-контроль та інші електронні системи. Також почали застосовуватися голосові системи управління, здатні обробляти неоднозначні мовні сигнали, що дозволяє підвищити точність та швидкість обробки інформації.

Активно досліджуються електромагнітні клапани в механізмі газорозподілу двигуна з електронним управлінням.

В залежності від поставлених завдань, нова система базується не лише на електричних та електронних компонентах, а й на механічних, оптичних, ультразвукових чи інших пристроях. Ці системи отримали назву автотронічні системи. Вони керовані процесами, які не є електричними, передаються за допомогою неелектричних медіа на виході та управляються за допомогою сигналів неелектричного походження.

Як приклад, розглянемо автотронне управління насос-форсунками, що застосовуються у системах високотискного впорскування бензину, рис. 2.1. Ці насос-форсунки почали використовувати у 2000 році на експериментальних двигунах легкових автомобілів компанії TOYOTA. Управління здійснюється за допомогою електронної системи Б (автотронного управління інжекцією EsauB) через високошвидкісний електрогідравлічний клапан (2). Тут, неелектричні

для запалення). Далі, процес горіння палива при надлишку кисню продовжується через «відкрите полум'я», що сприяє економії до 35% палива, зменшенню викидів чадного газу - CO, вуглеводнів - CH, а також підвищенню специфічної потужності двигуна.

Для збільшення надійності функціонування електричних та електронних систем сучасних автомобілів буде впроваджена робоча мережа з напругою 42 В. Це забезпечить енергопостачання для нових енергоінтенсивних споживачів: більш потужні електромотори, електромагнітні гідроклапани, електромагнітні соленоїди, сильніші електродвигуни, потужні електронні комутатори та інше.

Таким чином, для швидкого та ефективного виконання діагностичних робіт стосовно системи подачі палива сучасного бензинового двигуна, необхідно застосовувати новітні діагностичні інструменти. Вони дозволяють детально фіксувати показники робочих параметрів електронних компонентів двигуна. У даному контексті, особливу увагу приділяється вимірюванню тиску палива в акумуляційній рампі «СОП» системи.

Отже, для оперативного та точного діагностування системи живлення бензинових двигунів важливо використовувати сучасні діагностичні пристрої. Ці інструменти забезпечують точне зчитування та аналіз робочих характеристик електронних компонентів двигуна. Зокрема, акцент робиться на вимірюванні тиску палива у накопичувальній рампі «СОП» системи, що є ключовим для забезпечення оптимальної роботи двигуна.

2.2 Ознаки впливу дефектів паливної системи на функціонування бензинових двигунів

У процесі експлуатації автомобілів з сучасними бензиновими двигунами часто спостерігаються наступні проблеми, що вказують на неправильну роботу двигуна:

Ускладнене запалювання двигуна в холодному стані означає, що автомобільний двигун важко запускається, коли він холодний або стоїть без дії протягом тривалого часу, особливо у холодну погоду. Це може бути пов'язано з кількома факторами:

Зниження ефективності акумулятора. В холодних умовах здатність акумулятора забезпечувати достатньо струму для обертання стартера може знижуватися, що уповільнює процес запуску двигуна.

Згущення моторної олії. При низьких температурах моторна олія стає густішою, що ускладнює її циркуляцію в двигуні і підвищує опір обертанню двигуна стартером.

Проблеми з паливною системою. Можуть виникнути проблеми з паливоподачею, зокрема конденсат, який утворюється у паливній системі, може замерзати, перешкоджаючи нормальному потоку палива.

Неефективність системи запалювання. Неідеальний стан свічок запалювання або неполадки в електричній системі можуть заважати генерації достатньої іскри для запуску двигуна.

Нестабільне функціонування двигуна на холостих обертах відбувається, коли двигун не може підтримувати рівномірні оберти при відсутності навантаження (наприклад, коли автомобіль стоїть на місці або переміщується на нейтральній передачі). Цей стан може виявлятися в коливаннях обертів двигуна, ривках або навіть випадкових зупинках двигуна. Ось кілька часто зустрічаємих причин такої поведінки:

Забруднені або зношені компоненти системи подачі повітря. Брудні повітряні фільтри, засмічені дросельні заслінки або несправні датчики масового потоку повітря можуть перешкоджати нормальному повітряному потоку в двигун, що призводить до нестабільної роботи.

Проблеми з паливною системою. Неякісне паливо, забруднені паливні фільтри, зношені паливні насоси або неправильно налаштовані форсунки можуть знижувати ефективність подачі палива, що також сприяє коливанню обертів.

Несправності в системі запалювання. Старі або забруднені свічки запалювання, проблеми з високовольтними проводами або несправні котушки запалювання можуть спричинити погане горіння палива, що веде до нерівномірної роботи двигуна.

Збої в електронному управлінні двигуном. Пошкоджені датчики (наприклад, датчик положення колінчастого валу або датчик положення

розподільного валу), неправильні налаштування в блоку управління двигуном або проблеми з програмним забезпеченням можуть викликати збої у роботі двигуна.

Коли двигун стартує, але майже відразу згасає, це може вказувати на кілька потенційних проблем у системах автомобіля, які вимагають уваги. Ось детальний розгляд найпоширеніших причин такої поведінки двигуна:

Засмічені паливні фільтри - якщо фільтр забруднений, це може перешкоджати нормальній подачі палива до двигуна.

Нефункціональні паливні насоси - якщо паливний насос не забезпечує адекватний тиск, двигун не отримає потрібної кількості палива.

Витік у паливній системі - можливі витіки у паливній системі можуть також знижувати тиск, необхідний для ефективної роботи двигуна.

Коли двигун автомобіля виявляє пропуски у роботі та ривки при прискоренні, це часто свідчить про проблеми з ефективністю горіння палива або нерівномірним подаванням потужності. Такі проблеми можуть значно впливати на загальну продуктивність та комфорт водіння. Ось деякі з основних причин, які можуть призводити до такої поведінки двигуна:

Зношені або брудні свічки запалювання. Якщо свічки запалювання старі або забруднені, вони можуть не здатні створювати достатню іскру для оптимального горіння палива.

Пошкоджені високовольтні проводи: Пошкоджені або старі високовольтні проводи можуть не ефективно передавати високу напругу від котушки до свічок, що призводить до пропусків у роботі.

Нефункціональні котушки запалювання. Несправні котушки можуть викликати з паливною системою:

Забруднені або несправні форсунки. Якщо форсунки забруднені або не працюють належним чином, паливо може подаватися нерівномірно, що призводить до ривків при прискоренні.

Паливний фільтр, що засмічується. Засмічений паливний фільтр може обмежувати потік палива до двигуна, що також веде до зниження потужності та ривків.

Брудний або несправний MAF. Цей датчик вимірює кількість повітря, що надходить до двигуна, і надсилає цю інформацію до блоку управління двигуном для регулювання подачі палива. Якщо датчик дає неправильні показники, це може спотворювати співвідношення повітря та палива, викликаючи нестабільну роботу двигуна.

Забитий каталізатор. Якщо каталізатор забитий, це може обмежувати вихід вихлопних газів з двигуна, зменшуючи його продуктивність та спричиняючи ривки під час прискорення.

Зниження потужності двигуна - це поширена проблема, яка може виникати з різних причин і впливати на загальну продуктивність автомобіля. Коли двигун не в змозі розвинути очікувану потужність, водій може відчувати, що автомобіль став менш відгуковим, особливо при спробах прискорення або під час підйому.

2.3 Фактори, що впливають на зниження тиску палива в колекторі аккумуляції

Наслідки низького тиску палива в колекторі аккумуляції системи подачі палива можуть включати:

- засмічення паливного фільтра;
- некоректна діяльність регулятора тиску палива в колекторі;
- втрата герметичності на стиках паливних ліній.

Додатково, ці проблеми можуть призвести до зменшення продуктивності двигуна, підвищення витрати палива, а також до ускладнення запуску двигуна, що може спричинити нестабільність роботи на холостих обертах.

2.4 Методи контролю тиску та стану компонентів паливної системи

Для визначення тиску палива в рампі паливної системи бензинового двигуна застосовують такі методи:

- використання манометра (нормальний тиск має бути в межах від 2,5 - 3,5 бар при вимкненому двигуні);

оцінка герметичності паливних ліній;

перевірка фільтруючого елемента в паливному модулі всередині баку на предмет забруднення;

тестування роботи паливного насоса у паливному баку, яке включає спостереження за активацією відповідного реле та наявністю характерного звуку насоса при запалюванні з відкритою кришкою баку;

огляд регулятора тиску палива на паливній рампі;

діагностика регулятора холостого ходу, що включає перевірку на підсмоктування повітря впускним колектором, що може викликати обеднення суміші та погану роботу свічок запалювання;

тестування редукційного клапана електричного паливного насоса для забезпечення правильної роботи системи.

Ці перевірки допомагають забезпечити надійність паливної системи та виявити потенційні проблеми, які можуть впливати на загальну продуктивність та ефективність двигуна.

2.5 Апаратура для виконання операцій

У рамках виконання експериментально-діагностичних завдань з метою відновлення функціонування бензинового двигуна з точковим введенням палива, ми вибрали для аналізу систему подачі палива. Для цих цілей ми застосували наступне обладнання:

Автомобіль ВАЗ-1117 з об'ємом двигуна 1.4 літра, оснащений розширеною інжекторною системою та системою запалювання СОР, див. рис. 2.1;



Рис. 2.1. Система інжекційного впорскування палива автомобіля ВАЗ-1117.

