

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

УДК 631.173.2:345.37.02

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Надійшлої техніки
(назва кафедри)

НУБІП України

Братішко В.В.

(підпис)

(ПБ)

Новицький А.В.

(підпис)

(ПБ)

«___» _____ 2022 р.

«___» _____ 2022 р.

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Діагностування електромагнітних форсунок бензинових двигунів автомобілів, що експлуатуються у сільському господарстві

НУБІП України

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

НУБІП України

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, ст.наук.с.

(науковий ступінь та вчене звання)

Братішко Вячеслав Вячеславович

(підпис)

(ПБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц. каф.

(науковий ступінь та вчене звання)

Ревенко Юлій Іванович

(підпис)

(ПБ)

Виконав

НУБІП України

Гончарук Михайло Миколайович

(підпис)

(ПБ)

НУБІП України

КИЇВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Надійності техніки

к.т.н., доц.

Новицький А.В.

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

2022 р.

НУБІП України

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Гончаруку Михайлу Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

НУБІП України

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Діагностування електромагнітних форсунок бензинових двигунів автомобілів, що експлуатуються у сільському господарстві

затверджена наказом ректора НУБІП України від «21» грудня 2021 р. № 2218 «Є»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

(рік, місяць, число)

НУБІП України

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Науково – технічна література; результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах по діагностуванню електромагнітних форсунок бензинових двигунів

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз існуючих конструкцій систем впорскування бензину
2. Теоретичне обґрунтування витрати палива при зміні прохідного переказу розпилювача форсунки в процесі експлуатації
3. Діагностування електромагнітних форсунок бензинових двигунів автомобілів
4. Розроблення діагностичної моделі електромагнітної форсунки в системі Matlab
5. Розробка стенда та техніко-економічна оцінка ефективності дослідження перевірки і очищення електромагнітних форсунок бензинових двигунів

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 17 слайдах

Дата видачі завдання «11» листопада 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Ревенко Ю.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Гончарук М.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

НУБІП України

РЕФЕРАТ

НУБІП України

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Діагностування електромагнітних форсунок бензинових двигунів автомобілів, що експлуатуються у сільському господарстві» містить 93 сторінок текстового документа, 50 використаних літературних джерел, презентаційний комплекс – 13 слайдів.

НУБІП України

Багато сучасних автомобілів оснащуються системами упорскування палива. Стан форсунок – невід'ємної частини системи упорскування – багато в чому визначає ефективність роботи двигуна. Упорскування палива має незаперечні переваги в порівнянні з карбюраторним принципом сумішоутворення. У першу чергу, це більш точне дозування палива, а отже, більша економічність і приємність автомобіля, і менша токсичність газів, що відробили. Однак основна виконавча деталь системи упорскування – форсунка – працює в тяжких умовах, і тому досить вимоглива до обслуговування.

НУБІП України

Система постачання двигуна паливом є однієї з найбільш важливих систем у сучасних автомобілях, якість розпилення палива у впускному трубопроводі прямо впливає тягові і паливо-економічні характеристики автомобілів. У зв'язку з низькою якістю палива на частині автомобільних заправних станцій в Україні автовласники часто зустрічаються із засміченням системи паливподачі на автомобілях. Розробка недорогого, зручного в обслуговуванні устаткування для перевірки та очищення бензинових електромагнітних форсунок є однієї з актуальніших завдань нашого часу.

НУБІП України

ФОРСУНКА, ПАЛИВНА СИСТЕМА, ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ, РЕМОНТ.

НУБІП України

ЗМІСТ

НУБІП України

Стор. 6

ВСТУП..... 6

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ СИСТЕМ

НУБІП України

ВПОРСКУВАННЯ БЕНЗИНУ..... 9

1.1. Загальні відомості про роботу інжекторних систем впорскування бензину..... 9

1.2. Особливості конструкції і принцип дії форсунок інжекторних

двигунів..... 10

1.2.1. Загальні відомості..... 10

1.2.2. Гідромеханічні форсунки..... 11

1.2.3. Електромагнітні форсунки..... 14

1.2.4. Форсунка закритого типу з плунжерним насосом..... 17

1.3. Принцип роботи електромагнітних форсунок бензинових двигунів автомобілів..... 19

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА

ПРИ ЗМІНІ ПРОХІДНОГО ПЕРЕКАЗУ

НУБІП України

РОЗДІЛЮВАЧА ФОРСУНКИ В ПРОЦЕСІ

ЕКСПЛУАТАЦІЇ..... 32

2.1. Математична модель об'єкта моделювання..... 32

2.2. Схема створення математичної моделі..... 32

2.3. Типові математичні схеми моделювання..... 33

2.4. Регресійні моделі..... 34

2.5. Регресійний аналіз похибки вимірювання продуктивності форсунок залежно від пробігу автомобіля..... 34

РОЗДІЛ 3 ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ

НУБІП України

ФОРСУНОК БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ

АВТОМОБІЛІВ..... 40

3.1.	Аналіз існуючих несправностей форсунки.....	40
3.2.	Діагностування технічного стану систем впорскування.....	42
3.2.1.	Перевірка тиску подачі палива й продуктивності паливного насоса.....	43
3.3.	Діагностика форсунки по осцилограмі напруги керування.....	48
3.4.	Діагностування форсунок за падінням тиску в паливній рампі.....	50
3.5.	Діагностування форсунок віброакустичним методом.....	51
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ МОДЕЛІ		
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ФОРСУНКИ В СИСТЕМІ		
MATLAB.....		
4.1.	Математична модель електромагнітної форсунки.....	52
4.2.	Аналіз залежності циклової подачі від режимів роботи двигуна і умов навколишнього середовища.....	64
4.3.	Діагностична модель електромагнітної форсунки в системі Matlab..	66
4.3.1.	Робота в системі Simulink.....	66
4.3.2.	Діагностична модель в системі Simulink.....	67
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТЕНДА ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА		
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ		
ПЕРЕВІРКИ ТОЧИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ		
ФОРСУНОК БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ.....		
5.1.	Технологічний процес діагностування форсунок на стенді.....	78
5.1.1.	Методи очищення бензинових форсунок.....	78
5.1.2.	Процес очищення і результати.....	80
5.1.3.	Чищення зі зняттям форсунок.....	82
5.1.4.	Чищення інжектора ультразвуком.....	83
5.2.	Техніко-економічна оцінка ефективності дослідження.....	84
ВИСНОВКИ.....		86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		88

ВСТУП

НУБІП України

Посилення вимог до автотранспорту, пов'язаних зі зниженням витрати палива без втрати потужності двигуна та поліпшенням їх екологічних показників призводить до пошуку заходів, що дозволяють вирішити такі завдання. Одним з основних способів рішень, що впливають на витрату палива і токсичність газів, що відпрацювали, є використання керованих електронною системою упорскування палива. Фермерські господарства агропромислового комплексу (АПК) мають у своєму розпорядженні різні види сільськогосподарської техніки, серед яких особливе місце займають транспортні засоби малої та середньої вантажопідйомності з бензиновими двигунами з розподіленим упорскуванням палива.

НУБІП України

Одним з основних елементів системи упорскування є електромагнітна форсунка (ЕМФ). Постійне поліпшення конструкції форсунок дозволило на сьогоднішній день отримати пристрій, що відповідає високим вимогам, що пред'являються не тільки до подачі палива в камеру згорання, але і до сумішоутворення.

НУБІП України

При експлуатації систем живлення двигуна технічний стан електромагнітних форсунок змінюється, величини їх робочих показників знижуються. Причинами такого погіршення роботи форсунок є забруднення та зношування конструктивних елементів пристрою, зокрема, зношування замикаючого елемента. Безперечно, все це впливає на енергетичні та екологічні показники двигуна. Слід зазначити, що на робочі параметри електромагнітних форсунок, крім зношування складових частин, впливає і якість палива. Наприклад, у сільських районах вплив на інтенсивність смолоутворення може надавати паливо, яке довго зберігається в ємностях. Як правило, споживання палива циклічне, що позначається на збільшенні часу зберігання палива у ємностях на АЗС. Це призводить до окиснення палива. Збільшення вмісту фактичних смол у паливі призводить до збільшення інтенсивності смолоутворення у паливній системі двигуна автомобіля. Тобто, при

НУБІП України

експлуатації транспортних засобів необхідно використовувати якісний бензин та встановлювати норми періодичності проведення робіт з очищення ЕМФ ультразвуком, оскільки нормативно-технічною документацією не передбачені роботи з технічного обслуговування, очищення ЕМФ протягом усього терміну служби транспортного засобу.

Для відновлення робочих параметрів форсунок застосовують як хімічний, і ультразвуковий спосіб очищення від забруднень. Робочі параметри після цих процедур іноді досягають вихідних значень параметрів. Однак, таке очищення ЕМФ дозволяє покращити енергетичні та екологічні показники двигуна.

При експлуатації транспортних засобів виникають складнощі у контролі роботи двигуна за його показниками, що залежать від електронних систем керування двигуном (ЕСКД), інтегрованих із системою подачі палива. Найбільш навантаженим елементом цієї системи є форсунка, на неї припадає до 13% несправностей.

Рекомендована виробником після 100-120 тисяч кілометрів (тис. км.) пробігу автомобіля заміна форсунок не передбачає їх очищення до цих значень, хоча необхідність періодичного обслуговування ЕМФ, черговість застосування різних способів очищення при нижчому напрацюванні очевидна.

Великий парк транспортних засобів, оснащених розподіленими системами впорскування палива, потребує відновлення робочих параметрів форсунок для підтримки енергетичних та екологічних показників двигуна з урахуванням його природного зношування, що на сьогодні є дуже актуальним.

Мета роботи - Поліпшення енергетичних та екологічних показників бензинових двигунів автомобілів, що експлуатуються у сільському господарстві з розподіленим впорскуванням палива ультразвуковим очищенням ЕМФ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати існуючі конструкції систем впорскування бензину.

2. Оцінити вплив ультразвукового очищення ЕМФ на покращення енергетичних та екологічних показників двигунів у процесі експлуатації.

3. Провести діагностування електромагнітних форсунок бензинових двигунів автомобілів.

4. Розробити діагностичну модель електромагнітної форсунки в системі Matlab.

5. Розробити стенд та техніко-економічну оцінку ефективності дослідження перевірки і очищення електромагнітних форсунок бензинових двигунів

Об'єкт дослідження - ЕМФ сучасних двигунів автомобілів сільськогосподарства.

Предмет дослідження - зміна середнього відхилення значень витрати палива в залежності від технічного стану ЕМФ на різних режимах двигуна.

Наукова новизна:

1. Аналітично обгрунтовано залежність зміни середніх значень витрати палива при забрудненні соплових отворів ЕМФ від пробігу.

2. Обгрунтовано збільшення потужнісних та покращення екологічних показників двигунів внутрішнього згоряння після ультразвукового очищення ЕМФ у процесі експлуатації.

3. Обгрунтовано перелік та послідовність операцій періодичного ультразвукового очищення ЕМФ для покращення показників двигунів у процесі експлуатації.

Методологія та методи дослідження. При виконанні роботи використовувалися положення теорії надійності, методи математичного аналізу та статистичної обробки експериментальних даних. Експериментальні

дослідження виконані з використанням сучасних методик, приладів та обладнання, що пройшли метрологічний контроль. Обробка результатів експериментів проводилася за допомогою програм Excel, Statistika 10.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ СИСТЕМ ВПОРСКУВАННЯ БЕНЗИНУ

НУБІП України

1.1. Загальні відомості про роботу інжекторних систем

впорскування бензину

НУБІП України

Інжектор або впорскування (від англійського inject – «впорскування») палива - це система дозованої подачі палива в циліндри двигуна. Існує багато різновидів впорскування - механічний, моновпорскування, розподілене, базносереднє.

НУБІП України

Форсунка (інжектор) – керований електромагнітний клапан, що забезпечує дозовану подачу палива в циліндри двигуна.

Блок керування – електронний блок, керуючий системою упорскування, зокрема, роботою форсунок.

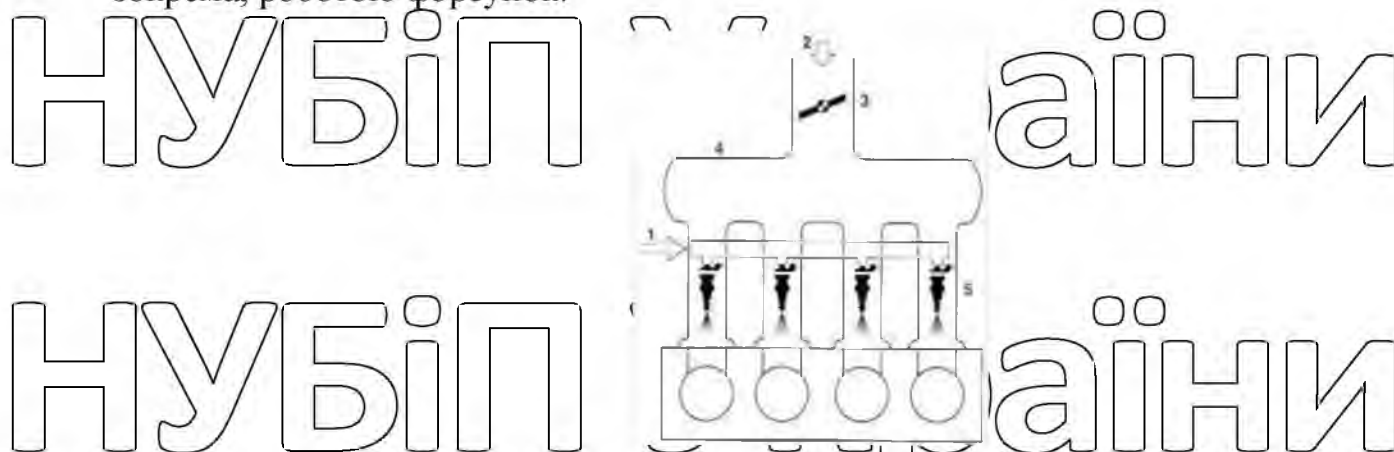


Рис. 1.1. Принцип подачі палива в системі з розподіленим
впорскуванням

На (рис. 1.1.) схематично показаний принцип багатоточкового розподіленого впорскування. Подача повітря (2) регулюється дросельною заслінкою (3) і перед розділенням на 4 потоки накопичується в ресивері (4).

Ресивер потрібний для правильного виміру масової витрати повітря (вимірюється загальна масова витрата (MAF) або тиск в ресивері (MAP).

Останній має бути достатнього об'єму для виключення повітряного «голодування» циліндрів при великому споживанні повітря і згладжування

пульсації на пуску Форсунки (5) встановлюються в канал у безпосередній близькості від впускних клапанів.

1.2. Особливості конструкції і принципи дії форсунок інжекторних двигунів

Форсунка є основним виконавчим пристроєм у будь-якій системі впорскування. Її головне завдання - розподілювати паливо на дрібні частинки в потрібному місці впускного тракту або безпосередньо в циліндрах двигуна.

Форсунки бензинових і дизельних двигунів виконують однакові функції, але за принципом дії і конструкції - це абсолютно різні пристрої.[1]

1.2.1. Загальні відомості

Форсунки впорскування бензину (ФВБ) по принципу дії і за типом реалізованого в них способу управління розділяють на гідромеханічні, електромагнітні, магнітоелектричні і електрогідравлічні.[2] У сучасних системах впорскування бензину використовуються в основному перші два види.

За призначенням в системі впорскування форсунки бувають пусковими і робочими. Робочі форсунки ділять на два види: центральні форсунки для одноточечного імпульсного впорскування і клапанні форсунки для розподіленого впорскування палива по циліндрах. Існують також робочі форсунки для впорскування бензину під високим тиском безпосередньо в циліндри двигуна.

Слід зазначити, що форсунки виготовляються під кожен тип двигуна індивідуально, тобто форсунки не уніфікуються і, як правило, не можуть переставлятися з одного типу двигуна на інший. Виняток становлять універсальні гідромеханічні форсунки фірми BOSCH для механічних систем безперервного впорскування бензину, які широко застосовувалися на різних двигунах у складі системи "K-Jetronic". Але і ці форсунки мають декілька незасмозамінних модифікацій.

Слід також помітити, що сучасні форсунки нерозбірні і ремонту з демонтажем на деталі не підлягають.

1.2.2. Гідромеханічні форсунки

Гідромеханічні форсунки (ГМ-форсунки) бувають відкритого і закритого типів. Перший тип ГМ-форсунок є жиклерними форсунками і в сучасних системах впорскування бензину не використовується. ГМ-форсунки закритого типу призначені для застосування в механічних системах безперервного розподіленого впорскування палива на бензинових ДВЗ. Такі форсунки не мають електричного управління. Вони відкриваються під тиском бензину, а закривається зворотною пружиною. Тиск напору бензину, при якому закрита форсунка відкривається, називається початковим робочим тиском (ПРТ) форсунки і позначається як P_{ϕ} . ГМ-форсунки закритого типу встановлюються в передклапанних зонах впускного колектора для кожного циліндра окремо, [1].

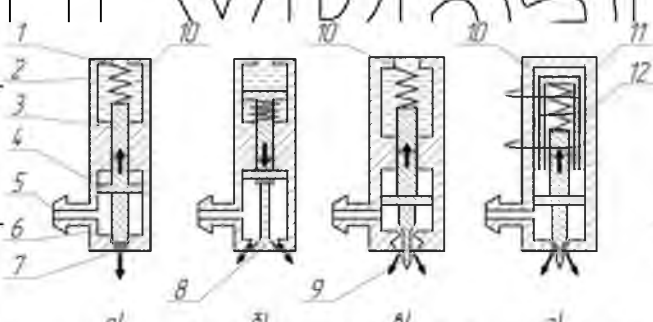


Рис. 1.2. Конструктивне виконання форсунок

а – форсунка із сферичним запірним клапаном; б – форсунка з дисковим клапаном; в – форсунка із штифтовим (голчастим) клапаном; г – модель електромагнітної форсунки; 1 – сапун; 2 – корпус; 3 – шток (рухомий стержень) запірнього клапана; 4 – ущільнюоче кільце; 5 – вхідний штуцер; 6 – робоча клапанна порожнина; 7 – прямоотчне розпилювальне сопло; 8 – конусне розпилювальне сопло; 9 – сопло із турбулентною порожниною; 10 – зворотна пружина; 11 – обмотка котушки соленоїда; 12 – магнітопровід соленоїда.

По конструкції закриті форсунки можуть розрізнятися принципом дії запірнього клапана і способом кріплення в корпусі впускного колектора. За

типом запірною пристрою закриті форсунки поділяють на форсунки з сферичним, дисковим і штифтовим клапаном; за способом кріплення - вставні різьбові (рис. 1.2)

Закриті ГМ-форсунки в дозуванні палива участі не приймають. Їх головна функція - розпиляти бензин на гарячі впускні клапани двигуна. При цьому розпорошені частки бензину переходять в пароподібний стан, а впускний клапан охолоджується. Щоб не було зіткнення струменя бензину із стінками передклапанної зони впускного колектора, бензин розпилюється на кут не більше 35° , а форсунка по відношенню до клапана встановлюється по суворозаданій геометрії (рис. 1.3.).

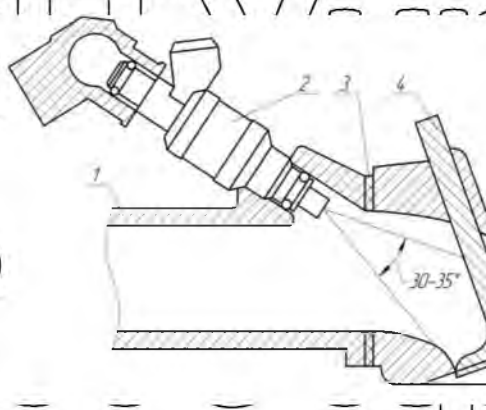


Рис. 1.3. Орієнтація встановлення форсунки у передклапанну зону впускного колектора

1 - впускний колектор; 2 - форсунка впорскування бензину; 3 - прокладка; 4 - впускний клапан; 5 - передклапанна зона в головці блока циліндрів; 6 - камера згорання

Дозування палива в механічній системі впорскування робиться зміною тиску бензину у постійно відкритого сопла форсунки. При цьому тиск напору формується тиском поза форсункою - в диференціальному клапані дозатора-розподільника механічної системи впорскування.

