

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА  
РОБОТА**

**01.12 - КМР. 463 „С” 2023.03.28. 036 ПЗ**

**Карпенко Сергій Сергійович**

**2023 р.**

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет

Конструювання та дизайну

УДК 631.172

**ПОГОДЖЕНО**

Декан факультету  
Конструювання та дизайну  
(назва факультету)

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри  
Надійності техніки  
(назва кафедри)

Ружи́ло З.В.

(підпис) (ІПБ)

2023 р.

Нови́цький А.В.

(підпис) (ІПБ)

2023 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему «Діагностування електромагнітних форсунок бензинових двигунів  
автомобілів»

Спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»  
(код і назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машин та обладнання

сільськогосподарського виробництва»

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**

К.Т.Н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

Нови́цький А.В.  
(підпис) (ІПБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:**

К.Т.Н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Ревенко Ю. І.  
(ІПБ)

**Виконав:**

(підпис)

Карпенко С. С.  
(ІПБ)

**КИЇВ - 2023**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки  
К.Т.Н., доцент Новицький А.В.  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)  
“ ” 2023 року

ЗАВДАННЯ  
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ  
Карпенку Сергію Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
(код і назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машин та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»  
(назва)

Програма підготовки освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема роботи «Діагностування електромагнітних форсунок бензинових  
двигунів автомобілів»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «28» березня 2023 р. № 463 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 5.11.2023  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Результати аналізу виробничої діяльності підприємства та новітніх технологічних процесів ремонту сільськогосподарських техніки
2. Технічна характеристика ремонтно-технологічного обладнання.
3. Типові планування центральних ремонтних майстерень з ремонту сільськогосподарських машин.

Дата видачі завдання “14” жовтня 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи Ревенко Ю.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання Карпенко С. С.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

	Стор.
Вступ	7
Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1. Причини, що знижують експлуатаційну надійність системи паливоподачі	11
1.1.1. Якість палива	11
1.1.2. Способи промиванн	12
1.2. Аналіз існуючих способів оцінки технічного стану елементів системи паливоподачі двигунів з електронною системою управління	14
1.3. Мета та завдання досліджень	28
Розділ 2. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕСТОВИХ РЕЖИМІВ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ БЕНЗИНОВИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ФОРСУНОК	30
2.1. Цілі та завдання теоретичних досліджень	30
2.2. Дослідження впливу параметрів технічного стану форсунки на її пропускну здатність	31
2.2.1. Моделювання процесу паливоподачі на першому етапі відкриття форсунки	32
2.2.2. Моделювання процесу паливоподачі на другому етапі при повному відкритті форсунки	35
2.2.3. Моделювання процесу паливоподачі на третьому етапі закриття форсунки	37
2.3. Теоретичний аналіз залежності зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна від якості паливно-повітряної суміші	42
2.3.1. Аналіз залежності частоти обертання під час роботи двигуна	48

одному циліндрі при відкритті дросельної заслінки на 25%

2.3.2. Аналіз залежності частоти обертання під час роботи  
двигуна одному циліндрі при відкритті дросельної  
заслінки на 70%

50

2.4. Висновки по розділу

53

Розділ 3. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

55

3.1. Загальна методика експериментальних досліджень

55

3.2. Результати дослідження

58

3.2.1. Дослідження зміни частоти обертання колінчастого

валу двигуна в залежності від зміни пропускної  
спроможності форсунки на режимі 25% дросельної  
заслінки

58

3.2.2. Дослідження зміни частоти обертання колінчастого

валу двигуна в залежності від зміни пропускний  
здібності форсунки на режимі 70% дросельної заслінки

60

3.3. Маршрутна карта технологічного процесу

діагностування пропускної спроможності форсунок

62

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЄ

СЕРЕДОВИЩЕ

65

4.1. Охорона праці

65

Розділ 5. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

69

Висновки

74

Література

76

НУБІП <sup>Умовні позначення</sup> України

СПП - система паливоподачі

ЕМФ - електромагнітна форсунка

НУБІП України

БЕМФ - бензинова електромагнітна форсунка

ЕСКД - електронна система керування двигуном

АТП - автотранспортне підприємство

НУБІП України

СТО - станція технічного обслуговування

ППС - паливно-повітряна суміш

ДМВП - датчик масової витрати повітря

ГРМ - газорозподільний механізм

НУБІП України

ЦПГ - циліндро-поршнева група

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ВСТУП

# НУБІП України

Автомобільний транспорт є важливою ланкою сільськогосподарського виробництва. Від ефективності його роботи значною мірою залежать зниження собівартості продукції, своєчасне збирання врожаю, перевезення його споживачам, заготівля кормів та інші виробничі та господарсько-побутові процеси. Фермерське господарство має у своєму розпорядженні різні моделі вантажних автомобілів загального та спеціального призначення, серед яких перевага надається автомобілям малої та середньої вантажопідйомності.

# НУБІП України

В даний час найбільшого поширення на автомобілях набули бензинові двигуни з розподільним упорскуванням палива. Дані паливні системи входять до основних та складних складових систем двигуна, від яких залежать такі показники, як прийомистість, економічність, потужність і легкість пуску двигуна. Їх використання веде до підвищення тягово-економічних показників та зменшення викиду отруйних речовин у навколишнє середовище. Але ці показники реалізуються лише на двигуні з технічно справною системою паливоподачі. Тому до технічного стану системи паливоподачі (СПП) має приділятися особлива увага, причому вимоги щодо екологічних показників

# НУБІП України

викидів газів, що відпрацювали, з часом посилюються незрівнянно швидше, ніж за іншими експлуатаційними показниками.

# НУБІП України

Кількість та склад відпрацьованих газів визначаються конструктивними особливостями автомобілів, режимом роботи їх двигунів та технічним станом системи живлення. Особливостями роботи автомобільних двигунів є змінні навантаження, тобто періодичні зміни режиму роботи: холостий хід, розгін, рух і гальмування; найбільш висока концентрація оксиду вуглецю ( $\text{CO}$ ) у відпрацьованих газах спостерігається при роботі двигуна на встановленому режимі і при підвищених навантаженнях. За результатами досліджень

# НУБІП України

проведених науково-дослідними інститутами встановлено, що при роботі двигуна на холостому ході вміст оксиду вуглецю у вихідних газах може в два з лишком рази перевищувати його вміст при режимі, що встановився. Разом з тим, коли автомобіль розганяється і рухається з швидкістю, що встановилася, у відпрацьованих газах відзначаються найбільші концентрації оксидів азоту.

# НУБІП України

Вміст окису вуглецю у вихлопних газах автомобілів контролюють на режимах холостого ходу, а на інших режимах, що становлять 60% всього часу роботи двигуна, вміст газів, що відпрацювали, не контролюється. Забезпечити мінімальний вміст окису вуглецю на всіх режимах роботи двигуна можна тільки за рахунок справного технічного стану СПП.

Несправності СПП призводять не тільки до підвищеного викиду токсичних компонентів, а й до зменшення потужності двигуна на 15...23%, а отже, і зниження ефективності транспортного процесу.

Система підтримки працездатності двигуна передбачає технічне обслуговування електронної системи керування двигуном (ЕСУД) через 20 000 км пробігу. Однак у цій системі операції з технічного обслуговування таких елементів як форсунка, бензонасос, регулятор тиску не передбачені. Завод-виробник, як правило, пропонує проводити ремонтні операції за потребою.

Відсутність регламентних впливів на елементи СПП передбачає достатній рівень їхньої експлуатаційної надійності.

Дослідженні надійності форсунок, що надійшли на ТО, виявили, що з усіх елементів СПП форсунка має найнижчу експлуатаційну надійність. Відмова форсунок настає у 10% автомобілів, що експлуатуються в сільському господарстві в період гарантійного терміну. Неприпустимі зміни технічного стану форсунок (пропускна здатність змінюється більш ніж на 6%) відбуваються у 40% автомобілів при пробігу 15...30 тис. км. Це говорить про їхню низьку експлуатаційну надійність. Проте діагностичне обладнання, рекомендоване заводом-виробником, зміна пропускної здатності форсунок не фіксувала. Звідси можна зробити висновок про недостатню точність запропонованих заводом-виробником методів діагностування технічного стану форсунок. Отже, говорити про обслуговування їх за потребою у разі неправомірно.

Експлуатаційна надійність СПП визначається як конструктивної надійністю всієї системи, а й якістю використовуваного палива.

Висока конструктивна надійність системи подачі палива реалізується при експлуатації на паливі високої якості. Так, на автомобілях, що експлуатуються у європейських країнах, при використанні якісного бензину ресурс форсунок становить 120-140 тис. км. Однак при експлуатації автомобілів в Україні через



низьку якість бензину СПП неминуче забруднюється не лише твердими частинками, а й смолистими, лаковими відкладеннями, і необхідність чищення СПП виникає через 15...30 тис. км пробігу. Багато сервісних станцій рекомендують мити систему живлення не рідше ніж через 20... 40 тис.км.

Забруднення елементів СПП проявляється зниженням потужності двигуна та прийомистості, детонаційними стуками при розгоні автомобіля, нестійкою роботою двигуна на режимах холостого ходу, утрудненим запуском двигуна, збільшенням витрати палива, відхиленням від екологічних норм викиду відпрацьованих газів.

При експлуатації двигуна з електронною системою керування часто використовують пропанобутанові суміші. Як наслідок, це призводить до підвищеного температурного режиму роботи форсунок і згодом викликає передчасне порушення їх технічного стану.

Таким чином, основними причинами зниження експлуатаційної надійності СПП двигунів з електронною системою керування є:

- відсутність регламентних робіт з їхнього обслуговування;
- робота двигуна на іншому виді палива;
- Невідповідність палива нормативної документації.

Двигуни з електронною системою управління не збільшують обсягів обслуговуючих робіт по системі живлення у порівнянні з карбюраторними двигунами у зв'язку з більш жорсткими вимогами до токсичності вихлопу та складності їхньої конструкції. Технічні можливості АТП та СТО на сьогоднішній день не дозволяють достовірно визначити технічний стан системи паливоподачі, оскільки немає точних методів та засобів їх діагностування. Тому система паливоподачі обслуговується за потребою, тобто експлуатується повністю. Відмовлений елемент визначається процесі розбирання СПП і контролю технічного стану її окремих елементів. Впровадження планово-попереджувальної системи обслуговування СПП з діагностичної інформації дозволило б значно знизити витрати на поточний ремонт та підвищити експлуатаційну надійність системи паливоподачі.

Розробка методів та засобів діагностування є важливим завданням у системі технічного обслуговування для попередження відмов СПП. У зв'язку з

цим тема роботи пов'язана з підвищенням ефективності діагностування системи паливободачі бензинового двигуна з електронною системою управління.

Мета роботи. Підвищення ефективності експлуатації бензинових двигунів з електронною системою керування за рахунок діагностування пропускної спроможності електромагнітних форсунок та їх технічного обслуговування за результатами діагнозу.

Об'єкт дослідження. Процеси роботи та діагностування форсунок бензинових двигунів з електронною системою керування.

Предмет дослідження. Закономірності зміни пропускної спроможності форсунок залежно від технічного стану їх елементів різних режимах роботи двигуна.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1. Причини, що знижують експлуатаційну надійність системи паливоподачі

#### 1.1.1. Якість палива

Однією з причин недостатньої надійності СПП є забрудненість палива, що сприяє утворенню смолистих відкладень та нагару на форсунках, що веде до зависання голок клапанів та порушення нормальної роботи двигуна. Відомо, що середнє напрацювання фільтрів грубої та тонкої очистки складає 25000 км пробігу. У цей час більшість заводів-виробників рекомендує змінювати фільтри через 110000-130000 км, тобто. 75...90% часу автомобіль експлуатується з несправною СПП. На нафтобазах та заправних станціях забруднення потрапляють у паливо із залізничних та автомобільних цистерн. Крім того, в паливо потрапляють продукти корозії резервуарів, трубопроводів та іншої арматури, продукти зношування деталей перекачувальних засобів, атмосферний пил і волога, продукти окислення та ущільнення нестабільних вуглеводнів палива.

Сильне забруднення спостерігається в баках автомобілів, досягаючи 10...40 г/т у звичайних умовах експлуатації та 200...400 г/т у особливо запиленних районах. Розміри частинок переважно становлять 10-40 мкм.

Основними компонентами забруднень є розчинні в паливі органічні речовини, вода та мінеральні сполуки. Смоли, деякі полімери, продукти взаємодії палива з мікроорганізмами та інші органічні речовини, що забруднюють паливо, мають високу в'язкість та липкість. У паливі, тверді частинки, зазвичай перебувають у дисперсному стані, іноді – у колоїдному. З часом частки укрупнюються і випадають в осад. При забрудненні палива погіршуються його прокачування та стабільність, підвищується схильність до утворення відкладів та осадів.

Забруднення палива в процесі експлуатації автомобілів викликає порушення технічного стану наступних елементів системи паливоподачі двигуна з електронним керуванням:

- фільтри грубої та тонкої очистки (розрив фільтруючого елемента,

засмічення тощо);

- бензонасос (підклинювання роликів, засмічення зворотного клапана тощо);

- рампа (осмолення);

- регулятор тиску (порушення герметичності клапана);

- форсунка (засмічення фільтра, зношування та засмічення сопел, зміна часу відкриття та закриття голки клапана аж до його повного заклинювання тощо).

Забруднення СПП призводить до зниження потужності двигуна та прийомистості, детонаційним стукам при розгоні автомобіля, нестійкій роботі двигуна на всіх режимах, утрудненні запуску двигуна, збільшенні витрати палива і т. д., що передбачає значні витрати на усунення відмов.

### 1.1.2. Способи промивання

Однією з причин недостатньої експлуатаційної надійності системи паливободачі є широке застосування промивних засобів та способів промивання

СПП з додаванням миючої присадки в паливний бак. Багато виробників автохімії

пропонують такі препарати. Зазвичай флакон присадки 200...500мл

розрахований на 40...80 літрів бензину. Промивання вказаним способом дає

позитивний результат, що полягає в тому, що промиванні піддаються практично

всі компоненти СПП: бензобак, паливний насос, бензопроводи, рампа палива,

регулятор тиску, форсунки. Зокрема, у практиці сервісу були випадки

відновлення нормальної роботи бензонасоса, який починає «підклинювати»

через істотні за розміром смолянисті відкладення в робочій камері. Однак слід

врахувати, що бруд та відкладення, змиті зі стінок бензобака, бензопроводу та

фільтра грубого очищення, можуть ще більше засмічити фільтр тонкого

очищення, форсунку. З цього можна зробити висновок, що миття присадками з

додаванням до бензину не дуже ефективно у разі сильного забруднення СТ II, і

її слід розглядати як засіб для очищення форсунок при інших чистих елементах

СТ. Для того щоб унеможливити забруднення форсунок під час промивання,

виробники миючих присадок радять повторювати процедуру промивання через

кожні 2...4 тис км пробігу. При промиванні форсунок без демонтажу відбувається очищення штоків впускних клапанів і камери згоряння від нагару. Така корисна властивість промивання на двигуні із значним зносом ЦПГ може призвести до зменшення компресії за рахунок випалювання нагару в канавках поршнів. Трапляються випадки, коли після промивання форсунок двигун взагалі не заводиться.

Наступний спосіб промивання форсунок без демонтажу їх з двигуна миття із застосуванням спеціальних установок подачі миючої рідини в паливну

рампу. Працюючи з такими установками бензобак, паливний насос, паливопроводи з процесу промивання виключаються. Розрізняють одно- та

двоконтурні установки. При одноконтурній установці проводиться подача миючої рідини тільки до паливної рампи, тоді як двоконтурні установки задіють

поворотну магістраль від рампи. Перевага двоконтурної установки полягає у

можливості промивання паливної рампи та регулятора тиску. Це досягається шляхом прокачування миючого сольвенту по паливній рампі від штуцера палива,

що подає, до штуцера зворотного паливопроводу без відкриття форсунок до початку процесу миття форсунок. Для сильно забруднених паливних систем

застосування одноконтурної установки може спричинити засмічення форсунок брудом відшарованої від стінок паливної рампи, що вимагатиме подальшого

миття форсунок з демонтажем їх з двигуна або навіть заміною. Миття форсунок на миючих установках обох типів проходить шляхом запуску двигуна на миючій

рідині та роботі його на різних режимах. Тиск палива в одноконтурних установках визначається самою установкою, а в двоконтурних штатним - регулятором тиску.

Промивання за допомогою спеціальних установок, таких як Форсаж, Д-100, досить ефективне. У літературі відзначається отримання позитивного

результату 60...90% випадків. У випадках, що залишилися, допомагає або повторне аналогічне промивання або промивання з демонтажем форсунок.

Контроль якості промивки проводиться знову ж таки за непрямими ознаками. Демонтовану форсунку промивають шляхом пропускання через неї

високоєфективних миючих складів або ультразвукової ванни. Перший із зазначених методів реалізується на установках, що дозволяють імітувати

звичайну роботу форсунки, з тією різницею, що замість бензину подається сольвент, що чистить. При цьому оператор може змінювати тимчасові параметри імпульсів, що запитують форсунку з метою створення на поверхні клапана кавітації - утворення повітряних бульбашок. У умовах процес очищення йде з максимальною ефективністю. Інший метод, що найчастіше застосовується - це очищення форсунок в миючому сольвенті з впливом ультразвукових коливань, або просто в ультразвуковій ванні. При очищенні ультразвуком можливе використання менш токсичних миючих рідин.

Форсунки забезпечуються змінними фільтрами тонкого очищення. Ці фільтри, а також ковпачки, що знімаються, в робочій частині форсунок рекомендується замінювати на нові після промивання форсунки. При цьому не слід забувати, що при промиванні форсунок з демонтажем не промиваються інші елементи СПП. Якщо вони значно забруднені, то, можливо, в короткий термін форсунки знову засмічаться. У цих випадках доводиться рекомендувати промивання бензобака, бензопроводів та паливної рампи.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що профілактичне промивання СПП розглянутими методами не забезпечує її справний технічний стан.

## **1.2. Аналіз існуючих способів оцінки технічного стану елементів системи паливоподачі двигунів з електронною системою управління**

СПП двигуна є системою, що містить елементи, що відновлюються і не відновлюються. Для визначення технічного стану елементів, що не відновлюються, необхідно і достатньо визначити параметри їх працездатності. До елементів, що не відновлюються, відносяться бензонасос, фільтр тонкого очищення, регулятор тиску (рисунк 1.1).

Для відновлюваного елемента, яким є електромагнітна форсунка, при проведенні робіт з її очищення необхідно визначати пропускну здатність та її герметичність для оцінки результатів промивання. Досвід експлуатації та технічного обслуговування насоса, форсунок, фільтрів показує, що їх несправності не завжди призводять до відмови двигуна, що знижує його техніко-

економічні показники без явного прояву причини. У зв'язку з цим потрібно проводити профілактичне обслуговування цих елементів.