Комп'ютер та адаптер-сканер «ХТУ DIAG» для підключення до бортової електронної системи автомобіля, див. рис. 2.2;

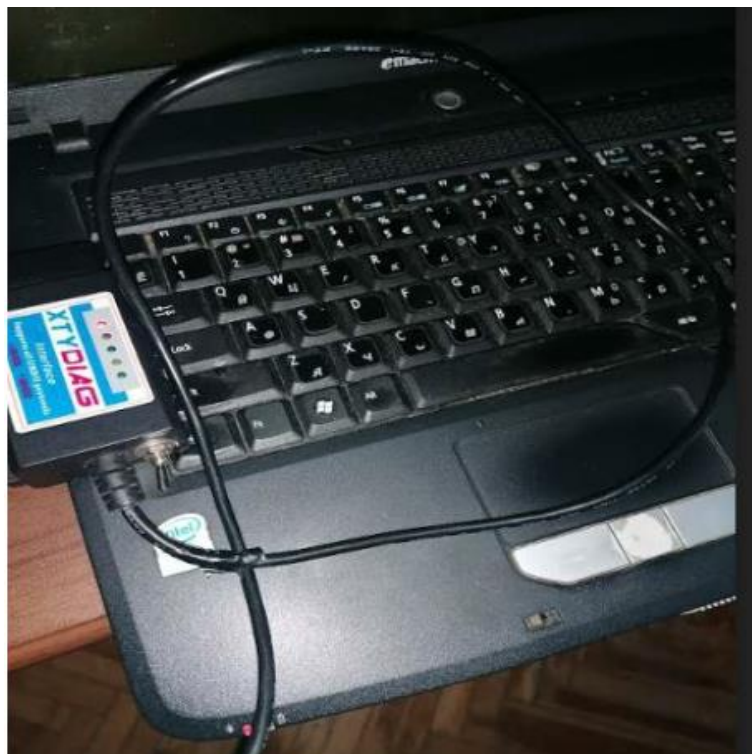


Рис. 2.2. Апаратура для комп'ютерної перевірки паливної системи бензинового двигуна.

Програма «Ouren-Diag» для отримання даних з електронного блоку управління двигуном;

Манометр, який застосовується для виміру тиску в акумуляційній рампі паливної системи, див. рис. 2.3;



Рис. 2.3. Прилад для контролю тиску палива в рампі.

На рис. 2.4 демонструється точка приєднання компресометра до акумуляційної шини паливної системи двигуна.



Рис.2.4. Діагностичний адаптер акумуляційної шини.

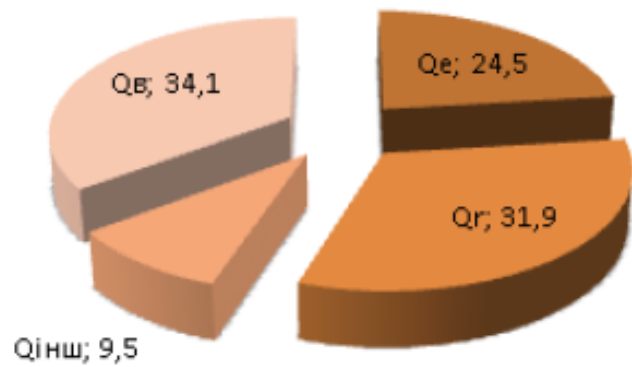
Таким чином, застосування наведеного вище устаткування забезпечує можливість швидкого дослідження причин неправильної роботи двигуна з точковим введенням палива.

Представлено устаткування для комп'ютерної діагностики електронного блоку управління бензинового двигуна автомобіля ВАЗ-1117.

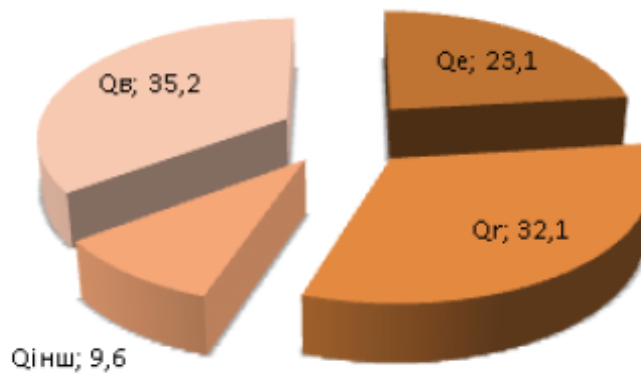
Вибрано манометр, що дозволяє за допомогою механічного методу здобути дані про рівень тиску в рампі паливної системи аналізованого двигуна.

2.6 Вплив заниженого тиску палива в рампі на термічний баланс двигуна

За встановленою методикою, визначено термічний баланс для робочої та з неадекватним тиском паливної системи аналізованого бензинового двигуна, результати чого представлено у формі діаграм на рис. 2.5.



а



б

Рис. 2.5. Графіки термічного балансу двигуна з об'ємом циліндрів $V = 1,4$ у автомобілі ВАЗ 1117:

а) з функціонуючою паливною системою; б) зі зниженим тиском у паливній рампі.

Аналіз графіків термічного балансу демонструє, що робота бензинового двигуна зі зниженим тиском у рампі знижує кількість генерованої ефективної теплоти в циліндрах двигуна на 1,4% у порівнянні з нормально функціонуючою системою.

2.7 Результати аналізу електромотора паливного насоса

Для електромотора паливного насоса (у різних умовах роботи двигуна) значення пускового струму, напруги електричної системи, опору обмотки ротора, взаємодії магнітних полів, а також крутного моменту ротора представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Параметри електромотора паливного насоса.

Пусковий струм, А	Напруга у бортовій мережі, В	Опір обмотки якоря, Ом	Сила магнітного поля F_1 , Н	Сила магнітного поля, F_2 Н	Крутний момент якоря, Н м	Тиск палива, (Bar)
5	12	3	10	10	0,24	6,5 -7

2.8 Процес діагностичної роботи

Причинами проблем з запуском двигуна в холодну пору можуть бути недостатня акумуляторна здатність, згущення моторної олії, яка ускладнює рух рухомих частин двигуна, або недоліки в системі запалювання, такі як старі або зношені свічки запалювання. Також слід врахувати, що низькі температури можуть вплинути на хімічні реакції всередині акумулятора, знижуючи його ефективність.

Що стосується проблемного циліндра, варто перевірити кілька ключових аспектів:

Система запалювання. Перевірка стану свічок запалювання, високовольтних проводів та котушки запалювання може виявити потенційні причини збоїв у роботі циліндра.

Паливна система. Перевірка форсунок, паливного фільтра та паливного насоса на предмет забруднення або зносу, що може перешкоджати нормальній подачі палива.

Механічні компоненти. Перевірка компресії в циліндрі може виявити механічні недоліки, такі як зношені кільця або проблеми з клапанами.

Індикатор на приладовій панелі, що попереджає про несправність двигуна, може активізуватися через різні причини, включно з проблемами, пов'язаними з викидами вихлопних газів, що може вимагати додаткового діагностування з використанням спеціалізованого діагностичного обладнання. Регулярне технічне обслуговування та своєчасна заміна зношених частин можуть допомогти уникнути більшості з цих проблем.



Рис. 2.6. Повідомлення про поломку двигуна.

При підключенні діагностичних інструментів до бортової системи автомобіля здобуто наступні дані дослідження, див. рис. 2.7.

За результатами діагностики було виявлено значне збільшення пропусків в роботі другого циліндра — 1156 випадків. Під час інспекції свічки запалення другого циліндра з'ясувалося, що її контактна частина суха та має жовто-сірий відтінок, що може вказувати на недостатнє збагачення паливної суміші, яка подається в камеру стиснення. Цей колір свічки може також вказувати на високу температуру горіння, що може бути викликано підвищеним рівнем кисню або недостатнім подаванням палива.

Додатково, активізація індикатора «Чек» на приладовій панелі свідчить про підвищений вміст кисню в відпрацьованих газах, що фіксує датчик «Лямбда-зонд». Це може свідчити про витік в вихлопній системі або проблеми з вихлопними клапанами, які також можуть сприяти підвищеному рівню кисню у вихлопних газах.

Щоб глибше зрозуміти проблему, рекомендується перевірити систему подавання палива на предмет засмічень у паливному фільтрі чи несправностей у паливному насосі, які можуть обмежувати подавання палива до другого циліндра. Також можливе проведення тесту компресії для визначення стану циліндра та його компонентів, що дозволить виявити можливі механічні пошкодження або знос.