Для того, щоб клапан форсунки закритого типу знаходився в стані «відкрито», тиск бензину в клапанній порожнині 6 (рис. 1.2.) повинен бути увесь час дещо вищий за зусилля $P_{\text{п}}$ поворотної пружини 10 ($P_{\text{рн}} > P_{\text{п}}$).

Це досягається завдяки досить високому заданому (не менше 6 бар)

робочого тиску P_p (РТС) в системі (у паливній магістралі до дозатора-розподільника) і підтримкою РТС на постійному рівні.

Форсунки закритого типу, що вийшли з ладу, ремонту не підлягають, але, як і будь-які інші, можуть бути «промиті» у складі системи впорскування на працюючому двигуні.

На (рис. 1.4) показана конструкція робочої гідромеханічної форсунки закритого типу фірми BOSCH для механічних систем впорскування бензину «К» і «KE – Jetronic». У форсунці застосований дисковий запірний клапан 17 і

прямоточне подання палива через сітчастий фільтр 12. Коли тиск у внутрішній

порожнині 14 стає вище P_p диск запірного клапана опускається вниз і форсунка відкривається. Вона буде відкрита до тих пір, поки тиск не впаде нижче вказаного значення.

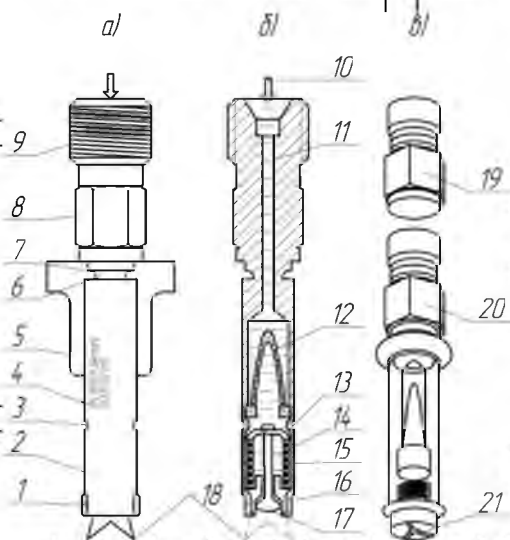


Рис. 1.4. Форсунка гідромеханічна, закритого типу

а – зовнішній вигляд форсунки; б – форсунка в розрізі; в – форсунка із

п'єднувальною різьбою; 1 – нижній резиновий фіксатор; 2 – корпус форсунки; 3 – роз'єм для фіксації сітчастого фільтра в середині форсунки; 4 – маркування; 5 – верхній резиновий фіксатор; 6 – стопорна проточка; 7 – ущільнювач

фіксатора; 8 – шестигранник під ключ S13; 9 – різьба M12 для під'єднання

штуцера паливної магістралі; 10 – паливний вхід форсунки; 11 – внутрішній

паливний канал; 12 сітчастий фільтр; 13 – упорна тарілочка зворотної пружини

зап'єрного клапана форсунки; 14 – внутрішня порожнина клапана; 15 – зворотна

пружина; 16 – сідло запірного клапана; 17 – дисковий запірний клапан форсунок (відкривається напором бензину вниз); 18 – струя розпилю бензину; 19 – фірмовий перехідник VAG 1349/1 для під'єднання контрольно-перевірочного приладу при ТО; 20 – шестигранник під ключ S12, різьба M10; 21 – розпилювальне сопло.

1.2.3. Електромагнітні форсунки

Електромагнітні форсунки застосовуються в сучасних системах впорскування бензину в якості робочих і пускових форсунок (для систем розподіленого впорскування з електронним управлінням), а також в якості центральних форсунок впорскування (у системах живлення з моновпорскуванням), [1].

На (рис. 1.2., г), показана модель електромагнітної форсунок впорскування в спрощеному вигляді. Як видно з креслення, електромагнітна форсунка (ЕМ-форсунка) відрізняється від закритої гідромеханічної (див. рис. 1.4.) тим, що шток замикаючого елемента клапана (внутрішній рухомий стержень 3 на рис. 1.2.) поміщений в котушку 11 електромагнітного соленоїда.

Таким чином, стержень 3, який виконується із спеціального матеріалу, і котушка 11 соленоїда з магнітопроводом 12 утворюють електромагніт з рухливим стержнем в середині котушки. Тепер замикаючий клапан форсунок може відкриватися не під впливом тиску палива (як в ГМ-форсунці), а під впливом електричного струму, що протікає по котушці. Закриття клапана в ЕМ-форсунці, як і в ГМ-форсунці реалізується зворотною пружиною 10. Форсунки, що мають примусове електромагнітне управління запірним клапаном, дозволяють створювати системи впорскування бензину з управлінням від електронної автоматики (від ЕБК). При цьому ЕМ-форсунки не лише розпилюють паливо в потрібному місці впускного колектора, але і дозують його кількість при впорскуванні. При поданні напруги U_{ϕ} на обмотку 11 (див. рис. 1.2.), яка має омичний опір R_{ϕ} , по ній починає протікати струм $I_{\phi} = U_{\phi} / R_{\phi}$.

Якщо сила J_S магнітного поля соленоїда, з числом витків W_S в

катушці ($I_S = I_{\Phi} W_S$) перевищить силу F_n пружності зворотної пружини 10, то запірний клапан форсунки відкриється. При цьому ($I_S = 1,5 \dots 2 F_n$) форсунка спрацює і відбудеться впорскування бензину, оскільки паливо знаходиться в порожнині 6 (див. рис.1.2.) форсунки під певним внутрішнім тиском P_{Φ} .

Впорскування відбуватиметься до тих пір, доки форсунка відкрита і по обмотці ІІ соленоїда протікає струм I_{Φ} , достатній для утримання феромагнітного стержня у втягнутому в катушку соленоїда стані. Проте слід зауважити, що швидкість відкриття і закриття форсунки залежить не лише від форми і амплітуди електричного імпульсу, що викликає спрацювання форсунки, але і ряду її електромеханічних параметрів. Таким чином, складність створення працездатних ЕМ-форсунок на початкових етапах конструювання завжди зводиться до пошуку найбільш оптимальних компромісів між вказаними протиріччями і необхідними параметрами форсунки.

При застосуванні ЕМ-форсунок в якості клапанних робочий тиск P_S в системі впорскування може бути знизений з 6,5 бар (у механічних системах) до 4,8...5 бар, що підвищує надійність роботи електробензонасоса і знижує вірогідність протікань палива в з'єднаннях ущільнювачів паливомагістралей.

При електронному управлінні форсунками точність дозування впорснутого бензину, значно підвищується. Це стає можливим тому, що тиск усередині ЕМ-форсунки підтримується постійним, і кількість впорснутого палива, визначається тільки часом відкритого стану форсунки.

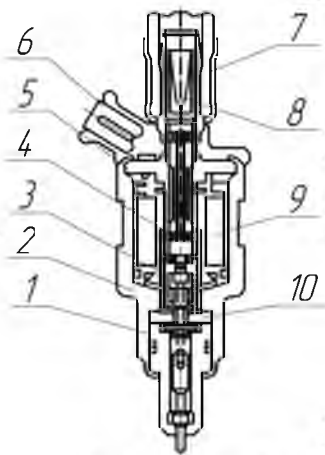


Рис. 1.5. Електромагнітна форсунка фірми BOSCH

1 - розподільчач із штифтовим запірним клапаном; 2 - корпус; 3 - рухомий стержень (якор) електромагніта; 4 - зворотня пружина; 5 - сердечник котушки соленоїда; 6 - двоcontactний електричний роз'єм; 7 - паливний штуцер; 8 - мілкосітчатий фільтр; 9 - обмотка котушки соленоїда; 10 - обмежувач руху запірного клапана.

Але найбільш ефективною є система впорскування бензину, в якій кожна робоча клапанна ЕМ - форсунка управляється незалежно від інших (поєднане синхронізоване розподілене по циліндрах імпульсне впорскування бензину з управлінням від багатоканального ЕБК).

За типом замикаючого клапана ЕМ-форсунки, як і гідромеханічні, підрозділяють на три види:

- форсунки з сферичним профілем запірного елемента;
- форсунки з штифтовим клапаном (з конусним або голчастим запірним стержнем):

- форсунки з дисковим клапаном (з плоским або тарілочастим запірним елементом).

На (рис. 1.5.) показана конструкція ЕМ-форсунки фірми BOSCH. Як і усі форсунки фірми BOSCH, ця форсунка прямоточна і з внутрішнім сітчастим фільтром 8. Соленоїдний електромагніт утворений котушкою 9 і втягуючим якорем (керном), 3.

Випускаються форсунки з внутрішнім електричним опором 2,4 Ом; 12,5 Ом; 16 Ом. Малий опір пов'язаний із застосуванням обмотувального дроту з міді і з необхідністю мати малу величину індуктивності L соленоїда, яка прямо залежить від числа витків W_c обмотки соленоїда.

Низький опір форсунки збільшують додатковим опором в 6...8 Ом, що зменшує споживаний струм. Обмотки високоомної форсунки виконані з дроту з великим питомим опором (наприклад, з латуні), що дозволяє мати малу L і великий R .

По продуктивності P впорскування форсунки підбирають по типах і потужності тих двигунів, на які ці форсунки встановлюються. Продуктивність

форсунки визначається під робочим тиском системи, як кількість K_B бензину, що пройшов через форсунку за одиницю часу t , якщо вона постійно відкрита.

1.2.4. Форсунка закритого типу з плунжерним насосом

Ведуться дослідження у напрямі пошуку принципово нових способів впорскування бензину за допомогою форсунок. Випробувані так звані магнітоелектричні форсунки, які відрізняються високою швидкістю (0,5 мс), оскільки працюють з примусовим високочастотним (до 1000 с^{-1}) перемиканням полярності магнітного поля в котушці соленоїда, [1].

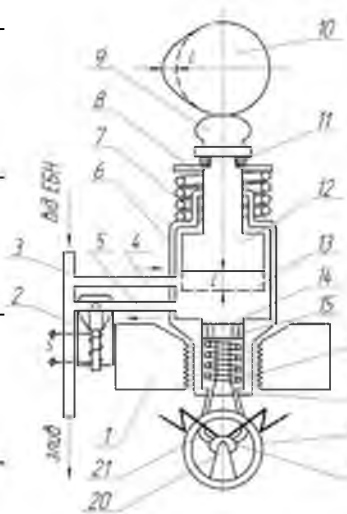


Рис. 1.6. Насос форсунка

1 - фрагмент блока циліндрів в зоні камери згорання; 2 - магнітоелектричний гідроклапан у зливному каналі; 3 - головна бензомагістраль; 4 - подаюча бензомагістраль; 5 - зливний канал (зворотна бензомагістраль); 6 - корпус насос-форсунки; 7 - зворотня пружина плунжера; 8 - опорна тарілочка пружини плунжера; 9 - штовхач плунжера; 10 - кулачок розподільчого вала; 11 - запірне кільце опорної тарілочки; 12 - поршень плунжерного насоса; 13 - робоча порожнина насос-форсунки; 14 - гідромеханічна форсунка закритого типу високого тиску (100-150 бар); 15 - перепускний канал із порожнини плунжерного насоса в порожнину форсунки; 16 - зворотня пружина запірного клапана форсунки; 17 - дисковий запірний клапан форсунки; 18 - свічка запалювання (СЗ); 19 - центральний електрод (ЦЕ); 20 - боковий електрод; 21 - конус (струмінь) розпиленого бензину; L - хід

плунжера.

Перспективними вважаються також форсунки закритого типу з додатковим електромагнітним управлінням (електрогідравлічні).

У системах впорскування бензину групи "Д" (впорскування в камеру згорання) використовується насос-форсунка закритого типу з плунжерним насосом високого тиску, який приводиться в дію від кулачка розподільчого валу (рис. 1.6.).

Насос-форсунка оснащена зливним каналом зі швидкодіючим електрогідравлічним клапаном. Комбінація - плунжерного насосу із закритою гідромеханічною форсункою, зливний канал який керується електронікою - дає можливість реалізувати так зване «пошарове впорскування бензину» безпосередньо в камеру згорання ДВЗ. Це забезпечує значну економію палива за рахунок роботи двигуна на дуже бідних сумішах ($\alpha = 2,0$), а також підвищує ряд його експлуатаційних показників.

При пошаровому впорскуванні циклове подання бензину безперервно диференціюється за часом за допомогою управління тиском в робочій порожнині насос-форсунки (під плунжером). Тиск регулюється електронним гідравлічним клапаном в зливному каналі. Суть пошарового впорскування палива полягає в його поданні окремими, строго дозованими порціями. Виходить так: за один цикл впорскування бензин подається прямо в циліндр не суцільним однорідним струменем, а декількома частинами, кожна з яких утворює «свій» коефіцієнт надлишку повітря α . У об'ємі циліндра утворюється «пошаровий пиріг» із сумішшю різної концентрації. Перевага пошарового впорскування бензину полягає в тому, що в перший момент займання в зоні центрального електроду свічки запалення подається нормальна (стехіометрична) суміш з $\alpha = 1$, яка легко займається. Далі процес горіння палива в дуже бідній суміші ($\alpha = 2$) підтримується за рахунок «відкритого

вогню», що утворився в перший момент займання. Проте система впорскування бензину з насос-форсунками має два істотні недоліки: вона містить дорогі і дуже складні механічні пристрої, а також сприяє появі значних кількостей

оксидів азоту (NO_x) у вихлопних газах двигуна, нейтралізувати які дуже складно. Проте такі системи набули широкого розповсюдження і випускаються різними фірмами виробниками, для прикладу одна із таких систем випускається фірмою TOYOTA для двигунів TD4 що використовуються в легкових автомобілів, [1].

1.3. Принцип роботи електромагнітних форсунок бензинових двигунів автомобілів

Багато сучасних автомобілів оснащуються системами упорскування палива. Стан форсунок - невід'ємної частини системи упорскування - багато в чому визначає ефективність роботи двигуна. Упорскування палива має незаперечні переваги в порівнянні з карбюраторним принципом сумішоутворення. У першу чергу, це більш точне дозування палива, а отже, більша економічність і приємність автомобіля, і менша токсичність газів, що вийшли. Однак основна виконавча деталь системи упорскування - форсунка - працює в тяжких умовах, і тому досить вимоглива до обслуговування.

Форсунка (рис. 1.7.) являє собою електромагнітний клапан. Форсунка призначена для упорскування дозованого кількості палива, необхідного для готування горючої суміші при різних режимах роботи двигуна. Дозування кількості палива залежить від тривалості електричного імпульсу, що надходить в обмотку котушки електромагніту форсунки. Упорскування палива форсункою синхронізований з положенням поршня в циліндрі двигуна.

Форсунка складається з корпусу 3, кришки 6, обмотки котушки 4, електромагніту, сердечника 8 електромагніту, голки 2 запірною клапана, корпусу 9 розпилювача, насадки 1 розпилювача й фільтра 5. При роботі двигуна паливо під тиском надходить у форсунку через фільтр 5 і проходить до запірною клапана, який перебуває в закритім положенні під дією пружини 7.

При вступі електричного імпульсу в обмотку котушки 4 електромагніту виникає магнітне поле, яке притягає сердечник 8 і разом з ним голку 2 запірною клапана. При цьому отвір у корпусі 9 розпилювача відкривається, і

паливо під тиском впрорскується в розпиленому виді у впускний трубопровід.

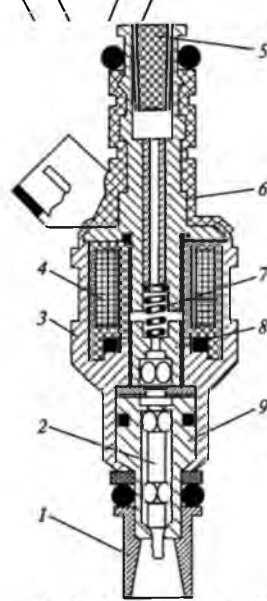


Рис. 1.7. - Форсунка електронної системи упрорскування.

1 – насадка, 2 – голка; 3, 9 – корпуси; 4 – обмотка котушки; 5 – фільтр, 6 – кришка; 7 – пружина; 8 – сердечник; 9 – корпус

Після припинення вступу електричного імпульсу в обмотку котушки електромагніту магнітне після зникає, і під дією пружини 7 сердечник 8 електромагніту й голка 2 запірного клапана вертаються у вихідне положення.

Отвір у корпусі 9 розпилювача закривається, і упрорскування палива з форсунки припиняється.

Паливо подається до форсунки під певним (залежним від режиму роботи двигуна) тиском. Електричні імпульси, що надходять на електромагніт форсунки від блоку керування, пускають у хід плісчастий клапан, що відкриває і закриваючий канал форсунки. Кількість палива, що розпоршується, пропорційно тривалості імпульсу, що задається блоком керування. Форма і напрямок факела, що розпоршується, відіграють істотну роль у процесі сумішоутворення і визначаються кількістю та розташуванням розпилюючих отворів.

Розташування, класифікація і маркування форсунок. Центральне упрорскування - у загальний впускний трубопровід паливо впрорскується однією форсункою (або двома), яка встановлюється перед дросельною заслінкою, у

місці, де «повинен стояти карбюратор», і характеризується низьким опором обмотки електромагніту (до 4-5 Ом).

Розподілене упорскування – окремі форсунки здійснюють упорскування палива у впускні трубопроводи кожного циліндра. Вони розташовуються в підставі впускних трубопроводів (у корпуса головки блоку циліндрів) і відрізняються відносно високим опором обмоток електромагнітів (до 12-16 Ом), або меншим, але з додатковим блоком опорів. На деяких автомобілях останнього покоління паливо подається безпосередньо в камеру згоряння (безпосереднє упорскування). Форсунки таких двигунів відрізняються високою

робочою напругою електромагніту (до 100 В). У маркуванні форсунок може відбиватися фабрична (торговельна) марка або назва, каталожний номер або найменування, номер серії.

Основні ознаки й причини несправності форсунок. Стан форсунок суттєво впливає на роботу двигуна. Основними ознаками їх несправності бувають недостатня потужність, що розвивається двигуном; ривки й провали при збільшенні навантаження на двигун; нестійка робота на малих обертах; підвищена токсичність газів, що відробили. Найпоширенішою несправністю форсунок є їхнє забруднення. Вони розташовані в зоні впливу високих температур. Наслідок цього – закоксування, що втримується в паливі

(особливо низькоякісному) смолами, утвір на форсунці твердих відкладань, що перекривають (частково або повністю) розпилюючого отвору, що й порушують герметичність голчастого клапана. Крім того, загальне забруднення елементів паливної системи (бака, трубопроводів, фільтра і т.д.) приводить до засмічення часточками шламу каналів і фільтра форсунки. Основним способом відновлення нормальної працездатності форсунок є їхнє промивання.

Перевірка робочих форсунок. Працездатність електромагнітних форсунок розподіленого упорскування в першій наближенні може бути перевірена по зовнішніх ознаках їх роботи. Спочатку перевіряють, чи істи вібрація форсунки. Рівномірна вібрація свідчить про справну форсунку, а відсутність вібрації або перебої вказують на відхилення в роботі форсунки, що перевіряється.

Працездатність форсунки можна визначити при відключенні її з роботи на холостому ходу шляхом від'єднання електроживлення. При справно працюючій форсунці частота обертання кошикватого вала, у випадку її відключення, повинна змінитися. Однак слід мати у виді, що на деяких автомобілях установлюється стабілізатор холостого ходу, який необхідно відключати під час зазначеної перевірки.

Продуктивність робочих форсунок перевіряють за обсягом палива, що випливає з неї, при тиску в системі 0,25 МПа і порівнюють отримані значення з нормативними для даного двигуна. Кут конуса розпилу повинен бути рівний приблизно 30° .