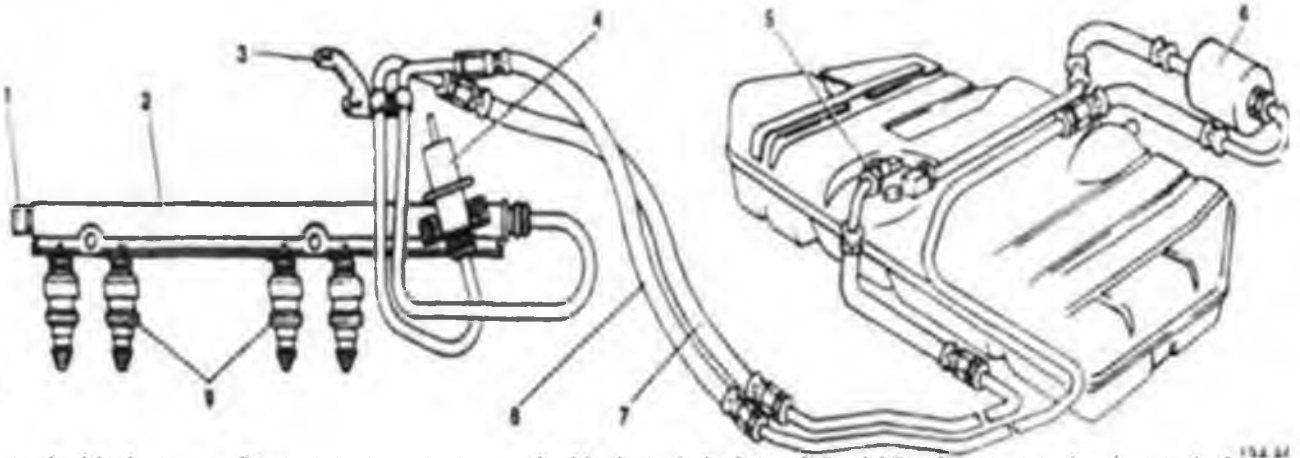


Рисунок 1.1. Система паливоподачі

1 – штуцер контролю тиску палива; 2 – паливна рампа;

3 – кронштейн кріплення паливопроводу; 4 – регулятор тиску палива; 5 – бензонасос; 6 – фільтр тонкого очищення; 7, 8 – паливопровід; 9 – форсунки

Порушення працездатності СПП в експлуатації є важливим фактором, що впливає на експлуатаційні властивості автомобіля. Власники автомобілів, використовуючи бортові системи контролю, що неспроможні з допомогою визначити несправності у роботі СПП, для виявлення причин зниження експлуатаційних показників потрібно проведення діагностичних робіт щодо елементів системи паливоподачі.

Технічний стан системи живлення двигуна можна визначити методами ходових та стендових випробувань. При ходових випробуваннях визначають витрату палива на автомобілі, що рухається із постійною швидкістю на мірній ділянці дороги завдовжки 1 км. Живлення двигуна під час випробувань здійснюється із з'єднаного з насосом мірного бака, з витратомірною шкалою. Перед пробігом двигун та всі агрегати доводять до нормального теплового стану. Потім починають випробування: розганяють автомобіль до постійної швидкості 40 - 60 км/год і проходять із цією швидкістю мірну ділянку, визначаючи витрату палива. Для необхідної точності вимірів заїзди повторюють двічі-тричі і

підраховують середнє значення витрати палива. Порівнюючи отримане значення витрати з паспортними значеннями, роблять висновок стан системи харчування.

Зазначені ходові випробування не повною мірою визначають стан системи живлення, тому що на витрату палива можуть впливати дорожні умови в момент випробування, навантаження двигуна, відхилення стану інших систем, агрегатів та вузлів автомобіля. Крім того, ходові випробування складно проводити за інтенсивного руху, що робить цей метод неприйнятним до двигунів з електронною системою управління.

Метод випробувань системи живлення автомобілів на стенді з біговими барабанами дозволяє імітувати умови руху автомобіля та перевіряти роботу системи живлення на всіх режимах.

Користуючись стендом, можна провести поглиблену діагностику окремих елементів живлення. Для цього на посту, крім стенду з біговими барабанами розміщують додаткові прилади та обладнання: спідометр з лічильником пройденого шляху, що діє від стенду; прилад типу К-427 для вимірювання витрати палива; вакуумметр для вимірювання розрідження у впускному колекторі двигуна; прилад К-436 для перевірки роботи паливного бензонасосу; газоаналізатор для оцінки вмісту окису вуглецю у відпрацьованих газах двигуна.

Якщо при перевірці автомобіля на посту з'ясується, що двигун витрачає палива вище за норму або динамічні характеристики не задовольняють необхідним показникам, проводять поелементну перевірку системи запалювання, визначають стан циліндро-поршневої групи двигуна і ходової частини автомобіля.

Недоліком цього методу є необхідність у додатковому обладнанні для поелементної діагностики системи паливopодачі, висока трудомісткість діагностики.

Наступний метод оцінки СПП заснований на визначенні складу газів, що відпрацьовали, за допомогою швидкодіючих газоаналізаторів.

Основною скрутою при використанні цього методу є те, що його діагностичні параметри є комплексними і не дозволяють однозначно визначити місце несправності елемента. Один діагностичний параметр (наприклад, СО або СН) може відображати вплив кількох несправностей, що виникають у системі



запалення, ЦПГ та ГРМ.

Розглянемо існуючі методи та засоби діагностування елементів СПП двигунів з електронною системою керування.

Перед проведенням операцій з технічного обслуговування та діагностування елементів СПП, щоб уникнути пожежі та травм, необхідно

провести ряд заходів, скинути тиск палива в паливній магістраді, для цього слід:

- відключити електробензонасос, знявши запобіжник захисту його ланцюга або реалізувавши це за допомогою приладу DST;

- запустити двигун, дати попрацювати йому на холостому ходу до повного

вироблення палива;

прокрутити двигун стартером протягом 4...6 с при відгушеній педалі акселератора.

- вимкнути запалення, відключити мінусовий провід батареї, відновити

ланцюг електроживлення бензонаосу;

- демонтувати паливопроводи, не допускаючи протоків або розбризкування палива, обмотати штуцери ганчіркою, що монтується.

*Діагностування фільтра грубої та тонкої очистки (рисунок 1.2).*

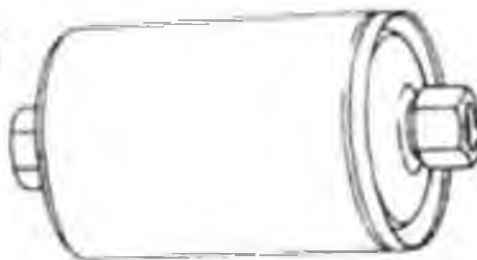


Рисунок 1.2. Фільтр тонкого очищення

У системі паливоподачі передбачені два шаблі фільтрації: грубе очищення в сітчастих фільтрах з розмірами осередків 30-50 мкм і тонке очищення в

паперових фільтрах. Параметром технічного стану фільтра є його пропускна здатність, яка оцінюється різницею тисків до і після фільтра. Ознакою несправності фільтра є зниження потужності великих навантажень.

Рекомендації заводу-виробника:

- обслуговування паливного фільтра грубої очистки рекомендується

проводити через кожні 40000 км пробігу шляхом очищення та продування стисненим повітрям.

- Заміну паливного фільтра тонкої очистки рекомендується проводити через кожні 60000 км пробігу.

Для оцінки пропускної спроможності паливного фільтра тонкої очистки необхідно виміряти тиск палива за допомогою манометра (МТ-2А) в паливній магістралі до фільтра і після нього. Якщо різниця тисків за фільтром та перед ним перевищує 14 кПа, паливний фільтр необхідно замінити. Дана методика

важко здійснити у зв'язку з тим, що паливні фільтри встановлюють під автомобілем у важкодоступному місці, для чого додатково потрібен витяг або оглядова канава.

*Визначення технічного стану бензонасоса.* Вихідними параметрами бензонасоса є продуктивність при заданому тиску, тиск, що максимально розвивається, герметичність зворотного клапана.

Несправності бензонасоса (рисунок 1.3) призводять до зниження потужності двигуна на великих навантаженнях, до утрудненого запуску двигуна.

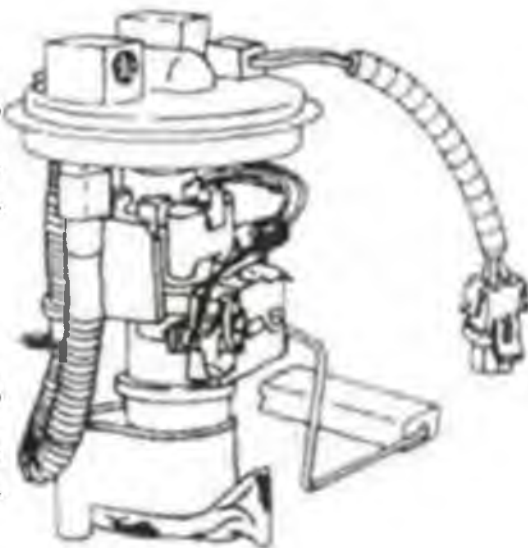


Рисунок 1.3. Електробензонасос

Перевірка продуктивності бензонасоса проводиться підключенням до нагнітальної гілки паливної магістралі пристрою вимірювання тиску МТ-2А з відведенням, що калібрується ( $d = 1,5 \dots 1,7$  мм) що поміщається в бак автомобіля.

За допомогою приладу DST включають електробензонасос (напруга живлення

має бути не нижче 12 В) і контролюють тиск палива. Воно має бути в межах 0,29...0,32 МПа. Якщо його значення нижче, продуктивність насоса недостатня. Низька продуктивність бензонасоса не завжди говорить про його несправний технічний стан. Причиною цього може бути забитий фільтр грубої очистки.

Перевірка продуктивності насоса проводиться з відкритим каналом зливу палива, що витікає під високим тиском (0,29...0,32 МПа). Це становить високу пожежну небезпеку станціях технічного обслуговування. Каліброваних каналів для оцінки продуктивності бензонасосів у спеціальних магазинах для автосервісів немає. У зв'язку з цим контроль продуктивності бензонасоса не

проводиться, що може призвести до експлуатації двигуна з несправним бензонасосом.

Для контролю тиску електробензонасоса, що максимально розвивається, і герметичності зворотного клапана необхідно встановити манометр МТ-2А в нагнітальну магістраль до паливної рампи і заглушити паливопровід на виході з МТ-2А. У вімкнути за допомогою приладу DST бензонасос на 10 с та протягом цього часу проконтролювати тиск, який повинен становити не менше 0,58...0,60 МПа. За відсутності тиску взагалі або якщо він нижчий за норму, необхідно візуально перевірити наявність на паливопроводі вм'ятин, за їх відсутності бензонасос слід замінити.

Для визначення герметичності зворотного клапана електробензонасоса необхідно виміряти падіння тиску протягом 10 с, якщо воно становить менше 0,28 МПа, то насос вибраковується.

Процес перевірки бензонасоса трудомісткий, так як для встановлення манометра в паливну магістраль між бензонасосом і паливною рампою необхідно провести значні за обсягом монтажні - демонтажні роботи. Це важко через застосування в конструкції паливної магістралі різних стяжок та металевих паливопроводів.

*Визначення технічного стану регулятора тиску.* Регулятор тиску (рисунок 1.4) є одним із головних елементів СППТ двигуна з електронною системою управління, він регулює тиск палива в системі паливоподачі, підтримуючи постійний перепад тиску палива (0,3 МПа) на розпилювачах форсунок при різних значеннях розрідження у впускному трубопроводі.

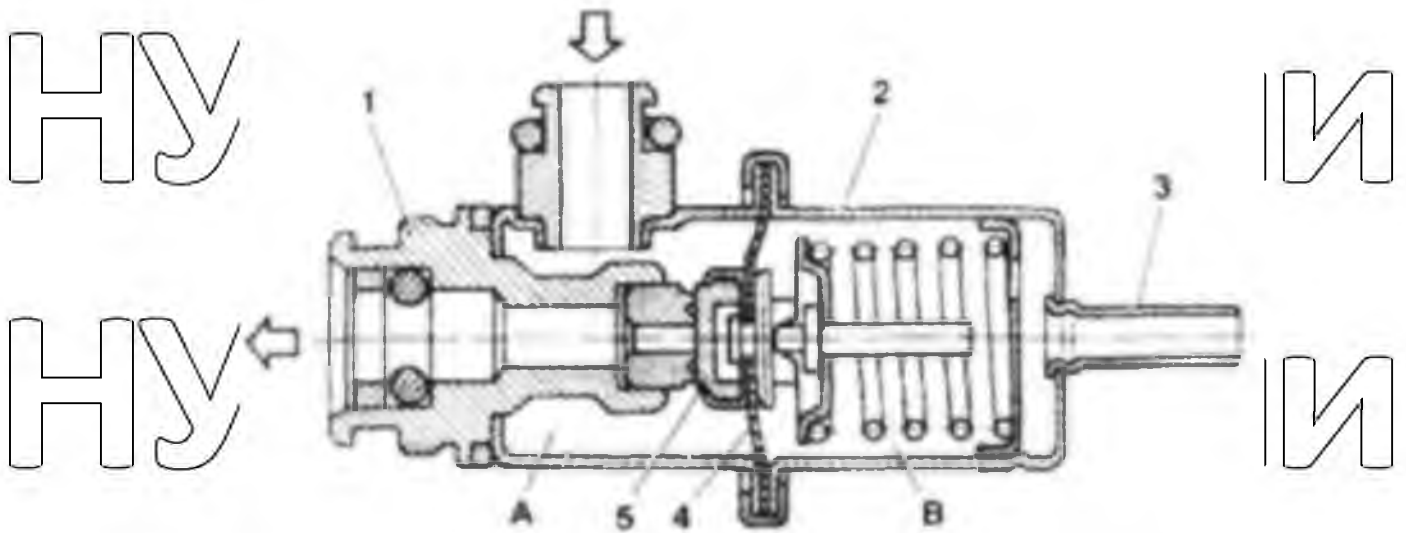


Рисунок 1.4. Регулятор тиску

А – паливна порожнина; В – вакуумна порожнина; 1 – корпус; 2 – кришка;  
3 – пагрубок для вакуумного щланга; 4 – діафрагма

Технічний стан регулятора тиску характеризується герметичністю, величиною регульованого тиску при непрацюючому двигуні (при відсутності розрідження у колекторі впускного двигуна), величиною регульованого тиску в залежності від розрідження у впускному колекторі двигуна. Якщо регулятор тиску не підтримує необхідний тиск у рампі, з'являються:

- нестійка робота двигуна на холостому ходу;
- погана ємність автомобіля, провали при розгоні;
- утруднення пуску двигуна після короточасної зупинки.

Технічний стан регулятора тиску оцінюється за допомогою манометра МТ-

2А, який встановлюється безпосередньо на паливну рампу двигуна або розрив паливопроводу між фільтром тонкого очищення і паливною рампою. Для оцінки величини тиску при двигуні, що не працює, необхідно включити запалювання. Після автоматичного відключення бензонасоса зняти показання манометра -

воно повинно відповідати 0,28...0,30 МПа. Якщо показання манометра не

відповідають зазначеним значенням тиску, регулятор вибирається. Після цього доцільно перевірити герметичність регулятора. Для її оцінки необхідно

після включення запалення та автоматичного вимкнення бензонасоса

зафіксувати тиск, що підтримується регулятором, у паливній рампі та заміряти

падіння тиску в рампі протягом 10 с. При падінні тиску нижче 0,28 МПа можливі



не герметичність регулятора, не герметичність зворотного клапана бензонасоса або герметичність паливних форсунок.

Герметичність зворотного клапана визначається за методом, описаним вище. Герметичність паливних форсунок визначається методом, описаним далі.

Для визначення величини регульованого тиску від розрідження у колекторі впускного двигуна необхідно зняти вакуумний шланг з регулятора тиску. На холостому ході роботи двигуна подати розрідження 300...350 мм рт. ст. за допомогою ручного поршневого насоса на регулятор тиску. Якщо тиск палива в рампі не знижується на 21...69 кПа, регулятор вибраковують.

Недоліками методу діагностування регулятора тиску палива є:

- неможливість проведення цієї операції на моделях де утруднений доступ до зворотної паливної магістралі;

- конструкція зворотної паливної магістралі, що складається з металевого паливопроводу, обумовлює високу трудомісткість діагностування при встановленні манометра;

- метод не дає повної інформації про технічний стан регулятора у зв'язку з тим, що причиною падіння тиску можуть бути інші фактори, наприклад, не герметичність форсунок.

*Діагностування бензинової електромагнітної форсунки*

Параметрами технічного стану електромагнітних форсунок (рисунк 1.5) є пропускна здатність та герметичність.

Ознаки її несправності - це зниження потужності всіх режимах роботи двигуна, підвищений витрата палива, утруднений пуск двигуна. Існують два методи визначення технічного стану ЕМФ: на автомобілі та на стаціонарних проливних стендах.

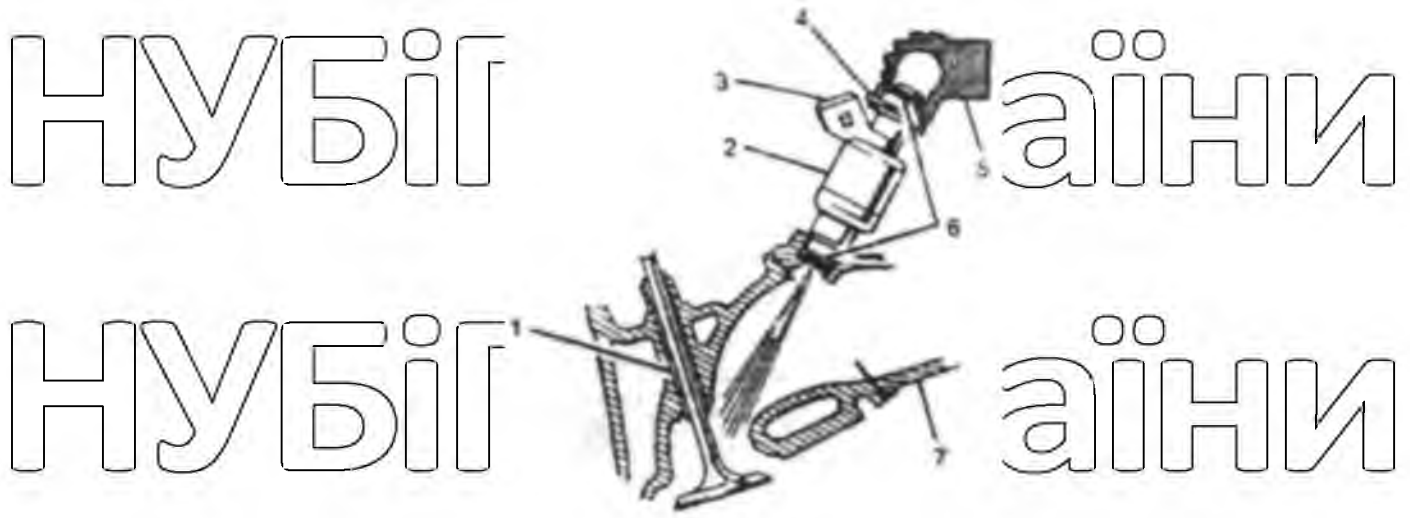


Рисунок 1.5. Схема встановлення електромагнітної форсунки

1 - впускний клапан, 2 - форсунка; 3 - електричний з'єднувач;  
4 - фіксатор; 5 - паливна рампа; 6 - кільце ущільнювача;  
7 - впускний колектор

При діагностуванні форсунок без демонтажу двигуна проводиться контроль нерівномірності пропускної спроможності форсунок (баланс форсунок). Для контролю балансу форсунок необхідні тестер ДСТ-6, що підключається до однієї з форсунок, та манометр МТ-2А, приєднаний до паливної рампи (рисунок 1.6).

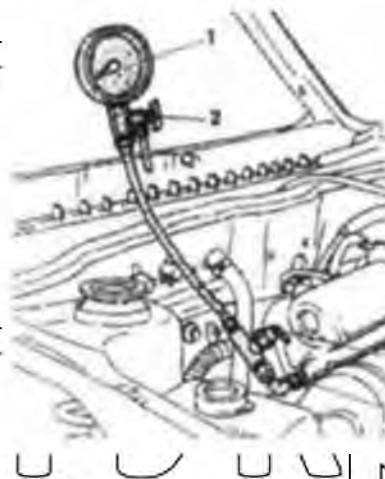


Рисунок 1.6. Схема підключення манометра до паливної рампи

При контролі пропускної здатності форсунки прилад ДСТ-6 задає серію імпульсів відомої тривалості, і падіння тиску в рампі оцінюють її пропускну здатність. Справні форсунки мають практично однакове падіння тиску. Форсунка з відхиленням падіння тиску палива на  $\pm 20\%$  від величини середнього значення тиску інших форсунок вибраковується.

Недоліками цього методу є:

- метод дозволяє лише порівняти пропускну здатність форсунок, але не дозволяє оцінити такі параметри форсунок як герметичність та форма факела розпилу;

- граничне значення пропускну здатності форсунок  $\pm 20\%$  не відповідає необхідному значенню  $\pm 6\%$ , встановленому заводом-виробником;

- для забезпечення точності вимірювання пропускну здатності  $\pm 6\%$  потрібний манометр тиску з більшою точністю шкали вимірювання.