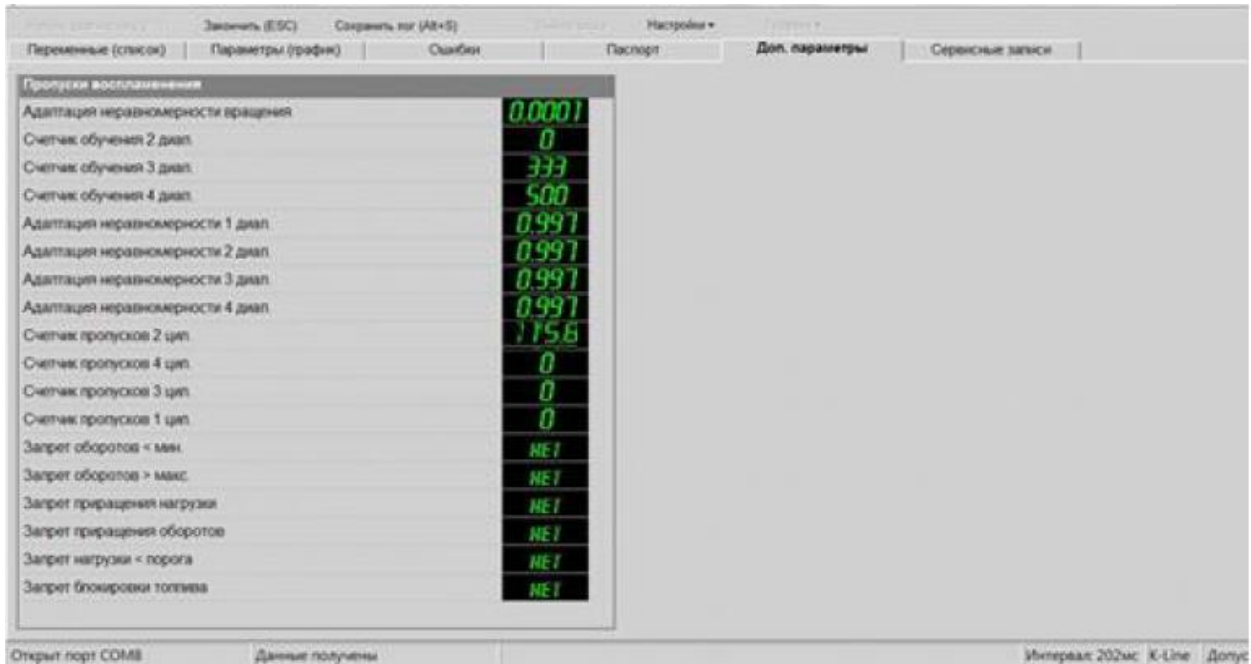


Рис. 2.7. Висновки з комп'ютерної діагностики за допомогою програми «OpenDiag Free».

На рис. 2.8. показано падіння тиску палива у паливній рампі.



Рис.2.8. Знижений тиск палива в рампі.

Виходячи з даних манометра, тиск у паливній шині на холостих обертах після запуску двигуна в холодних умовах становив 2,5 бар. Це значення є нижчим за оптимальне для ефективного функціонування двигуна, що може призводити до нестабільної роботи та зменшення ефективності горіння палива. Після деактивації регулятора тиску шляхом від'єднання вакуумного шланга, тиск у шині зріс до 3 бар. Це свідчить про те, що регулятор тиску мав вирішальне значення у контролі тиску палива, і його діяльність могла бути обмежена вакуумним контролем.

На рис. 2.9. відображено діаграму тиску палива зі справним та дефектним вакуумним регулятором.

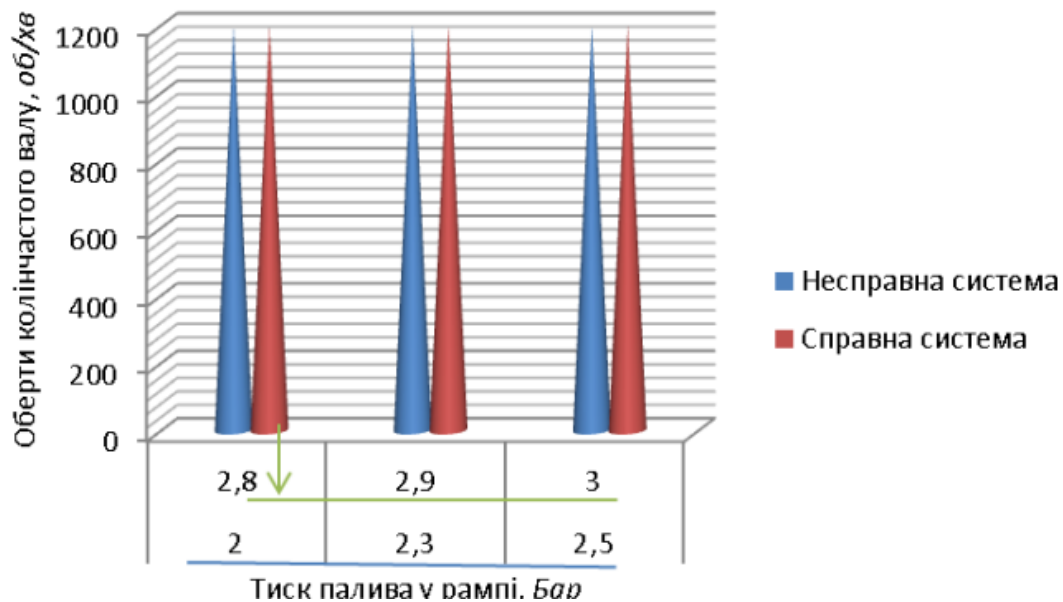


Рис. 2.9. Графік тиску палива в рампі.

Це підтвердження поломки регулятора тиску палива в шині. Внаслідок цього збою відбулося неефективне розпилення палива, що негативно вплинуло на процес горіння робочої суміші в циліндрі двигуна.

На основі проведеного термічного аналізу встановлено, що зниження тиску палива в шині призводить до зменшення виділення ефективної теплоти на 1,4%. Це впливає на термодинамічну ефективність двигуна та може спричинити підвищене витрачання палива.

Під час комп'ютерної діагностики електронного блоку управління двигуном було ідентифіковано численні проблеми з роботою другого циліндра, що можуть свідчити про неполадки у системі запалювання або в паливній системі специфічно для цього циліндра.

Використання манометра показало, що тиск палива в акумулюючій шині на момент холодного старту двигуна складає всього 2,5 бар, що є нижчим за оптимальний рівень для нормальної роботи двигуна. Це може призводити до недостатнього впорскування палива, що погіршує загальну продуктивність та може спричинити збільшення токсичності вихлопних газів.

Аналіз виявив, що основною причиною зниження тиску палива є несправність вакуумного регулятора тиску. Ця деталь критично важлива для підтримання заданого тиску палива, особливо під час зміни навантаження на

двигун. Рекомендується негайно замінити вакуумний регулятор тиску для уникнення подальших ускладнень і збереження нормальної роботи двигуна.

Також було б корисно перевірити інші компоненти паливної системи, такі як паливні фільтри та лінії, на предмет засмічень або витоків, які також можуть сприяти зниженню тиску. Це забезпечить ґрунтовний підхід до діагностики та вирішення проблеми.

2.9 Вихідних характеристик електричних паливних насосів під час симуляції штучних несправностей

Мета цього теоретичного дослідження полягає у визначенні взаємозв'язків та закономірностей у процесі подачі палива, які використовуються як база для обґрунтування тестових параметрів та розроблення методів тестування, що дозволяє оцінити ефективність роботи електричних паливних насосів (ЕПН).

Інноваційність підходу виявляється у визначенні технічного стану електричних паливних насосів сучасних автомобілів через комплексний контроль механічних, електричних і гідравлічних складових ЕПН. В цьому контексті:

Розробляється тестовий режим у вигляді зміни напруги живлення ЕПН, при цьому відстежується реакція насоса на тестові втручання у вигляді зниження тиску і подачі ЕПН в умовах, що симулюють критичні ситуації.

Під час симуляції штучного забруднення паливної лінії шляхом встановлення послідовного опору (сопла) визначаються граничні показники зниження подачі та тиску при відмові ЕПН. Крім того, задаються межі струмового навантаження (швидкість струму) для виявлення ступеню засмічення паливних фільтрів і ліній.

При монтажі гідравлічних опорів (сопел) у паливній лінії паралельно ЕПН визначаються граничні зниження струму подачі насоса, пов'язані зі зменшенням гідравлічного опору в загальній паливній лінії. На основі цих даних класифікують несправності як з підвищенням, так і зі зниженням гідравлічного опору.

При моделюванні критичних умов через встановлення сопел і зниження напруги живлення створюються умови, які сприяють виявленню заїдання ЕПН і виявленню прихованих та накопичених дефектів, що можуть призводити до заїдання насосу.

Розробляється складний алгоритм для визначення технічного стану системи подачі палива та ЕПН зокрема, в рамках послідовних тестових заходів.

У цьому дослідженні ми зосередили увагу на експериментальному аналізі параметрів струмової швидкості, напруги та опору електричного паливного насоса (ЕПН) у зв'язку зі змінами розміру потоку фільтруючого елемента. Отримані теоретичні залежності зміни споживання струму від параметрів подачі палива, тиску і швидкості обертання ротора можна використовувати як діагностичні показники для оцінки технічного стану ЕПН.

Під час вивчення процесу серійної подачі палива необхідно створити математичну модель для опису формування тиску палива, подачі, загального енергоспоживання ЕПН та значень електричних параметрів I , U , R .

Електричний насос є важливим структурним і технічним компонентом паливної системи, параметри якого визначають значення функціональних (P , Q , n), електричних (I , U , R) та конструкційних параметрів (ϵ , y). Відповідно, коли функціональні параметри змінюються на Δ (ΔP , ΔQ) під час роботи, вони корелюють з електричними параметрами I , U , R . Наше дослідження та аналітичний опис дозволять обґрунтувати тестовий параметр технічного стану ЕПН.