У випадку виявлення несправностей форсунки, у першу чергу, слід перевірити стан соленоїдної обмотки. Для цього необхідно визначити її опір і переконатися у відсутності обриву. Номінальний опір повинний відповідати даним фірми-виготовлювача; якщо таких даних ні, опору форсунок, що перевіряються, можна зрівняти між собою.

Більш точна перевірка працездатності форсунок і електронної системи упорскування може бути зроблена за допомогою мотор-тестера або осцилографа по тривалості відкриття форсунки залежно від режиму роботи двигуна. Типові форми імпульсів відкриття клапана форсунки, які тривають від 1 до 14 мс, показані на рис. 1.8.

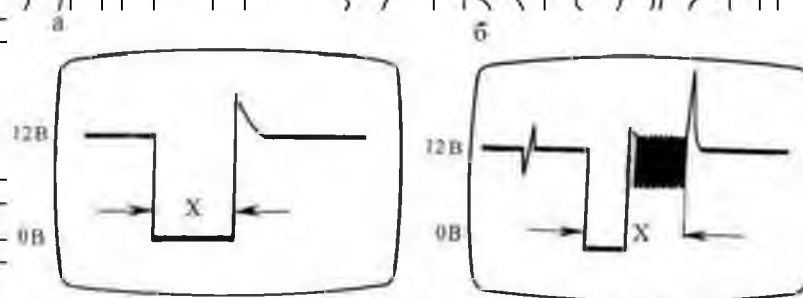


Рис. 1.8. Форми імпульсів при роботі форсунки електронної системи

упорскування:

а - з додатковою форсункою запуску холодного двигуна; б - без додаткової форсунки запуску холодного двигуна; x - тривалість відкриття форсунки

На сигнал відкриття форсунки в системі упорскування без застосування

додаткової пускової форсунки накладається додатковий імпульс під час пуску холодного двигуна (рис. 1.8., б). Тривалість імпульсу при запуску й на холостому ході двигуна звичайно більше, чим при роботі двигуна з невеликими навантаженнями при низькій частоті обертання колінчатого вала, але менше, чим при збільшенні частоти й повному відкритті дросельної заслінки або різким збільшенні частоти обертання.

Промивання форсунок. Ця операція має на увазі видалення (вимивання) забруднень, що нагромадилися, із системи. До основних способам промивання

форсунок ставляться промивання спеціальними присадками до палива;

промивання без демонтажу форсунок із двигуна за допомогою спеціальної установки; промивання на ультразвуковому стенді з демонтажем форсунок із двигуна. Промивання за допомогою присадок до палива відрізняється

простотою й полягає в періодичному (кожні 2-3 тис. км) додаванні в паливо спеціальних препаратів. Це дозволяє промивати не тільки самі форсунки, але й усю паливну систему. Даний спосіб ефективний при регулярнім видаленні невеликих забруднень і носить, скоріше, профілактичний характер.

Видалення застарілих відкладань подібним методом може привести до прямо протилежного результату: велика кількість шламу, змитої миючою присадкою зі

стінок паливної системи, засмічує трубопровід, паливний фільтр, а іноді й самі форсунки, остаточно виводячи їх з ладу. Промивання форсунок за допомогою спеціальної установки без їхнього демонтажу полягає в роботі двигуна на

спеціальнім паливі, що промиває (сольвенті). Для цього відключається

штатний паливний насос автомобіля й магістраль зливу палива в бак (обратка),

а паливопровід системи упорскування з'єднується з установкою, що має резервуар із сольвентом, який під тиском подається на форсунки. Процес

ділиться на кілька етапів. Спочатку двигун працює в плинні 15 хвилин у режимі холостого ходу. Потім його зупиняють на 15 хвилин для розм'якшення

особливо стійких відкладань. Потім двигун знову запускається й працює 15 хвилин у режимі періодичного збільшення обертів до їхнього максимального числа. Заключним етапом промивання є відновлення з'єднань штатних

паливопроводів і робота двигуна на бензині в плинні 30 хвилин. Подібне промивання рекомендується проводити через кожні 15-20 тис. км пробігу. Промивання на ультразвуковому стенді з демонтажем форсунок застосовується як крайнього заходу для видалення більших затверділих відкладань, коли перші два способи не приводять до бажаних результатів. Принцип дії таких стендів заснований на руйнуванні відкладань зануреної в спеціальний миючий состав форсунки за допомогою ультразвуку. Крім того, стенди, як правило, дозволяють точно оцінити продуктивність і якість розпилю форсунки.

Причини засмічення форсунок. Неякісне паливо - от одна з головних причин поломки форсунок. Величезна кількість смол, які осідають усередині форсунок, знижують пропускну здатність, не дозволяють герметично закритися клапанам, і тим самим міняється кут струменя палива, що впорскується.

При запуску двигуна в зимовий час, вийдений з ладу клапан є причиною перезбагачення суміші, внаслідок чого відбувається підвищена витрата палива й підвищується токсичність газів, що відробили. При некоректнім розпиленні палива відбуваються порушення в процесі сумішоутворення, а це є першою причиною погіршення практично всіх показників двигуна. Засмічення форсунок відбувається при використанні підроблених паливних фільтрів, або ж якщо просто автовласник забув поміняти вчасно фільтр. При тиску в системі палива може просто відбутися розрив фільтра, і бруд, природно, потрапить у форсунки.

Промивання інжектора. Особливо хотілося б відзначити, що в автомобілях з більшим пробігом очищення із присадками може повністю вивести всю систему з ладу, коли весь бруд змивається зі стінок паливного бака й спрямовується до фільтра, і далі - у форсунки. Сітка на форсунках забивається й паливо перестає надходити.

Інший спосіб - це промивання інжектора без демонтажу, тобто інжектор залишається не розібраним. Спочатку відключають бензобак, потім штатний паливний насос і перекривається канал зливу палива в бак. Одночасно із цим

паливопровід машини з'єднується із професійним стендом, який подає в систему спеціальну рідину. Два прогони рідини із двома перервами по 15-20 хвилин на кожні 15 - 20 тис. кілометрів пробігу, і паливна система буде підготовлена до зими.

Ультразвуковий стенд - от ще один зі способів чищення. Форсунки знімають і поміщають у ванну з миючим розчином, де під дією ультразвуку навіть найдужчі відкладання руйнуються.

На цьому ж стенді можна перевірити якість чищення. Досвід показав, що ультразвуковий метод найбільш ефективний, і він навіть може повернути до життя форсунки, які вже не підлягають ремонту.

Ознаки несправностей і складності ремонту. Як тільки з'явиться перевитрата палива й сильна дим на вихлопі - настав час задуматися про ремонт форсунок або їх своєчасній заміні. Ремонт, природно, обійдеться дешевше, і, якщо він реальний, краще зупинитися на ньому.

Якщо ж зношування, корозія або засмічення форсунок перевищують припустимі рівні - форсунки підлягають заміні.

Сьогодні ремонт форсунок не становить проблем, однак тільки досвідчені фахівці автосервісу можуть визначити несправності й полагодити форсунки.

Для цього проводиться спеціальний тест на перевірку рухливості голки розпилювача й тиску відкриття форсунки - у різних моделях авто ці показники відрізняються. Особливо складним вважається ремонт двохстружкових форсунок

упорскування. Її нормальний стан - 0,03 - 0,05 мм підйому при упорскуванні палива під тиском до 250 кг/мм² із пропуском попередньої порції пального.

Виміряти цей зазор або відхилення від нього, а також точність дози палива для упорскування, яка подається розпилювачем у циліндр форсунки, здатна тільки дуже чутлива діагностична апаратура.

Голка форсунки може заклинити (що змінить форму палаючого факела)

або засмітитися. Її можна прочистити вручну, розібравши й використавши набір щіточок або ультразвук. Іноді необхідно замінити розпилювач і голку. Але щоб переконатися, що несправний саме розпилювач, необхідний обов'язковий

тестовий стенд перевірки стабільності факела. Рідко трапляються поломки шайб між розпилювачем і пружиною (стільки заміна), іноді розслаблюється пружина або ламається й сама пружина (можна для твердості додати кілька регулювальних шайб), ще рідше - руйнується корпус форсунки. Окремий

випадок несправностей форсунок - поломка форсунок упорскування з

електричними датчиками контролю гідки. Може виникнути проблема із запчастинами: знайти запасні датчики набагато складніше, ніж механічні комплектуючі для вузла. Заміна розпилювача - захід крайній, однак вона

необхідна, якщо розпилювач зруйнувався.

Очищення форсунок. Форсунка працює в умовах впливу високої температури і агресивної рідини. У процесі експлуатації форсунки засмічуються. Відомо, що температура під капотом працюючого двигуна

становить приблизно 90°C. Після зупинки двигуна процес його охолодження

стає набагато менш інтенсивним, а в ньому багато деталей з робочою температурою більш 150°C.

Це означає, що спочатку відбувається загальне нагрівання й температура під капотом починає підвищуватися. Порожнини форсунок, заповнені паливом,

у зв'язку з тим, що двигун не працює й немає їх природнього охолодження

свіжими порціями палива, також нагріваються. Починається процес крекінгу палива, і лакові відкладання осідають на внутрішніх стінках форсунок (рис

1.9)

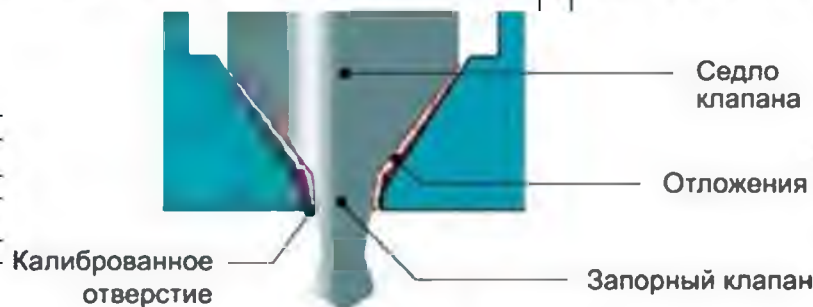


Рис. 1.9. Схема твердых лаковых отложений

Відкладання лаку товщиною 5/мікронів або п'ять тисячних часток міліметра зменшують подачу палива з форсунки на 25%. Згодом вони починають впливати на нормальну працездатність форсунок. Не випадково

багато провідних виробників автомобілів через кожні 30 тис. км пробігу рекомендують чистити форсунки за допомогою технології ультразвукової кавітації.

Має місце й інша причина порушення подачі палива. Це осадження часток вуглецю, який фактично приварюється до виступаючого носика голки форсунки або осідає на стінках впускного колектора. Поява часток вуглецю може бути викликана порушенням у роботі клапана рециркуляції вихлопних газів. Інший шлях появи вуглецю – порушення в роботі ГРМ або «зворотний спалах» у впускний колектор. Крім цього, частки вуглецю змінюють форму

факела розпилення палива. Якщо відбувається зміна форми розпилення палива, то воно може попадати на стінки впускного колектора й, конденсуючись, перетворюватися назад у рідину. Це означає, що починається так зване

плівковий утвір паливоповітряної суміші, саме характерне для «карбюраторного» процесу. Частки вуглецю також адсорбують паливо (воложаються), що приводить до збільшення температури у впускному колекторі, а це, у свою чергу, приводить до збільшення лакових відкладань. У цей час застосовується два способи промивання форсунок: добавка в паливо очисника

паливної системи або обробка паливної системи спеціальною рідиною; зняття форсунок, їх тестування й очищення на спеціальній установці.

До переваг очищення паливних систем за допомогою очисних рідин слід віднести малу вартість і невеликі працезатрати. Додавання очисної рідини в

паливо в більшості випадків дає короткостроковий ефект по поліпшенню роботи двигуна, сповільнює забруднення паливної системи. Використання спеціальних очисних рідин (на яких двигун працює замість палива) очищає паливну систему двигуна, а також дає додатковий ефект, пов'язаний з очищенням від нагару клапанів і циліндрів двигуна. Для очищення форсунок на

працюючому двигуні застосовують автономні пристрої як замкненого, так і одnobічного циклу, що подають спеціальний состав у паливну магістраль у системах дискретної дії. Штатні паливопроводи, (що як подає, так і зворотного зливу) при цьому від-з'єднують, а бензонасос відключають, щоб не переносити

розчинені відкладання з насоса й паливного бака до форсунок. Ефективність очищення цим методом повністю визначається властивостями очисних рідин і становить 60-90%.

До недоліків спеціальних рідин необхідно віднести їхню високу токсичність і активність. Порушення інструкцій із застосування цих рідин викликає відмова форсунок, крім того, так і залишаються невідомими рівномірність подачі палива по форсунок і якість розпилення палива.

Очищення форсунок і перевірка їх гідравлічних характеристик на спеціальному стенді має наступні переваги:

- контроль якості розпилення й обсягу подачі палива кожною форсунок, що, у свою чергу, подає повну інформацію для аналізу причин незадовільної роботи двигуна;

- в абсолютній більшості випадків очищення форсунок повністю відновлює їхню працездатність.

Працевитрати такого методу очищення становлять від одного до двох годин на автомобіль, залежно від конструкції двигуна. Найбільш ефективним устаткуванням у цьому випадку є установка по ультразвуковим очищення форсунок. Крім функції очищення, вона може бути використана для контролю подачі і якості розпилення палива.

Фізичний принцип ультразвукового чищення. Ультразвукові коливання – це пружні механічні коливання, із частотою від 18 до 120 кГц. Фізика поширення ультразвукових коливань у твердих, рідких і газоподібних середовищах добре вивчена, а тому прилади на основі ультразвуку одержали в цей час дуже широке поширення в самих різних областях техніки.

Одержання механічних коливань ультразвукової частоти здійснюється за допомогою спеціальних перетворювачів, що становлять основу ультразвукових коливальних систем. При поширенні ультразвукових коливань у рідкім середовищі виникають чергування стиску й розрідження, які приводять до перемішування середовища. Якщо ультразвукові коливання мають інтенсивність більш 1-2 Вт/мм², то в рідині спостерігається ефект, називаний

ультразвуковий кавітацією.

Рідке середовище характеризується тим, що її частки мають набагато більший потенціал для переміщення, чому в сухій речовині, але вони піддані більш високим силам притягання, чому частки в газах. Молекули води випаровуються в широкому діапазоні температур, але кипіння – строге в «кращі кипіння», яка для дистильованої води рівна 100°C , тиск пари при цьому досягає значення 1,0 бар.

Якщо надавати деяка кількість рідини при кімнатній температурі інтенсивному ультразвуковому опроміненню, тоді на стадії вакуумної хвилі (рис. 1.10., стадія А) у рідині формуються численні пухирці газу, які збільшуються до завершення дії фази акустичного вакууму (негативний тиск). Це утворення мікроскопічних пухирців газу (тобто утворення газових порожнеч у рідині) є початком кавітації.

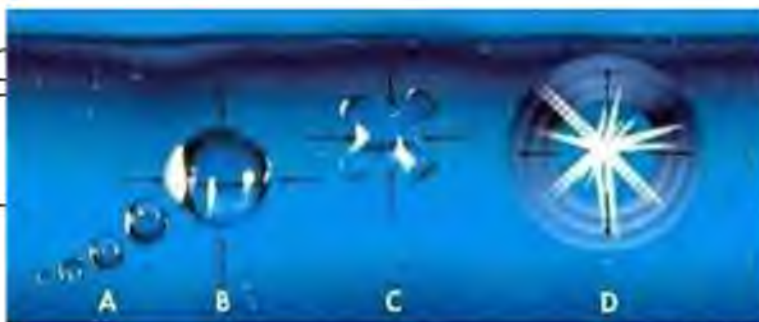


Рис. 1.10. Стадії формування ефекту кавітації

На другій стадії ультразвукового стиску (рис. 1.10., стадія В) величезний тиск впливає на пухирці, що недавно утворювалися. Стиск викликає різке збільшення температури газу, що втримується в пухирцях (рис. 1.10., стадія С), доти, поки пухирці не зруйнуються. Відбувається вибух навпаки, усередину – це явище зветься імплізією. Руйнування (мікробибух) супроводжується більшим виділенням енергії (рис. 1.10., стадія D).

Енергія ударів, викликана імплізією газових пухирців, впливає на поверхню об'єкта, який зазнає очищення. При цьому об'єкт зазнає подвійному впливу – фізичному й хімічному.

У фізичнім вираженні досягається ефект «мікрофібрилювання»,

причому з дуже високою частотою (50000 раз у секунду для установок, що працюють на частоті 50 кГц), у хімічному вираженні в ультразвуковій ванні відбувається концентрований хімічний вплив на поверхню об'єкта, що очищається. Саме на цьому явищі заснований ультразвуковий спосіб відмивання виробів. Форсунки попередньо демонтують і поміщають у спеціальну ванну. Під впливом ультразвукових коливань часточки, що чистить рідини щосекунди роблять зворотно-поступальний рух із частотою генератора. Ультразвукові коливання збуджуються в рідині, що очищає, протікає під тиском по паливопроводному каналу. Але через інерційність відбувається не тільки переміщення мікрооб'єктів рідини з різкими змінами прискорення, але й стрибкоподібна зміна тиску в них. Робоча рідина як би «бомбардує» поверхню виробу, що очищається, і зриває з неї часточки бруду. Такий інтенсивний рух розчину підсилює роздрібнення часточок бруду в робочій рідині. При цьому канал подачі палива очищається по всій довжині.

Найбільш примітним при цьому є те, що повне очищення від забруднень за допомогою ультразвуку досягається навіть у самих вузьких поглибленнях і отворах виробу, що очищається. Форсунки занурюють дозуючою частиною у ванну, установлюючи їх на спеціальний тримач у підвішеному стані.

Після очищення в ультразвуковій ванні роблять так зване зворотне промивання. Для цього витягають із них вхідні фільтри й за допомогою спеціальних адаптерів установлюють у ванну. Залишки забруднень вимиваються тестовою рідиною у зворотному напрямку. Якщо форсунки сильно забруднені, то для досягнення прийнятної якості процес очищення доводиться повторювати кілька раз.

В таблиці 1.1. відображені переваги та недоліки способів видалення забруднень. Найменша кількість забруднень спостерігається при ультразвуковій очистці на частотах 20...40 кГц. При такому способі кількість забруднень, що залишилося, не перевищує 0,5%.

Аналізуючи способи очищення, найбільш перспективним є використання ультразвукового очищення, яка дозволяє видалити забруднення, що важко

видаляються, з електромагнітних форсунок і деталей паливної апаратури [17, 26, 31, 50]. Даний спосіб очищення найперспективніше використовувати на підприємствах, що експлуатують транспортну техніку.