Для перевірки герметичності форсунок на автомобілі пропонується:

- зняти гвинти кріплення рампи і підняти її так, щоб було видно сопла форсунок (рисунком 1.7);

- створити тиск палива включенням бензонасоса і перевірити герметичність форсунок візуально. З появою крапель палива на соплах форсунок їх вибраковуюють. Однак деякими заводами та виробниками ЕМФ рекомендується поява не більше однієї краплі то паливу в одну хвилину.



Рисунок 1.7. Рампа з форсунками у піднятому положенні

Недоліками методу є

- ймовірність видавлювання форсунок під тиском з рампи, пошкодження кілець ущільнювачів, забруднення форсунок;

- висока трудомісткість діагностування.

Метод діагностування ЕМФ з бензонасосом з двигуна при використанні проливних стендів. Стенди дозволяють проводити випробування на перевірку герметичності, синхронності роботи клапанів, перевірку якості розпилу та пропускну здатність форсунок. Для проведення перевірок необхідно

демонтувати форсунки із двигуна.

Пропускну здатність форсунок визначають на стенках проливки в основному при імітації оборотів двигуна від 800 до 6000 хв<sup>-1</sup> в залежності від конструкції стенда. Контроль стану форсунок проводиться на стенді, як правило,

що є складовою миучої установки. Стенд забезпечує подачу спеціальної рідини до форсунок під необхідним тиском; подача керуючих електричних імпульсів дозволяє вести візуальний контроль факела розпилу, контроль обсягу рідини, що пройшла через кожен форсунку, за певний проміжок часу. Якщо технічний стан

форсунок не відповідає вимогам нормативно-технічної документації, то приймається рішення про продовження миття або вибракування форсунок.

Перевірка герметичності форсунки проводиться шляхом подачі до неї рідини при тиску на 10% більше від номінального і за відсутності керуючих імпульсів.

За цих умов більшість виробників форсунок допускають появу не більше однієї краплі на хвилину. Негерметична форсунка може знову піддатися промиванню або вибраковується, якщо повторні промивання не призводять до успіху.

Проведена нами контрольна проливка електромагнітних форсунок однакової моделі (більше 300 штук) на проливному стенді « Форсаж », знятих з автомобілів, що проходили технічне обслуговування в гарантійний та

післягарантійний період експлуатації, показала, що витрати палива випробуваних форсунок на малих режимах імітації оборотів колін відрізняється, а на високих режимах роботи стенду однаковий або витрати палива форсункою на всіх параметрах режиму стенду змінюється (таблиця 1.1).

У методиці перевірки технічного стану форсунок на стінках проливки не описуються способи усунення цих несправностей, сказано лише про проведення заходів з очищення форсунок. Оцінка технічного стану форсунок на проливних стендах займає 1,7 чол.-год. Зняття та встановлення форсунок з двигуна викликають додаткові роботи, пов'язані з усуненням течі палива та підсмоктування повітря. Значна варіація пропускної спроможності форсунок залежно від пробігу та високі трудові витрати на проливку форсунок вимагають впровадження стратегії обслуговування форсунок за діагностичною інформацією.

Таблиця 1.1. Витрата палива форсункою залежно від параметрів режиму стенду



Номер форсунки	Параметри режиму стенду, хв			
	800	1500	3000	6000
1	26	40	50	60
2	26	40	50	60
3	24	38	50	60
4	20	34	50	60
5	22	36	46	56
6	28	42	52	62
7	32	52	62	72

До недоліків цього методу належать такі:

- стенди мають високу вартість, їх застосування обмежене високою трудомісткістю діагностування та великими матеріальними витратами;
- можливість занесення бруду в ЕМФ при монтажі, пошкодження ущільнювальних кілець (що призведе до підсмоктування повітря в робочий циліндр);
- відсутні методики оцінки технічного стану форсунок за результатами проливки на стенках проливки при імітації їх роботи на різних режимах.

Аналіз існуючих методів оцінки технічного стану елементів СПП дозволив зробити висновок, що такі елементи, як бензонасос, фільтри грубої та тонкої очистки, регулятор тиску оцінюються досить точно, але їх діагностика дуже трудомістка. Найбільш складним для діагностування елементом системи паливоподачі є електромагнітна форсунка. Причиною цього є:

- висока трудомісткість контролю технічного стану, пов'язана з демонтажем з двигуна;
- можливість пошкодження та засмічення форсунок під час проведення монтажних-демонтажних робіт;
- відсутність достовірних засобів та методів діагностування;
- відсутність рекомендацій щодо режимів проливки форсунок на стендах та їх обслуговування за результатами проливки;
- висока вартість проливальних стендів.

Зазначені недоліки засобів та методів діагностування форсунок

дозволяють сформулювати такі вимоги до методів її діагностування:

- діагностування має здійснюватися без демонтажу форсунок із двигуна;
- діагностування повинно проводитись на режимах, що контролюють механічну та гідравлічну частини форсунки;
- діагностичне обладнання має бути універсальним (можливість використання всім типів двигунів з електронною системою управління);
- процес діагностування має здійснюватись з мінімальними трудовими витратами.

Найбільш перспективним методом оцінки технічного стану форсунки, який здатний задовольнити перелічені вимоги, є метод діагностування зміни частоти обертання колінчастого валу. В основу розробки методу покладено припущення про існування чутливого зв'язку між якістю паливно-повітряної суміші та індикаторною потужністю двигуна. Це припущення підтверджується регулюванням холостого ходу карбюраторних бензинових двигунів: так, зміна положення гвинта якості системи холостого ходу на півоберта може змінити частоту обертання колінчастого валу двигуна на 100...150 хв<sup>-1</sup>. Викладене дозволило сформулювати наступну гіпотезу, зміна частоти обертання колінчастого валу двигуна на тестових режимах його діагностування при роботі на одному циліндрі корелює з пропускною здатністю форсунки.

Основою розробки методу діагностування форсунки послужив метод, захищений авторським свідоцтвом № 1430789 (кл. G01M15/00).

Суть методу полягає в наступному. Створюються такі навантажувальний і швидкісний режим (тестові режими) під час роботи окремих циліндрів двигуна, у яких прихована чи явна несправність проявляється максимально і позначається потужності двигуна - комплексному показнику працездатності всіх систем і механізмів. Зміна потужності тягне зміну показників тестового режиму: частоти обертання колінчастого валу чи навантаження. При певному стані двигуна, що характеризується наявністю або відсутністю несправностей при фіксованому положенні органу управління подачею палива, кількість і ступінь відключення циліндрів призводить до встановлення рівноваги (балансу) між індикаторною потужністю циліндрів, що працюють, і потужністю механічних втрат при певній частоті обертання колінчастого валу. Баланс цей нестійкий і найменші зміни

стану двигуна, зумовлені несправностями, зміщують баланс у бік зменшення або збільшення кутової швидкості колінчастого валу.

Ступінь усунення балансу зазначених потужностей характеризується зміною частоти обертання колінчастого валу або навантаження. Сукупності чи окремі несправності залежатимуть від обраного тестового режиму роботи двигуна. Отже, можна вибрати такий тестовий режим, при якому для конкретної сукупності несправностей, що характеризує працездатність будь-якого об'єкта діагностування за складністю, ступінь зміщення балансу потужностей буде максимальною.

Таким чином, працездатність і будь-яку несправність двигуна можна визначити ступенем зміщення від встановленого для справного двигуна балансу між індикаторною потужністю циліндрів, що працюють і потужністю механічних втрат на певних тестових статичних режимах. Зміщення це можна оцінити кількісно та (або) якісно.

Кількісними показниками можуть бути частота та (або) зміна частоти обертання колінчастого валу при заданих навантажувальних тестових режимах.

Якісними показниками є відгуки двигуна (головним чином через зміну частоти обертання колінчастого валу) на навмисне, цілеспрямоване порушення процесу, що склався (наприклад, сумішоутворення) діями оператора-діагнosta. Основні переваги запропонованого методу діагностування двигунів на відміну від існуючих полягають у наступному.

1. Виявлення несправностей та оцінка рівня працездатності проводяться не за рахунок вимірювання різних фізичних величин, значення яких визначаються приладами, а на основі вимірювання ступеня зміщення встановленого для справного двигуна балансу між індикаторною потужністю циліндрів (циліндра) і потужністю механічних втрат двигуна при певних тестових режимах його роботи. Такий підхід до оцінки технічного стану різних елементів та механізмів дозволяє при діагностуванні не використовувати численні прилади та стенди.

2. Надмірно висока чутливість встановленого балансу вказаних потужностей до найменшого порушення режиму роботи двигуна від будь-якої несправності на встановленому статичному режимі дозволяє виявити цю несправність з високою точністю та достовірністю. За допомогою даного методу

можна визначити технічний стан електромагнітної бензинової форсунки без демонтажу її з двигуна. Це дозволить скоротити тривалість виконання операцій з її діагностування та отримати достовірну оцінку її технічного стану.

Однак на зміну частоти обертання колінчастого валу двигуна на тестових режимах можуть впливати не тільки технічний стан форсунки, але і зношування циліндро-поршневої групи і газорозподільного механізму. Несправності ГРМ можна розділити на негерметичність клапанів та порушення фаз газорозподілу. При зносі ЦПГ і негерметичності клапанів частина робочої суміші втрачається, у зв'язку з чим відбувається зниження індикаторної потужності, отже, і частоти, що встановилася обертання колінчастого валу двигуна між тестованими циліндрами. При порушенні фаз ГРМ у впускному колекторі двигуна на деяких режимах роботи виникає значний коливальний процес. Це змушує частину повітря триразово проходити через витратомір повітря, що може призвести до помилки вимірювання циклової витрати повітря та визначення циклової подачі палива та серйозно вплинути на склад робочої суміші в циліндрі. Отже, необхідно під час проведення досліджень врахувати вплив цих чинників на оціночний показник технічного стану бензинової електромагнітної форсунки.

Інші несправності, які впливають на якість паливно-повітряної суміші, діагностуються та можуть бути усунені в процесі технічного обслуговування.

### 1.3. Мета та завдання досліджень

Мета роботи. Підвищення ефективності експлуатації бензинових двигунів з електронною системою керування за рахунок діагностування пропускну здатності електромагнітних форсунок та їх технічного обслуговування за результатами діагнозу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання дослідження:

1. Встановити закономірності зміни пропускну здатності бензинових електромагнітних форсунок залежно від технічного стану їх елементів під час експлуатації автомобілів.

2. Визначити закономірності зміни частоти обертання колінчастого валу

двигуна залежно від пропускної спроможності форсунок, обґрунтувати режим їхнього діагностування.

3. Розробити методику та засоби діагностування, перевірити результати теоретичних досліджень та провести оцінку ефективності розроблених засобів діагностування.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## Розділ 2. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕСТОВИХ РЕЖИМІВ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ БЕНЗИНОВИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ФОРСУНОК

### 2.1. Цілі та завдання теоретичних досліджень

При діагностуванні СПП значну складність становить оцінка пропускної спроможності електромагнітної форсунки через недостатню чутливість існуючих діагностичних параметрів. Необхідно знайти більш чутливі діагностичні параметри, які б оцінили технічний стан форсунки з високою точністю і достовірністю.

Теоретичні дослідження були спрямовані на пошук зв'язків між параметрами технічного стану форсунок та вихідними параметрами двигуна внутрішнього згоряння, що дають змогу достовірно оцінити технічний стан форсунки. Будь-який структурний параметр форсунки має зв'язок з подачею палива, отже, і з пропускною здатністю форсунки. У зв'язку з тим, що форсунка нерозбірна, не потрібно проводити поелементне її діагностування. Достатньо оцінити лише комплексний вихідний параметр, який пов'язаний із усіма параметрами технічного стану форсунки. Таким вихідним параметром для форсунки є пропускна здатність.

Метою теоретичного дослідження є дослідження впливу технічного стану електромагнітної форсунки на її пропускну здатність, вибір діагностичних параметрів та режимів, які б дозволили однозначно оцінювати пропускну здатність форсунки з необхідною точністю.

При роботі ЕМФ можна виділити три етапи палива: початок відкриття (підняття запірної голки форсунки), повне відкриття (запірна голка піднята), закриття (запірна голка перекриває сідло форсунки). Відповідно до цього проведено теоретичний аналіз цих етапів процесу паливоподачі. Кожен із них можна охарактеризувати фізичними закономірностями, які відбуваються в процесі роботи форсунки. Ці закономірності мають електричну, механічну та

гідрравлічну основу. Поетапне дослідження процесу подачі палива форсункою дозволить виявити ступінь впливу кожного структурного параметра на процес подачі, а також визначити зв'язок технічного стану форсунки з індикаторною потужністю окремого циліндра згідно з прийнятою гіпотезою.

## 2.2. Дослідження впливу параметрів технічного стану форсунки на її пропускну здатність

Електромагнітна форсунка (рис. 2.1) є прецизійним електромеханічним пристроєм для дозування палива за рахунок зміни її гідрравлічного опору між голкою і сідлом форсунки.



Рисунок. 2.1. Пристрій електромагнітної форсунки

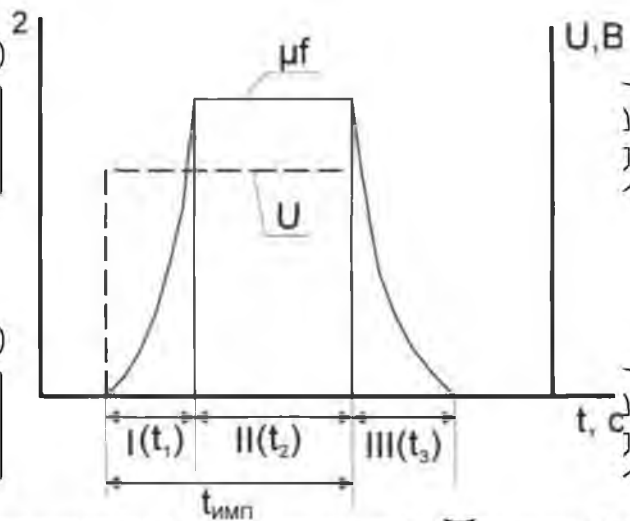
Управління кількістю палива, що подається форсункою в циліндр здійснюється зміною тривалості електричного імпульсу, що подається на форсунку. Під впливом цього імпульсу змінюється пропускну здатність форсунки у часі, що призводить до зміни витрати палива через форсунку.

Перепад тиску палива на форсунці при цьому незмінний. Розглянемо процес зміни пропускну спроможності форсунки у часі відповідно до тривалості електричного імпульсу, що подається на форсунку блоком управління.

Під час подачі електричного сигналу на обмотку електромагніту форсунки



можна виділити три характерні періоди зміни її пропускної спроможності (рис. 2.2). На малюнку схематично показано характер зміни пропускної спроможності форсунки  $\mu_f$  під час  $t_1$  - тривалості підняття голки форсунки під дією електромагнітного імпульсу тривалістю  $t_{\text{имп}}$ ,  $t_2$  - тривалість повного відкриття форсунки,  $t_3$  - тривалість закриття форсунки - опускання голки,  $t_3$ . У першому етапі відбувається збільшення пропускної спроможності форсунки, другий етап відповідає постійній пропускній спроможності, третій етап - зменшення пропускної спроможності форсунки.



Рисунки 2.2. Зміна пропускної спроможності форсунки бензинового двигуна у часі під дією електромагнітного імпульсу

Тривалість роботи бензинової форсунки можна як сумарний час тривалості всіх етапів зміни пропускної спроможності:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3, \quad (2.1)$$

Тривалість роботи форсунки більша за час  $t_{\text{имп}}$  на величину  $t_3$ .

### 2.2.1. Моделювання процесу наливоподачі

#### на першому етапі відкриття форсунки

У першому етапі відбувається підйом запірної голки на максимальну величину, у своїй пропускна здатність форсунки збільшується. Рух голки вгору при відкритті форсунки здійснюється під дією ряду сил: тягової сили електромагніту  $F_{\text{те}}$  сили попереднього стиснення пружини  $F_{\text{прс}}$  сили тиску палива



на голку  $P_1$  і сил тертя  $P_{тр}$  (рис. 2.3).

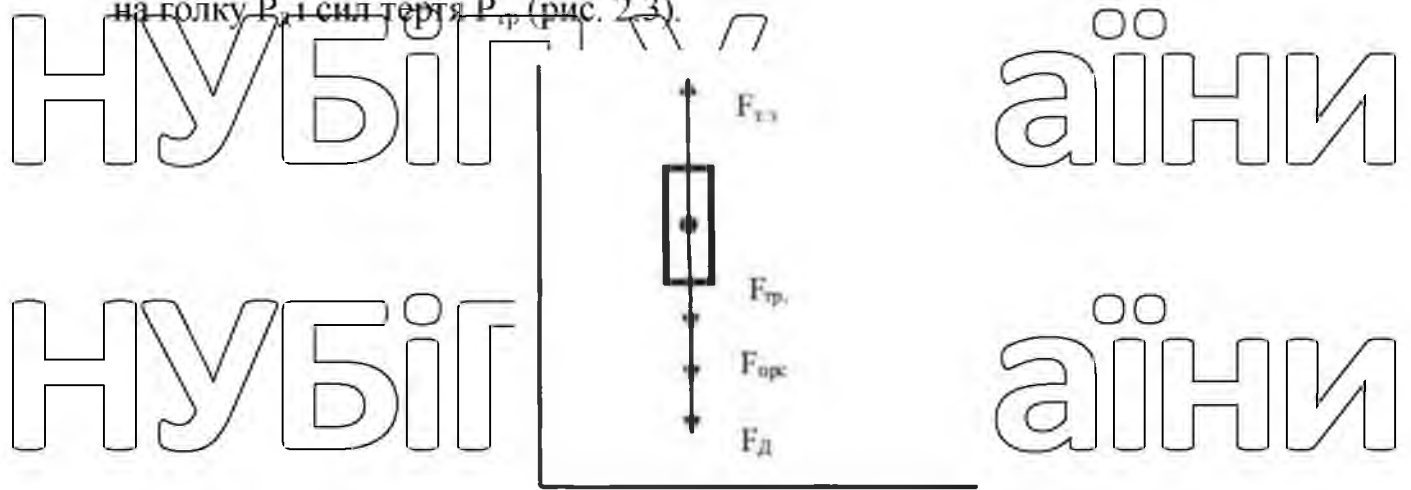


Рисунок 2.3. Схема сил, що діють на голку форсунки

Рівнодія всіх сил, що діють на голку форсунки, описується рівнянням.

$$F = F_{те} - (F_{прс} + kx) - SP - F_{тр} \quad (2.2)$$

де  $F_{те} = 0.5 B^2 S / \mu_0$  - тягова сила електромагніту, Н;  $\mu_0$  - магнітна проникненість у вакуумі,  $B$  - магнітна індукція, Тл;  $S$  - площа поперечного перерізу запірної голки, м;  $F_{прс}$  - сила попереднього стиснення пружини, Н;  $k$  - коефіцієнт пружності пружини, Н/м;  $x$  - переміщення голки форсунки, м;  $P$  - тиск палива в рампі, Па;  $F$  - сили тертя, Н.

Переміщення запірної голки форсунки  $x_1$  першому етапі відкриття форсунки описується наступним рівнянням, за умови, що тягова сила броневого електромагніту, створювана однорідним магнітним потоком, при малих переміщеннях приймається постійної.

$$x_1 = \frac{[F_{те} - (F_{прс} + kx_1) - SP - F_{тр}]t_1^2}{2m} \quad (2.3)$$

де  $m$  - маса запірної голки, кг;

$t_1$  - час тривалості відкриття форсунки, с.

Прийемо, що пропускна спроможність голки пропорційна її переміщенню. З рівняння (2.3) видно, що пропускна здатність форсунки першому етапі змінюється по квадратичній залежності (див. рис. 2.2).

Перетворимо рівняння (2.3) у такий вигляд:

$$x_1 = \frac{[F_{те} - F_{прс} - SP - F_{тр}]t_1^2}{2(1 + \frac{k}{m})m} \quad (2.4)$$

Розглянемо тривалість відкриття форсунки і докладніше.