Давайте розглянемо баланс поданої та переданої енергії в паливній системі. Для цього ми вивчимо залежність енергії, поданої від джерела струму до ЕПН (E_{del}), від енергії руху рідини в паливній магістралі (E_{trans}).

$$E_{del} = E_{trans} \cdot$$

Розглянемо ліву сторону рівняння енергетичного балансу ЕПН. Подану енергію E_{del} визначає вираз:

$$E_{del} = I \cdot U \cdot t.$$

Проаналізуємо споживану енергію у контексті енергетичного балансу. Енергія E_{trans} , що передається, розподіляється на такі компоненти:

$$E_{trans} = E_{el.loss} + E_{hyd.loss} + A_{yield} \cdot$$

Вставляючи відповідні формули в рівняння попереднє та проводячи перетворення з урахуванням струмоспоживання I , отримуємо:

$$I = U \left(\frac{1}{R} + \frac{\Delta P - \Delta P_{reg}}{\rho \cdot g} + \mu \cdot S_{tot} \sqrt{\frac{2(\Delta P - \Delta P_{reg})^2}{\rho}} \right).$$

Якщо гідравлічні опори з'єднані послідовно, тоді S_{tot} обчислюється за допомогою рівняння:

$$\mu \cdot S_{tot} = \mu \cdot S_1 + \mu \cdot S_2.$$

У випадку паралельного з'єднання гідравлічних опорів, S_{tot} визначається рівнянням:

$$\frac{1}{\mu \cdot S_{tot}} = \frac{1}{\mu \cdot S_1} + \frac{1}{\mu \cdot S_2}.$$

Таким чином, ми визначили залежність струму ЕПН I від електричних параметрів приводного двигуна (U , R) з урахуванням структурних та функціональних параметрів ЕПН ($\mu \cdot S$, ΔP , Q).

Моделюємо зміни в споживанні струму ЕПН в паливній системі I в залежності від напруги живлення U для різних технічних станів компонентів паливної системи $\mu \cdot S_{tot}$. Двигун обладнаний паливним насосом з номінальною продуктивністю $Q=130$ л/год = $0,0000361$ м³/с, споживанням струму $I=3,1$ А, $n=2800$ об/хв. Регулятор тиску в паливній рампі налаштований на максимальний тиск $P=310$ кПа= $310\ 000$ Па= $310\ 000$ Н/м². Надлишкове паливо, яке не використовується під час упорскування, повертається через зворотну лінію в паливний бак. ЕПН призначений для роботи при номінальній напрузі $U_{const}=12$ В. Якщо ЕПН відповідає технічним референсним умовам, втрати електроенергії мінімальні і становлять $N_{el}=5$ В=const. Побудуємо залежності I від U для трьох точок: при $U_1=6,5$ В; $U_2=9,5$ В; $U_3=12,5$ В, і відповідно при діаметрах проходу 0,2 мм, 1,2 мм і 7 мм (референс).

Рис. 2.10 демонструє результати розрахунків за рівнянням. З аналізу Рис. 2.10 видно, що при зменшенні діаметра проходу до 0,2 мм (тобто зростає гідравлічний опір), наприклад, через засмічення тонкого паливного фільтра,

споживання струму значно збільшується з 2,3 А до 5,2 А. Це збільшення пов'язане з підвищенням гідравлічного опору в паливній системі. Підвищення гідравлічного опору призводить до збільшення протидії ротора ЕПН. Як результат, ротор обертається під навантаженням, і споживається більший струм І.

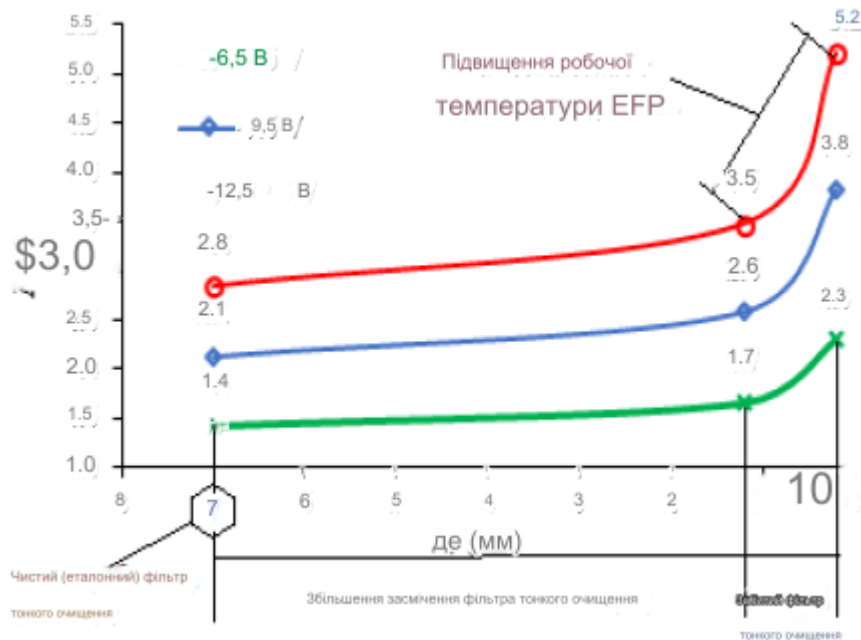


Рис. 2.10. Закономірності зміни струмоспоживання І в залежності від діаметра перетину паливної магістралі d_s :

7 мм = 38,465 мм² – це референсна секція, коли паливний фільтр чистий; 1,2 мм = 1,1304 мм² – це діаметр проходу, менший за референсний (підвищене забруднення); 0,2 мм = 0,0314 мм² – це дуже малий проходний отвір, що відповідає сильно забрудненому тонкому фільтру.

На рис. 2.11. показано, що зі збільшенням діаметра протоків (через зношені ролики інжекційного блоку ЕПН) споживання струму зменшується.

Збільшення зазорів між роликами ЕПН і корпусом викликає підвищення витoku палива. Паливо повертається у високонапірну камеру насоса. В результаті, паливо не надходить у паливну лінію, або надходить лише невелика його частина, а більша частина повертається у всмоктувальну камеру (рециркуляція).

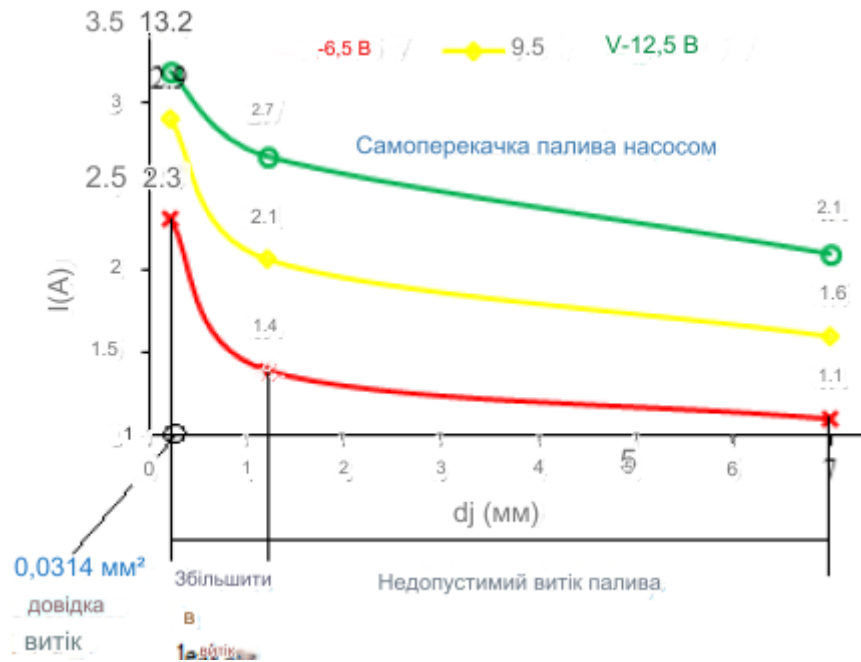


Рис. 2.11. Закономірності зміни струмоспоживання I в залежності від діаметра витоку палива в паливній системі d_f :

0,2 мм = 0,0314 мм² – це референсна величина зазорів між роликами ЕПН та корпусом; 1,2 мм = 1,1304 мм² – це збільшення зазорів між роликами ЕПН та корпусом; 7 мм = 38,465 мм² – це максимальна величина зазорів.

На рисунку 2.12. демонструється взаємозв'язок змін у споживанні струму електронним паливним насосом (ЕПН) в умовах одночасного наростання протікань у ЕПН I_1 та зростання опору у паливній системі ϵ в рамках тривимірного простору координат. Аналіз цього зображення вказує на те, що інтенсивність протікання струму через ЕПН падає з підвищенням рівня протікань, але збільшується при зростанні забруднення.

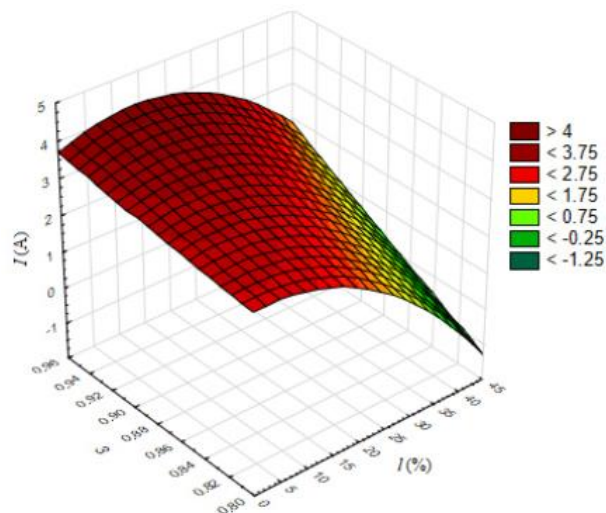


Рисунок 2.12. Залежність зміни швидкості споживання струму ЕПН I при одночасній зміні витоків I та засмічення (опір, вісь 2).

Струм, таким чином, виявляється динамічним параметром, котрий підвищується або знижується у відповідності до рівнів забруднення чи протікань у паливній системі та ЕПН, що робить його підходящим для використання в тестуванні.

Ціль комплексного експерименту полягала у виявленні рівня впливу налаштованих діаметрів форсунок, які одночасно інтегровані в паливну систему в режимах послідовного та паралельного підключення, а також оцінка ефекту від напруги подачі ЕПН, регульованої блоком управління, на інтенсивність використання електричної енергії ЕПН I , тиск у системі подачі P і обсяг витоків палива Q . Дослідження здійснювалося відповідно до зображення на рисунку 2.13.