Таблиця. 1.1

Порівняльний аналіз різних способів видалення забруднень з деталей паливної апаратури

Найменування методу	Очищувані деталі	Застосовується обладнання	Переваги	Недоліки
Механічний ручний	Корпуси, прецизійні деталі	КИ-5319, щітки, скребки	Універсальність, простота	Низька продуктивність праці та культура виробництва
Струменевий використання м'яких розчинів та миючих засобів	Всі деталі, крім прецизійних	ОМ-12077 ОМ-1418А ОМ-1459А ОМ-12139 та ін. ОМ-5287 ОМ-5288 та ін.	Доступність, використання водних розчинів екологічно безпечних миючих засобів, висока продуктивність	Недостатня якість очищення при видаленні твердих забруднень та очищення замкнутих порожнин, кишень
Забруднювальний використання м'яких розчинників	Всі деталі	ОРГ-4990В та ін. ОМ-7АН8 та ін.	Доступність, універсальність	Пожежонебезпечність, токсичність, шкідливий вплив на навколишнє середовище
Ультразвуковий	Усі деталі, крім корпусних	ОР-16702 УЗВ-16М та ін.	Можливість видалення різних груп та видів забруднень, очищення деталей різної форми та конфігурації, використання водних розчинів екологічно безпечних миючих засобів, висока продуктивність та культура праці	Потреба в кваліфікованому обслуговуванні ультразвукового обладнання, утруднене очищення великогабаритних корпусних деталей

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИҐРАТИ ПАЛИВА ПРИ ЗМІНІ ПРОХІДНОГО ПЕРЕКАЗУ РОЗПИЛЮВАЧА ФОРСУНКИ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1. Математична модель об'єкта моделювання

Математичну модель зазвичай представляють схемою (рисунок 2.1):

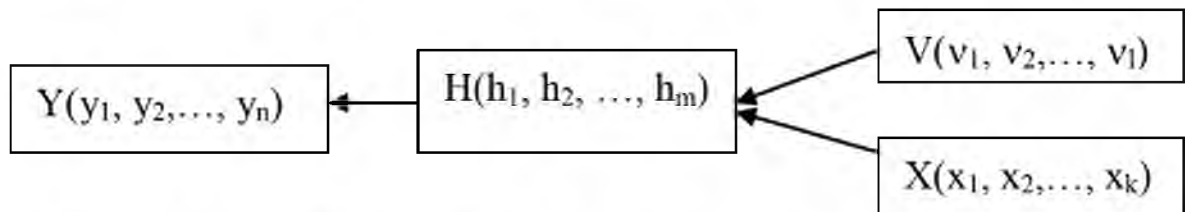


Рис. 2.1. Схема математичної моделі

Прямокутником позначений об'єкт (процес) моделювання, $X(x_1, x_2, \dots, x_k)$

- безліч зовнішніх впливів на об'єкт, що моделюється, $V(v_1, v_2, \dots, v_n)$ - безліч

впливів зовнішнього середовища, $H(h_1, h_2, \dots, h_m)$ - безліч внутрішніх станів

об'єкта, $Y(y_1, y_2, \dots, y_n)$ - безліч вихідних параметрів об'єкта, що моделюється.

Безліч зовнішніх впливів $X(x_1, x_2, \dots, x_k)$ містить керовані параметри. У

загальному випадку всі множини X, Y, V, H можуть містити як детерміновані, і

стохастичні зміни. Розглядають ці множини як деякі формальні вектори

параметр t - час. Параметр F - деякий оператор, визначення структури якого є

метою моделювання.

Рівність - формальна математична модель (динамічна модель). Якщо

рівності відсутня t , то модель називається статичною. Структура оператора F

може бути аналітичною, чисельною чи статистичною. Тому математичні моделі

поділяють на аналітичні, чисельні та статистичні моделі

2.2. Схема створення математичної моделі

Математична модель створюється на основі змістової моделі, яка

вдображає суттєві властивості об'єкта або процесу, що моделюється, і містить

опис вхідних параметрів (керованих або стохастичних), внутрішніх параметрів і

вихідних параметрів. Створення математичної моделі відбувається шляхом формалізації змістовної моделі як рівнянь, систем рівнянь різних видів, нерівностей чи відносин [40, 48, 63]. Робота із створеною моделлю містить:

1) якісний аналіз моделі з метою розробки методів вирішення або можливих спрощень, а також тестування для окремих випадків з використанням точних рішень;

2) обґрунтування вибору конкретного алгоритму отримання кількісних результатів, зокрема обов'язково оцінку точності обчислювального методу. Реалізація вибраних чисельних методів потребує використання комп'ютерних програм, таких як MathCAD, Mathematica. Наявність конкретних комп'ютерних програм уможливило проведення обчислювального експерименту, метою якого є перевірка адекватності даної моделі та отримання додаткової інформації [2, 25, 32, 33, 65].

2.3. Типові математичні схеми моделювання

До типових математичних схем моделювання відносяться: безперервно-детерміновані D-схеми. Ці схеми застосовуються для опису різних моделей теорії управління. Математичною моделлю є завдання Коші для звичайного диференціального рівняння або системи звичайних диференціальних рівнянь, а також рівнянь у приватних похідних із різними початковими та крайовими умовами. У моделях оптимального керування та деяких інших моделях оптимізації рішення знаходяться при обмеженнях на функції, що мають лінійний, нелінійний чи диференціальний характер;

1) дискретно-детерміновані F-схеми (кінцеві автомати) З допомогою цих схем описуються моделі механізмів контролю та управління, мають дискретний характер роботи у часі. Математична модель складається із завдання початкового стану автомата і з рівнянь, що задають значення вихідних параметрів в даний час залежно від значень вхідних параметрів і внутрішніх станів в даний або попередній моменти. Замість рівнянь можна використовувати таблиці чи графи;

2) стохастичні моделі. У стохастичних моделях, всі або частина змінних множин X , Y , H є випадковими величинами. Моделі регресійного типу, що мають велике значення при статистичному аналізі спостережень та безперервно-стохастичні моделі (Q-схеми), що застосовуються для опису систем масового обслуговування [2, 60, 40, 48, 63].

2.4. Регресійні моделі

Регресійні моделі застосовуються при статистичному аналізі результатів експерименту. Зазвичай такого типу досліди проводяться при одній або кількох безперервних керованих змінних x_1, x_2, \dots, x_n (вхідні сигнали) і вимірної випадкової величини y (вихідний сигнал). Регресійні моделі пропонують функціональні залежності $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, які виводяться з певних принципів оптимальності та використовуються для прогнозування значень y при тих значеннях x_1, x_2, \dots, x_n , які важко задати або за яких виміри y важко здійсненні або взагалі неможливі. Регресійні моделі узагальнюють і випадки, коли вхідні змінні також є випадковими змінними [2, 40, 48, 63].

2.5. Регресійний аналіз похибки вимірювання продуктивності

форсунок залежно від пробігу автомобіля

У сучасних поршневих двигунах з розподіленим уприскуванням палива електромагнітні форсунок є основним типом систем подачі та розпилювання палива. До струменевого форсунок паливо також подається під деяким тиском.

Внутрішній пристрій струминних форсунок є послідовною системою каналів, колекторів, простору навколо клапанів, пружин і т.п. На останній ділянці течії через форсунку паливо з великою швидкістю протікає через сопло малого діаметра і після вильоту з форсунки струмінь на деякій відстані від зрізу сопла розпадається на безліч дрібних крапель, створюючи вузький факел розпиленого палива (факел розпилю) з малим кутом розбіжності [55, 69].

Основним параметром режиму роботи електромагнітних форсунок є перепад тиску палива Δp^* на форсунці:

$$\Delta p_{To}^* = p_{To}^* - p_K^*, \quad (2.1.)$$

де: p_{To}^* , p_K^* - абсолютні повні значення тиску палива перед ТО і К форсуною та в камері згорання, Н/м².

Якість роботи форсунок оцінюється за групою видаткових, геометричних та дисперсних характеристик форсунки та факела розпилу.

Витратні характеристики форсунки - це залежність загальної витрати палива - масового, кг/с або об'ємного, м³/с від величини перепаду тиску палива Δp^* у форсунці.

Геометричні характеристики факела розпилу - це залежність форми струменя або факела від перепаду тиску палива Δp^* . Як правило, їх форма описується одним або двома параметрами - кутом розкриття γ факела, град. і дальнобійністю струменя L , м.

Витратно-геометричні характеристики струменів або смолоскипів розпилу - це залежність деякого параметра, що визначають закон розподілу маси розпиленого палива в просторі або нерівномірність його розподілу по масі, наприклад, місцевої витрати палива $\Delta GT(x, y)$ через малий майданчик ΔS або щільності зрошення $q = \Delta GT / x$, Δ режимних параметрів роботи форсунки

Дисперсні характеристики - це залежність величини середнього діаметра крапель (МДК, в мікрометрах) від перепаду тиску палива Δp^* у форсунці. Використовують різні за змістом МДК - середній арифметичний, середній по масі всіх крапель, середній по бічній поверхні випаровування та інші. Для характеристики неоднорідності крапель за розмірами використовують форму спектру або функції розподілу крапель по діаметрах $f(d_k)$ [69, 55].

Теоретичний опис руху рідини через струменеві форсунки базується на двох рівняннях.

а) Рівняння витрати пального ($G_{T,t}$, кг/с):

$$G_{T,t} = \rho_T \cdot W_t \cdot F_c, \quad (2.2.)$$

де: ρ_T - щільність палива, кг/м³;
 W_t - теоретична швидкість витікання палива із сопла форсунки, м/с (це швидкість у площині вихідного перерізу сопла);

F_c - площа вихідного поперечного перерізу каналу сопла, м². Якщо сопло з поперечним перерізом у формі кола радіусом r_c , то

$$F_c = \pi \cdot r_c^2$$

б) Рівняння Бернуллі для ідеальної стисливої рідини:

$$p_{T0}^* = p_{T0} + \rho \cdot \frac{w_t^2}{2g}, \quad (2.3)$$

де: p_{T0} - тиск палива у потоці рідини перед форсункою, Н/м²;

З рівняння (2.3) у припущенні рівності тиску в потоці на зрізі сопла

p_{T0} тиску газу в камері згоряння отримаємо теоретичну швидкість витікання

палива w_t :

$$w_t = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p_{T0}^*}{\rho_f}}, \quad (2.4)$$

Після підстановки цього виразу для w_t - у формулу для витрати пального

(2.2.) отримаємо:

$$G_{T,t} = F_c \cdot \rho_T \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p_{T0}^*}{\rho_f}} = (\pi \cdot r_c^2) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_T \cdot \Delta p_{T0}^*}, \quad (2.5)$$

Насправді, через наявність при перебігу реальної рідини через форсунку різних завихрень, прикордонних шарів, в'язкого гідравлічного і поверхневого

тертя, що створюють гідравлічні опори і через що дійсна швидкість витікання

$w < w_t$, фактична витрата палива

$$G_T = \mu \cdot G_{T,t} = \mu \cdot (\pi \cdot r_c^2) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_T \cdot \Delta p_{T0}^*}, \quad (2.6)$$

де: μ - коефіцієнт витрати палива форсунки, за допомогою якого враховують усі перераховані вище гідравлічні втрати, $\mu < 1$.

Величина μ як правило, не розраховується, а визначається експериментально, за так званих «проливок» форсунок.

Однак, у рівнянні витрати пального через форсунку (2.6.), відсутній коефіцієнт, який враховував витрати палива при забрудненні соплових отворів в залежності від пробігу.

Нами запропоновано враховувати зміну середнього відхилення значень витрати пального залежно від забруднень соплових отворів та пробігу.

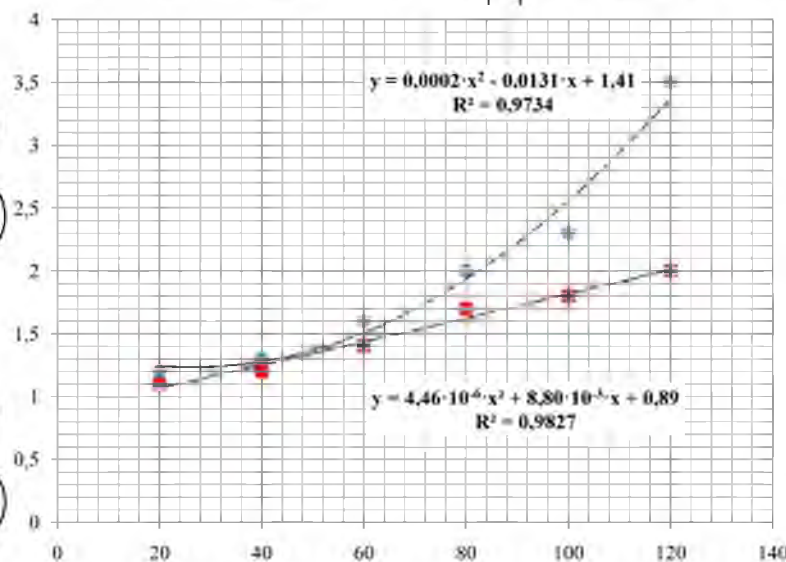
У ході експериментальних досліджень було отримано характерні точки середнього відхилення значень витрати палива ($\Delta q_{\text{ср}}$) залежно від пробігу до та після очищення ультразвуком (рисунк 1). Зі збільшенням пробігу (напрацювання) при забрудненні соплових отворів ЕМФ, зростає відхилення витрати палива до 25,2% у всьому інтервалі зміни пробігу. Що підтверджує необхідність ультразвукового очищення ЕМФ.

Аналіз поданих у таблиці 2.1. даних проведено з використанням табличного процесора Microsoft Office Excel та Statistika 10 [27].

Таблиця 2.1

Середнє відхилення значень витрати пального ($\Delta q_{\text{ср}}$) залежно від пробігу $L(x_i)$

Параметр	$L(x_i)$, км					
	20 000	40 000	60 000	80 000	100 000	120 000
$\Delta q_{\text{ср}}$, (уі), мл·хв ⁻¹ (ДО ОЧИЩЕННЯ УЗ)	1.2	1.3	1.6	2.0	2.3	3.5
$\Delta q_{\text{ср}}$, мл·хв ⁻¹ (ПІСЛЯ ОЧИЩЕННЯ УЗ)	1.1	1.2	1.4	1.7	1.8	2.0



L , тис.км

Рис. 2.2. Середнє відхилення значень витрати пального ($\Delta q_{\text{ср}}$) залежно від пробігу (L): - до очищення ультразвуком; - після очищення ультразвуком.

За результатами обробки статистичних даних проведено апроксимацію

отриманих значень до очищення ультразвуком з метою визначення характеру залежностей (рис. 2.3 - 2.4).

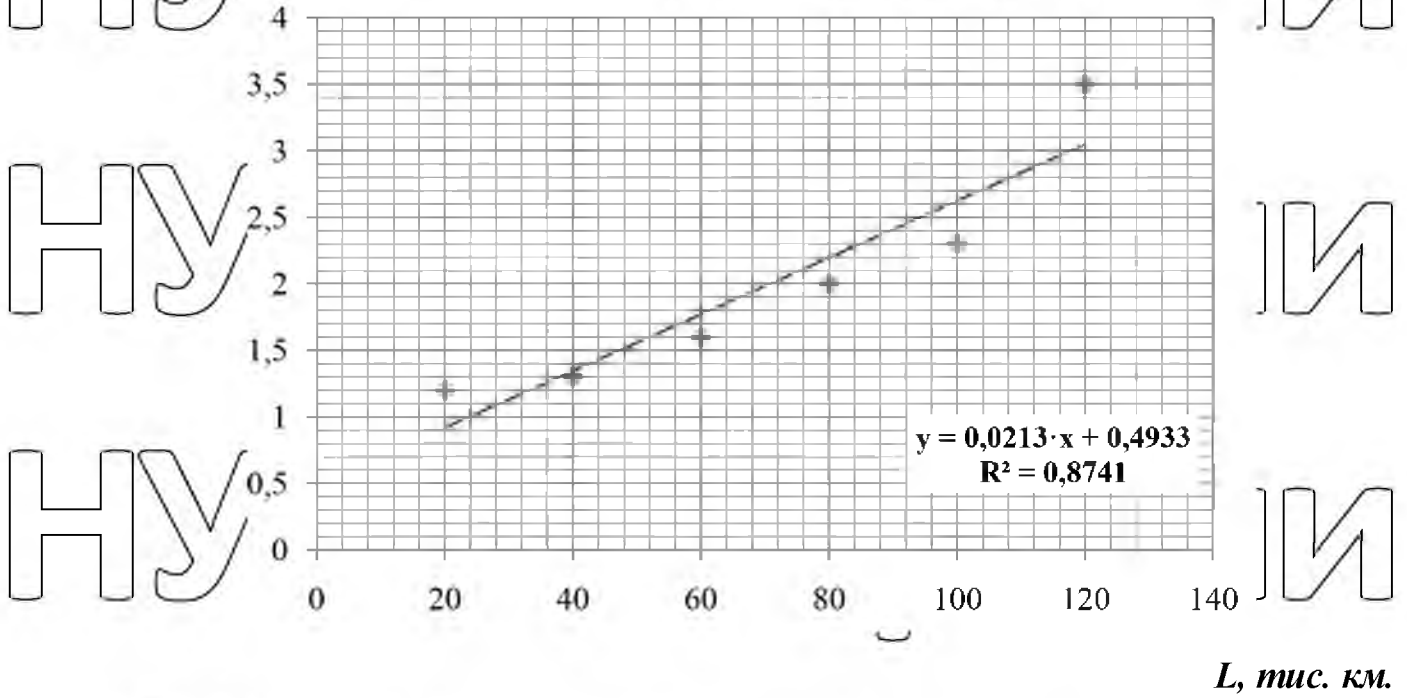


Рис. 2.3. Лінійна апроксимація даних середнього відхилення значень витрати пального ($\Delta q_{ср}$) залежно від пробігу (L)

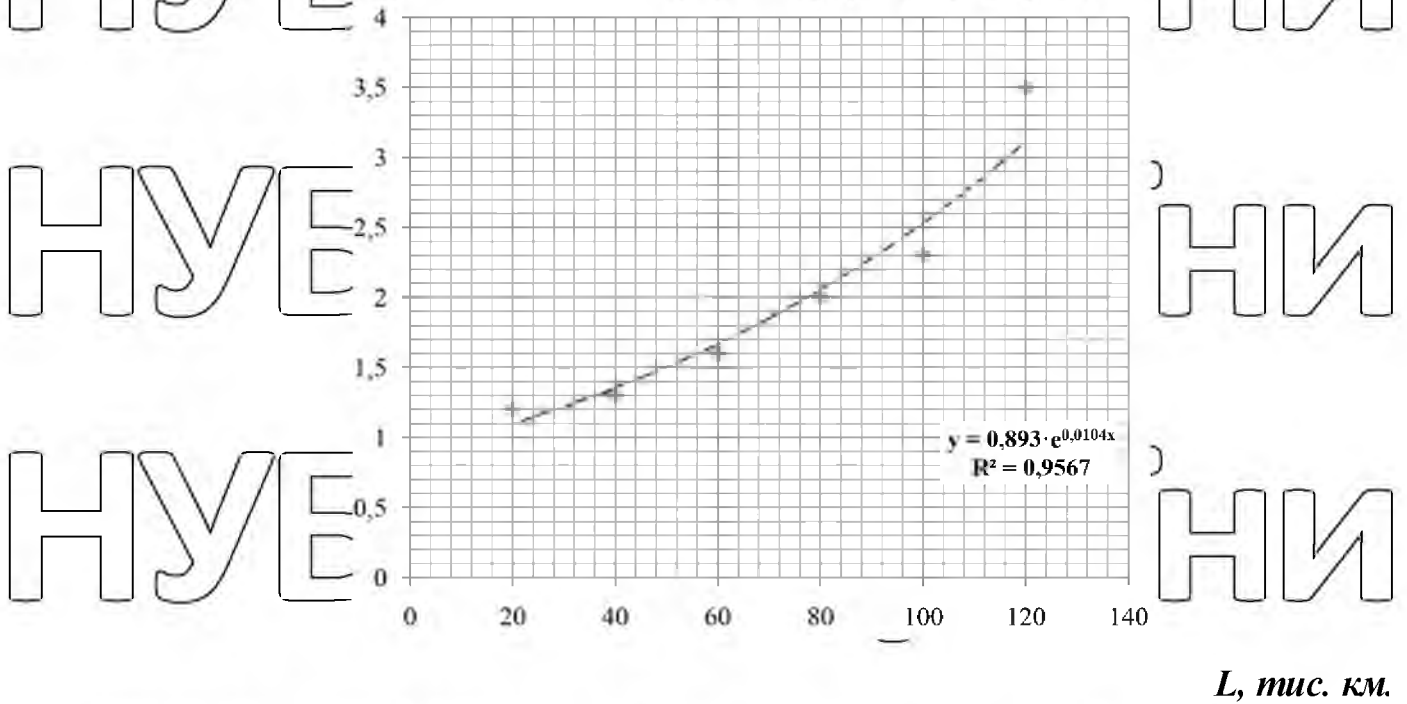


Рис. 2.4. Експонентна апроксимація даних середнього відхилення значень витрати пального ($\Delta q_{ср}$) залежно від пробігу (L)

Зі зіставлення значень коефіцієнтів детермінації (таблиця 2.2) слід, що

найбільше значення параметра R^2 , спостерігається рівняння регресії, отриманого апроксимацією даних поліномом другого ступеня. Отже, це квадратичне рівняння найповніше відображає зміну $\Delta c_{ср}$ від пробігу автомобіля (L). Регресія як квадратичного рівняння нелінійна щодо пояснюючих змінних і лінійна щодо параметрів моделі. Тому оцінки методу найменших квадратів перетвореної лінійної моделі, отримані за допомогою функції «Регресія» табличного процесора Microsoft Office Excel є оцінками параметрів нелінійної моделі.