При подачі електричного імпульсу на форсунку відкриття запірної голки відбувається миттєво (рисунк 2.4).

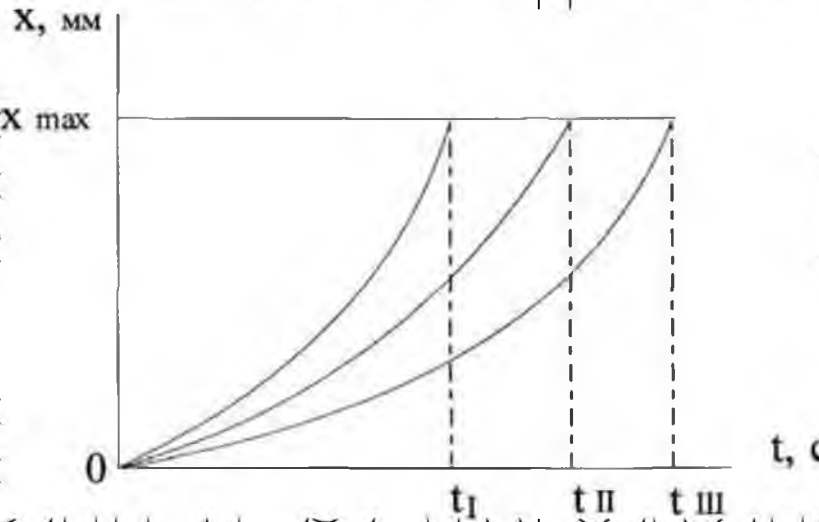


Рисунок 2.4. Переміщення голки під час відкриття форсунки.

Час відкриття форсунки включає в себе час торкання голки, що вимірюється від моменту подачі напруги на обмотку до моменту початку руху голки, і час руху голки  $t_d$ . Отже, час відкриття форсунки описується рівнянням

$$t_1 = t_m + t_d \quad (2.5)$$

Час торкання голки описується рівнянням:

$$t_T = \frac{\omega BS}{IR} \ln \frac{1}{1 - I_T / I_y} \quad (2.6)$$

де  $\omega$  - кількість витків;  $I$  - сила струму обмотки, А;  $R$  - активний опір обмотки електромагніту, Ом;  $I_m$  - струм торкання рухомої системи, А;  $I_y$  - значення струму в обмотці, що встановилося, А.

Час руху голки

$$t_d = \sqrt{\frac{2x_1 m}{0.5 / \mu \left( \mu \frac{I \omega}{2\pi r} \right) - (F_{прс} + kx) - SP - F_{тр}}} \quad (2.7)$$

де  $m$  - маса запірної голки, кг;  $r$  - середній радіус котушки, м;  $k$  - жорсткість пружини, Н/м;  $P$  - тиск палива, МПа.

Підставимо рівняння (2.6) та (2.7) у рівняння (2.5)

$$t_1 = \frac{\omega BS}{IR} \ln \frac{1}{1 - I_T / I_y} + \sqrt{\frac{2x_1 m}{0.5 / \mu \left( \mu \frac{I \omega}{2\pi r} \right) - (F_{прс} + kx) - SP - F_{тр}}} \quad (2.8)$$

Аналіз рівнянь (2.4 і 2.8) показує, що у тривалість першого етапу відкриття

форсунки, отже, і пропускну здатність впливають тягова сила електромагніту, сила попереднього стискування пружини, сила тиску палива у рампі, сили тертя під час її відкриття, тобто. структурні параметри технічного стану форсунки. Час відкриття форсунки є вихідним параметром процесу ливоподачі, що комплексно відображає всі структурні параметри технічного стану форсунки.

Витрата палива на першому етапі для різних форсунок визначатиметься лише часом  $t_1$ , яке залежить від їх технічного стану.

$$Q_1 = \mu f_{cp1} t_1 \sqrt{2\Delta p / \rho}, \quad (2.9)$$

де  $\Delta p$  - різниця тисків палива в рампі та впускному колекторі,  $\text{Н/м}^2$ ;  $\rho$  - щільність палива,  $\text{кг/м}^3$ ;  $t_1$  - час відкриття форсунки за цикл першому етапі роботи, с.

### 2.2.2. Моделювання процесу паливоподачі

#### на другому етапі при повному відкритті форсунки

Другий етап роботи електромагнітної форсунки, що характеризується незмінною пропускну здатністю в часі, оскільки голка знаходиться в нерухомому, максимально піднятому стані. Пропускна здатність цьому етапі максимальна. Під час експлуатації автомобілів пропускна здатність форсунки під час другого етапу може зменшуватися через зниження пропускну здатності фільтра форсунки та збільшуватися або зменшуватися через зміну технічного стану сітка клапана. Тривалість повного відкриття форсунки  $t_2$  залежить від тривалості подачі електричного сигналу обмотку котунки форсунки, тобто. визначається режимом роботи двигуна, а також від тривалості першого етапу під час відкриття форсунки  $t_1$ :

$$t_2 = I_{imn} - t_1 \quad (2.10)$$

Аналіз рівняння 2.10 показує, що при збільшенні часу  $t_1$  зменшується час  $t_2$ . Графік зміни пропускну спроможності форсунки під час дії електричного імпульсу показано рис. 2.5.

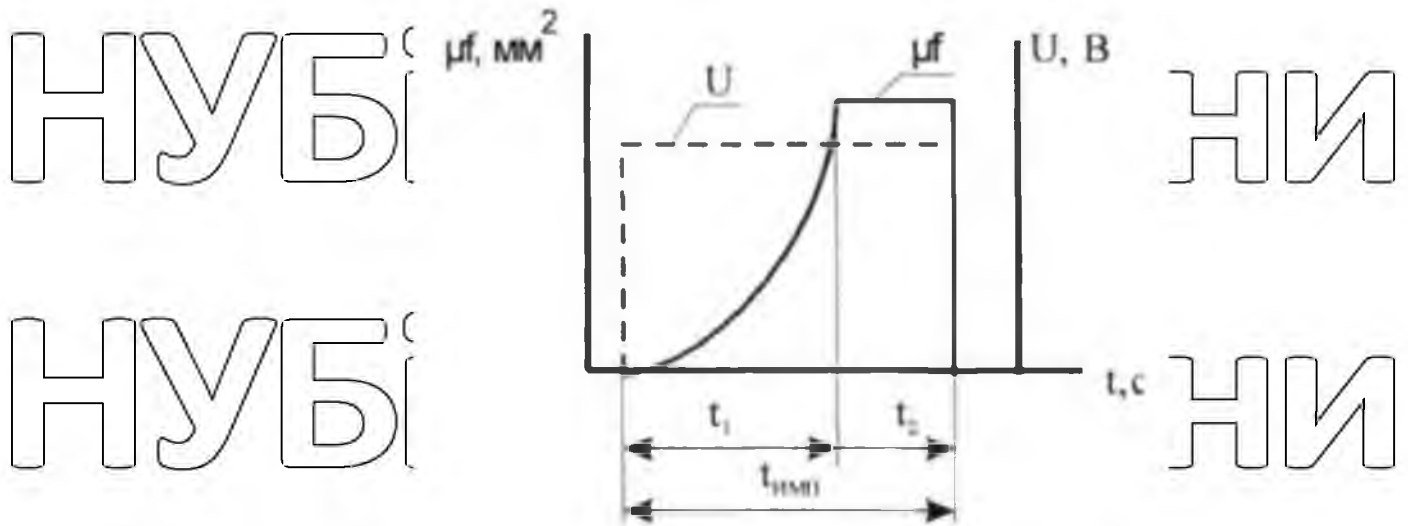


Рисунок 2.5. Залежність пропускної спроможності форсунки за час дії електричного імпульсу.

Витрата палива на другому етапі дорівнює визначається

$$Q_2 = \mu f_2 (t_{\text{имп}} - t_1) \sqrt{2\Delta p / \rho} \quad (2.11)$$

де  $\mu_2$  - коефіцієнт подачі палива форсункою;  $f_2$  - площа прохідного перерізу форсунки на другому етапі її роботи, м<sup>2</sup>;  $\Delta p$  - різниця тисків палива в рампі і впускному колекторі, Н/м<sup>2</sup>;  $\rho$  - щільність палива, кг/м<sup>3</sup>;  $t_1$  - час відкриття форсунки першому етапі роботи, с.

Якщо час через технічний стан збільшується, то загальна подача палива форсункою на першому і другому етапах зменшується, і навпаки, зменшення часу  $t_1$  викликає збільшення подачі палива. Крім цього, ступінь впливу першого етапу на другий залежить від часу імпульсу: чим більший час імпульсу, тим менший ступінь впливу першого етапу на загальну пропускну здатність форсунки. Оскільки час імпульсу пов'язані з режимом роботи двигуна, можна дійти певного висновку, що середня пропускну здатність форсунки під час дії електричного імпульсу залежить тільки від технічного стану форсунки, а й від режиму роботи двигуна.

### 2.2.3. Моделювання процесу паливоподачі на третьому етапі закриття форсунки

Третій, заключний етап характеризується зменшенням пропускної

здатності електромагнітної форсунки, в ході нього припиняється подача електричного сигналу, і голка повинна замкнути прохідний канал форсунки. Для закриття форсунки запірні голка повинна переміститися на конструктивно задану відстань ходу голки  $x_3$ , для чого потрібно проміжок часу від  $t \dots t_1, t_2, t_3$

рисунок 2.6

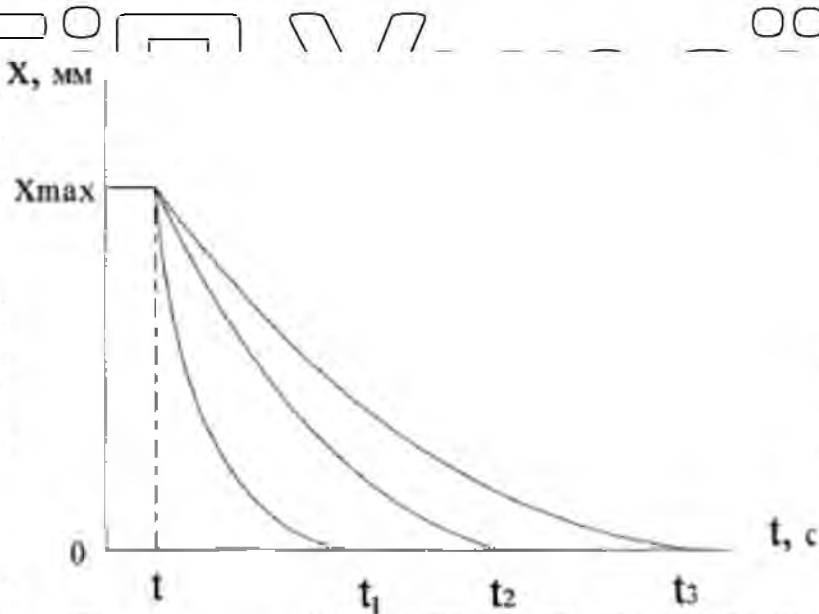


Рисунок 2.6. Переміщення голки під час закриття форсунки.

При цьому переміщення голки запірною клапана відбувається під дією сили стисненої пружини, тиску палива на голку та сили тертя між запірною голкою та корпусом форсунки і описується рівнянням:

$$x_3 = \frac{[(F_{прс} + kx_3) + SP - F_{тр}]t_3^2}{2m} \quad (2.13)$$

де  $F_{прс}$  - сила попереднього стиснення пружини Н;  $\mu$  - коефіцієнт твердості пружини, Н/м;  $x_3$  - переміщення голки форсунки на третьому етапі роботи, м;  $S$  - площа поперечного перерізу запірної голки м<sup>2</sup>;  $P$  - тиск палива в рампі Па;  $F_{тр}$  - сили тертя, Н;  $t_3$  - час тривалості закриття форсунки, с.

Після перетворення рівняння (2.12) щодо  $x$  (переміщення запірної голки) воно набуде вигляду

$$x_3 = \frac{[F_{прс} + SP - F_{тр}]t_3^2}{(1 + \frac{k}{m})m} \quad (2.13)$$

Час закриття форсунки при відключенні обмотки від джерела живлення

складатися з часу спадання магнітного потоку  $t_{cn}$ , що відраховується від моменту розриву ланцюга обмотки до моменту торкання голки запірної, і часу зворотного руху запірної голки  $t_{вд}$ :

$$t_3 = t_{cn} + t_{вд} \quad (2.14)$$

Час спадання магнітного потоку  $t_{cn}$ :

$$t_{cn} = \int_{\psi_T}^{\psi_y} \frac{d\psi}{i R_{ДП}} \quad (2.15)$$

де  $\psi_y$  - потокозчеплення обмотки при струмі, що встановився;  $\psi_T$  - потокозчеплення, що відповідає струму торкання при відпусканні;  $R_{он}$  - опір короткозамкнутої обмотки;

$$x_{вд} = \sqrt{\frac{2mx}{F_{прс} + kx + SP - F_{тр}}} \quad (2.16)$$

отже:

$$t_{cn} = \int_{\psi_T}^{\psi_y} \frac{d\psi}{i R_{ДП}} + \sqrt{\frac{2mx}{F_{прс} + kx + SP - F_{тр}}} \quad (2.17)$$

Аналіз рівняння (2.13 і 2.17) показує, що на тривалість третього етапу закриття форсунки, отже, і пропускну здатність за цей період у процесі експлуатації бензинової форсунки впливають: сила попереднього стиснення пружини, сила тиску палива в рампі, сила тертя. Отже, ці фактори визначатимуть тривалість періоду закриття форсунки. При зміні параметрів технічного стану форсунки характер переміщення запірної голки на момент закриття не змінюється.

Витрата палива третьому етапі залежно від технічного стану елементів форсунки визначається лише зміною часу третього етапу  $t_3$

$$Q_3 = \mu f_{пр3} t_3 \sqrt{2 \Delta p / \rho} \quad (2.18)$$

Порівнюючи коефіцієнти технічного стану електромагнітної форсунки першого етапу

$$a = \frac{[F_{те} - (F_{прс} + kx_1) - SP - F_{тр}] t_1^2}{2m}$$

з технічним станом на третьому етапі

$$a = \frac{[(F_{прс} + kx_3) + SP - F_{тр}] t_3^2}{2m}$$

можна зробити висновок, що середня пропускну здатність на першому етапі

відмінна від середньої пропускної здатності третього етапу:

$$\mu_{f_{cp1}} \neq \mu_{f_{cp3}} \quad (2.19)$$

Загальна витрата палива за цикл роботи форсунки

$$Q_{\text{общ}} = [\mu_{f_{cp1}} t_1 + \mu_{f_2} (t_{\text{имп}} - t_1) + \mu_{f_{cp3}} t_3] \sqrt{2\Delta p / \rho} \quad (2.20)$$

де  $\mu_{f_{cp1}} t_1$  - середня пропускна здатність під час початку відкриття форсунки;  
 $\mu_{f_{cp2}} t_2$  - пропускна здатність за час робочого відкриття форсунки;  $\mu_{f_{cp3}} t_3$  - середня пропускна здатність за час закриття форсунки.

Під час експлуатації ЕМФ відбувається зміна циклової подачі палива за рахунок зміни параметрів на всіх трьох етапах її роботи. Проаналізуємо рівняння (2.20). Середня пропускна здатність першого етапу менша за пропускну здатність на другому етапі, тому що величина підйому запірної голки на другому етапі максимальна. Тому витрата палива за перший та другий етапи роботи форсунки зі зростанням часу через технічний стан елементів форсунки зменшується, і із зменшенням часу  $t_1$  збільшується:

$$\mu_{f_{cp1}} t_1 \sqrt{2\Delta p / \rho} < \mu_{f_2} (t_{\text{имп}} - t_1) \sqrt{2\Delta p / \rho} \quad (2.21)$$

Подача палива третьому етапі пов'язані з технічним станом форсунок.

Сумарний час роботи форсунки на першому та другому етапах дорівнює часу імпульсу, що задається блоком керування двигуна. На тривалість третього етапу роботи форсунки блок керування двигуном не має жодного впливу. Тому подача палива на цьому етапі некерований а чим більше час третього етапу, тим більше палива подається за цей етап. Отже, третій етап може збільшувати циклову подачу палива.

Оскільки час підняття  $t_2$  та час закриття  $t_3$  запірної голки через технічний стан елементів форсунки можуть змінюватися в широких межах і існує зв'язок між часом  $t_1$  і  $t_2$ , то сумарна циклова подача може як збільшуватися, так і зменшуватися залежно не тільки від технічного стану форсунок, але і від режиму роботи двигуна.

Якщо час імпульсу, що подається на форсунку, набагато більше, ніж час



підняття  $t_1$  та час закриття  $t_3$  запірної голки, то ступінь впливу подачі палива на першому та третьому етапах роботи форсунки мінімальна (рисунок 2.7).

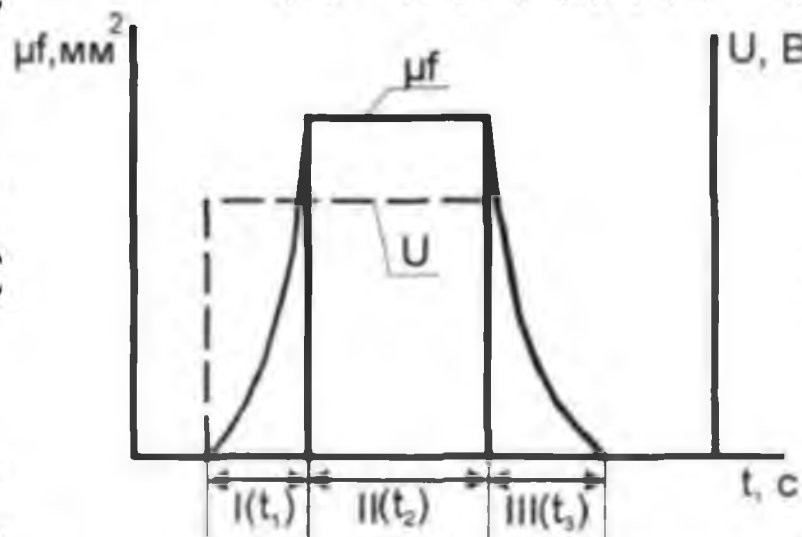


Рисунок 2.7. Процес роботи форсунки при імпульсі, несумірному з часом

відкриття форсунки

Якщо час імпульсу можна порівняти з часом відкриття або закриття форсунки, то циклова подача палива визначається тривалістю часу відкриття  $t_1$  і часу закриття  $t_3$  запірної голки. Вплив другого етапу роботи форсунки мінімальний (рисунок 2.8).

Проведений аналіз етапів роботи електромагнітної форсунки на різних режимах роботи дозволяє зробити висновок, що циклова подача палива в процесі експлуатації змінюється випадковим чином та залежить від технічного стану елементів форсунок та режимів роботи двигуна. В одному режимі роботи двигуна може спостерігатися рівномірна пропускна спроможність форсунок, іншому режимі ця рівномірність значно порушується.