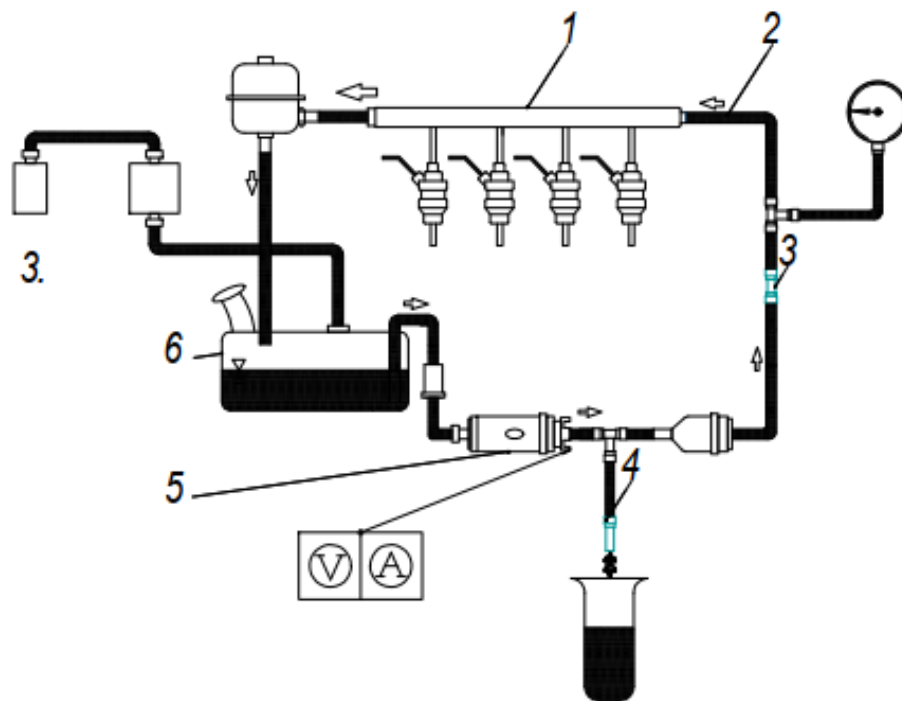


Рис. 2.13. Схема трифакторного експерименту:

1 – паливна рейка; 2 – лінія подачі палива; 3 – послідовний форсунок; 4 – паралельний форсунок; 5 – паливний насос; 6 – паливний бак.

При паралельному з'єднанні ми розмістили калібровані форсунки J_{par} з діаметрами 0.2 мм, 0.6 мм, та 1.0 мм, з різницею $\Delta=0.4$ мм між ними. Для послідовного з'єднання були застосовані J_{ser} з діаметрами 0.2 мм, 0.7 мм, 1.2 мм у паливопроводі, з інтервалом $\Delta=0.5$ мм. Дослідження включало також штучне імітування витоків палива в корпусі ЕПН і забруднення паливних фільтрів. Керівний блок встановив три рівні напруги: 6.5 В, 9.5 В та 12.5 В.

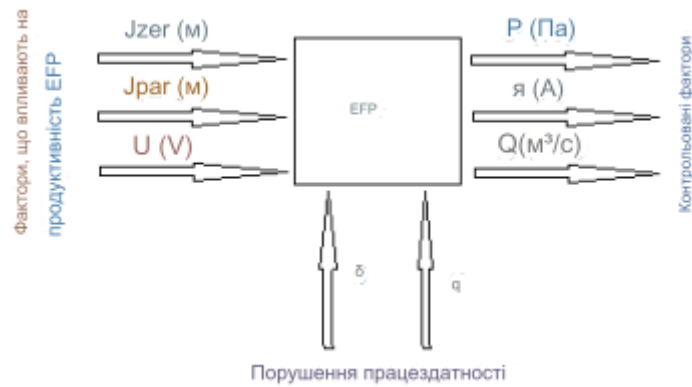


Рис. 2.14. Вхідні та вихідні параметри під час трифакторного експерименту.

Контролюючими параметрами є J_{ser} - діаметр каліброваної форсунки, що приєднана послідовно до паливопроводу, м; J_{par} - діаметр каліброваної форсунки, приєднаної паралельно до паливопроводу, м; U - напруга живлення ЕПН, задана зовнішнім керувальним пристроєм "Вимпел-50", В.

Постійні показники (відгуки) включають наступне: інтенсивність використання струму ЕПН, I , рівень тиску в системі подачі P та об'єм протікання палива Q . Деталі про інтервали та рівні змінення параметрів представлено у таблиці 1.

Таблиця 2.1. Рівні та інтервали змінення параметрів.

Фактор	Познач.	Рівень варіації			Інтервал Δ
		-1 (нижче)	0	+1 (вище)	
Послідовна калібрована форсунка, J_{ser} , м.	$M_{i,1}$	0.3	0.75	1.2	0.45
Паралельна калібрована форсунка, J_{par} , м.	$M_{i,2}$	0.2	0.6	1	0.4
Напруга живлення ЕПН, U , В.	$M_{i,3}$	6.5	9.5	12.5	3

Виходячи з гіпотези, що в даній ситуації аналізуються три фактори, що мають вплив на оптимізаційні показники (vy_1, vy_2, vy_3), необхідно здійснити трифакторний дослід, описаний універсальним регресійним рівнянням:

$$vy_i^{1,2,3} = a_1 \cdot (M_{i,1})^{a2} + b_1 \cdot (M_{i,2})^{b2} + c_1 \cdot (M_{i,3})^{c2} + g \cdot M_{i,1} \cdot M_{i,2} + m \cdot M_{i,1} \cdot M_{i,3} + n M_{i,2} \cdot M_{i,3}$$

Ми визначаємо інтервал зміни ΔM_i для кожного значення фактора:

$$\Delta M_i = \frac{M_i^U - M_i^L}{2}$$

Ці значення рівнів визначаються для кожного фактора.

Закодоване значення фактора M_i визначається за рівнянням.

$$M = \frac{M_i - M_{main}}{\Delta M_i}.$$

Давайте визначимо кількість точок N плану трьох варіантів:

$$N = 3^k.$$

У цьому випадку $N=27$.

Регресійні коефіцієнти розраховуються у програмному забезпеченні M_{athcad} 14 за допомогою функції M_{inerr} . Давайте представимо їх у Таблиці 2.2.

Таблиця 2. Регресійні коефіцієнти.

Коефіцієнти	(I)	(Q)	(P)
a_1	0.978	-1.27	12.328
a_2	0.495	1.856	1.1
b_1	0.052	294.986	33.133
b_2	-2.026	2.338	-0.568
c_1	2.049	0.939	-0.025
c_2	2.154	-3.261	-2.921
g	0.263	56.125	2.808
m	-0.4	9.715	2.82
n	-0.667	-472.949	33.585

Регресійні моделі, залежно від залучених коефіцієнтів, прийматимуть наступний вигляд:

Для параметру тиску:

$$P(M_{i3}; M_{i2}; M_{i1}) = 12.328 \cdot M_{i3}^{1.1} + 33.133 \cdot M_{i2}^{-0.568} - 0.025 \cdot M_{i1}^{-2.921} + \\ + 2.808 \cdot M_{i3} \cdot M_{i2} + 2.82 \cdot M_{i3} \cdot M_{i1} + 33.585 \cdot M_{i2} \cdot M_{i1}$$

Для параметру витоків:

$$Q(M_{i3}; M_{i2}; M_{i1}) = -1.27 \cdot M_{i3}^{1.856} + 294.986 \cdot M_{i2}^{2.338} + 0.939 \cdot M_{i1}^{-3.261} + \\ + 56.125 \cdot M_{i3} \cdot M_{i2} + 9.715 \cdot M_{i3} \cdot M_{i1} - 472.949 \cdot M_{i2} \cdot M_{i1}$$

Для інтенсивності струму:

$$I(M_{i3}; M_{i2}; M_{i1}) = 0.978 \cdot M_{i3}^{0.495} + 0.052 \cdot M_{i2}^{-2.026} + 2.049 \cdot M_{i1}^{2.154} + \\ + 0.263 \cdot M_{i3} \cdot M_{i2} - 0.4 \cdot M_{i3} \cdot M_{i1} - 0.667 \cdot M_{i2} \cdot M_{i1}$$

Застосовуючи ці формули, науковець мінімізує потребу в повторному перерахунку умов дослідження на закодовані змінні кожен раз.

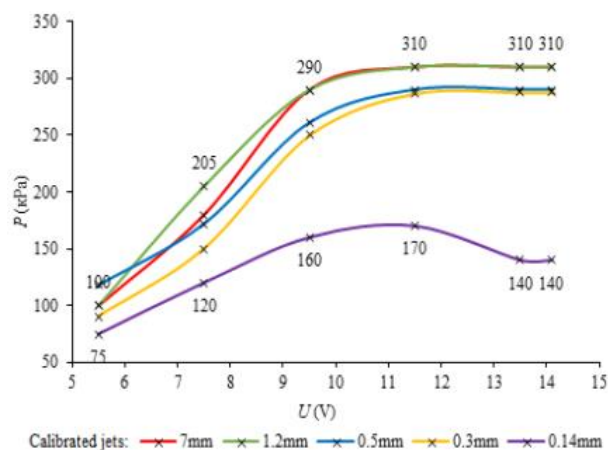


Рис. 2.15. Залежність зміни тиску в системі подачі від напруги ЕПН при використанні каліброваних форсунок з різними діаметрами проточних каналів (від 0.14 мм до 7 мм).