Таблиця 2.2

Рівняння отриманих побудовою лінії тренду регресій та коефіцієнти детермінації (R^2)

№ п/п	Рівняння	R^2	
1	Лінійна апроксимація	$y = 0,0213 x + 0,4933$	0.8741
		$y = 2 \cdot 10^{-5} \cdot x + 0,4933$	0.8741
2	Експонентна апроксимація	$y = 0,893 e^{0,0104 x}$	0.9567
		$y = 0,893 \cdot e^{1 \cdot 10^{(-5)} \cdot x}$	0.9567
3	Поліноміальна апроксимація	$y = 0,0002 \cdot x^2 - 0,0131 \cdot x + 1,41$	0.9734
		$y = 2 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 - 1 \cdot 10^{-5} \cdot x + 1,41$	0.9734
4	Ступенева апроксимація	$y = 0,1998 \cdot x^{0,5439}$	0.8192
		$y = 0,0047 \cdot x^{0,5439}$	0.8192

Для оцінки можливості практичного використання поліноміального рівняння необхідно перевірити його адекватність за допомогою критерію Фішера, і навіть оцінити точність математичної моделі. Критерієм статистичної значущості (адекватності) рівнянь регресії є умова, за якої $F_{розр} > F_{крит}$.

РОЗДІЛ 3 ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ФОРСУНОК БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

3.1. Аналіз існуючих несправностей форсунки

Бензинові системи впорскування палива у впускний колектор набули широкого розповсюдження тому актуальною задачею є створення ефективних методів діагностики системи паливоподачі та форсунки зокрема, так як зміна експлуатаційних параметрів цих складових істотно впливає на енергетичні і екологічні характеристики двигуна, [3].

Одним із найвідповідальніших елементів паливної системи є електромагнітна форсунка. Відмови і несправності якої описані в більшості книжок по паливній апаратурі інжекторного двигуна, [4]. Але ці відмови і несправності не можна назвати вичерпними. Практика показує що досить часто трапляються несправності механічного характеру, які пов'язані безпосередньо із некваліфікованими демонтажними роботами, [5]. Обробка статистичних даних дозволила кваліфікувати відмови і несправності форсунок у відповідності із властивостями які проявляються під час відмов, (рис. 3.1.), [5].

Для електричної групи (пробої, міжвиткові замикання) характерним є причини пов'язані із заводським браком при виготовленні, або температурним руйнуванням ізоляції обмотки. Обрив як правило пов'язаний із ударними навантаженнями при монтажі і демонтажі. Для механічної групи поломка пружин - в основному заводський дефект, зниження жорсткості пружин - результат спрацювання, інші дефекти - некваліфіковане обслуговування. Для гідравлічної групи основною причиною є вміст в паливі домішок важких фракцій, і також дрібнодисперсних твердих частинок. Для українських умов експлуатації ця група є основною причиною виходу форсунок із ладу. Це вказує на те що більше половини всіх ремонтів систем впорскування бензину пов'язані із необхідністю проведення операції очистки паливних форсунок.

Оцінка стану паливних форсунок проводиться по наступним

діагностичним показником: статична продуктивність, рівномірність подачі палива між форсунками, герметичність посадки запираючого елемента, дисперсність розпилювання, форма паливного факелу, опір обмотки.



Рис. 3.1. Класифікація відмов і несправностей форсунок

Для виконання найповнішої перевірки паливних форсунок з визначенням усіх діагностичних показників використовують спеціальні діагностичні стенди (рис. 3.2.).



Рис. 3.2. Стенд для діагностики форсунок

Різноманітність діагностичних режимів такого стенду дозволяє оцінити стан паливних форсунок за всіма показниками. До недоліків такого виду діагностики можна віднести збільшену трудомісткість, яка пов'язана із необхідністю проведення демонтажних робіт і висока вартість самого обладнання.

Існують також інші методи діагностики, які відносять до безрозбірних методів, які вимагають менших трудових і часових затрат на проведення діагностики – це вібрсакустичний метод, метод діагностики по осцилограмі напруги, та метод діагностики за падінням тиску в паливній рампі. [5].

3.2. Діагностування технічного стану систем впорскування

Загальне діагностування. Підвищення надійності системи впорскування, а також попередження відмов і несправностей досягається використанням функцій електронного забезпечення роботи двигуна, яке дозволяє не тільки оптимально управляти робочими процесами впорскування, але також здійснювати діагностування технічного стану системи як підключенням зовнішнього діагностичного встаткування, так і використанням вбудованих функцій самодіагностики. Виробники автомобілів розробляють спеціальні технології контролю у вигляді зчитування кодів несправностей за допомогою діагностичної лампи або спеціального діагностичного сканера (тестера), що приєднує до діагностичного роз'єму. Для цих цілей у комплект сканера входить спеціальна програма, що включає великі бази даних параметрів систем живлення автомобілів.

Діагностування гідравлічних параметрів систем. Перед обслуговуванням і ремонтом паливної апаратури необхідно:

- скинути тиск у системі подачі палива в наступному порядку:
 - включити нейтральну передачу, загальмувати автомобіль стоянковим гальмом;
 - від'єднати від електробензонасоса;
 - запустити двигун і дати йому попрацювати на холостому ходу до зупинки через виробіток палива;
 - включити стартер на 3 із для підбурення тиску в трубопроводах;
 - після підвищення тиску й завершення робіт приєднати привід до електробензонасосу.

3.2.1. Перевірка тиску подачі палива й продуктивності паливного насоса.

Для вимірювання тиску в більшості випадків необхідний манометр із набором різних переходників і адаптерів, що має межі виміру 0,40 – 0,45 МПа (рис. 3.3.). При перевірці тиску манометр приєднує до паливної магістралі.



Рис. 3.3. Набір для вимірювання тиску палива

Перевірка залишкового тиску. Для контролю залишкового тиску необхідно прогріти двигун до робочої температури й виключити його.

Орієнтовно можна керуватися наступним: тиск у системі, яке звичайно становить 2,5 - 3,0 кг/мм², після двадцятихвилинної паузи не повинне бути менш 0,1 МПа. Більш швидке падіння тиску свідчить про витік палива, який може відбуватися в регуляторі тиску, зворотному клапані бензонасоса, а також у форсунках.

Якщо отримане значення менше зазначеного в технічній документації, необхідно перевірити регулятор тиску й продуктивність паливного насоса. При тиску, більшому рекомендованого, слід переконатися у відсутності засмічення регулятора й магістралі зворотного зливу. Вимір кількості палива, що подавати паливним насосом, проводиться за схемою, показаної на рис. 3.4., тобто використовується паливопровід зворотного зливу.

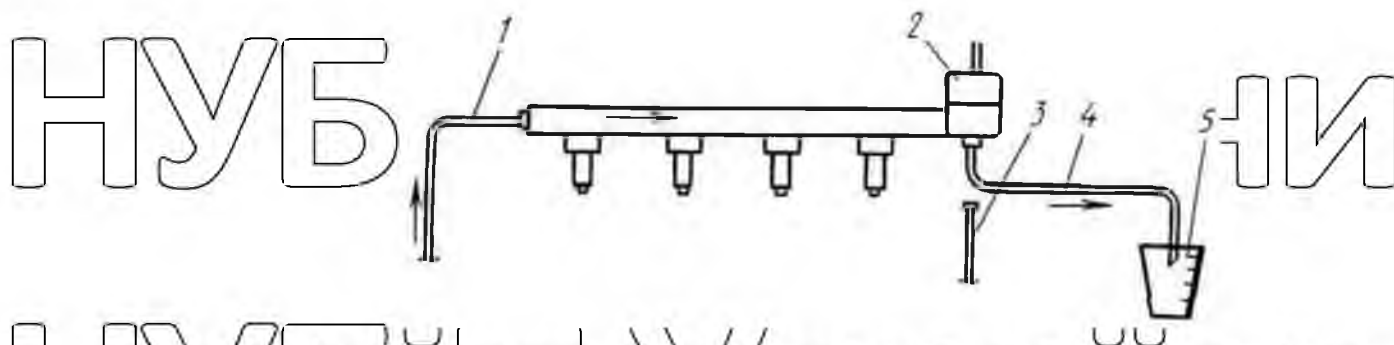


Рис. 3.4. Вимірювання продуктивності насоса в системі розподіленого впорскування.

1 - що подає паливопровід; 2 – регулятор тиску; 3 – паливопровід зворотного зливу; 4 – шланг; 5 – мірна ємність

Для цього його необхідно від'єднати від регулятора тиску і вилучити в ємність обсягом не менш 1,0–1,5 л. Зустрічається досить багато конструкцій, де паливопровід зворотного зливу, що йде від регулятора тиску, металевий і не підлягає яким-небудь вигинам. У цьому випадку можна розташувати мірну ємність у будь-якому зручному для розстикування зворотного паливопроводу місці або замість шлангового паливопроводу приєднати до регулятора підходящий гумовий шланг, забезпечивши при цьому надійне герметичне з'єднання. Потім потрібно включити паливний насос і виміряти обсяг палива, що зробив у мірний посуд за 30 с; залежно від типу системи він становить 0,75–1,0 л.

Якщо за якимиись причинами включення паливного насоса без запуску двигуна утруднене, насос можна перевірити на працюючому двигуні, тому кількість палива, споживаної прогрітим двигуном у режимі холостого ходу, незначно (практично все паливо перепускається назад у бак). Однак у цьому випадку необхідно вивести мірну ємність із підкапотного простору щоб уникнути випадкового запалення палива.

Якщо продуктивність насоса нижче заданої, слід перевірити стан паливного фільтра магістралі, що й подає. При справних фільтрі і паливопроводі причиною недостатньої продуктивності може бути розрив або тріщина в, що подає паливопровід усередині бензобака (для насосів заглибного типу), а якщо ні, то необхідно замінити сам бензонасос.

Регулятор тиску перевіряють залежно від системного тиску. Якщо тиск

нормальний або знижене, необхідно на двигуні, що працює в режимі холостого ходу, зняти шланг підведення розрідження з регулятора. Тиск повинний збільшитися на 0,5–0,6 кг/мм². Якщо тиск не збільшується, тоді віджимають паливопровід зворотного зливу. Збільшення тиску палива до 4–5 кг/мм² говорить про несправність регулятора тиску.

Якщо при пережатому паливопроводі зворотного зливу тиск не зростає, потрібно перевірити продуктивність паливного насоса.

Гумові шланги для підведення і зливу палива в нових автомобілях не застосовують. Замість них використовують металеві трубки, з'єднані з паливною магістраллю. У цьому випадку штатну трубку зворотного зливу від'єднують і під- з'єднують на її місце спеціально підібраний штуцер, з надягнутим на нього гумовим шлангом потрібної довжини. Шланг закріплюють черв'ячним хомутом.

Зробивши заміну, шланг опускають у посудину, запускають двигун, короткочасно віджимають шланг і спостерігають за тиском у паливній магістралі. Якщо тиск підвищений, паливопровід зворотного зливу від'єднують від регулятора й тимчасово приєднують до нього підходящий штуцер, із щільно надягнутим на нього гумовим шлангом, і опускають його в посудину. Якщо після запуску двигуна тиск нормалізується, слід перевірити паливопровід зворотного зливу. Якщо паливопровід не чом'ятий і не засмічений, виходить, несправний регулятор тиску.

Особливості діагностування систем безпосереднього впорскування.

Загальна схема системи паливоподачі безпосереднього впорскування показана на рис. 3.5. Паливо від паливоподаючого насоса подається до паливного насоса високого тиску (далі – ПНВТ), оснащеному датчиком тиску палива для його точного дозування. ПНВТ укладений у герметичний кожух, і вал насоса приводиться в обертання за допомогою електромагнітної муфти. подача палива до форсунок циліндрів здійснюється насосом високого тиску, що розбудовує тиск 4,0–10,0 МПа.

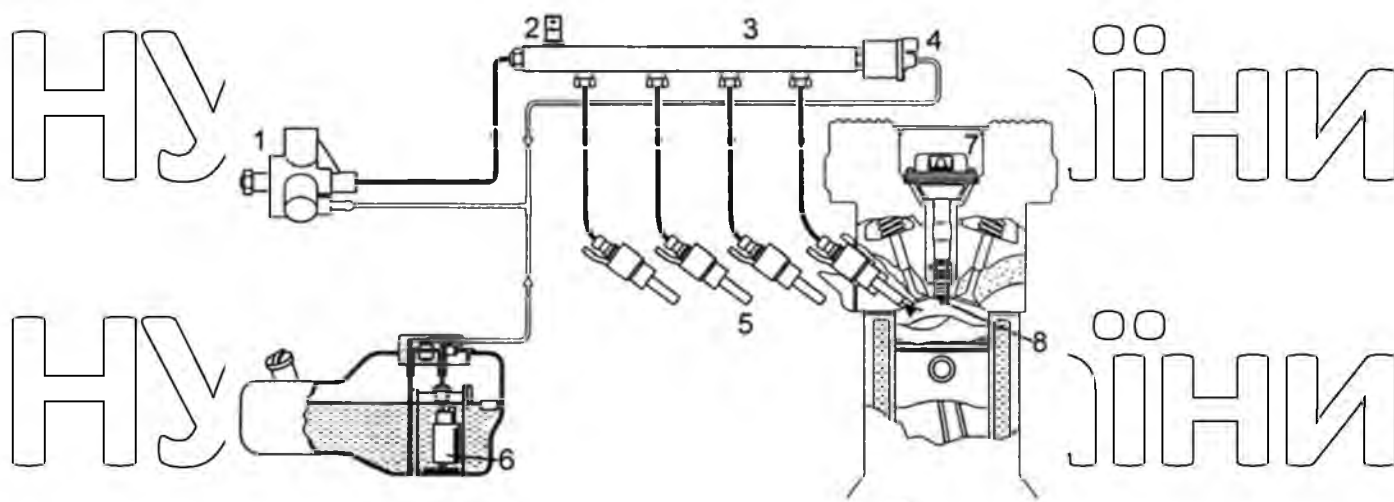


Рис. 3.5. Загальна схема системи паливоподачі безпосереднього

упорскування:

1 – ПНВТ; 2 – датчик тиску палива; 3 – акумулятор тиску; 4 – запобіжний клапан; 5 – форсунки; 6 – паливодикачуючий насос; 7 – котушка запалювання; 8 – свічка

При цьому тиск палива, що впорскується в циліндри двигуна, може бути як постійним (системи упорскування/GDI – Мітсубісі, FSI – Фольксваген), так змінюватися (на холостому ходу – до 7,0 МПа, при повному навантаженні – 10,0 МПа, на перехідних режимах – 3,0 МПа) (система упорскування HPI – французький концерн Пежо – Сітроен). Паливо накопичується в акумуляторі тиску й з нього по трубопроводах передається до форсунок. Форсунки, на відміну від традиційних систем упорскування, установлені не у впускному трубопроводі, а безпосередньо в камері згоряння двигуна. Необхідний тиск у системі підтримується запобіжним клапаном. При подачі навури із блоку керування відкриваються соленоїдні клапани й паливо впорскується в камеру згоряння.

Основні перевірки таких систем здійснюються з використанням сканера для діагностування електронних систем керування двигуном, однак окремі перевірки можуть бути здійснені й більш простими способами. Паливний фільтр перебуває в паливному баку і є складовою частиною вузла «насос – датчик» рівня палива й окремо не знімається, необхідно замінити вузол

«паливний насос–датчик рівня палива» у зборі. Затримуюча здатність фільтра розрахована на весь строк експлуатації автомобіля. Проте перевірка тиску подачі палива й продуктивності паливного насоса дозволяє діагностувати вузол «паливний насос–датчик рівня палива».

Перевірка тиску подачі палива:

- від'єднують шланг подачі палива від ПНВТ і встановлюють трійник із приєднаним манометром;

- запускають двигун, щоб пустити в хід паливний насос низького тиску.

Обмірюване значення тиску – 0,35–0,45 МПа. Максимальний тиск – 0,6 МПа.

Перевірка продуктивності ПНВТ:

- від'єднують шланг подачі палива від ПНВТ і опускають кінець шланга в градуйовану посудину;

- пускають у хід паливний насос низького тиску, перемкнувши виводи на рознімачні реле насоса або за допомогою скануючого приладу. Вимірювана продуктивність – 80–165 л/годину.

При ТО системи живлення, згідно з таблицею інспекційного контролю, проводиться заміна повітряного й паливного фільтрів, перевірка випускної системи й змісту оксиду вуглецю (СО) і вуглеводнів (СН) у газах, що відробили.

Поточному ремонту системи живлення бензинових двигунів сучасних автомобілів можуть зазнати паливні баки, інші деталі не відновлюються й не ремонтуються, а міняються на нові.

Паливні баки можуть мати вм'ятини, розриви, тріщини в стінках або в місцях кріплення заливної горловини й штуцерів, порушення кріплення перегородок до стінок.

Перед ремонтом бак очищають і миють зовні, видаляючи бруд і іржу; внутрішню порожнину промивають миючими розчинами й гарячою водою. Після цього перевіряють герметичність бака, закривають усі отвори заглушками, а до штуцера зливної крани або пробки приєднують шланг і

занурюють бак у ванну з водою. При надлишковому тиску в баку (до 0,05 МПа) спостерігають за виділенням пухирців повітря, що вказують місця тріщин або порушень герметичності.

Незначні тріщини в стінках баків знежирюють, флюсують 25 %-ним розчином хлористого цинку й запаюють олов'янисто-свинцевим (ПОС 40) або срібним (ПСр 45) припоєм. Більші тріщини і пробоїни ремонтують накладенням латок, засвердлив кінці тріщини, щоб запобігти її подальшому поширенню. Латки закріплюють на ушкоджених місцях пайкою або газовим зварюванням.

Якщо при ремонті використовується зварювання, пари палива, що залишилися в баку, слід повністю випарити протягом не менш 3-х годин. Більші вм'ятини на стінках баків усувають у такий спосіб: напроти вм'ятини на протилежній стороні бака вирізують вікно, що забезпечує можливість роботи молотком і оправленням усередині бака; після виправлення ушкодженої стінки вирізане вікно зашпаровують. Вм'ятини можна усувати також шляхом подачі стисненого повітря в бак.

Після завершення ремонтних робіт з бензобаком потрібно виконати перевірку на герметичність. Для цього необхідно створити в резервуарі тиск порядку 7–15 кПа, попередньо закупоривши всі отвори для шлангів і залишивши лише одне для насоса. Після цього на ємність наносять мильну воду. Відсутність піхирців говорить про успішний ремонт і відсутності місць витoku.

3.3. Діагностика форсунки по осцилограмі напруги керування

Ефективність роботи форсунки можна оцінити по абсолютних значеннях напруги з використанням осцилографа. Вона заключається у порівнянні реальної осцилограми знятої з двигуна із еталонною.

Для зняття осцилограми необхідно при зупиненому двигуні під'єднати сенсори до проводів живлення однієї форсунки та запустити двигун. Також осцилограму роботи форсунки можна подивитись через спеціальне програмне забезпечення підключившись до діагностичного роз'єму OBD, [6].