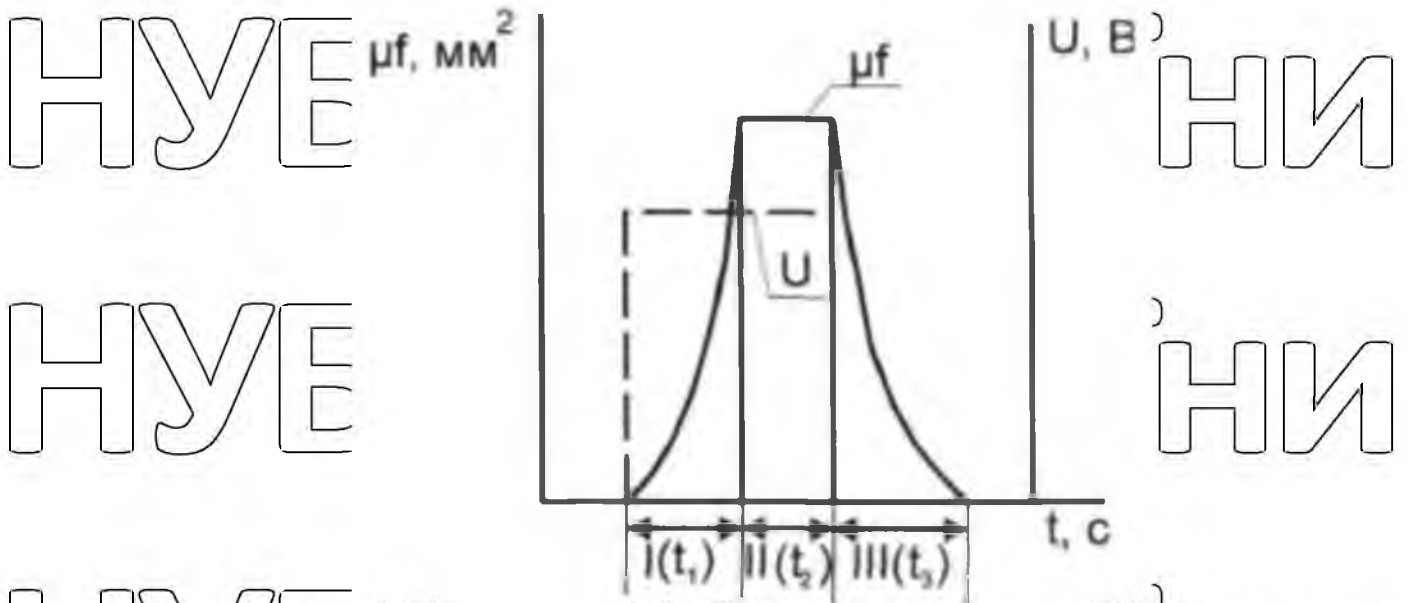


Рисунок 2.8. Процес роботи форсунки при імпульсі, порівнянню з часом відкриття форсунки

Якщо нерівномірність циклової подачі спостерігається при малих циклових подачах і відсутня при великих, причиною нерівномірності є лише різниця між часом відкриття і закриття форсунок. Різниця циклової подачі на всіх режимах або тільки на номінальному свідчить про зміну пропускної здатності форсунок внаслідок зміни технічного стану фільтрів форсунок або сідел клапанів.

Очевидно, що необхідно розробити метод діагностування технічного стану форсунки у процесі експлуатації. Причому контроль пропускної спроможності досить вести на двох режимах роботи двигуна, коли час закриття і час відкриття мають найсильніший вплив на циклову подачу (на найменших циклових подачах палива) і коли вони практично не впливають на циклову подачу (на максимальних подачах палива).

### 2.3. Теоретичний аналіз залежності зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна від якості паливно-повітряної суміші

У двигунах з примусовим запалюванням найкращі умови для займання і розповсюдження горіння створюються в гомогенній суміші, що характеризується тим, що молекули палива та повітря рівномірно поширені за обсягом у заданому співвідношенні кількості палива і повітря.

Кількість повітря, необхідного для повного згоряння 1 кг палива, знаходиться зі стехіометричного співвідношення компонентів горючої суміші, що вступають між собою в реакцію. Для повного згоряння 1 кг бензину потрібно 14,7 кг повітря. Склад горючої суміші оцінюється коефіцієнтом надлишку повітря, який характеризує відношення дійсної кількості повітря, що надходить в циліндри двигуна, до теоретично необхідного :

$$\alpha = \frac{L_d}{L_0} = \frac{G_{ВД}}{G_T L_0} \quad (2.22)$$

де  $L_d$  - дійсна кількість повітря для згоряння 1 кг паливно-повітряної суміші, кг;  
 $L_0$  - кількість повітря, теоретично необхідне згоряння 1 кг палива, кг;  $G_{ВД}$  - кількість повітря, що дійсно надійшло в циліндри двигуна, кг;  $G_T$  - Годинна витрата палива, кг

Потужність та економічність бензинових двигунів залежать від складу паливно-повітряної суміші, на яких вони працюють. Для визначення залежності потужності, паливної економічності та інших показників від співвідношення між паливом та повітрям у горючій суміші служать регульовані характеристики за складом суміші.

Така характеристика для бензинового двигуна при повністю відкритій дросельній заслінці представлена малюнку 2.9.

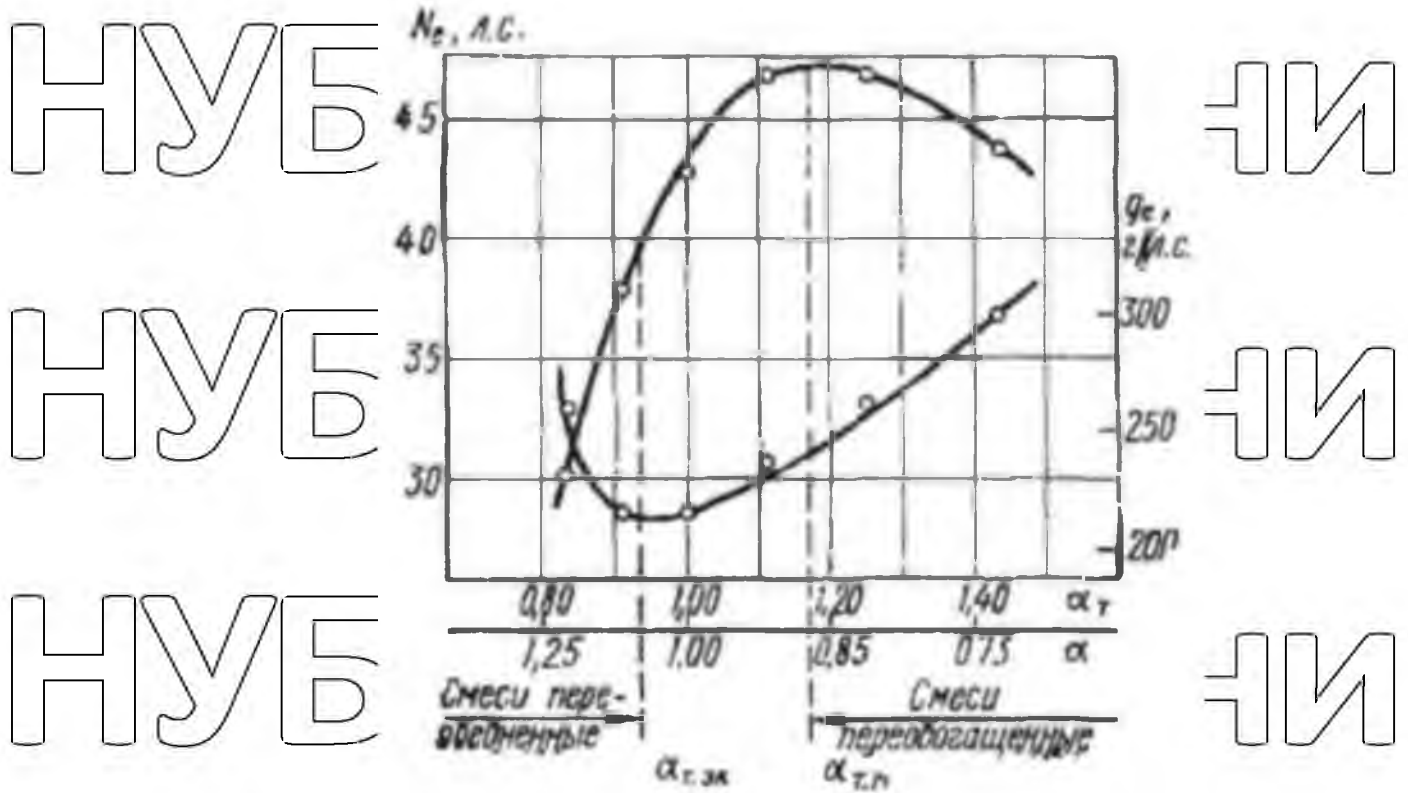


Рисунок 2.9. Регульовальна характеристика бензинового двигуна

З малюнка 2.9 видно, що стехіометричний склад ( $\alpha=1$ ) не є оптимальним для отримання максимальної потужності та мінімальної питомої витрати палива.

При різних ступенях відкриття дросельної заслінки економічні склади суміші характеризуються різними коефіцієнтами надлишку повітря (рисунок 2.10). На малюнку по осі ординат відкладено питому витрату палива у відсотках від мінімального його значення та ефективна потужність двигуна, виражена у відсотках від максимальної потужності, отриманої при даній частоті обертання колінчастого валу та повністю відкритої дросельної заслінки. Криві I та I' відповідають роботі двигуна при повністю відкритій дросельній заслінці; криві II і II', III і III' - при частково відкритій дросельній заслінці. Коефіцієнт надлишку повітря відповідає максимальній потужності (точки 1-3), менше коефіцієнта надлишку повітря при найменшій питомій витраті (точки 5-7), тобто. за максимальної економічності. Область, укладена між кривими *a* і *b*, є тією областю значень коефіцієнта надлишку повітря, в якій доцільне регулювання максимальної потужності та економічності двигуна.

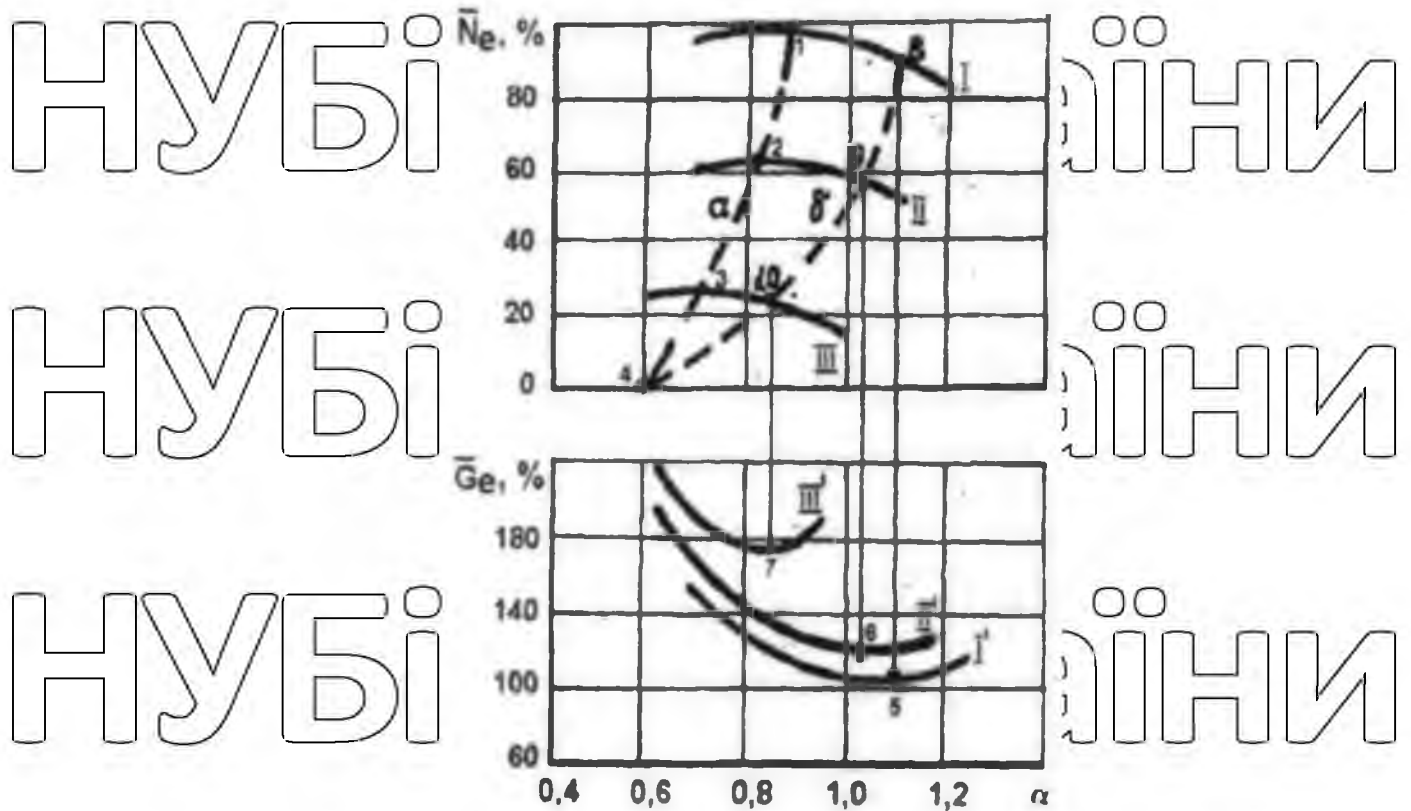


Рисунок 2.10. Регулювальні характеристики двигуна при різному положенні дросельної заслінки

Регулювальні характеристики різних двигунів різні, оскільки визначаються конструктивними параметрами двигуна, але характер зміни вони загальний.

Згідно з нашою гіпстезою, невелика зміна потужності викликає значні зміни оборотів колінчастого валу двигуна при постійному положенні дросельної заслінки. Практично на всіх режимах роботи двигуна з оптимальною ППС з витрат палива її збагачення має викликати зростання потужності, отже, і частоти обертання колінчастого валу двигуна.

У зв'язку з тим, що навантажувальні характеристики автомобільних двигунів за якістю суміші залежать від багатьох конструктивних параметрів двигуна, які складно врахувати в аналітичній моделі процесу сумішоутворення, вони встановлюються і коригуються в ході експериментального доведення двигуна.

Тому для обґрунтування режимів діагностування та діагностичних параметрів необхідно експериментально встановити зв'язок між зміною оборотів

колінчастого валу двигуна (потужності) зміною якості паливно-повітряної суміші для об'єкта дослідження. Нами було проведено пеньуковий експеримент та знято регулювальні характеристики для двигуна ЗМЗ 406.10 на різних режимах роботи двигуна: 1 - відкриття дросельної заслінки на 25%; 2 - відкриття дросельної заслінки на 50%; 3 - відкриття дросельної заслінки на 75% (рис. 2.11).

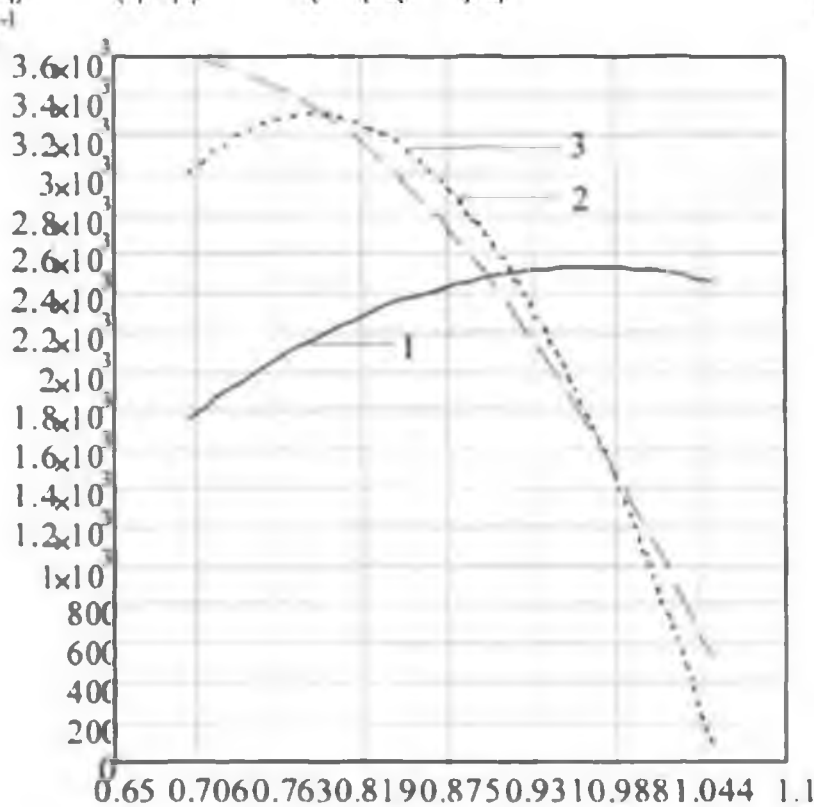


Рисунок 2.11. залежність оборотів двигуна  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$  від коефіцієнта надлишку повітря  $a$  при різному ступені відкриття дросельної заслінки

Дані характеристики апроксимуються наступним рівнянням:

$$n = \frac{(15.984z^2 - 4.817 \cdot 10^3 z + 8.096 \cdot 10^4) a^2 + (-72.584z^2 + 7.425 \cdot 10^3 z - 1.195 \cdot 10^5) a + (27.754z^2 - 2.748 \cdot 10^3 z + 4.383 \cdot 10^4)}{(2.23)}$$

де  $a$  - коефіцієнт надлишку повітря;

$z$  - ступінь відкриття дросельної заслінки, %.

Проаналізуємо рівняння (2.23) з метою визначення режиму роботи двигуна, на якому зміна коефіцієнта надлишку повітря викликає найбільшу зміну частоти обертання колінчастого валу двигуна. Для цього про диференціюємо рівняння (2.23) по  $a$ :  $V_n(f(a, z)) = f(a, z) da$

В результаті диференціювання отримаємо:



$$V_n(a, z) = 2a(45,84z^2 - 4,817 \cdot 10^3 z + 8,096 \cdot 10^4) - 72,584z^2 + 7,425 \cdot 10^3 z - 1,195 \cdot 10^5 \quad (2,24)$$

Представимо отриману залежність графічно (рисунок 2.12):

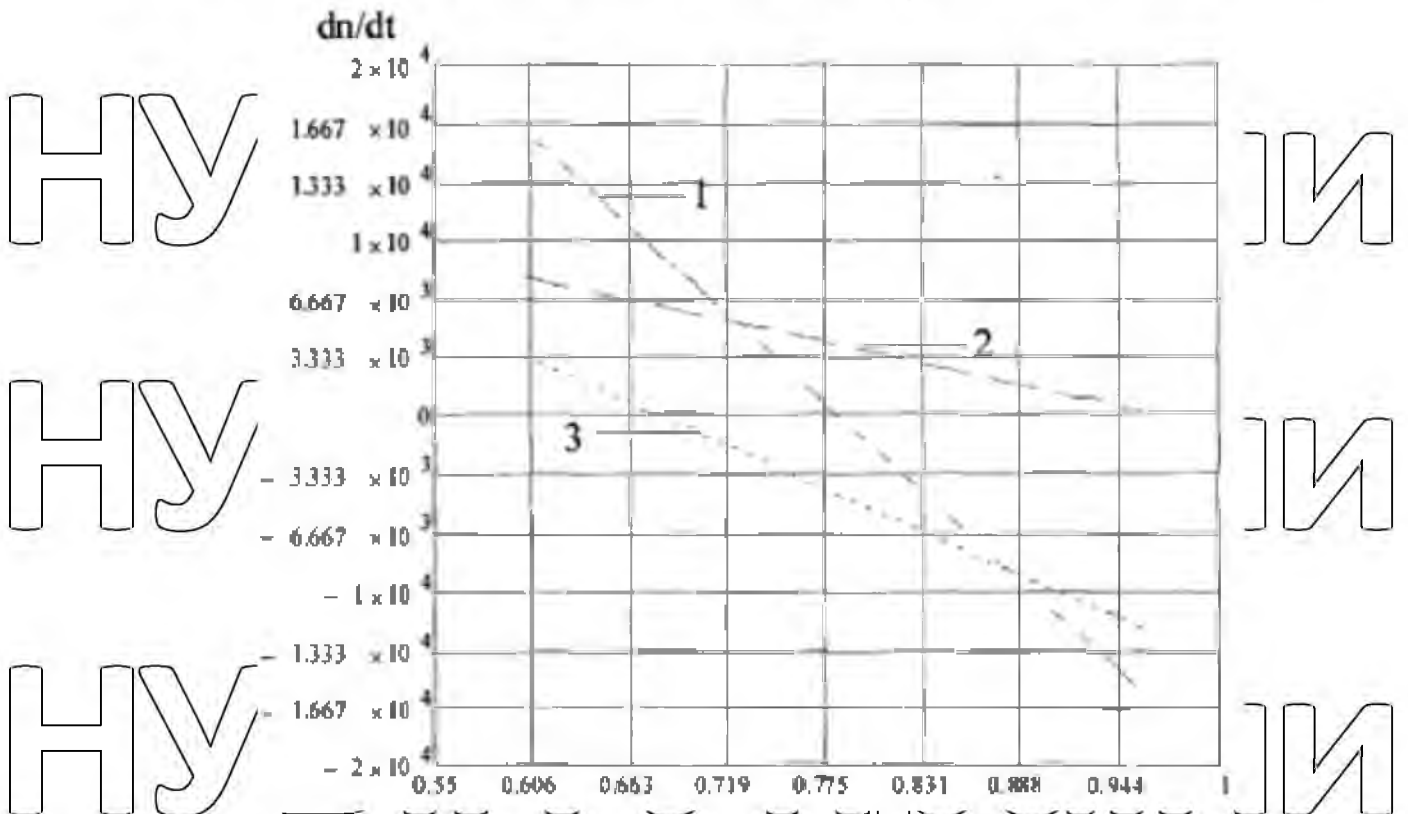


Рисунок 2.12. Залежність швидкості зміни оборотів двигуна  $dn/dt$  від коефіцієнта надлишку повітря  $a$  при відкритті дросельної заслінки:

1-75%; 2-25%; 3-50%

Аналіз графіків на рисунках 2.11, 2.12 дозволяє зробити такі висновки, необхідних вибору режимів діагностування:

1. Найбільше зміна частоти обертання колінчастого валу двигуна залежить від коефіцієнта надлишку повітря спостерігається під час відкриття дросельної заслінки на 50%.