У ході лабораторних випробувань із послідовним підключенням вимірювальних дюз, ми зібрали інформацію, яка представлена у формі діаграм, що відображають варіації поточного рівня залежно від напруги живлення електропаливного насоса (ЕПН) (рис. 2.15) та зміни тиску у залежності від цієї ж напруги (рис. 2.16). Без застосування вимірювальних дюз, при напрузі 10 В ЕПН демонструє постійний тиск у 310 кПа (рис. 2.15) і поточний рівень (рис. 2.16). В цей момент ЕПН ефективно транспортує паливо без зайвих зусиль, оскільки опір на виході з насоса залишається на рівні загальноприйнятого, а додаткових перешкод не існує.

З використанням найменшої дюзи діаметром 0.14 мм, відмічено понижений тиск у всьому спектрі підвищення напруги, необхідний для коректної роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ). Водночас струм живлення невпинно підвищується. Підвищення струму до 5-6 А пояснюється

активною роботою інжекторного вузла ЕПН, який примусово втискає потрібну кількість палива через мінімальний отвір. Завдяки цьому ми отримали відомості про стабільний поточний рівень і тиск у ЕПН при максимальному штучному опорі в паливній системі, що відповідає забрудненню фільтруючої сітки і паливного шлангу (таблиця 2.3).

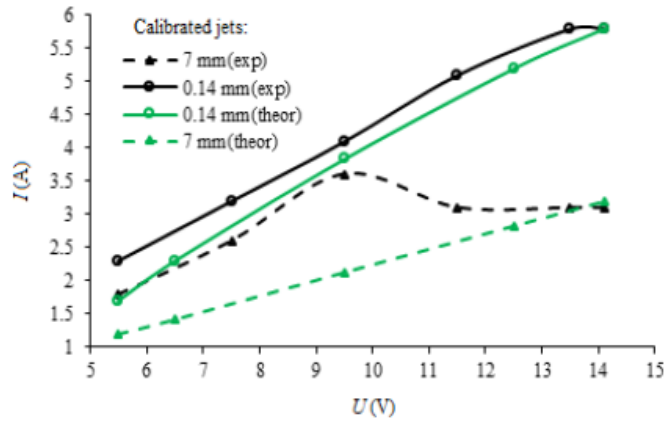


Рис. 2.16. Залежність зміни швидкості споживання струму ЕПН від напруги, поданої на насос зовнішнім керувальним блоком, при використанні каліброваних форсунок з наступними діаметрами перерізу (від 0.14 мм до 7 мм).

Таблиця. 2.3. Відображення розрахункових та фактичних параметрів.

Напруга U, V	Рівень споживання струму I, A				Похибка, %	
	0,14 ^C мм	0,14 ^E мм	7 ^C мм	7 ^E мм	0,14 мм	7 мм
5.5	1.7	2.3	1.8	1.2	17.6	25
6.5	2.3	2.7	2.2	1.42	8.65	22.5
9.5	3.83	4.1	3.6	2.13	3.5	35
12.5	5.2	5.6	3.1	2.83	3.85	4.75
14.1	5.8	5.8	3.1	3.2	0	1.6
Середня похибка, %					6.72	13.27

Під час роботи ЕПН з форсунками діаметром 1.2 мм, 0.5 мм, 0.3 мм зафіксовано постійний тиск 310 кПа, однак споживання струму перевищує стандартні 3.1 А. У ситуації підвищення засміченості, модуль ін'єкції ЕПН протистоїть обмеженню проходження палива в системі.

В ході випробувань із паралельним включенням дюз ми здобули результати, що відображені у вигляді графіків змін струму відповідно до

напруги живлення ЕПН (рис. 2.16) та коливань тиску залежно від напруги живлення ЕПН (рис. 2.17). За умови використання форсунки діаметром 1.2 мм на протязі всього періоду варіацій напруги фіксується знижений тиск (рис. 2.17). Максимальні показники тиску і струму при напрузі 14.1 В складають 275 кПа і 3.1 А відповідно (рис. 2.17). Такі показники пояснюються втратами основної маси палива через паралельно розміщену форсунку з перерізом 1.2 мм, при цьому лише мінімальна частина палива потрапляє у систему.

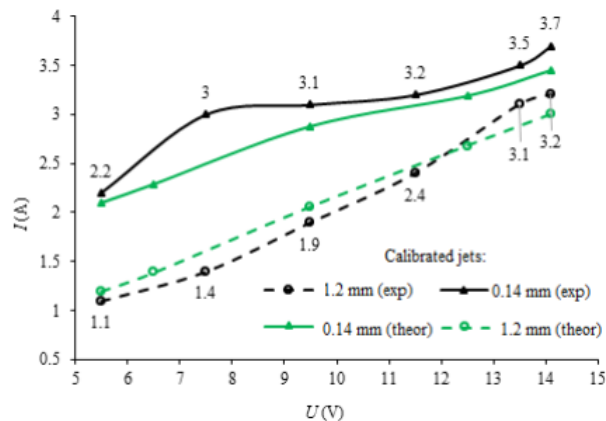


Рисунок 2.17. Залежність зміни споживання струму ЕПН від коливань напруги живлення за умов використання стандартизованих дюз (0.14 мм...1.2 мм), які встановлені паралельно у паливну систему.

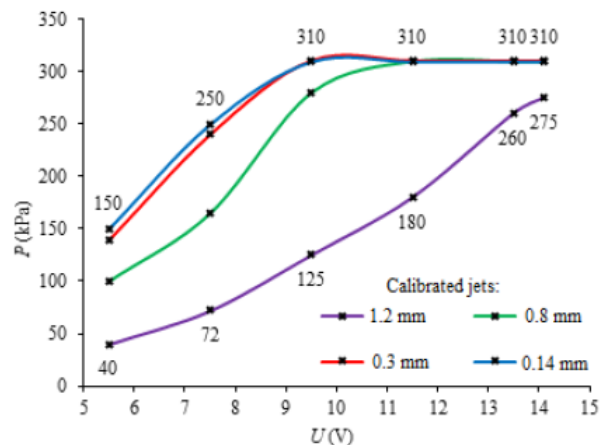


Рис. 2.17. Графік, що ілюструє варіації тиску в системі живлення залежно від напруги на ЕПН за умов використання стандартизованих дюз протоку (0.14 мм...1.2 мм), під'єднаних паралельно до лінії подачі палива.

Максимальна та мінімальна похибки у дослідженні при застосуванні каліброваної форсунки 0.14 мм склали 8.95% та 2.35% відповідно, а з форсункою 1.2 мм - 4.2% та 1.5% (таблиця 2.4).

Таблиця. 2.4. Взаємне порівняння розрахункових та дослідницьких показників.

Напруга U, V	Рівень споживання струму I, A				Похибка, %	
	0,14 ^C мм	0,14 ^E мм	1.2 ^C мм	1.2 ^E мм	0,14 мм	1.2 мм
5.5	2.1	2.2	1.2	1.1	2.35	4.5
6.5	2.29	2.7	1.39	1.3	8.95	3.45
9.5	2.88	3.1	2.06	1.9	3.8	4.2
12.5	3.19	3.3	2.68	2.6	1.7	1.5
14.1	3.45	3.7	3	3.2	3.6	3.3
Середня похибка, %					4.08	3.39

При роботі ЕПН з додатковими дюзами діаметрами 0.8 мм та 0.3 мм фіксується постійний тиск у 310 кПа та споживання струму на рівні 3.1 А. В такій ситуації втрати палива відповідають середнім показникам через паралельно розташовану калібровану дюзу. Однак ЕПН все ще забезпечує подачу потрібної кількості палива в основний трубопровід.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обчислення механізму для електричного насоса палива

В сучасних авто часто встановлюють насоси палива BOSCH-0580254, що працюють від електромотора. Цей двигун отримує енергію від джерела з напругою 12 В і у стані максимального навантаження витрачає до 6 А. Його вихідна потужність досягає приблизно 80 Вт. Основа функціонування цього пристрою описана нижче, див. рис. 3.1.

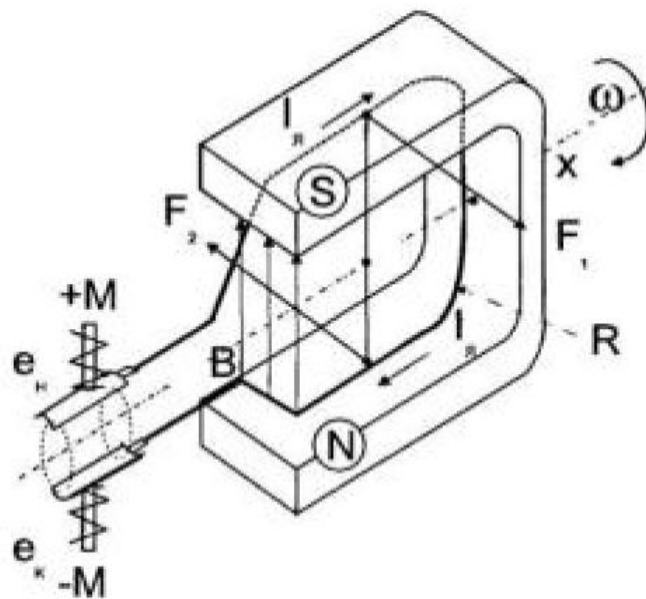


Рис. 3.1. Схема функціонування електромотора.