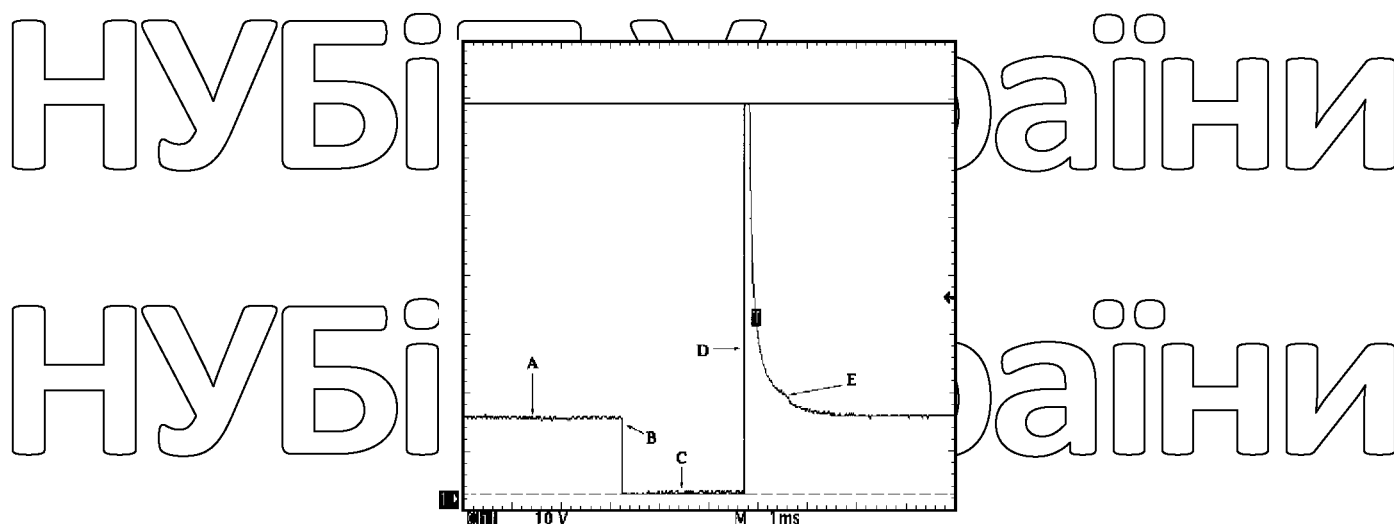


Рис. 3.6. Еталонна осцилограма напруги роботи форсунки

На рис. 3.6 зображена еталонна осцилограма роботи форсунки. Точка А характеризує рівень напруги який подається на форсунку, як правило вона має бути не нижче 13,5 В.

Точка В характеризує момент початку відкриття форсунки. Форма сигналу в цій точці має бути чіткою, прямокутної форми, без заокруглених країв.

Точка С характеризує рівень падіння напруги. Сигнал має наблизитись до нуля, але не повністю. Відповідає повністю відкритій форсунці.

Точка D характеризує початок закриття форсунки. Висота піку стрибка напруги визначається опором інжектора. Вершина стрибка напруги повинна бути прямокутної форми, якщо ні то це вказуватиме на несправності пов'язані із обмоткою форсунки.

Точка Е - Обмеження струму. На осцилограмі відповідає плавному падінню напруги. Якщо, сигнал іншої форми то це вказуватиме на те що обмотка форсунки коротковзамкнена.

Точка F - повне закриття форсунки.

Точка G - стрибок викликаний переміщенням сердечника форсунки через магнітний потік.

Після аналізу отриманої осцилограми можна визначити:

1. Тривалість відкриття форсунки, та таких параметрів як запізнення відкриття і закриття клапана форсунки

2. Правильність реакції форсунки на зміну показань датчика температури охолоджуючої рідини двигуна, датчика витрати повітря, системи Лямбда-регулювання

3. Справність обмоток інжектора

4. Забрудненість форсунок

Діагностика форсунки по осцилограмі напруги не дозволяє точно визначити справність форсунок, тому використовують інші методи діагностики форсунок.

3.4. Діагностування форсунок за падінням тиску в паливній рампі

Суть методу діагностування форсунок за падінню тиску в паливній рампі полягає в тім, що визначається відносне падіння тиску в паливній рампі при спрацюванні кожної форсунки. Чим більше падає тиск, тим більше палива впорснула форсунка. Сигнал падіння тиску зчитується із датчика тиску який приєднується до регулятора тиску палива або притискається до паливопроводу.

Паралельно із цим сигналом зчитується осцилограма керуючого сигналу форсунки.

З рис.3.7. видно що падіння тиску в паливній рампі найменше коли впорснує форсунка 2 циліндра. Це свідчить про те що вона може бути забрудненою. Цей метод також дозволяє виявити дисбаланс роботи форсунки.

Він застосовується для діагностики систем з фазованим або попарно-паралельним впорскуванням.

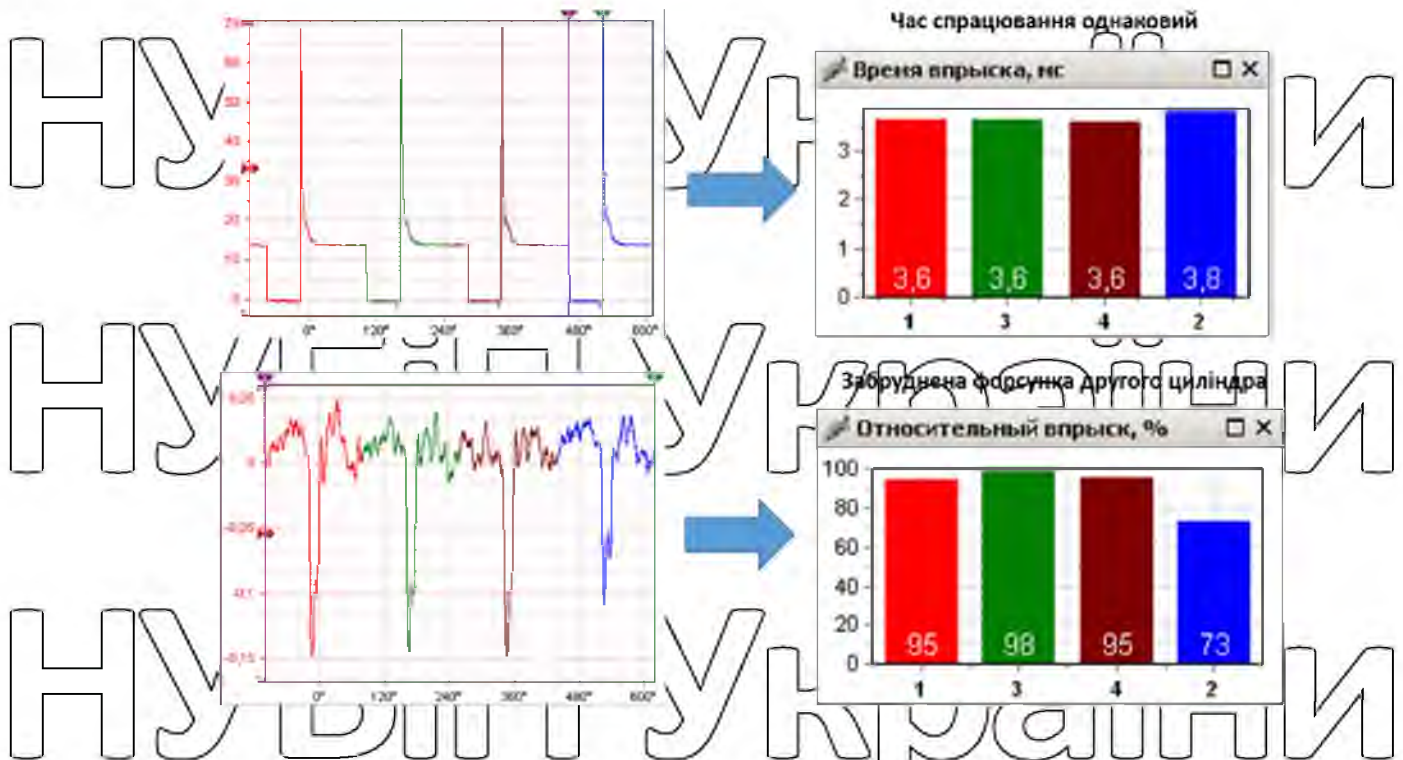


Рис. 3.7. Діагностика форсунок по падінню тиску в паливній рампі

3.5 Діагностування форсунок віброакустичним методом

Для найбільш достовірного визначення технічного стану механічної частини форсунок необхідно вибрати параметри, які не будуть залежати від електричного сигналу керування форсункою і будуть характеризувати процес фактичного відкриття і закриття клапана форсунки. Таким параметром може бути віброакустичний сигнал, зчитаний під час роботи форсунки на різних режимах роботи двигуна.

Віброакустичний сигнал зчитується вібродатчиком, прикріпленим до корпусу форсунки. Віброакустичний сигнал зчитується паралельно з електричним сигналом керування форсункою.

Паралельне зчитування електричного і віброакустичного сигналів дає можливість комплексної оцінки механічних і електричних частин форсунки, а також отримання більш повної інформації про технічний стан форсунки за мінімально коротким часом. Використання цього методу дозволяє проводити діагностування електромагнітних форсунок різних типів, що робить його універсальним.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ФОРСУНКИ В СИСТЕМІ MATLAB

4.1. Математична модель електромагнітної форсунки

Розглянемо в узагальненій формі методологію розрахунку електромагнітної форсунки сучасних ДВЗ, що експлуатуються у сільському господарстві. Електромагнітна форсунка (рис. 4.1.) являє собою швидкодіючий клапан для дозованої подачі палива в циліндри двигуна, [7].

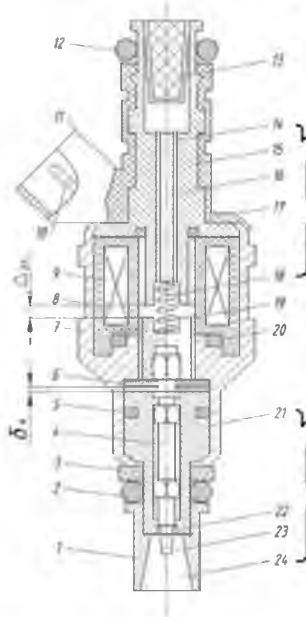


Рис. 4.1. Принципова схема електромагнітної форсунки бензинового двигуна із електронним управлінням

1 - патрубок; 2, 12 - гумове ущільнююче кільце; 3 - ущільнювальна шайба; 4 - якорь електромагніту; 5, 20 - ущільнювач; 6 - обмежувальна шайба; 7 - корпус; 8 - ізолятор; 9 - катушка електромагніту; 10 - електричний контакт; 11 - електричний роз'єм; 13 - паливний фільтр; 14 - паливна трубопровід; 15 - штуцер; 16 - паливний канал; 17 - кришка; 18 - пружина; 19 - сердечник; 21 - корпус клапана дозатора; 22 - калібрований зазор; 23 - запираючий конус; 24 - порожнина.

Форсунка складається з корпусу 7 із розміщеною в ньому катушкою електромагніта 9 із виводами, вихідного патрубка 1, якоря 4, розміщеного в

осерді 19, і навантаженої пружини 18, розташованої з боку вхідного штуцера 15, [7].

Запірний конус 23 переміщається в корпусі 21 клапана у вертикальному напрямку при мінімальних бічних зазорах, забезпечуючих подачу палива. Хід конуса обмежується упором 6. Магнітопровід форсунки містить котушку 9, на корпусі якої розміщена латунна або мідна обмотка. Виводи обмотки з'єднані з зовнішнім електричним роз'ємом 11. Обмотка електромагнітної форсунки одним виводом 10 через головне реле системи або реле паливного насоса підключена до позитивної клеми акумулятора, другим - до блоку управління.

Електронний блок підключає її до маси автомобіля, замиваючи ланцюг живлення.

У знеструмленому стані запираючий конус 23 дозатора (розпилювача) притиснутий пружиною 18 до його сідла. При подачі імпульсу струму на обмотку електромагнітне електричне поле, долаючи опір пружини 18, піднімає запираючий конус 23 на 0,1 мм над сідлом розпилювача, і паливо надходить через калібрований кільцевий зазор 22, що утворився. Якір 4 електромагніту разом із запираючим конусом 23 в процесі роботи коливається з високою частотою. Опір обмотки електромагніту знаходиться в межах 2...16 Ом.

Найбільшого поширення отримали електромагнітних форсунок з конічним ущільненням клапана, що забезпечує в процесі експлуатації необхідні паливно-економічні показники.

Повітряні зазори електромагнітних форсунок, здійснюючі помітний вплив на електро-технічні параметри і техніко-експлуатаційні показники, можуть бути визначені за формулою, [8, 9]:

$$\Delta_{\text{роб.з}} = \Delta_{1 \text{ роб.з}} + \Delta_{2 \text{ роб.з}} \quad (4.1.)$$

де $\Delta_{1 \text{ роб.з}}$ - початковий робочий зазор, м;

$\Delta_{2 \text{ роб.з}}$ - кінцевий робочий зазор, м.

Конструктивний параметр (КП) розробленої електромагнітної форсунки може бути визначений за такою залежністю:

$$K_p = 1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{P_e}{\delta_{я}} \quad (4.2.)$$

де P_e - тягове зусилля електромагніта, Н;
 $\delta_{я}$ - переміщення якоря електромагніта, м.

На першому етапі P_e вибирають орієнтовно за розробленою номограмою.

Хід якоря електромагніта в загальному вигляді може бути представлений залежністю

$$\delta_{я} = \Delta_{1 \text{ роб.з.}} \quad (4.3.)$$

Ефективність ЕМФ в цілому визначається узгодженістю тягової і механічної характеристик. Тягова характеристика - це залежність електромагнітного зусилля P_e від переміщення $\delta_{я}$ якоря, механічна - залежність протидіючої сили P_M , зумовленої дією пружини і силою тяжіння, від переміщення якоря.

КП форсунки дозволяє по спеціальній номограмі вибрати діаметр якоря, зовнішній і внутрішній діаметри електромагніту, параметри котушки електроприводу (довжина, висота, опір і діаметр обмотки котушки). На завершальному етапі з розрахунку ЕМФ визначають жорсткість пружини та електротехнічні параметри електромагніту [10, 11].

Тягове зусилля електромагніта (магніторушійна сила) може бути представлено залежністю:

$$P_e = (\mu_0 \cdot \varphi^2 \cdot F_e^2 \cdot S) / 2 \cdot \delta_e^2 \quad (4.4.)$$

де μ_0 - магнітна постійна Гн/м;

φ - поправочний коефіцієнт;

F_e - магніторушійна сила котушки, А;

S - площа ущільнювального пояса якоря, м².

Повна магніторушійна сила котушки електромагніта 9 може бути визначена за формулою:

$$P_e = \frac{(\omega U_e)^2}{R_e} \quad (4.5.)$$

де, ω - число витків котушки електромагніта;

U_e - напруга, В;

R_e - опір котушки електромагніта, Ом.

В ідеальному випадку час відкритого стану клапана ЕМФ відповідає тривалості імпульсу струму, що надходить на обмотку електромагніту.

Розвиваєме зусилля електромагніта пропорційно магнітному потоку в його сердечнику.

Магнітний потік в магнітопроводі ЕМФ досягає максимального значення не миттєво, а через розрахований проміжок часу:

$$\tau_{max} = \frac{(4...5) \cdot L_{EM\Phi}}{r_{EM\Phi}}, \quad (4.6.)$$

де, $L_{EM\Phi}$ - індуктивність обмотки електромагніту форсунки, Гн ;

$r_{EM\Phi}$ - активний опір обмотки форсунки, Ом.

Швидкодія ЕМФ визначається жорсткістю зворотної пружини, масою запірного елемента і індуктивністю обмотки. У деяких ЕМФ застосовані два ланцюги електронного управління. Для швидкого відкриття клапана форсунки призначена перша (форсуюча) обмотка, по якій тече струм великої сили для подолання сили інерції замикаючого конуса ЕМФ і сили опору пружини.

Для утримання клапана ЕМФ у відкритому стані струм великої сили не потрібен, і управління електромагнітом переходить на утримуючий ланцюг з великим опором, забезпечуючи чітке спрацьовування ЕМФ та її низьку теплову напруженість.

Тимчасові осцилограми перехідних процесів, що відбуваються в електричній і механічній частинах форсунки, наведено на (Рис. 3.2). Форма і тривалість керуючих імпульсів представлені осцилограмою напруги 1.

Частота слідування прямокутних імпульсів напруги сучасного бензинового ДВС, що залежить від частоти обертання КВ, числа циліндрів і котушок запалювання, може бути визначена наступним чином:

$$f_{imp} = \frac{n \cdot z_{ц}}{30 \cdot k \cdot z}, \quad (4.7.)$$

де n - частота обертання КВ двигна, $кв^{-1}$,

$z_{ц}$ - число циліндрів двигуна;

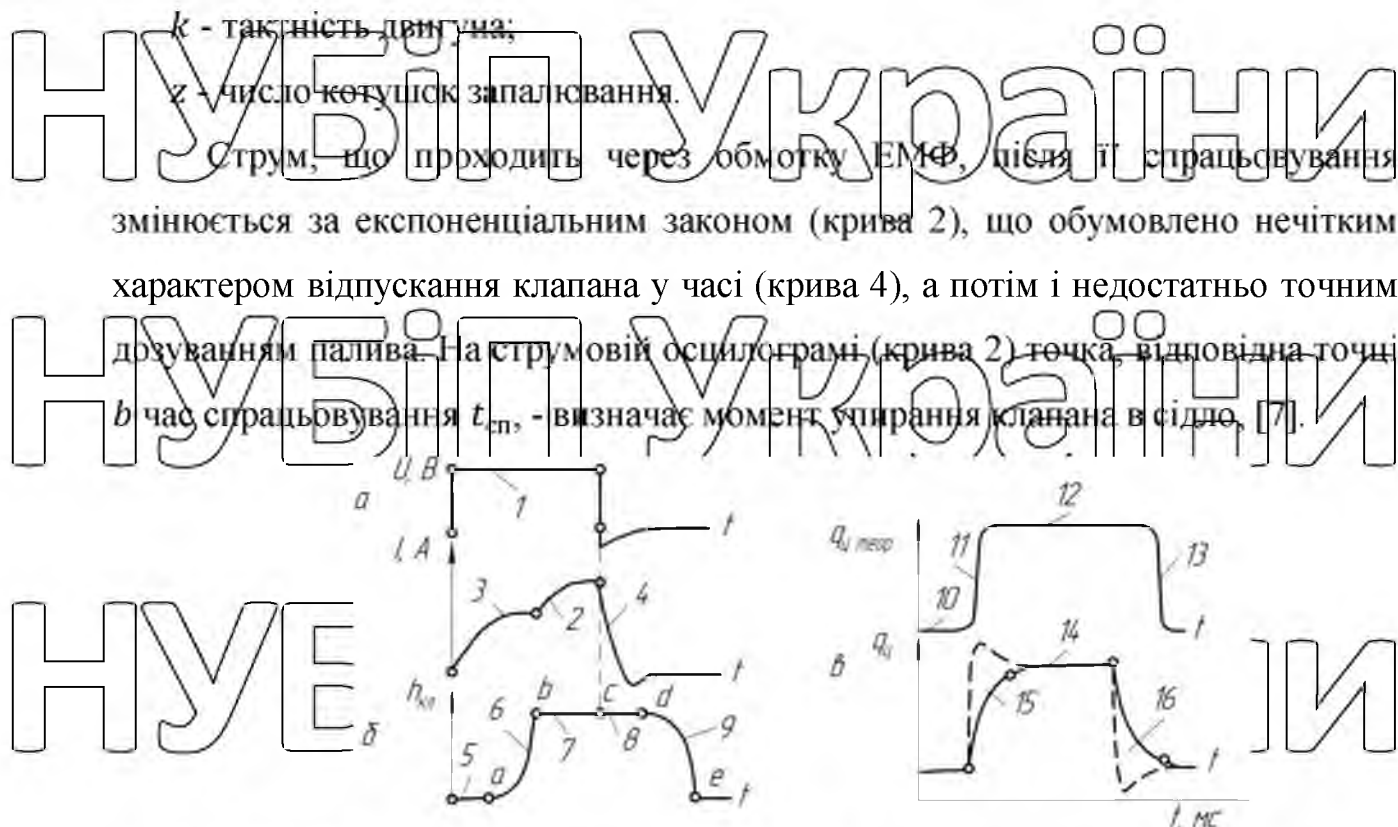


Рис. 4.2. Осцилограми перехідних процесів, які проходять в електронних і

механічних частинах форсунок протягом часу

а - напруга і струм в обмотці; б - висота переміщення (відкриття) клапана; в - циклові подачі (теоретична $q_{цт}$ і фактична $q_{д}$); 1 - напруга; 2-4 - імпульс струму; 5 - закриті положення клапана; 6 - рух клапана; 7 - відкритий стан клапана; 8 - затримка відкритого стану клапана; 9 - зворотній переліт клапана; 10 - затримка циклової подачі клапана; 11 - лінія початку циклової подачі палива; 12 - теоретична подача палива; 13 - теоретичне зниження подачі палива; 14 - фактична подача палива; 15 - зона збільшення циклової подачі палива; 16 - закриті положення клапана; точка a - початок руху клапана; точка b - закінчення руху клапана; точка c - закінчення імпульсу струму; точка d - початок зворотного руху клапана; точка e - закінчення руху клапана.