2. Чим бідніше ППС, тим більші зміни оборотів колінчастого валу двигуна викликає варіація  $a$ .

3. Найменша чутливість частоти обертання колінчастого валу двигуна до зміни якості ППС при навантаженні 25% відповідає  $a = 0,96$ , за 50% -  $a = 0,78$ , за 75% -  $a = 0,67$ .

4. У точках найменшої чутливості обороти колінчастого валу двигуна максимальні, при навантаженні 25%, обороти двигуна склали  $2500 \text{ хв}^{-1}$  при 50% -  $3500 \text{ хв}^{-1}$  при 75% -  $3600 \text{ хв}^{-1}$

Для оцінки технічного стану форсунок, як було показано в розділі 2.2, необхідно оцінювати їхню пропускну здатність при малих і великих подачах палива.

Найменше навантаження при стійкій роботі двигуна на одній форсунці, як показує пошуковий експеримент, становить 25% відкриття дросельної заслінки, така величина повинна бути діагностичним режимом для оцінки змін пропускну спроможності форсунок, викликаних зміною часу відкриття або закриття форсунок. Для визначення зміни пропускну спроможності форсунок при повному піднятті голки необхідно вибрати режим діагностування, що відповідає 70% відкриття дросельної заслінки з наступних причин:

- у цьому режимі не включається повна потужність, у якому система живлення готує збагачену ППС. На збагачених сумішах оцінювати пропускну здатність форсунки розробленим методом неможливо, тому що в цьому випадку потужність двигуна малочутлива до зміни якості паливно-повітряної суміші;

- тривалість імпульсу цьому режимі максимальна під час роботи двигуна на оптимальних сумішах, що робить мінімальним вплив часу відкриття і закриття форсунки на циклову подачу.

- швидкість зміни оборотів колінчастого валу двигуна при цьому режимі трохи поступає режиму роботи двигуна при 50% відкритті дросельної заслінки.

### 2.3.1. Аналіз залежності частоти обертання під час роботи двигуна

одному циліндрі при відкритті дросельної заслінки на 25%

Проведемо аналіз залежності частоти обертання колінчастого валу від якості паливно-повітряної суміші при роботі двигуна на одному циліндрі при відкритті дросельної заслінки на 25%.

При виборі діагностичного параметра слід оцінити його чутливість до зміни структурного параметра. Для цього визначимо ступінь зміни обертів двигуна на вибраному режимі при граничній зміні пропускної здатності форсунки.

Основна перевага системи упорскування легкого палива в порівнянні з карбюраторною системою живлення полягає у забезпеченні складу суміші бензин - повітря, близького до стехіометричного (коефіцієнт надлишку повітря  $a = 0,96 \pm 0,003$ ), на малих навантаженнях на двигун.

При встановленні технічно справної форсунки на двигун коефіцієнт надлишку повітря відповідає 0,96. Підставивши величину навантаження та коефіцієнта надлишку повітря в рівняння (2.23), яке визначає залежність

оборотів колінчастого валу двигуна від зазначених вище факторів, ми отримали, що частота обертання колінчастого валу двигуна склала  $2520 \text{ хв}^{-1}$ . Якщо на двигун встановити форсунку з гранично зменшеною пропускною здатністю (на 6%), то величина коефіцієнта надлишку повітря для цього випадку відповідно до

рівняння (2.22) дорівнюватиме одиниці, а частота обертання валу двигуна складе відповідно до рівняння (2.23)  $2500 \text{ хв}^{-1}$ . При встановленні на двигун форсунки з гранично збільшеною пропускною здатністю (на 6%), коефіцієнт надлишку

повітря за рівнянням (2.22) складе 0,92, а частота обертання валу двигуна за рівнянням (2.23) складе  $2490 \text{ хв}^{-1}$ .

Аналіз отриманих значень показує, що гранична зміна пропускної спроможності форсунок викликає незначні зміни частоти обертання валу двигуна (всього на  $30 \text{ хв}^{-1}$ ). У цьому випадку обороти не можуть бути використані як діагностичний параметр через його малу чутливість.



Для підвищення чутливості діагностичного параметра необхідно штучно збільшити ППС за допомогою приладу, що дозволяє змінювати тривалість імпульсу, що подається на форсунку на задану величину. Априорно відомо, що для нашого об'єкта дослідження граничне значення коефіцієнта надлишку повітря становить 1,17. У цьому обороти колінчастого валу двигуна знижуються до  $2050 \text{ хв}^{-1}$ .

Визначимо ступінь зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна залежно від якості ППС для цього режиму.

Якщо гранично збільшити ППС в циліндрі, який встановлена справна форсунка, то циліндри, в яких є форсунки з зменшеною пропускною здатністю, але для яких зберігається та ж корекція тривалості імпульсу, працювати не зможуть через переобіднення суміші. Для того щоб унеможливити переобіднення суміші, установку якості суміші зі значеннями  $a = 1,17$  потрібно виконувати для форсунок з гранично найменшою пропускною здатністю. Отже якщо для циліндра, в якому встановлена форсунка з пропускною здатністю, зменшеною на 6%, збільшити суміш до  $a = 1,17$ , а потім перейти на циліндр, в якому встановлена справна форсунка, можна визначити ступінь зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Працюючи двигуна з встановленим коефіцієнтом надлишку повітря 1,17 і ступенем відкриття дросельної заслінки 25% частота обертання колінчастого валу дорівнює  $2050 \text{ хв}^{-1}$ . Якщо пропускну здатність форсунки збільшити на 6%, що відповідає встановленню в циліндр справної форсунки, то коефіцієнт надлишку повітря згідно з рівнянням 2.22 прийме значення 1,09, а частота обертання колінчастого валу двигуна згідно з рівнянням (2.23) складе  $2300 \text{ хв}^{-1}$ .

Зміна частоти обертання колінчастого валу зі збільшенням пропускної спроможності форсунки на 6% становитиме  $250 \text{ хв}^{-1}$ . При встановленні на двигун форсунки з гранично найбільшою пропускною здатністю коефіцієнт надлишку повітря відповідно до рівняння (2.22) зросте до 0,98, а частота обертання колінчастого валу двигуна відповідно до рівняння (2.23) складе  $2520 \text{ хв}^{-1}$ , що на

470 хв<sup>-1</sup> вище ніж у циліндра, на якому встановлена форсунка з гранично зменшеною пропускною здатністю.

З проведеного аналізу можна зробити такі висновки.

1. При роботі двигуна з якістю ППС, яке задає ЕСУД, оцінити пропускну здатність форсунки щодо зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна за ступенем відкриття дросельної заслінки на 25% достовірно неможливо.

2. При роботі двигуна на штучно збідненій суміші з коефіцієнтом надлишку повітря 1,17 різниця частоти обертання колінчастого валу двигуна для форсунки, що має гранично зменшену пропускну здатність, від технічно справної становить 250 хв<sup>-1</sup>, що є досить чутливим діагностичним параметром для перевірки пропускної здатності форсунки.

3. За подальшого збільшення пропускної спроможності чутливість діагностичного ознаки зберігається.

Таким чином, режимом діагностування форсунок на мінімальних циклових подачах є режим роботи двигуна на одному циліндрі з частотою обертання валу 2050 хв<sup>-1</sup> при відкритті заслінки дросельної на 25% і коефіцієнті надлишку повітря 1,17. Для виходу на цей режим відповідно до зміни обертів колінчастого валу двигуна в залежності від коефіцієнта надлишку повітря необхідно для циліндра двигуна, що має мінімальну частоту обертання колінчастого валу по відношенню до інших циліндрів, домогтися зміни якості суміші до встановлення максимальних обертів колінчастого валу двигуна, а потім, збіднівши ППС, досягти падіння частоти обертання валу на 200 хв<sup>-1</sup>.

### **2.3.2. Аналіз залежності частоти обертання під час роботи двигуна одному циліндрі при відкритті дросельної заслінки на 70%**

Для визначення зміни пропускної здатності форсунок при повному піднятті голки необхідно визначити ступінь зміни обертів колінчастого валу двигуна на вибраному режимі при граничній зміні пропускної здатності форсунок.

Максимальним навантаженням цього діапазону є режим для форсунки з номінальною пропускною здатністю, при якому дросельна заслінка відкрита на 70%, частота обертання двигуна становить  $3540 \text{ хв}^{-1}$  коефіцієнт надлишку повітря відповідає 0,72.

Якщо встановити на двигун гранично засмічену форсунку, пропускна здатність якої зменшена на 6%, то величина коефіцієнта надлишку повітря для цього випадку відповідно до рівняння (2.22) дорівнюватиме 0,77, а частота обертання валу двигуна становитиме відповідно до рівняння (2.23)  $3470 \text{ хв}^{-1}$ . При встановленні на двигун форсунки, пропускна здатність якої збільшена на 6%, коефіцієнт надлишку повітря, за рівнянням (2.22), становитиме 0,68, а частота обертання валу двигуна, за рівнянням (2.23) становитиме  $3490 \text{ хв}^{-1}$ .

Аналіз отриманих значень показує, що гранична зміна пропускної спроможності форсунок викликає незначні зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна (загалом на  $50 \dots 70 \text{ хв}^{-1}$ ). У цьому випадку обороти не можуть бути використані як діагностичний параметр через його малу чутливість.

Для підвищення чутливості діагностичного параметра необхідно штучно збіднити ППС за допомогою приладу, що дозволяє змінювати тривалість імпульсу, що подається на форсунку на задану величину. Априорно відомо, що для нашого об'єкта дослідження граничне значення коефіцієнта надлишку повітря становить 0,95. У цьому обороти колінчастого валу двигуна знижуються до  $1980 \text{ хв}^{-1}$ .

Визначимо ступінь зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна залежно від якості ППС для цього режиму.

Якщо гранично збіднити ППС в циліндрі, який встановлена справна форсунка, то циліндри, в яких є форсунки з зменшеною пропускною здатністю, але для яких зберігається та ж корекція тривалості імпульсу, працювати не зможуть через переобіднення суміші. Щоб виключити переобіднення суміші, встановлення якості суміші зі значеннями  $a = 0,95$  потрібно виконувати для форсунок з гранично найменшою пропускною здатністю. Отже, якщо для

циліндра, в якому встановлена форсунка з пропускною здатністю, зменшеною на 6%, збіднити суміш до  $\alpha = 0,95$ , а потім перейти на циліндр, в якому встановлена справна форсунка, то можна визначити ступінь зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Працюючи двигуна з встановленим коефіцієнтом надлишку повітря 0,95 і ступенем відкриття дросельної заслінки 70% частота обертання колінчастого валу дорівнює  $1980 \text{ хв}^{-1}$ . Якщо пропускну здатність форсунки збільшити на 6%, що відповідатиме встановленню в циліндр справної форсунки, то коефіцієнт надлишку повітря згідно з рівнянням (2.22) прийме значення 0,89, а частота обертання колінчастого валу двигуна, за рівнянням 2.23 складе  $2060 \text{ хв}^{-1}$ . Зміна частоти обертання колінчастого валу зі збільшенням пропускної спроможності форсунки на 6% становитиме  $740 \text{ хв}^{-1}$ . При встановленні на двигун форсунки з максимальною пропускною здатністю коефіцієнт надлишку повітря відповідно до рівняння (2.22) зросте до 0,84, а частота обертання колінчастого валу двигуна відповідно до рівняння (2.23) прийме значення  $3110 \text{ хв}^{-1}$ , що на  $1190 \text{ хв}^{-1}$  вище, ніж у циліндра, на якому встановлена форсунка із гранично зменшеною пропускною здатністю.

З проведеного аналізу можна зробити такі висновки.

1. При роботі двигуна з якістю ГПС, яке задає ЕСУД, оцінити пропускну здатність форсунки щодо зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна за ступенем відкриття дросельної заслінки на 70% достовірно неможливо.

2. При роботі двигуна на штучно збідненій суміші з коефіцієнтом надлишку повітря 0,95 різниця частоти обертання колінчастого валу двигуна для форсунки, що має гранично зменшену пропускну здатність, від технічно справної становить  $740 \text{ хв}^{-1}$  що є досить чутливим діагностичним параметром для перевірки пропускної здатності форсунки.

3. За подальшого збільшення пропускної спроможності чутливість діагностичного ознаки зберігається.

Таким чином, режимом діагностування форсунок при повному піднятті

голки форсунки в режим роботи двигуна на одному циліндрі з частотою обертання валу  $1980 \text{ хв}^{-1}$  з 20% відключенням активних циклів у працюючому циліндрі при відкритті дросельної заслінки на 70%. Коефіцієнт надлишку повітря відповідає 0,95. Для виходу на цей режим відповідно до зміни обертів двигуна в залежності від коефіцієнта надлишку повітря необхідно для циліндра двигуна, що має мінімальну частоту обертання по відношенню до інших циліндрів, домогтися зміни якості паливно-повітряної суміші до встановлення максимальних обертів колінчастого валу двигуна, а потім, збіднівши ППС, досягти падіння частоти обертання валу на  $200 \text{ хв}^{-1}$ .

#### 2.4. Висновки по розділу

1. Встановлено, що причиною нерівномірності циклічної подачі палива на режимах, близьких до холостого ходу, є неприпустима зміна структурних параметрів форсунки, що впливають на час відкриття та закриття форсунки.

2. Встановлено, що причиною зміни циклічної подачі палива на номінальному режимі та режимі, близькому до нього, є зміни структурних параметрів форсунки, пов'язаних з технічним станом сідел клапанів та пропускною здатністю фільтрів форсунок.

3. Встановлено, що пропускна здатність форсунки є чутливим вихідним параметром технічного стану елементів форсунки і тому пропускна здатність є комплексним діагностичним параметром технічного стану елементів форсунки.

4. Розкрито взаємозв'язок між частотою обертання колінчастого валу двигуна та пропускною здатністю форсунки, що дозволяє розробити метод діагностування технічного стану форсунок щодо зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна.

5. Встановлено, що для оцінки технічного стану елементів форсунки, що впливають на час відкриття та закриття форсунки, необхідно оцінювати пропускну спроможність на режимі мінімальної подачі палива, для оцінки технічного стану, пов'язаного зі зміною поперечної площі каналів форсунок,

необхідно оцінювати на номінальній подачі палива.

6. Визначено, що діагностичним режимом при малих подачах палива є робота двигуна на одному циліндрі з частотою обертання колінчастого валу двигуна  $2050 \text{ хв}^{-1}$  і коефіцієнтом надлишку повітря 1,17.

7. Визначено, що діагностичним режимом при номінальній подачі палива є робота двигуна на одному циліндрі з 20%-вим відключенням активних циклів у працюючому циліндрі, частотою обертання колінчастого валу двигуна  $1980 \text{ хв}^{-1}$  і коефіцієнт надлишку повітря 0,95.

8. Виявлено, що діагностичним параметром може бути зміна частоти обертання колінчастого валу двигуна.

9. Встановлено, що теоретична чутливість діагностичного параметра для режиму малої подачі палива становить  $470 \text{ хв}^{-1}$  при зміні пропускної спроможності форсунки на -6% і  $250 \text{ хв}^{-1}$  при зміні пропускної спроможності форсунки на +6%, для режиму номінальної подачі палива чутливість діагностичного параметра становить  $1190 \text{ хв}^{-1}$  при зміні пропускної спроможності форсунки на -6% та  $740 \text{ хв}^{-1}$  при зміні пропускної спроможності форсунки на +6%.

## Розділ 3. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Загальна методика експериментальних досліджень

Методика досліджень передбачає вирішення поставлених завдань шляхом проведення теоретичних, лабораторних та експлуатаційних експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження передбачають дослідження різних факторів, що впливають на діагностичний параметр.

Об'єктом випробування є система паливоподачі двигуна ЗМЗ-406.10 з електронною системою управління. Для створення необхідних режимів діагностування ЕМФ використовувався прилад відключення форсунок, який дозволяє створювати будь-яке навантаження на циліндр, що діагностується. Перевірка достовірності отриманих результатів проводилася шляхом порівняння результатів діагностування з результатами проливки форсунок на стенді Форсаж.

Вибір як об'єкт досліджень двигуна ЗМЗ-406.10 заснований на наступних особливостях його конструкції:

- масово поширений на вантажних автомобілях малої вантажопідйомності;
- максимально пристосований до діагностування;
- застосування в системі живлення схеми синхронного упорскування форсунками палива, що полягає в одноразовому впорскуванні порції палива в момент відкриття впускного клапана,
- простота кріплення двигуна на рамі дослідного стенду.

Двигун ЗМЗ – 406.10 – бензиновий 4-циліндровий 16-клапанний з порядком роботи циліндрів 1-3-4-2, обладнаний мікропроцесорною системою управління.

Двигун був встановлений на дослідницький стенд, що є поворотною рамою. Поворотна рама дозволяла оперативно без зняття двигуна змінювати технічний стан ГРМ та ЦПГ. До рами дослідницького стенду кріпиться ряд елементів: радіатор, електробензонасос, бензобак і т.д. Для відведення газів, що виділяються, передбачена витяжна вентиляція.

Дослідницький стенд оснащений штатною системою управління роботою



двигуна з пультом управління який включає електронний блок управління двигуном, підключений до датчиків і виконавчих механізмів двигуна, замок запалювання, блок запобіжників, реле і штатний щиток приладів.

Для забезпечення режимів навантаження при дослідженнях системи паливоподачі нами був використаний прилад, який дозволяє створити будь-який навантажувальний і швидкісний режим для робочих процесів в досліджуваному циліндрі. Навантаження на циліндр забезпечується рахунок повного відключення паливоподачі у будь-яких циліндрах чи рахунок відключення окремих циклів паливоподачі у вибраному циліндрі, тобто. у вибраному циліндрі можна відключити кожен десятий, дев'ятий, восьмий і т.д. цикл паливоподачі аж до повного відключення подачі.

Крім регулювання ступеня навантаження на досліджуваний циліндр, прилад може коригувати тривалість імпульсів, що подаються на форсунки електронним блоком управління автомобіля, змінюючи тривалість паливоподачі на величину, що задається оператором.

Для управління положенням дросельної заслінки двигуна, якістю паливно-повітряної суміші та роботою форсунок використовувався вимикач форсунок та регулятор положення дросельної заслінки.

Вимикач дозволяє керувати роботою електромагнітних форсунок: відключати повністю форсунки циліндрів, що не беруть участь у діагностуванні, і відключати роботу форсунок на задану кількість циклів в циліндрі, що діагностується, а також вносити зміну величини циклової подачі обраної форсунки.

За допомогою реєструючої апаратури проводилися зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна (який є діагностичним параметром), положення дросельної заслінки та температурний режим двигуна.