Електрика з акумулятора або генератора з напругою 12 В подається на обмотки рамки R ротора, запускаючи струм. Згідно з законом Ома, його значення обчислюється наступним чином:

$$I_{я} = \frac{Um}{Rя}, \text{ A}$$

Створене електромагнітне поле ротора починає взаємодіяти з сталевим магнітним полем статора. В результаті на обмотки ротора починають впливати сили F_1 та F_2 , розрахунок кожної з яких виконується за наступною формулою:

$$F = B \times L \times I_{я} \times \cos\alpha$$

Напрямки дії сил F встановлюються за правилом лівої руки. Сили F_1 і F_2 діють в протилежних напрямках вздовж осі обертання якоря, створюючи

обертовий момент - M . Цей момент передається до ротора насоса через з'єднувальну муфту. Його можна обчислити використовуючи наступну формулу:

Слід додати, що муфта з'єднання виготовлена з пластикового матеріалу і при перевантаженнях (наприклад, при замерзанні) швидко ламається. Це діє як захист від перевантаження електромотора бензонасоса і запобігає його вигоранню. Коли електромотор запускається, струм через якор значно падає, оскільки якор починає обертатися, зменшуючи силу взаємодії магнітних полів. Також струм в якорі $I_{я}$ після запуску мотора значно знижується. Важливо відмітити, що швидкість обертання якоря електричного двигуна не регулюється, оскільки вона залежить від постійної напруги, що подається на клеми.

3.2 Обчислення теплового балансу двигуна при адекватному та неадекватному тиску палива у рампі

Обсяг тепла, що вивільняється після спалювання паливної суміші, має різні компоненти, що зумовлені змінними умовами роботи, параметрами циліндро-поршневої групи та станом системи охолодження двигуна.

Обсяг тепла Q , що виділяється після спалювання паливної суміші, можна визначити за даними:

$$Q = Q_{н} \cdot G_{п}, \text{ кДж/год}$$

Обчислення годинного споживання палива здійснюється за наступним методом: спершу вимірюється кількість палива, яка витрачається двигуном за певний короткий часовий проміжок. Ця виміряна кількість палива потім перераховується на годинну основу, щоб отримати середнє споживання за годину. Це дозволяє точно визначити, скільки палива потрібно для роботи двигуна протягом години при даному режимі роботи.

$$G_{п} = N_e \cdot g.$$

Теплова енергія Q_e (яка відповідає ефективній дії двигуна), обчислюється наступним чином: визначається кількість витраченого палива та його

калорійність. Потім, використовуючи ці дані, розраховується кількість енергії, що вивільняється під час згоряння палива в двигуні.

$$Q_e = 3600 N_e ,$$

Спожита теплова енергія для виконання корисної дії обчислюється за допомогою:

$$g_e = \frac{Q_e}{Q} \cdot 100 \%$$

Обсяг тепла Q_B , який передається до навколишнього середовища, визначається наступним чином:

$$Q_B = C \cdot i \cdot D^{2.3} \cdot \eta^{0.65} \cdot \frac{1}{a} \cdot 3,6 , \text{кДж/год}$$

$$C = 0,44 \dots 0,56.$$

Частка тепла, яку абсорбує система охолодження, розраховується так:

$$g_B = \frac{Q_B}{Q_{\square}} \cdot 100, \%$$

Загальний обсяг тепла Q_r , що втрачається разом з відпрацьованими газами, визначається за:

$$Q_r = C_p \cdot (T_r - T_{o.c.}) \cdot (G_{\text{пов.}} - G_n), \text{кДж/год}$$

$$C_p = 1.40 \text{ кДж / кг град.}$$

Обсяг повітря $G_{\text{пов.}}$, який надходить у камеру згоряння циліндра, розраховується згідно із зазначеною формулою:

$$G_{\text{пов.}} = 14,5 \alpha \cdot G_n, \text{кг/год}$$

$$G_n = 6.3 \text{ кг / год.}$$

Кількість тепла q_r , що втрачається разом з відпрацьованими газами, представляється наступним чином:

$$g_r = \frac{Q_r}{Q} \cdot 100, \%$$

Інші затрати тепла $Q_{\text{ін.в.}}$ визначаються так:

$$Q_{\text{ін.в.}} = Q - (Q_e + Q_r + Q_B)$$

А, обсяг тепла $q_{\text{ін.в.}}$, розраховується наступним чином:

$$g_{in.с} = \frac{Q_{in.с}}{Q} \cdot 100, \%$$

Згідно з методом обчислення теплового балансу двигуна з об'ємом циліндрів $V=1,4$ л., встановлено відсоткове відношення кількості тепла, що виділяється після спалення паливної суміші при справній та несправній системі подачі палива (при недостатньому тиску в акумуляторній рампі).

Для швидкого відновлення функціональності паливної системи бензинового двигуна рекомендується застосувати оптимальний метод, використовуючи сучасне діагностичне обладнання.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Дія електричного струму на організм людини

Технічний прогрес супроводжується постійним впровадженням електроустаткування в усі галузі промислового виробництва і побуту. З кожним роком зростає виробництво і споживання електроенергії у всіх галузях народного господарства, а відтак розширюється кількість людей, які в процесі своєї життєдіяльності використовують електричні пристрої та установки. Тому проблема електробезпеки в ході експлуатації електрообладнання набуває особливого значення.

Електроустаткування, з яким доводиться мати справу практично всім працівникам на виробництві та людям у побуті, становить значну потенційну небезпеку ще й тому, що органи чуття людини не здатні на відстані виявляти наявність електричної напруги. У зв'язку з цим захисна реакція організму виявляється лише після того, як людина потрапила під дію електричного струму.

Аналіз нещасних випадків у промисловості (рис. 4.1), які супроводжуються тимчасовою втратою працездатності потерпілими свідчить про те, що кількість травм, викликаних дією електрики, порівняно невелика і складає 0,5–1% від загальної кількості нещасних випадків. Проте слід зауважити, що з загальної кількості нещасних випадків зі смертельним наслідком на виробництві 20–40% трапляється внаслідок ураження електрострумом, причому близько 80% смертельних уражень електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В. Ця обставина зумовлена значною поширеністю таких електроустановок, а також тим, що їх обслуговують практично всі особи, що працюють в промисловості, а електроустановки напругою понад 1000 В обслуговуються малочисельним колом підготовленого та кваліфікованого персоналу. Щороку в Україні від електричного струму гине приблизно 1500 осіб.

Струм, що протікає через тіло людини, діє на тканини і органи не тільки в місцях контакту зі струмопровідними частинами, але й рефлекторно, як

надзвичайно сильний подразник, впливає на весь організм, що може призводити до порушення функціонування життєво важливих систем організму – нервової, серцево-судинної систем, дихання тощо.

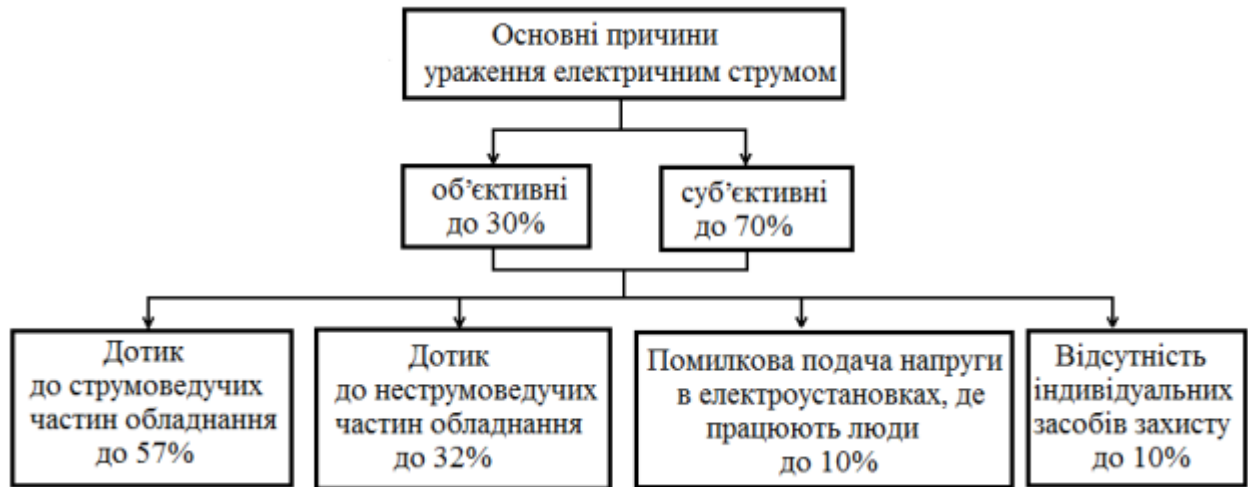


Рис. 4.1. Причини ураження електричним струмом

Механізм ураження електричним струмом, явища, що пов'язані з ураженням, і навіть величина уражаючого струму ще не вивчені. Однак можна сказати, що смертельний результат під час дії електричного струму в більшості випадків є результатом розладу серцевої діяльності, розладу подиху, електричного шоку і серйозних опіків.

Вплив на серце може бути прямим, коли струм протікає безпосередньо в області серця, і рефлекторним, тобто через центральну нервову систему. В обох випадках може статися зупинка серця, а також виникнути його фібриляція.

Фібриляція серця – це хаотичні різночасні скорочення волокон серцевого м'яза (фібрил), при яких серце не може перекачувати кров по судинах.

Фібриляція може бути і результатом рефлекторного спазму артерій, які живлять серце кров'ю. При ураженні струмом фібриляція серця настає значно частіше, ніж його повна зупинка.

Припинення дихання відбувається унаслідок безпосередньої дії струму на м'язи грудної клітинки або дихальний центр, що знаходиться в головному і спинному мозку. При тривалій дії (більше 1 хвилини) розвивається асфіксія – хворобливий стан унаслідок нестачі кисню і надлишку вуглекислого газу в крові.