У процесі роботи ЕМФ спочатку спрацьовує електромагніт. Під час перехідного процесу від початкового положення 0 до кінцевого положенню b (рис. 4.2) електромагніт протягом часу $t_{тр}$ залишається нерухомим, а потім зміщується на величину, відповідну точці b на осі $h_{кл}$. У первинний момент

спрацювання електромагніту струм в його обмотці досягає величини $I_{сп}$, забезпечуючи рівність електромагнітної сили і сил, протидіючих руху сердечника. Тривалість спрацювання $t_{сп}$, протягом якої струм наростає до $I_{сп}$, залежить від схеми включення обмотки в систему управління, умов її живлення, параметрів електромагніту і його навантаження. Для одного і того ж електромагніту при різному навантаженні продовженість спрацювання буде різною.

Після закінчення дії керуючого імпульсу магнітний потік зникає не відразу. Зусилля, забезпечуюче притягання якоря до сердечника, зменшується поступово. На частотах 500 Гц і вище час спрацювання і час відпускання електромагніту не залежать від тривалості імпульсу струму в обмотці і є некерованими тимчасовими параметрами, закладеними конструктивно. Магнітний потік через наявність індуктивності котушки досягає свого максимуму через деякий час після прикладення напруги до обмотки електромагніту.

У ЕМФ клапан відкривається і закривається не одночасно з початком надходження і закінчення керуючого імпульсу подачі струму, а з деяким запізненням.

Загальна тривалість спрацювання ЕМФ відповідає початку подачі імпульсу до повного відкриття ЕМФ. При подачі напруги на виводи котушки якорь затримується на місці (клапан закритий), так як в цьому випадку струм не досягає необхідної сили. Після зняття напруги струм спадає не миттєво.

Пружина і потік палива допомагають руху клапана, підвищуючи швидкодію ЕМФ. Тривалість від моменту надходження керуючого імпульсу до повного закриття ЕМФ називають часом відпускання. Затримка спрацювання форсунки супроводжується зменшенням витрати палива, а збільшення тривалості відпускання клапана - надлишком його подачі.

Конструктивно між якорем керуючого електромагніту і паливним запраючим вузлом зв'язок жорсткий, тому тимчасова діаграма спрацювання однозначно пов'язана з динамікою електромагнітної частини форсунки, [7].

Тривалість циклового впорскування ЕМФ можна представити рівнянням:

$$t_{\text{цв}} = t_{\text{имп}} - t_{\text{тр1}} + t_{\text{дв1}} + (t_{\text{тр2}} + t_{\text{дв2}}), \quad (4.8.)$$

де $t_{\text{имп}}$ - тривалість електричного керуючого імпульсу, мс;

$t_{\text{тр1}}$ і $t_{\text{тр2}}$ - час рушення затвора при відкритті (запізнення початку руху) і

закриття (час зависання), мс;

$t_{\text{дв1}}$ і $t_{\text{дв2}}$ - час руху затвора при відкритті і закритті, мс.

Тривалість перехідних електротехнічних процесів в залежності від моменту прикладення напруги до обмотки електромагніту до початку руху якоря називається часом початку запізнювання руху (відрізок $0 - a$). На

переділ якоря з положенням, що відповідає закритому стану клапана, у відкрите положення b потрібен певний час, званий часом перельоту якоря (відрізок $a - b$).

Під часом спрацьовування (відрізок $0 - b$) електромагніту розуміють суму часу початку руху і загального часу руху якоря.

Вимкнення струму в обмотці супроводжується затримкою магнітного потоку в серцевині електромагніту. Зусилля яке притягує якір до осердя електромагніту, не досягає одразу значення при якому починається зворотній рух якоря.

Час зменшення зусилля від максимального значення до величини, що впливає на якір з боку запірної пружини, є час зависання - час запізнювання закриття (відрізок $c - d$). Час зворотного руху якоря (відрізок $d - e$) відповідає

часу відпускання електромагніту, тривалість керуючого імпульсу - відрізок $0 - c$, а час відпускання клапана - відрізок $c - e$. Швидкодія ЕМФ характеризується

некерованою тривалістю відкриття і закриття затвора. У загальному вигляді тривалість спрацьовування (відпуск) можна представити формулою:

$$t_{\text{сп}} = t_{\text{тр}} + t_{\text{дв}}, \quad (4.9.)$$

де $t_{\text{тр}}$ - час початку руху, вимірюваний від моменту подання (зняття) напруги на електромагніт до моменту початку руху клапана дозатора з якорем електромагніту, с;

$t_{дв}$ - час руху клапана дозатора разом з якорем електромагніту із закритого стану у відкритий (чи навпаки), с.

Некерована тривалість відкривання (спрацьовування) клапана включає час початку руху і безпосереднього руху [10, 11]:

$$t_{0кл} = t_{0\alpha} + t_{ab}, \quad (4.10.)$$

Некерована тривалість закриття (відпуск) включає в себе час затримки закриття клапана і зворотного його руху [10, 11]

$$t_{зкл} = t_{cd} + t_{de}, \quad (4.11.)$$

Тривалість спрацьовування і відпускання електромагніту - некеровані тимчасові параметри - які не залежать від величини імпульсу струму в обмотці, а істотно залежать від конструкції і матеріалу магнітопроводу (наявність вихрових струмів в ньому), маси рухомих частин ЕМФ, тертя при переміщенні цих частин, а також співвідношення індуктивного і активного опорів ланцюга форсунки і амплітуди струму, що керує роботою електромагніту. При закритті форсунки стрибок зворотної напруги досягає 60 В. Експериментально ці величини визначають по точках зламу кривих струму і напруги в обмотці ЕМФ, які спостерігають на екрані осцилографа.

Тривалість початку руху електромагнітного клапана може бути представлена залежністю:

$$t_{тр} = \frac{L_{ке} \delta_{я} \ln \frac{I_{у}}{I_{тр}}}{R I_{у}}, \quad (4.12.)$$

де $L_{ке}$ - індуктивність котушки електромагніту постійного струму, залежна від числа її витків, Гн;

R - активний опір котушки електромагніту, Ом;

$I_{у}$ - струм, що встановився, в котушці електромагніту, А;

$I_{тр}$ - струм початку руху клапана дозатора з якорем електромагніту, А.

Індуктивність котушки електромагніту постійного струму визначається за формулою

$$L_{ке} \approx \frac{\omega^2}{2 \frac{\delta_{я}}{S_{з} \mu_0} + \frac{l_c}{S_c \mu_c}}, \quad (4.13.)$$

де ω – кількість витків обмотки;

l_c – довжина середньої лінії сердечника;

$\delta_{я}$ – зазор між сердечником і якорем;

S_3 – площа поперечного перерізу зазору;

S_c – площа поперечного перерізу сердечника.

Магнітний потік досягає максимального значення через деякий час після прикладення напруги до обмотки електромагніту. Наростання магнітного потоку супроводжується збільшенням сили притягання якоря електромагніту досердечника магнітопроводу.

Тривалість руху клапана дозатора з якорем електромагніту можна в першому наближенні визначити з рівняння рівноприскореного руху цих деталей:

$$t_{дв}^2 = \frac{\delta_{я max}}{50 \cdot \alpha}, \quad (4.14.)$$

де α – прискорення клапана дозатора з якорем електромагніту, m/s^2 .

Прискорення клапана дозатора з якорем електромагніту залежить від сил, що діють на них, і їх маси:

$$\alpha = \frac{P_M - P_D}{m}, \quad (4.15.)$$

де P_M – зусилля електромагніту, Н;

P_D – зусилля, що виникає в результаті перепаду тисків на вході і виході дозатора, Н;

m – маса клапана дозатора з якорем електромагніту, кг

Зусилля від перепаду тисків на вході і виході дозатора рівне:

$$P_D = \rho_{вх max} - \rho_{вх min} \cdot S, \quad (4.16.)$$

де $\rho_{вх max}$ – максимальний тиск на вході дозатора, Па;

$\rho_{вх min}$ – мінімальний тиск на виході дозатора, Па;

S – площа ущільнюючого поясу якоря, m^2 .

З формул (4.13.–4.15.) отримаємо зусилля електромагніту:

$$P_M = \frac{0,02 \cdot \delta_{я max} \cdot m}{t_{дв}^2} + \rho_{вх max} - \rho_{вх min} \cdot S, \quad (4.17.)$$

Якщо задати час спрацьовування дозатора $t_{cp} = 2,0$ мс і прийняти відповідно $t_{тр} = 1,0$ мс і $t_{дв} = 1,0$ мс, то можна сформулювати вимоги до основних елементів дозатора. У формулі (12) при $I_{тр}/I_y < 0,3$ (для

швидкодіючих $I_{тр}/I_y$ електромагнітів ще менше) значення натурального логарифма буде 0,5 і менше. Отже, для електромагніту дозатора повинна виконуватися умова

$$\frac{L_{ке} \delta_{я}}{R} < 0,002 \text{ с.} \quad (4.18.)$$

Перетворюючи рівняння (4.16.), отримуємо зусилля, що розвивається електромагнітом ЕМФ:

$$P_M = 0,02 \cdot \delta_{я \max} / \eta + \rho_{вх \max} - \rho_{вх \min} \cdot S, \quad (4.19.)$$

Зусилля електромагніту пропорційна величині магнітного потоку в його сердечнику. Магнітний потік через наявність індуктивності котушки досягає максимального значення через деякий час після прикладення напруги до обмотки електромагніту.

Керуючим параметром ЕМФ є тривалість відкритого стану клапана. Зміна жорсткості поворотної пружини не робить істотного впливу на дозування.

Кількість палива, що подається, визначається тривалістю електричного імпульсу, що поступає від ЕБУ на обмотку ЕМФ. Частота спрацьовування дозатора, рівна частоті тактів впуску, що забезпечує необхідну рівномірність розподілу горючої суміші по циліндрах. Період імпульсів управління дозатором чотиритактного двигуна може бути представлений залежністю:

$$t = \frac{1}{f_{\max}}, \quad (4.20.)$$

де f_{\max} – максимальна частота спрацьовування дозатора для чотиритактного двигуна, с^{-1} .

Тривалість спрацьовування дозатора має бути на порядок менше періоду дотримання імпульсів його управління. Швидкодія форсунки забезпечується підбором електромагнітного приводу. Сердечник електромагніту має поздовжні прорізи, що зменшують вихрові струми. Ефективність роботи ЕМФ характеризується скважністю імпульсів, тобто співвідношенням тривалості

відкритого і закритого її стану.

До найважливіших гідравлічних характеристик ЕМФ відносяться статична і динамічна продуктивності (рис. 4.1). Статична продуктивність характеризується кількістю палива, що проходить через ЕМФ в одиницю часу при заданому тиску і повному відкритті клапана:

$$g_0 = \frac{Q_{цт}}{t_{цв}} \quad (4.21)$$

де $Q_{цт}$ - циклове подача палива при повній потужності, см^3 ;

$t_{цв}$ - тривалість впорскування, хв.

Циклова подача палива ЕМФ залежно від тривалості і форми керуючого імпульсу, може бути визначена по наступній залежності:

$$Q_{цт} = \mu_{\phi} f_{\phi} \cdot t_{цв} \cdot \sqrt{2/\rho_T} \cdot \rho_{cp} \quad (4.22)$$

де $\mu_{\phi} f_{\phi}$ - площа ефективного перерізу дозуючого отвору форсунки, см^2 ;

ρ_{cp} - середній перепад тиску на дозуючому отворі між входом (тиск в рампу) і виходом форсунки (впускний трубопровід), Па;

ρ_T - щільність палива, $\text{кг}/\text{см}^3$;

$t_{цв}$ - час відкритого стану форсунки(уприскування), с.

В рівнянні (4.22.) величини $\mu_{\phi} f_{\phi}$, ρ_T , і ρ_{cp} є постійними, тому паливоподачею керують шляхом зміни тривалості керуючого імпульсу, який подається на обмотку ЕМФ.

Динамічну продуктивність ($\text{мм}^3/\text{цикл}$) визначають шляхом подання на форсунку серії імпульсів із заданим періодом $t = 10$ мс (частота імпульсів 100 Гц) і заданою контрольною тривалістю, яку вибирають на режимі холостого ходу(імпульс ХХ).

Витратну характеристику будують по декількох точках. Велика частина залежності циклової подачі від тривалості імпульсу має лінійний характер, але на початку і у кінці вона втрачає лінійність. Для форсунки розробленої конструкції досить використати по одній точці статичної і динамічної характеристик.

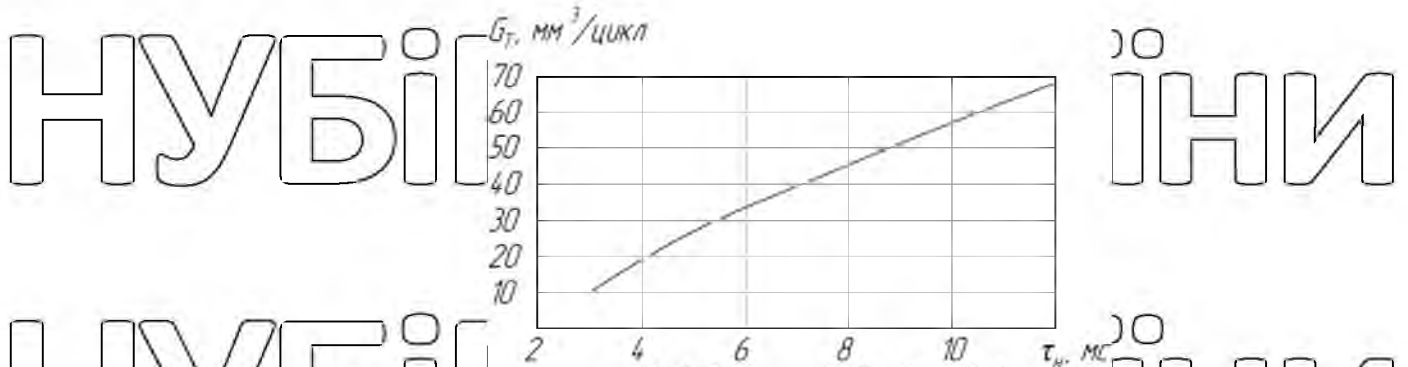


Рис. 4.3. Залежність циклової подачі палива від тривалості відкриття форсунки.

Тривалість керуючого імпульсу форсунки визначає базову кількість палива, яка впорскується за такт впуску без врахування будь-яких факторів. Чим більше подається повітря при кожному такті, тим довша базова тривалість впорскування.

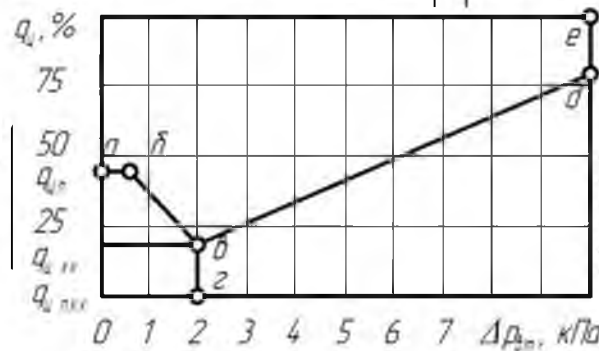


Рис. 4.4. Залежність циклової подачі палива від абсолютного тиску у впускному колекторі

а-б - пускова циклова доза; б - в - прогрів двигуна; в - д - основний режим роботи; д - у - максимальна циклова доза; в - г - режим ПХХ;

Тоді як розрахунок базової тривалості впорскування містить у собі висхідну інформацію у вигляді матриці, яка зберігається у постійній пам'яті (ПЗП) ЕБК. Далі ЕБК стримує від датчиків інформацію про частоту обертання коливального валу і навантаження на двигун Q вибирає з ПЗП відповідне цьому режимові оптимальне значення тривалості імпульсу на форсунки. Базова тривалість впорскування адаптується до різних умов роботи двигуна і керується ЕБК. Відповідно ЕБК накопичує інформацію про різні режими роботи двигуна (запуску в холодну пору року, прогрів двигуна, повне

навантаження та ін.) на основі чого формується коригуючий коефіцієнт, на який множиться базова тривалість вдорскування.

4.2. Аналіз залежності циклової подачі від режимів роботи двигуна і умов навколишнього середовища

Для аналізу залежності циклової подачі палива від режимів роботи двигуна і умов навколишнього середовища скористаємося формулою [12]:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{G_{\text{в.ц.}}}{\alpha \cdot l_0}, \quad (4.23.)$$

де $G_{\text{в.ц.}}$ – масова витрата повітря, що надходить в циліндр за цикл;

α – коефіцієнт надлишку повітря;

l_0 – маса повітря, теоретично необхідна для згорання одного кілограму палива.

Тоді для визначення циклової подачі при різних режимах роботи і умов навколишнього середовища достатньо знати як залежать від цих режимів і умов показники $G_{\text{в.ц.}}$ і α .

В залежності від умов роботи двигуна, способу регулювання потужності, типу сумішоутворювання і умов згорання палива на кожен масову чи об'ємну одиницю палива припадає така кількість повітря, яка може бути більша, рівна або менша теоретично необхідного для повного згорання палива, [12].

Відповідно до цього коефіцієнт надлишку повітря:

$$\alpha = \frac{l}{l_0}, \quad (4.24.)$$

Для різних двигунів та режимів роботи коефіцієнт надлишку повітря коливається в межах від 0,8 + 2,2.

Масову витрату повітря визначимо за формулою:

$$G_{\text{в.ц.}} = Q_{\text{ц}} = \frac{2rQ_{\text{в}}\bar{p}_0}{in RT_{\text{в}}}, \quad (4.25.)$$

де p_0 – атмосферний тиск;

i – число циліндрів двигуна;

R – газова стала;

n - частота обертання колінчастого валу;

Q_v - швидкісний напір;

γ - коефіцієнт пропорційності;

T_v - температура повітря в циліндрі в кінці такту впуску.

Теоретична кількість повітря, теоретично необхідного для згорання 1 кг

палива:

$$L_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H + O \right) \quad (4.26.)$$

де C - вміст вуглецю в 1 кг бензину, $C = 0,855$ кг;

H - вміст водню в 1 кг бензину, $H = 0,145$ кг;

O - вміст кисню в 1 кг бензину, $O = 0$ кг;

0,23 - масовий вміст кисню в одному кілограмі повітря;

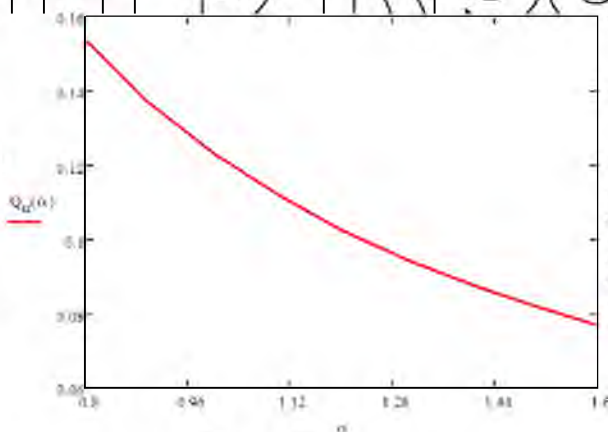


Рис. 4.5/ Залежність циклової подачі палива від коефіцієнта надлишку повітря

При зміні частоти обертання колінчастого валу усі ці показники змінюються в залежності від ряду факторів, а саме: коливальні процеси, які

проходять у впускному тракті і аеродинамічний опір на впуску і випуску. Крім

того, при зміні швидкісного режиму, змінюються і умови протікання робочого

процесу двигуна, що призводить до зміни коефіцієнта надлишку повітря, який відповідає вибораним оптимальним значенням вихідних показників двигуна

(рис. 4.5.). А при регулюванні по витраті повітря або куту відкриття дросельної

заслінки, частота обертання колінчастого валу повинна використовуватись як

вихідний параметр. Характер частотних залежностей циклових подач зображені на (рис. 3.6.).