Для проведення експерименту необхідно було підготувати форсунки із гранично допустимою пропускною здатністю та технічно справну - еталонну форсунку. За еталонну форсунку було прийнято нову форсунку, параметри якої відповідали нормативно-технічній документації заводу-виробника BOSCH 0280150711, продуктивністю 192 см<sup>3</sup>/хв. Вихідні параметри форсунки

перевірялися на діагностичному стенді Форсаж.

Стенд для перевірки електромагнітних форсунок бензинових двигунів Форсаж призначений для перевірки та очищення форсунок із прямою подачею палива. Загальний вигляд стенду представлений малюнку 3.7.

Стенд може працювати в режимі тестування форсунок на пропускну здатність при різних режимах імітації числа обертів колінчастого валу двигуна: 800, 1500, 3000, 6000  $\text{хв}^{-1}$  та постійно відкритих форсунках. Одночасно на стенд можна встановити до шести форсунок, що перевіряються.



Рисунок 3.1. Стенд для перевірки електромагнітних форсунок Форсаж

Зменшення пропускну здатності форсунок домагалися шляхом встановлення прокладок з каліброваними отворами у фільтр форсунки на - 3% - 6% від обраної еталонної форсунки.

Для підготовки форсунок зі збільшеною пропускну здатністю збільшували прохідний переріз сопла, для чого за допомогою набору свердл розвертали вихідний канал за голкою запірної.

Для дослідження впливу зношування циліндро-поршневої групи (ЦПГ) і фаз газорозподільного механізму (ГРМ) на діагностичний параметр експеримент проводили на обкатаному після капітального ремонту двигуні, встановленому на дослідницький стенд. За еталонний циліндр було прийнято перший циліндр, що

має витік стисненого повітря 3%.

Для оцінки впливу технічного стану гранично зношеної ЦПГ у другому циліндрі даного двигуна були встановлені поршневі кільця з однаково розточеним розміром у замках, який контролювався плоским щупом.

### 3.2. Результати дослідження

#### 3.2.1. Дослідження зміни частоти обертання колінчастого валу

двигуна в залежності від зміни пропускної спроможності

форсунок на режимі 25% дросельної заслінки

Для визначення впливу зміни пропускної спроможності форсунок на діагностичний параметр (зміна оборотів колінчастого валу двигуна), що відбувається через технічний стан її елементів, проведено обробку результатів експерименту таблиця 3.1.

Таблиця 3.1. Експериментальні дані зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна від зміни пропускної спроможності форсунок.

Пропускна здатність форсунок, %	Зміна частоти обертання колінчастого валу двигуна, хв <sup>-1</sup>											Середнє значення, хв <sup>-1</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
+6	2520	257	252	2500	252	250	249	250	255	250	250	2510
+3	2460	243	245	2430	241	243	245	243	240	243	243	2430
0	2300	235	225	2300	225	230	235	230	235	225	230	2300
-3	2200	220	222	2200	218	220	225	216	220	220	225	2200
-6	2050	210	210	2050	205	210	210	210	205	205	205	2050

За даними таблиці 3.1 було побудовано залежність зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна від пропускної спроможності форсунок (рисунк 3.2).

Ця залежність апроксимується поліномом другого порядку, так як середньоквадратичне відхилення при цьому близько за значеннями точності

вимірювання обертів колінчастого валу двигуна. Отримано рівняння, що відображає залежність між ступенем зміни пропускної спроможності форсунок у відсотках від еталонною та частотою обертання колінчастого валу двигуна:

$$n = -1.825 \cdot n_f^2 + 38.333 \cdot n_f + 2.343 \cdot 10^3 \quad (4.10)$$

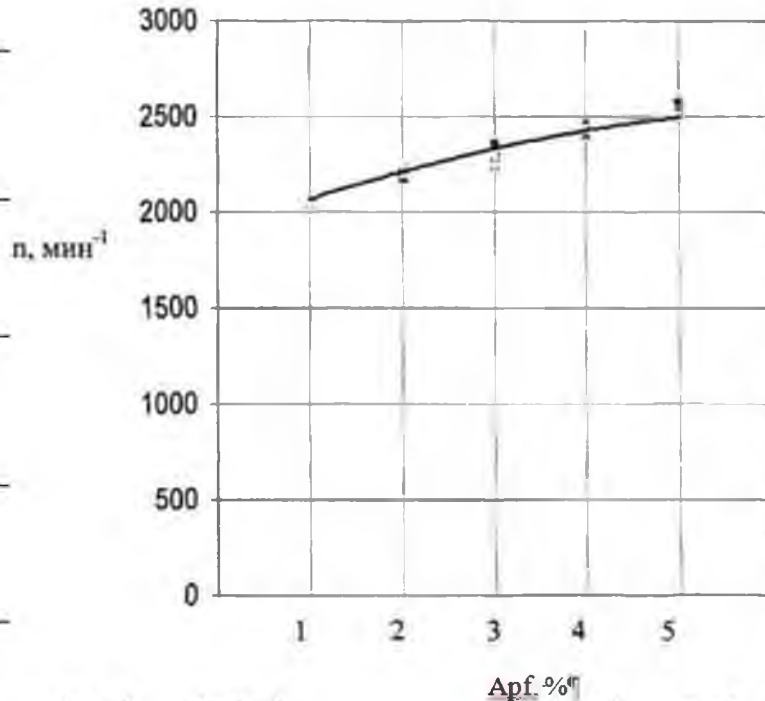


Рисунок 3.2.

Залежність зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна від пропускної спроможності форсунок на режимі малої подачі палива

Середньоквадратичне відхилення теоретичної залежності частоти

обертання колінчастого валу двигуна від залежності, отриманої для пропускної здатності форсунок експериментально на режимі відкриття дросельної заслінки 25%, склало 2%, що відповідає точності вимірювання частоти обертання колінчастого валу двигуна

Для забезпечення належної достовірності діагностування пропускної здатності форсунок необхідно, щоб діагностичний параметр задовольняв вимогам/був чутливим, стабільним та інформативним.

Чутливість діагностичного параметра для форсунок зі збільшеною та зменшеною пропускною здатністю однакова. Зміна пропускної здатності на 1% викликає зміну частоти обертання колінчастого валу двигуна на 35 та 36 хв<sup>-1</sup> відповідно. При дискретності вимірювань 40 хв<sup>-1</sup> можна відстежувати пропускну здатність не більше 2%. Це цілком достатньо визначення граничних значень пропускної спроможності форсунок.



Стабільність характеризується середньоквадратичним відхиленням діагностичного параметра.

Середньоквадратичне відхилення для пропускної здатності технічно справної форсунки  $\sigma = 38,7$ ; для максимально збільшеної пропускної здатності форсунки  $\sigma = 20,0$ ; для гранично зменшеної пропускної спроможності форсунки  $\sigma = 25,2$ .

Стабільність діагностичного параметра не перевищує значень дискретності вимірювання частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Інформативність діагностичного параметра пропускної здатності перевищує значення  $3\sigma$ , що свідчить про відсутність помилок першого та другого роду. Досліджуваний параметр задовольняє всім вимогам до діагностичних параметрів, і тому може бути обраний як діагностичний.

### 3.2.2. Дослідження зміни частоти обертання колінчастого валу

двигуна в залежності від зміни пропускної здатності форсунки на режимі 70% дросельної заслінки

Для визначення впливу зміни пропускної спроможності форсунок на діагностичний параметр (зміна оборотів колінчастого валу двигуна), що відбувається через технічний стан її елементів, проведено обробку результатів експерименту таблиця 3.2.

Таблиця 3.2. Експериментальні дані зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна від зміни пропускної спроможності форсунки

Пропускна здатність форсунки, %	Зміна частоти обертання колінчастого валу двигуна, $\text{хв}^{-1}$											Середнє значення, $\text{хв}^{-1}$
	3540	356	354	353	354	350	355	350	354	354	3500	
6	3540	356	354	353	354	350	355	350	354	354	3500	3540
3	3460	345	346	346	350	346	345	346	350	346	3500	3490
0	2900	286	290	290	300	290	300	290	290	286	2900	2900
-3	2760	274	276	270	280	280	276	276	276	276	2760	2760
-6	2000	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2000	2000

За даними таблиці 3.2 було побудовано залежність зміни частоти

обертання колінчастого валу двигуна від зміни пропускної спроможності форсунок (рис. 3.3).

Ця залежність апроксимується поліномом другого порядку, так як середньоквадратичне відхилення при цьому близько за значеннями точності

вимірювання обертів колінчастого валу двигуна. Отримано рівняння, що відображає залежність між ступенем зміни пропускної спроможності форсунок у відсотках від еталонною та частотою обертання колінчастого валу двигуна:

$$n = -8.841 \mu f^2 + 125.5 \mu f + 3.098 \cdot 10^3 \quad (4.14)$$

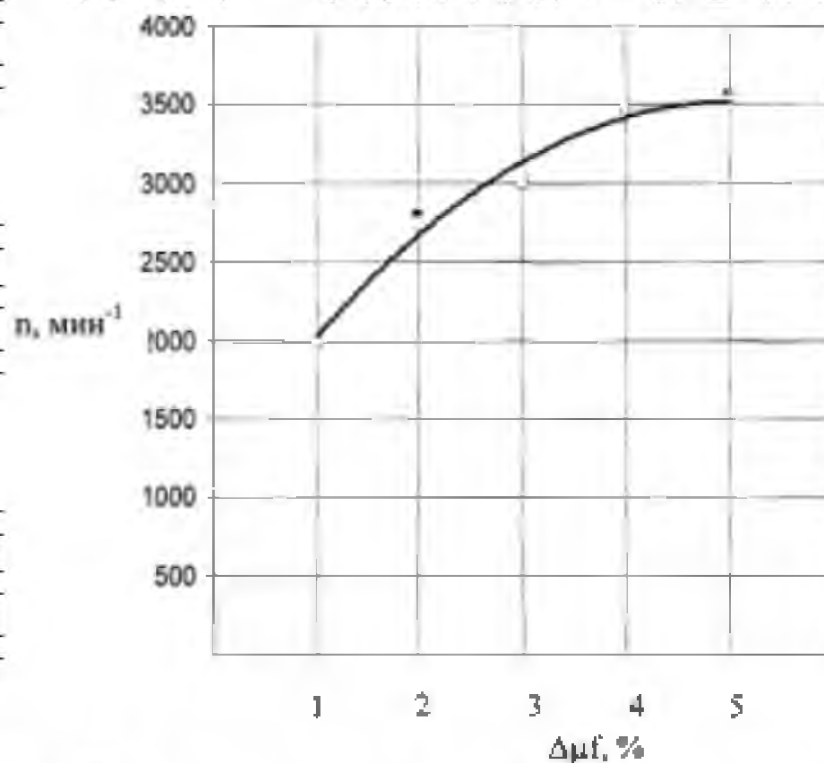


Рис. 3.3. Залежність зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна від пропускної спроможності форсунок на режимі відкриття дросельної заслінки 70%

Для забезпечення належної достовірності діагностування пропускної спроможності форсунок необхідно, щоб діагностичний параметр відповідав вимогам: був чутливим, стабільним та інформативним.

Чутливість діагностичного параметра для форсунок із збільшеною та

зменшеною пропускною здатністю однакова. Зміна пропускної здатності на 1% викликає зміну частоти обертання колінчастого валу двигуна на 106 та 116  $\text{хв}^{-1}$ . При дискретності вимірів 40  $\text{хв}^{-1}$  ми можемо відстежувати пропускну здатність не більше 2%. Це цілком достатньо визначення граничних значень пропускної спроможності форсунки.

Стабільність характеризується середньоквадратичним відхиленням діагностичного параметра.

Середньоквадратичне відхилення для пропускної спроможності технічно справної форсунки  $\sigma = 48,1$ ; для гранично збільшеної пропускної спроможності форсунки  $\sigma = 23$ ; для гранично зменшеної пропускної спроможності форсунки  $\sigma = 27,3$ .

Стабільність діагностичного параметра не перевищує значень дискретності вимірювання частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Інформативність діагностичного параметра пропускної спроможності перевищує значення  $3\sigma$  що свідчить про відсутність помилок першого і другого роду.

### 3.3. Маршрутна карта технологічного процесу діагностування пропускної спроможності форсунок

Порівняння результатів діагностування пропускної спроможності бензинових електромагнітних форсунок, отриманих при їх діагностуванні розробленим безрозбірним методом, і результатів перевірки на стенді проливки Форсаж показало їх ідентичність. Достовірність прогнозу щодо 90 автомобілів у сервісному центрі з обслуговування автомобілів склала 0,98.

В результаті проведення експлуатаційних випробувань було розроблено маршрутну технологічну карту процесу діагностування пропускної спроможності форсунок щодо зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна (таблиця 3.3). Роботи має проводити слюсар другого розряду.

Таблиця 3.3. Маршрутна технологічна карта процесу діагностування пропускної спроможності форсунки



№ опер.	найменування операції	Місце виконання	Трудом. люд. хв	Устаткування
1	2	3	4	5
1	Встановлення автомобіля на пост	Пост	2,0	
2	Прогріти двигун до робочої температури	У середині автомобіля	3,0	
3	Підключити відключач форсунок відповідно до маркування проводів	Зліва від капота автомобіля	2,0	Вимикач форсунок
4	Підключити клемми + і - ст- ключа форсунок до АКБ і включити тумблер живлення приладу.	Зліва від капота автомобіля	0,3	Вимикач форсунок
5	Увімкнути комп'ютер, приєднатися до діагностичного роз'єму автомобіля	Діагностичний стіл	0,30	
6	Запустити двигун автомобіля	У середині автомобіля	0,10	
7	Перевірити технічний стан системи запалення, герметичність клапанів, повітряного фільтра за допомогою вимикача форсунок	Праворуч від капота	2,0	Вимикач форсунок
8	Запустити програму МТ-4	Діагностичний стіл	1,0	ПК
9	Визначити за допомогою програми МТ-4 найгірший циліндр із випробувань циліндрового балансу	Діагностичний стіл	0,5	Мотор-тестер
<b>Перший режим діагностування</b>				
10	Відкрити дросельну заслінку на 25%.	Під капотом	0,10	
11	Тумблером відключення форсунок вимкнути 3 форсунок залишивши працювати циліндр 3	Праворуч від капота автомобіля	0,3	Вимикач форсунок
	найгіршим показником з випробувань циліндрового балансу			
12	Збагатити паливо повітряну суміш до $16 \text{ г/л хв}^{-1}$ після встановлення коефіцієнтом корекції палива збіднівши суміш до $2050 \text{ хв}^{-1}$	Діагностичний стіл	0,5	Мотор-тестер
13	Включенням окремо решти 3 форсунок порівняти частоту обертання к. в. двигуна кожного окремо циліндра з вибраним найгіршим циліндром.	Діагностичний стіл	3,0	Вимикач форсунок
Продовження табл. 3.3				
1	2	3	4	5

14	За отриманими значеннями частоти обертання колінчастого валу двигуна окремо кожного циліндра щодо обраного визначаємо пропускну здатність форсунок	Діагностичний стіл	1,5	
Другий режим діагностування				
15	Відкрити дросельну заслінку на 70%	Під капотом	0,1	
16	Тумблером відключення форсунок вимкнути 3 форсунки залишивши працювати циліндр з найгіршим показником за випробуваннями циліндрового балансу та частково відключити на 20% активних циклів працюючий циліндр	Праворуч від капота автомобіля	0,3	Вимикач форсунок
17	Збагатити паливоповітряну суміш до $\lambda > 1$ після встановлення коефіцієнтом корекції палива збіднивши суміш до $2000 \text{ хв}^{-1}$	Діагностичний стіл	0,5	Вимикач форсунок
18	Включенням окремо решти 3 форсунок порівняти частоту обертання к. в. двигуна кожного окремо циліндра з вибраним найгіршим циліндром.	Діагностичний стіл	3,0	Вимикач форсунок
19	За отриманими значеннями частоти обертання колінчастого валу двигуна окремо кожного циліндра щодо обраного визначаємо пропускну здатність форсунок	Діагностичний стіл	1,5	

У результаті хронометрування операцій процесу діагностування загальний час діагностування пропускну здатності форсунок безрозбірним методом для одного автомобіля ГАЗ становить 23 чол. -мін. Час, що витрачається визначення технічного стану форсунок з допомогою проливного стенду, становить 105 чол. -мін. Таким чином, визначення технічного стану форсунок розробленим способом здійснюється майже в'ятеро швидше. У зв'язку з тим, що напрацювання на відмову електромагнітної форсунки бензинового двигуна в середньому 15...30 тис.км., рекомендуємо проводити перевірку її технічного стану для попередження відмов під час ТО – 2 автомобілі.

## Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

### 4.1. Охорона праці

З урахуванням того, що система діагностування, яка описується в даній роботі, знаходиться на стадії розробки, то доцільним буде розглянути питання охорони праці в дослідницьких лабораторіях.

У створенні сприятливих умов праці ефективним засобом є вентиляція – процес організованої і регульованої зміни у приміщеннях забрудненого повітря чистим і свіжим. Залежно від способу переміщення повітря вентиляція буває природна і механічна (штучна).

Природна вентиляція здійснюється за рахунок сили вітру і природними (гравітаційними) силами. Вітер, обдуваючи споруду, попереду неї створює зону підвищеного тиску, а з протилежного боку виникає зона певного розрідження.

Під дією напору вітер через отвори проникає в приміщення, а під дією розрідження забруднене повітря через фрамуги, створи й інші отвори виходить назовні.

Механічна вентиляція – це примусове видалення з приміщень забрудненого повітря і заміна його свіжим за допомогою вентиляційних агрегатів. Сукупність вентиляційного агрегату (кількох агрегатів), повітропроводів, регулювальних, пускових та інших пристроїв складає вентиляційну систему для конкретного виробничого приміщення.

Вентиляційні системи бувають витяжними, припливними і припливно-витяжними (комбінованими).

На рис. 4.1 показана система вентиляції розглянутого приміщення, що має кран-балку з тельфером 9 і припливно-витяжну вентиляцію. Вентилятор 7 всмоктує повітря через калорифер 6 і подає його в камеру 8 для подачі в приміщення, у яке він надходить через отвори у верхньому перекритті. Із приміщення повітря відсмоктують вентилятором 3 через грати зони іспитового стенда в шахту 4, розташовану під стендом у підвальному приміщенні. Далі повітря надходить у камеру 2 і по повітряпроводу 1 викидається в атмосферу.

При такій системі вентиляції, що широко використовують у лабораторіях двигунів,

пари палива й масла надійно й повністю відсмоктуються із приміщення відразу ж від джерела їхнього виникнення.

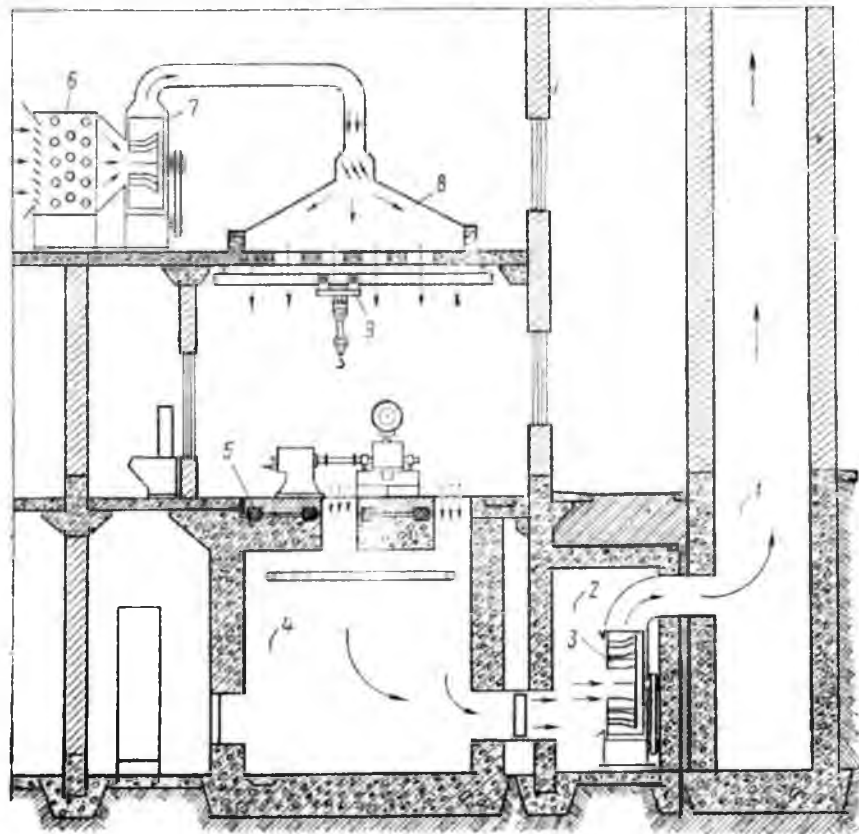


Рис. 4.1. Система вентиляції дослідницької дільниці

#### 4.2. Забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами ДВЗ

Термін "Токсичність" визначає шкідливу дію компонентів на складові екосистеми. Джерелами викидів шкідливих речовин є відпрацьовані гази (ВГ) теплових двигунів, випаровування з систем живлення, картерні гази, підтікання палива і мастилу процесі роботи, тощо. При цьому 95...98% шкідливих викидів припадає на ВГ двигунів. Склад ВГ залежить від типу двигуна, виду палива, складу палива і повітря, особливостей процесів окислення, умов і режимів роботи двигуна, конструктивних та регульовальних факторів, технічного стану двигуна.