Електричний шок – важка рефлекторна реакція організму на вплив електричного струму, що призводить до небезпечних розладів дихання, кровообігу, обміну речовин тощо. Шоковий стан може тривати від декількох хвилин до доби, після чого може наступити смерть у результаті повного вгасання життєво важливих функцій або повне видужання як результат активного лікувального втручання.

Проходячи через організм людини, електричний струм справляє на нього такі види дії:

- біологічну – викликає небезпечне збудження живих тканин організму, що супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів. Таке збудження може призвести до суттєвих порушень і навіть повного припинення діяльності органів дихання та кровообігу;
- механічну – розшарування, розриви й інші пошкодження тканин (м'язи, стінки судин);
- термічну – струм спричиняє опіки окремих ділянок тіла, нагрівання кровоносних судин, серця, мозку та інших органів на своєму шляху, що призводить до виникнення в них функціональних розладів;
- електролітичну – розклад (електроліз) крові та інших органічних рідин, що викликає суттєві зміни їх фізико-хімічного складу.

Все різноманіття ураження людини електричним струмом, що обумовлює патологічний стан, спричинений проходженням електричного струму через тіло людини, (рис. 4.2) можна умовно звести до місцевих електричних травм (що складає 20% від усіх видів травмування) та електроударів (що складає 25% від усіх видів травмування). Можливі також і змішані травми (одночасні місцеві електричні травми та електричні удари зустрічаються у 55% постраждалих).

Місцева електрична травма – це чітко виражене місцеве порушення цілісності тканин організму, викликане впливом електричного струму чи електричної дуги. Найчастіше це поверхневі пошкодження (шкіри), а іноді м'яких тканин, а також зв'язок і кісток. Звичайно ці травми виліковуються і працездатність потерпілого повністю або частково відновлюється. В окремих випадках (при важких опіках) людина гине.

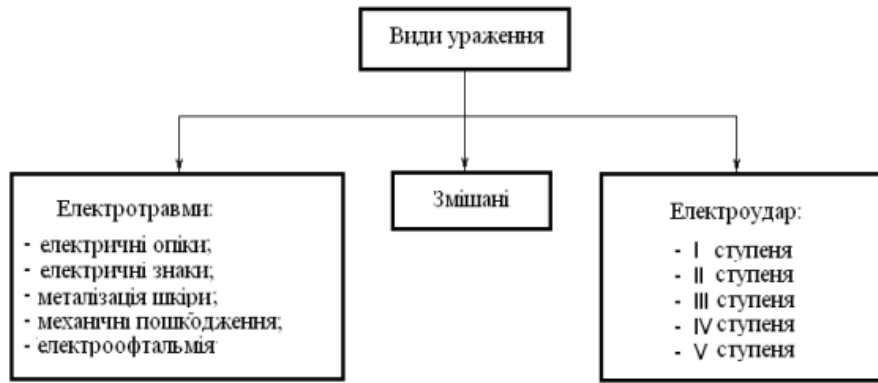


Рис. 4.2. Види ураження людини електричним струмом.

4.2 Види місцевих електричним травм

Опіки виникають у великій частині потерпілих (60–65%), причому третина їх супроводжується іншими травмами – знаками, механічними ушкодженнями і металізацією шкіри. Розрізняють три види опіків: струмовий – виникає під час проходження струму безпосередньо через тіло людини в результаті контакту людини зі струмоведучою частиною (характерний в установках з відносно невисокою напругою – не вище 1–2 кВ); дуговий – обумовлений впливом на тіло людини електричної дуги, але без проходження струму через тіло людини (характерний в установках з напругою 220–6000В); змішаний – є результатом дії одночасно обох зазначених факторів.

Електричні мітки (знаки) – є чітко окресленими плямами сірого чи блідо-жовтого кольору на поверхні тіла людини. Часто знаки мають круглу чи овальну форму з поглибленням у центрі. У більшості випадків електричні знаки безболісні, і їх лікування закінчується благополучно: протягом часу верхній шар шкіри і уражене місце набувають первинний колір, еластичність і чутливість. Знаки виникають досить часто (приблизно в 20% потерпілих).

Металізація шкіри – проникнення в шкіру дрібних часточок розплавленого під дією електричної дуги чи іскри металу. Уражена ділянка має шорстку поверхню, забарвлення якої визначається кольором з'єднань металу, що потрапив під шкіру: зелена – при контакті з міддю, сіра – з алюмінієм, синьо-зелена – з латунню, жовто-сіра – зі свинцем. Потерпілий відчуває на ураженій ділянці напруженість шкіри від присутності в ній стороннього тіла.

Лише при ураженні очей лікування може виявитися тривалим і складним, а в деяких випадках потерпілий може втратити зір. Металізація шкіри спостерігається приблизно у 10% постраждалих.

Електрофтальмія – запалення зовнішніх оболонок очей (рогівки і кон'юнктиви), яке виникає під впливом могутнього потоку ультрафіолетового проміння (розвивається через 4–8 годин). Таке опромінення можливе за наявності електричної дуги (наприклад, при короткому замиканні), яка є джерелом інтенсивного випромінювання не тільки видимого світла, але і ультрафіолетових і інфрачервоних променів. Інфрачервоні (теплові) промені також шкідливі для очей, але лише на близькій відстані або при інтенсивному і тривалому опроміненні. Електрофтальмія спостерігається приблизно у 1–2% постраждалих від струму.

Механічні ушкодження – є наслідком мимовільного скорочення м'язів під дією струму. У результаті можуть відбутися розриви шкіри, сухожилля, кровоносних судин і нервової тканини, а також вивихи суглобів і навіть перелом кісток. Ці ушкодження є серйозними травмами, що вимагають тривалого лікування. Виникають вони не більш ніж у 3% постраждалих.

Загальні електротравми (електроудари) – це збудження живих тканин електричним струмом, що супроводжується судорожним скороченням різних м'язів тіла. При цьому під загрозою виявляється весь організм через порушення нормальної роботи багатьох життєво важливих органів і систем, у тому числі серця, легенів, центральної нервової системи та ін. Електроудари викликають 85–87% смертельних результатів під час проходження струму через організм людини. Розрізняють електроудари таких ступенів:

I – судорожні ледве відчутні скорочення м'язів;

II – судорожні скорочення м'язів, що супроводжуються сильним болем, що ледве переноситься, без втрати свідомості;

III – судорожні скорочення м'язів з втратою свідомості, але зі збереженням дихання і роботою серця;

IV – втрата свідомості і порушення роботи серця і (або) дихання;

V – клінічна смерть (відсутність дихання і кровообігу).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота охоплює широкий спектр аспектів, пов'язаних з системами подачі палива в бензинових двигунах. У першому розділі надається огляд типів систем подачі палива та їх структурних компонентів, що забезпечує фундаментальні знання про сучасні паливні системи. Другий розділ акцентує увагу на технологічних аспектах, включаючи новітні інновації в автомобільних електронних системах, вплив дефектів паливної системи на роботу двигуна, та методи контролю і діагностики. Важливу частину займає аналіз параметрів електричного паливного насоса та впливу заниженого тиску на термічний баланс двигуна.

Третій розділ спрямований на інженерні обчислення, зокрема механізму електричного насоса палива та теплового балансу двигуна при різних тисках палива. Це дозволяє забезпечити більш глибоке розуміння роботи системи та її ефективності.

Четвертий розділ стосується безпеки життєдіяльності та охорони праці, де розглядаються вплив електричного струму на організм людини та види місцевих електричних травм. Це підкреслює важливість дотримання безпекових норм при роботі з електричними компонентами автомобіля.

Загалом, робота є комплексною та різнобічною, поєднуючи теоретичні дослідження, технологічний аналіз та практичні обчислення, що дозволяє отримати всебічне уявлення про системи подачі палива в сучасних бензинових двигунах та забезпечує основи для подальших досліджень і практичного застосування.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, Гупка А.Б., Хорошун Р.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
2. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю.Ф, Долганов К.Є. Автомобільні двигуни /. Підручник. – К.: Арістей. – 2004. – 475с.
3. Анісімов В. Ф., Дмитрієва А.В., Севостьянов С.М.; Тепловий та динамічний розрахунок автомобільних двигунів [Текст]: Навч. посіб. для студ. спец. "Автомобілі та автомобільне госп-во" / Вінницький національний технічний ун-т. – Вінниця: ВНТУ, 2009. –130 с.
4. 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.
5. Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Хорошун Р.В. Модель руху автомобіля по криволінійній трасі. Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. Херсон : Херсонська державна морська академія, 2021. № 2 (25). С. 72–81.
6. Кузьмінський Р.Д., Шарібура А.О Технічний сервіс. Ремонт електрообладнання тракторів і автомобілів Львів 2017 – 376 с
7. Сукач М.К. Технічний сервіс машин. Навч. пос.. Гриф МОНМСУ - Ліра-К, 2017 – 288 с.
8. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів - Львівська політехніка 2017, - 324 с.
9. Шапко В.Ф., Шапко С.В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник. – Харків : Точка, 2016. – 232 с.
10. Шапко В.Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згорання: Навчальний посібник. - Кременчук: КНУ, 2011. - 194 с.

11. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.

12. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.

13. 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.

14. 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 с.

15. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці. Курс лекцій: Навчальний посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів всіх спеціальностей за освітньо-кваліфікаційним рівнем "бакалавр" / А.І. Ткачук, О.В. Пуляк. – Перевидання, доповнене та перероблене. – Кропивницький: ПП "Центр оперативної поліграфії "Авангард". – 2017. – 184с.