В кількісному відношенні нараховується близько 15 тис. шкідливих речовин, які забруднюють навколишнє середовище. В реальних умовах ВГ

містять в собі біля 1200 компонентів, із яких розшифровано не більше 300. Одна із головних причин утворення шкідливих речовин – неповне згоряння, крекінг і піроліз палива, а також наявність мастил, які потрапили у камеру згоряння.

До основних токсичних речовин, які викидаються з відпрацьованими газами бензиновими та газовими двигунами, належать оксид вуглецю ( $CO$ ), незгорілі вуглеводні ( $C_nH_m$ ), оксиди азоту ( $NO_x$ ), канцерогенні речовини, такі як бензапирен, формальдегід, акролеїн, сполуки свинцю.

Утворення продуктів неповного згоряння і окислів азоту в циліндрі двигуна в процесі згоряння відбувається принципово різними шляхами. Тому розгляд механізму утворення даних токсичних речовин доцільно вести окремо.

Аналіз фізико-хімічних основ утворення і виділення  $CO$  і  $C_nH_m$  вказує на те, що вони пов'язані з хімічними реакціями окислення палива, а основними причинами їх утворення є нестаток кисню, який спричиняє обрив ланцюгів окислення вуглеводнів і суттєве сповільнення реакції. Реакція утворення оксидів азоту навпаки не пов'язана з реакціями окислення палива і носить термічний характер.

Основними факторами при утворенні  $NO_x$  є максимальна температура згоряння і концентрація азоту і атомарного кисню в продуктах згоряння.

Природа їх утворення різна, тому розділим їх на дві групи: 1- продукти неповного згоряння ( $CO$  і  $C_nH_m$ ); 2- оксиди азоту ( $NO_x$ ).

З моторних факторів (чинників), які впливають на утворення  $CO$ , в першу чергу слід назвати коефіцієнт надлишку повітря ( $\alpha$ ), який визначає склад суміші; відомо, що з збільшенням  $\alpha$   $CO$  суттєво зменшується. Вплив інших факторів, в тому числі режимів роботи двигуна (автомобіля) в більшій чи меншій мірі пов'язано з складом суміші. Робота двигуна на холодному ході, режими прискорення і гальмування (уповільнення) характеризуються багатою сумішшю, а значить, підвищеними викидами  $CO$ .

Значний вплив на  $C_mH_n$  має коефіцієнт надлишку повітря. Найменше вуглеводнів відповідають значенню, дещо більше стехіометричного. При

подальшому збідненні суміші  $C_mH_n$  збільшується завдяки нестабільності згорання послідовних циклів.

Оксиди азоту в бензинових двигунах мають утворюватися завдяки термічній реакції між азотом, що міститься в повітрі і киснем, який залишився після процесу згорання в надпоршневому просторі. Щодо впливу режимів роботи двигуна на вихід  $NO_x$  слід підкреслити, що найбільша концентрація його відповідає фазі прискорення, тобто тому стану, де мають місце високі температури циклу.

Переведення двигуна на природній газ дозволяє забезпечити його стабільну роботу, про це свідчать низькі концентрації вуглеводнів  $C_mH_n$  в усьому навантажувальному діапазоні.

Незважаючи на те, що на природньому газі двигун працював на більш збідненій суміші концентрація оксидів азоту  $NO_x$  у ВГ були значно нижчі, що можна пояснити нижчими температурами в процесі згорання.

Значним збідненням паливо повітряної суміші при переході на природній газ пояснюються суттєво нижчі концентрації  $CO_2$  і  $CO$ .

Концентрація вуглеводнів  $C_mH_n$  при роботі на природньому газі незначна і практично не змінна в усьому діапазоні навантажень.

За допомогою ЕПГ можна запрограмувати електронний блок управління газової системи на такі параметри, при яких токсичні показники у відпрацьованих газах будуть на досить низькому рівні.

## Розділ 5. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Пропонований метод діагностування може використовуватися на СТО та постах діагностики, в зонах ТО та ТР та на контрольно-пропускних пунктах гаражів.

Розрахунок проводився згідно з цінами на 2018 рік. Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту представлені у таблиці 5.1.

Економічний ефект визначався шляхом порівняння базового методу діагностування (існуючого) та запропонованого методу за сумарними витратами у процесі діагностування. Економічний ефект у цьому випадку дорівнює різниці сумарних витрат базового та запропонованого методу діагностування:

$$E_{\phi} = \Sigma Z_{\phi} - \Sigma Z_{\pi} \quad (5.1)$$

де  $\Sigma Z_{\phi}$ ,  $\Sigma Z_{\pi}$  - сумарні експлуатаційні витрати за базовим та запропонованим варіантами, грн.

Таблиця 5.1. Вихідні дані для розрахунку економічних показників

Показники	варіант	
	базовий	пропонований
Балансова вартість Б, руб.	50000	34500
Норма відрахувань на амортизацію $\Delta K_A$ , %	12	12
Норма відрахувань на реновацію $\Delta K_p$ , %	16,2	16,2
Витрати на матеріали $H_m$ , грн.	150	
Місячна заробітна плата оператора, $Z_d$ , грн	10000	10000
Норматив відрахувань на соц. потреб $K_{отч}$ , %	30	30
Вартість першого ТО Сто, грн.	9,2	6,8
Час діагностування автомобіля $t$ , год.	1,25	0,25
Тариф на електроенергію, $C_e$ , грн.	1,3	1,3
Кількість споживаної енергії $H_e$ , кВт-год	0,25	

Сумарні витрати за базовим та запропонованим варіантом становлять суму наступних витрат:

$$\Sigma Z_{\phi} = Z_{cod.d} + Z_{соц.п} + Z_{ТО} + Z_t + Z_e + B_e \quad (5.2)$$

де  $Z_{cod.d}$  - витрати, пов'язані із утриманням засобів діагностування, грн.;



$Z_{\text{соц.п}}$  - витрати соціальні потреби, грн.;

$Z_{\text{ГО}}$  - загальні видатки проведення всіх видів ГО, крб.;

$Z_T$  - витрати на витрачене паливо в процесі діагностування, грн.;

$Z_e$  - витрати на електроенергію, що споживається засобами діагностування, грн.

Витрати, пов'язані із утриманням засобів діагностування

$$Z_{\text{cod.d}} = Z_A + Z_P + Z_{\text{ТОРоб}} + Z_M + Z_{\text{зн}} \quad (5.3)$$

де  $Z_A$  - витрати, пов'язані з амортизаційними відрахуваннями, грн.;

$Z_P$  - відрахування на реновацію, грн.;

$Z_{\text{ТОРоб}}$  - витрати на ГОР засобів діагностування, грн.;

$Z_M$  - витрати на матеріали, що використовуються в засобах діагностування (фільтри, палива, оліва тощо), грн.;

$Z_{\text{зн}}$  - витрати на заробітну плату оператора діагности, грн.;

Балансова вартість обладнання (в базовому варіанті) включає в себе:

- вартість стенду для проливання бензинових форсунок Websonic – 50000 грн.

- балансова вартість обладнання, що використовується для запропонованого методу, включає вартість приладу відключення форсунок.

Витрати, пов'язані з відрахуваннями на амортизацію:

$$Z_A = B \Delta K_A / 100 \quad (5.4)$$

де  $B$  - балансова вартість діагностичного обладнання, грн.;

$\Delta K_A$  - амортизаційні відрахування;

$$Z_{A1} = 50000 \cdot 12 / 100 = 6000 \text{ грн}$$

$$Z_{A2} = 34500 \cdot 12 / 100 = 4140 \text{ грн}$$

Витрати на реновацію

$$Z_P = B \Delta K_P / 100 \quad (5.5)$$

де  $K_P$  - норма відрахувань на реновацію, %;

$$Z_{P1} = 50000 \cdot 16,2 / 100 = 8100 \text{ грн}$$

$$Z_{P2} = 34500 \cdot 16,2 / 100 = 5589 \text{ грн}$$

Витрати, пов'язані з ГОР обладнання:

$$Z_{\text{ТОРоб}} = H_{\text{ТОРоб}} \Gamma T \quad (5.6)$$

де  $H_{ТОРоб}$  - норматив витрат на ТОР обладнання, грн./год;

$\Gamma$  - коефіцієнт групи складності ремонту обладнання;

$t$  - тривалість роботи на даному устаткуванні, год;

$$З_{ТОРоб1} = 86 \cdot 2 \cdot 8 = 1376 \text{ грн./год}$$

$$З_{ТОРоб1} = 58 \cdot 1 \cdot 8 = 464 \text{ грн./год}$$

Витрати на матеріали обчислюються за таким виразом:

$$З_M = H_M \cdot t, \quad (5.17)$$

де  $H_M$  - норматив витрат за матеріали, грн/ч.

Матеріали застосовуються тільки на проливних стендах (проливні рідини).

Запропонований метод додаткових матеріалів не потребує.

$$З_M = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ грн/год}$$

Витрати на заробітну плату

$$З_{зн} = З_д \cdot 12, \quad (5.8)$$

де  $З_д$  - місячна заробітна плата оператора-діагноста, грн.

Заробітна плата (річна) у базовому та запропонованому варіантах

$$З_{зн} = 10000 \cdot 12 = 120000 \text{ грн}$$

Витрати на соціальні потреби

$$З_{соц.п} = З_{гр} \cdot K_{від} / 100 \quad (5.9)$$

де  $З_{гр}$  - річний фонд оплати праці оператора-діагноста, грн.

$K_{від}$  - норматив відрахувань на соціальні потреби, %;

$$З_{соц.п} = 120000 \cdot 30 / 100 = 36000 \text{ грн}$$

Загальні видатки проведення ТО устаткування

$$З_{ТО} = K_{нр} \cdot T_{г} \cdot C_{то}, \quad (5.10)$$

де  $K_{нр}$  - коефіцієнт, що враховує накладні витрати,  $K_{нр} = 1,5$ ;

$T_{г}$  - річна тривалість роботи обладнання, год;

$C_{то}$  - вартість одного ТО, грн / год.

$$З_{ТО1} = 1,5 \cdot 2440 \cdot 9,2 = 33672 \text{ грн}$$

$$З_{ТО2} = 1,5 \cdot 2440 \cdot 6,8 = 24888 \text{ грн}$$

Витрати електроенергію

$$З_e = C_e \cdot H_e \cdot T_{г}, \quad (5.11)$$

де  $C_e$  - тариф (договірна ціна) на електроенергію, грн / кВт-год;

$H_e$  - кількість споживаної електроенергії, кВт-год;

$D_p$  - кількість робочих днів СТО.

Потужність проливного стану 1,9 кВт, у запропонованому варіанті прилади працюють від мережі автомобіля;

$$З_{E1} = 1,9 \cdot 1,3 \cdot 305 = 753 \text{ грн}$$

Слід зазначити, що розрахунок економічних показників проводився за формулами (5.2-5.11) двох варіантів: базового і пропонуваного.

Витрати на утримання діагностичних засобів

$$З_{cod.01} = 6000 + 8100 + 1376 + 1200 + 120000 = 136676 \text{ грн.}$$

$$З_{cod.02} = 4140 + 5589 + 464 + 120000 = 130193 \text{ грн.}$$

Сумарні витрати

$$\Sigma Z_{\phi} = 136676 + 36000 + 33672 + 753 + 50000 = 257101 \text{ грн.}$$

$$\Sigma Z_n = 130193 + 36000 + 24888 + 34500 = 225581 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від запропонованого методу діагностування буде

$$E_{\phi} = 257101 - 225581 = 31520 \text{ грн.}$$

Результати розрахунку економічних показників та ефекту від впровадження запропонованого методу діагностування бензинових форсунок з використанням приладу відключача форсунок представлені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Результати розрахунку економічного ефекту

Складові розрахунку та їх позначення	Варіанти	
	базовий	пропонуваний
Витрати на:		
утримання засобів діагностування $Z_{cod.0}$ , грн.	136676	130193
соціальні потреби $Z_{con.n}$ , грн.	248400	483600
електроенергію $Z_e$ , грн.	753	-
амортизаційні відрахування $Z_A$ , грн.	6000	4140
реновацію $Z_p$ , грн.	8100	5589
матеріали $Z_m$ , грн.	1200	-
заробітну плату $Z_{zn}$ , грн.	120000	120000
Економічний ефект утримання приладу $E_{\phi}$ , грн.		31520

Визначимо економічний ефект однією автомобіль на рік під час впровадження запропонованого методу діагностування. Середньодобова програма більшості постів діагностики СТО із діагностування автомобілів складає шість автомобілів. З шести автомобілів 10% працюючих у гарантійний період мають відмову форсунок. Отже, річна програма визначається виразом:

$$N_T = D_p N_C 10\% / 100 \quad (5.12)$$

де  $N_T$  - кількість автомобілів, шт.;

$$N_T = 305 \cdot 6 \cdot 10\% / 100 = 183 \text{ автомобілів}$$

Трудомісткість діагностування за допомогою проливних стендів становить 1,75 люд.год, пропонуваним методом 0,25 люд.год. Різниця становить 1,5 люд.год. За рахунок застосування запропонованого методу річна трудомісткість діагностування скорочується до 122 люд.год.

Вартість однієї нормо години на 2018 рік становить 500 грн. Отже, економія при впровадженні цього методу за рахунок зниження трудомісткості

$$E_M = N_M T \quad (5.13)$$

де  $N_M$  - річна трудомісткість при впровадженні запропонованого методу, люд.год;

$T$  - вартість нормо години, грн.

$$E_M = 122 \cdot 500 = 61000 \text{ грн}$$

Наведені розрахунки показали високу економічну ефективність розробленого методу діагностування пропускної спроможності форсунок двигунів з електронною системою управління та рекомендацій щодо її ТО з використанням діагностичної інформації.

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що відмови СПП призводять до підвищення викидів токсичних компонентів у навколишнє середовище в 5...10 разів, зниження потужності двигуна на 15...23% та зниження ефективності транспортного процесу.

2. Встановлено, що відмова електромагнітної форсунки настає у 10% автомобілів в гарантійний період експлуатації. Неприпустимі зміни технічного стану ЕМФ (пропускна здатність змінюється більш ніж  $\pm 6\%$ ) відбуваються у 40% автомобілів при пробігу 15...30 тис. км. Необхідність очищення СПП виникає через 15...30 тис. км.

3. Встановлено, що головною причиною значної кількості відмов СПП є дія експлуатаційних факторів, що призводять до того, що 75...90% робочого часу автомобіль експлуатується з несправною системою.

4. Для підвищення експлуатаційної надійності системи паливободачі необхідно обслуговувати форсунки не за потребою, а за діагностичною інформацією.

5. Встановлено, що пропускна здатність форсунки є чутливим вихідним параметром технічного стану елементів форсунки і тому пропускна здатність є комплексним діагностичним параметром технічного стану елементів форсунки.

6. Встановлено існування взаємозв'язку між частотою обертання колінчастого валу двигуна та пропускною здатністю форсунки, що дозволяє розробити метод діагностування технічного стану форсунок щодо зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна.

7. Встановлено, що зміну частоти обертання колінчастого валу двигуна можна прийняти як діагностичний параметр, оскільки воно задовольняє вимогам, що висувуються до діагностичних параметрів.

8. Для оцінки технічного стану елементів форсунки, що впливають на час відкриття та закриття форсунки, необхідно оцінювати пропускну спроможність

на режимі мінімальної подачі палива, для оцінки технічного стану, пов'язаного зі зміною поперечної площі каналів форсунок, необхідно оцінювати на номінальній подачі палива.

9. Розроблений метод діагностування пропускної спроможності форсунок скорочує трудомісткість оцінки її технічного стану на 1,5 люд.год. на кожний автомобіль порівняно з існуючими методами. У зв'язку з тим, що напрацювання на відмову електромагнітної форсунок бензинового двигуна в середньому становить 15-30 тис.км. пробігу, необхідно проводити перевірку її технічного стану для попередження відмов під час ТО - 2 автомобілі.

10. Економічна ефективність розробленого методу становить 61000 грн на рік.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.С., Тимченко П. Автомобільні двигуни: Підручник. - К.: Арістей, 2005. - 476 с.

2. Вигри Д.М. та ін. Двигуни внутрішнього згорання. Теорія поршневих та комбінованих двигунів. Під редакцією А.С. Орлина, М.Г. Круглова. - М.: Машинобудування, 1983. - 372 с.

3. Грянік Д.М. та ін. Охорона праці. - К.: Урожай, 1991. - 272 с.

4. Сандомірський М.Г., Бойко М.Ф., Лебедев А.Т. та ін. Трактори і автомобілі. Ч. 1. Автотракторні двигуни: Навчальний посібник. За ред. проф. А.Т. Лебедева. - К.: Вища школа, 2000. - 357 с.

5. Таресв В.М. Довідник з теплового розрахунку робітника процесу двигунів внутрішнього згорання. - М.: Річковий транспорт, 1959. - 407 с.

6. Філіпов А.З. Токсичність відпрацювали газів теплових двигунів. - К.: Вища школа, 1980. - 160 с.

7. Автосервіс. 2005, №1-2; стор. 13... 16.

8. Трактори та сільськогосподарські машини. 2002, №4; стор. 17... 20.

9. Патент Україна за заявою №2001128649 від 14.12.2001 р. МПК7 F02D 17/02. Спосіб регулювання потужності двигуна внутрішнього згорання / А.З.Філіпов, М.С.Атаманенко, С.Д.Войтюк, Г.В.Дехтярьов.

10. Дубровін В.О., Корчемний М.О., Масло Г.Ц., Шептицький Ф., Рожковський А., Пасторек З., Гжибек А., Євич П., Амон Т., Криворучко В.В. Біопалива (Технології, машини та обладнання). - К.: ЦТІ «Енергетика та електрифікація», 2004. - 256 с.

11. Захаров А.І., Іванков В.В., Іванків Вяч.В., Терехов В.М., Мілсванова С.А. Розробка комбінованого бензоводневого харчування для поліпшення екологічних характеристик автомобіля. Стаття в інтернеті <http://www.isjaee.hydrogen.ru> ) на 03.05.2006.

12. Дзвонів В.А., Заїраєв Л.С., Козлов А.В. Метанол та екологічні показники двигунів. // Автомобільна промисловість, 1997, №11, с. 26-27.



13. Дзвонів В.А., Козлов А.В., Теренченко А.С. Оцінка традиційних та альтернативних палив по повному життєвому циклу (Огляд закордонного досвіду) // Автобудування за кордоном, 2001, №12, с. 14-20.

14. Кудряш А.М., Шатров Є.В. Водень і дизель // Автомобільна промисловість, 1995, №2, с. 30-32.

15. Кутенєв В.Ф., Каменєв В.Ф., Нікітін І.М. Екологічно чисті альтернативні палива. Перспективи застосування // Автомобільна промисловість, 1997, №1, с. 24-25.

16. Малишенко С.П. Водневий Автомобіль // Енергія, 2003 №7. с. 33-39.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України