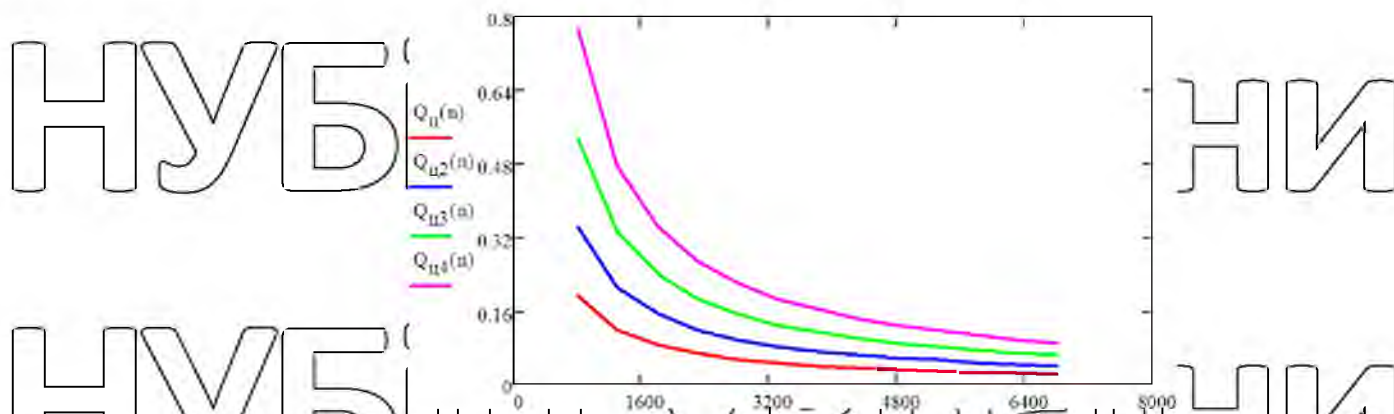


Рис. 4.6. Залежність зміни циклової подачі палива від частоти обертання колінчастого валу при змінній витраті повітря

4.3. Діагностична модель електромагнітної форсунки в системі Matlab

4.3.1. Робота в системі Simulink

Програма Simulink є розширенням програмного пакета MATLAB. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого, користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки. При цьому, на відміну від класичних способів моделювання, користувачу не потрібно досконально вивчати мову програмування і чисельні методи математики, а досить загальних знань потрібних при роботі на комп'ютері і, природно, знань тієї предметної області в якій він працює.

Simulink є достатньо самостійним інструментом MATLAB і при роботі з ним зовсім не потрібно знати сам MATLAB і решту його застосування. З іншого боку доступ до функцій MATLAB і інших його інструментів залишається відкритим і їх можна використовувати в Simulink. Частина їх входять до складу пакетів має інструменти, вбудовувані в Simulink.

Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді графіків або таблиць. Перевага Simulink полягає також у тому, що він дозволяє поповнювати бібліотеку блоків за допомогою підпрограм написаних як мовою MATLAB, так і на мовах C++, Fortran і Ada.

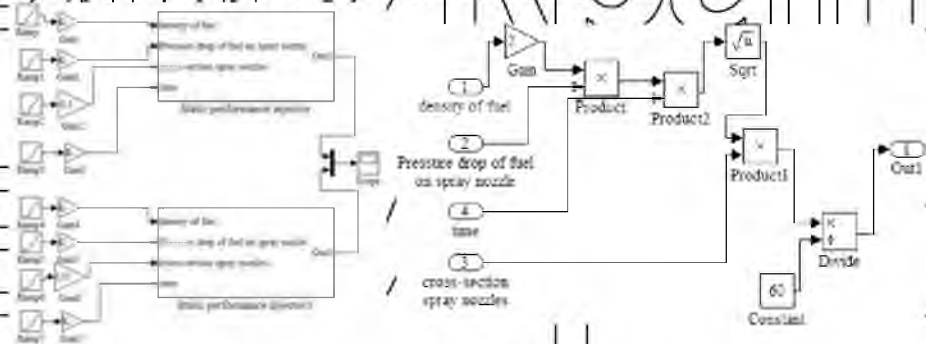
4.3.2. Діагностична модель в системі Simulink

Діагностична модель була розроблена на основі описаних в 3 розділі особливостей роботи електромагнітної форсунки. Тому робота форсунки головним чином пов'язана із гідравлічними, механічними, електромагнітними та електричними процесами що протікають одночасно. Усі ці процеси зосереджують у собі параметри роботи форсунки на які електронний блок керування впливає безпосередньо і на які він не може вплинути.

До вхідних параметрів можна віднести:

1. Час впорскування. Час впорскування залежить від частоти обертання кінцевого валу, навантаження на двигун, напруги в системі живлення та кількості повітря яке поступає в циліндр.
2. Постійний ефективний перетин розпилювача (змінюється при підніманні клапана і закриванні);
3. Щільність палива;
4. Перепад тиску в розпилювачі;

Вихідним параметром форсунки є циклова подача палива.



а)

б)

Рис. 4.7. Математична модель в Simulink

а - модель в загальному вигляді, б - підсистема виконання основної програми роботи форсунки

На основі даних параметрів була побудована діагностична модель форсунки, (рис.4.7.).

Тобто, при зміні вхідних параметрів змінюється циклова подача палива, в окремих випадках це може спричинити зміну технічного стану форсунки, через це всі вхідні параметри можуть бути причиною її забруднення або виходу з

ладу.

На графіку (рис. 4.8.) видно нормативну продуктивність форсунки – суцільна лінія. Для різних форсунок вона різна, і відповідає певному значенню.

Чим менший час впорскування тим менша продуктивність форсунки. Наявність відхилень від номінальних значень (штрихова лінія), буде вказувати на зношення форсунки.

- Забруднені зазори між прецензійними парами;
- Зношені поверхні у місцях контакту пружини й клапана форсунки;
- Усадка і втрата жорсткості пружини;
- Відхилення напруги живлення, опору і індуктивності котушки електромагніта.

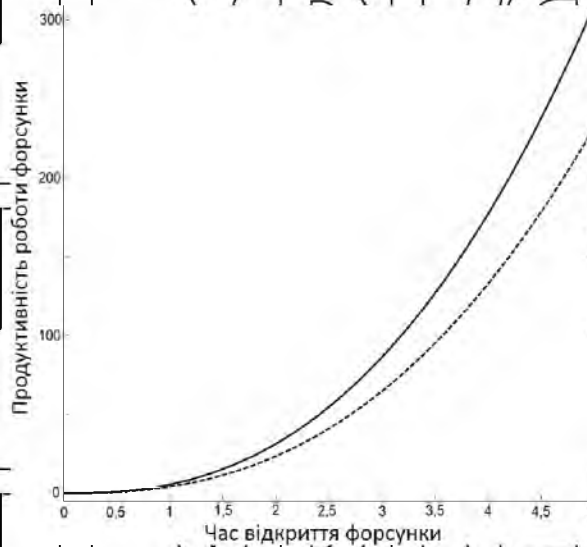


Рис. 3.8. Графік зміни продуктивності форсунки

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТЕНДА ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕВІРКИ І ОЧИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ФОРСУНОК БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ

Технічне завдання на розробку стенда для перевірки і очищення електромагнітних форсунок бензинових двигунів.

Розробити стенд для перевірки і очищення бензинових електромагнітних форсунок фірми БОШ встановлюваних на паливну рампу ВАЗ 2190-1144010 (і схожі по конструкції рампи). Очищення форсунок робити за допомогою ультразвуку. Перевірку робити згідно з вимогами технічних умов на форсунки і рампу форсунок.

Передбачити можливість переналадження стенда для перевірки форсунок інших типорозмірів.

Проектоване устаткування передбачається встановити ділянки з ремонту паливної апаратури комплексного таксомоторного парку.

Стенд для перевірки і очищення бензинових форсунок рекомендується розміщати на слюсарному верстаті слюсаря з ремонту паливної апаратури.

Можливість експорту в закордонні країни не передбачена.

Максимально використовувати в конструкції стенда нормалізовані і уніфіковані вузли для полегшення його виробництва в умовах АТП або СТО, рекомендується використовувати вузли системи паливоподачі автомобіля ВАЗ-2190. Забезпечити можливість роботи устаткування до ремонту й чергового ТО.

Раму виготовити із труби прямокутного перетину і листового металу зварюванням. По можливості забезпечити оптимально зручну висоту рами.

Забезпечити надійне й швидке кріплення випробуваної рампи форсунок (або окремих форсунок) на стенді.

У якості паливоподаючого пристрою використовувати стандартні електробензонасоси. Для забезпечення роботи стенда скористатися наявним у продажі устаткуванням, що дозволяють імітувати різні режими роботи форсунок добір якого здійснити по каталогах (рекомендується виробник

фірма НПП «НТС»).

Передбачити можливість підвічування вимірювальних циліндрів для забезпечення підвищення точності контролю якості розпику палива.

Згідно з вимогами посібника з ремонту і експлуатації, а також виходячи з характеристик системи паливоподачі автомобілів LADA, стенд для перевірки і очищення бензинових форсунок повинен мати наступне устаткування:

▶ паливоподаючий пристрій, що забезпечує тиск і напір еквівалентне електробензонасосу автомобіля – тиск у паливній рампі 364 – 400 кПа;

▶ пристрій, що дозволяє імітувати роботу форсунок (відкриття-закриття електромагнітного клапана);

▶ вимірювальні пристрої ємністю не менш 40 мл, для контролю працездатності і перевірки балансу форсунок;

▶ пристрій, що забезпечує замір тиску в паливній рампі.

З конструктивних міркувань і враховуючи характеристики існуючих аналогів, ухвалюємо орієнтовно наступні технічні показники для перевірки і очищення бензинових форсунок:

Габаритні розміри, не більш мм. 800 x 600 x 600 Маса стенда, не більш 300

кг
Тиск у паливній рампі, кПа. 364 – 400 Споживана потужність, не більш 0,5 кВт·час

Органи керування розташувати безпосередньо на рамі стенда. Для роботи стенда необхідний один оператор, який здійснює контроль над станом устаткування і сам процес перевірки та очищення форсунок.

Кнопкові і клавішні вимикачі повинні мати світлову індикацію показань «включене» або «виключене». Органи керування розташувати в напрямку ліворуч праворуч і зверху вниз у послідовності, відповідної до операцій діагностування автомобіля. Кнопки і важелі керування передбачається згрупувати і помістити на окрему панель керування.

На підставі вартості аналогічного устаткування, враховуючи що

проектований стенд для перевірки і очищення бензинових форсунок буде виготовлятися в умовах АТП і з вітчизняних комплектуючих, ухвалюємо собівартість виробу не більш 6000 грн.

Строк окупності устаткування ухвалюємо орієнтовно 3 року.

При виконанні завдання передбачити розробку технічної пропозиції з ескізним проектом. Обов'язкове пророблення 2-х або більш варіантів компоновання.

На узгодження надається технічна пропозиція з ескізним проектом.

Узгодження з іншими організаціями не потрібно. Виготовлення дослідних зразків не передбачається.

Технічна пропозиція на розробку стенда для перевірки і очищення бензинових форсунок

Отримане завдання на розробку стенда для перевірки і очищення бензинових форсунок.

Стенд повинен забезпечувати перевірку і очищення форсунок фірми БОШ, застосовуваних у системах розподіленого фазованого впорскування палива.

Стенд передбачається використовувати для перевірки і очищення бензинових форсунок на АТП, СТО, пасажирських АТП, БЦТО, таксомоторних парках. Стенд розробити на підставі існуючого устаткування аналогічного призначення, шляхом спрощення конструкції.

Стенд містить раму, на якій розташовуються кронштейни для кріплення рампи форсунок. Очищення форсунок проводиться в ультразвуковій ванні, при цьому вони закріплюються в спеціальному оправленні Є 4 вимірвальних циліндра для контролю якості розпилювання палива і подачі форсунок. До конструкції стенда для перевірки і очищення бензинових форсунок пред'являються наступні вимоги:

Рама стенда повинна мати достатню міцність, Стенд повинен мати паливоподаючий пристрій.

При перевірці балансу форсунок стенд повинен забезпечити 3 частотних

режиму відкриття-закриття форсунок,

Стенд повинен бути оснащений сучасними контрольно-діагностичними приладами і датчиками, що забезпечують вимір із заданою точністю при мінімальних погрішностях.

Для зручності і простоти виготовлення в конструкції стенда необхідно по можливості використовувати нормалізовані і уніфіковані вузли та агрегати.

При роботі стенд повинен створювати мінімальні вібрації, видавати шум у припустимих межах, також стенд повинен відповідати всім вимогам виробничої безпеки.

Конструкція опорних пристроїв повинна забезпечувати мінімальні витрати часу на установку і зняття рампи форсунок зі стенда.

Стенд для перевірки і очищення бензинових форсунок повинен забезпечити можливість контролю наступних параметрів:

- тиск у рампі форсунок;
- наявність обривів або КЗ у системі керування форсунками; баланс форсунок;
- герметичність форсунки; якість розпилювання палива.

У результаті пошуку були виявлені наступні стенди, що серійно випускаються, і патенти аналогічного призначення: 5.1. Стенд для перевірки та ультразвукового чищення форсунок Websonic.

УЗВ забезпечує очищення форсунок від відкладань, що утворювалися в процесі роботи двигуна. Наявність підігріву промивної рідини в УЗВ дозволяє використовувати при роботі більш широкий спектр рідин, призначених для роботи при температурі близько 60°C.

Гідравлічний контур стенда перевірки форсунок дозволяє перевірити якість розпилення і витрату форсунок. До його складу входять насос, фільтр, регулятор тиску з манометром, система трубопроводів і набір перехідників для установки форсунок різних типів. При даній операції слід застосовувати стробоскопічний контроль.



Рис. 5.1. Стенд для перевірки й ультразвукового чищення форсунок Websonic:

1 - УЗВ із підставкою під форсунки; 2-Гніздо запобіжника; 3- Дросель регулювання тиску; 4 - Манометр; 5 - Тумблер включення сіткової напруги (зелений, постачений підсвічуванням у включеному стані); 6 - Тумблер включення обігріву УЗВ (червоний, з підсвічуванням у включеному стані); 7 - Клеми ± 12 В для живлення стробоскопа; 8 - Петля для синхронізації стробоскопа; 9 - Пульт керування; 10 - Крани подачі перевіркової рідини на форсунки; 11 - Настановчі місця для форсунок; 12 - Мірні циліндри; 13 - Фільтр тонкого очищення; 14 - Зливальний штуцер; 15 - 6 рознімачів для підключення форсунок для чищення в УЗВ; 16 - Рознімачня живлення 220 В; 17 - 6 рознімачів для підключення форсунок у режимі перевірки і контролю

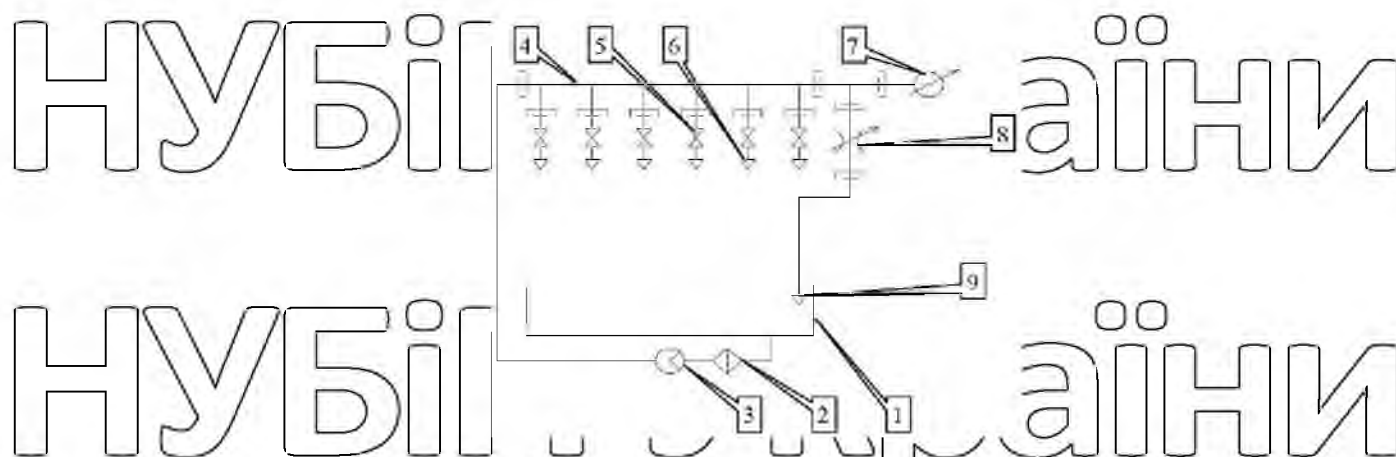


Рис. 5.2. Гідравлічна схема стенда для перевірки й ультразвукового чищення форсунок Websonic

1 - Ємність для перевіркової рідини (нижня частина стенда перевірки); 2 - Фільтр тонкого очищення; 3 - Насос; 4 - Колекторний блок; 5 - Крани подачі палива на форсунки; 6 - Настановні місця форсунок; 7 - Манометр для виміру

тиску палива в системі; 8 - Дросель регулювання тиску; 9 - Зливальний штуцер

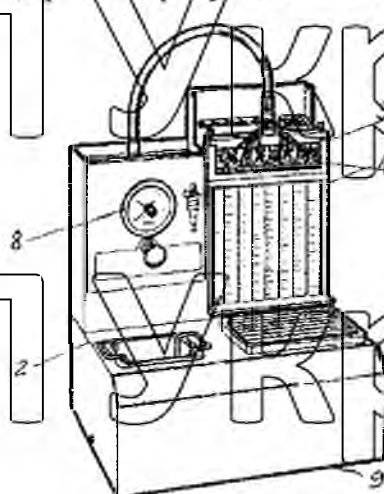


Рис. 5.3. Стенд для перевірки і очищення бензинових форсунок



Рис. 5.4. Стенд ДД-1200 для перевірки і очищення бензинових форсунок (інжекторів)

Дослідний стенд, зображений на рис. 5.3, має складну конструкцію, що пов'язане з його універсальністю.

Аналіз конструктивних і вартісних особливостей Стендів-аналогів показав, що жоден з них не відповідає повною мірою встановленим у технічній завданні вимогам, що обумовлює необхідність розробки нової конструкції

Для забезпечення виконання вимог технічного завдання проєктована конструкція повинна містити наступні основні компоненти: рама (каркас); мірні ємності; манометр контролю тиску палива; ультразвукова ванна для очищення форсунок; пристрій керування.

Раму (каркас) стенда рекомендується виготовити із труб прямокутного перетину зварюванням, зверху рама обшивається аркушами сталі. Для очищення форсунок використовуємо наявну в продажі ультразвукову ванну ПСБ- 2835-05 (рис. 4.5).



Рис. 5.5. Компонування елементів стенда

Оскільки стенд є спеціалізованим під конкретну модель форсунок як закріплюючого пристрою використовуємо серійну рампу форсунок 2190, що дозволить значно скоротити тимчасові витрати на закріплення форсунок на стенді.

Для контролю величини тиску в рампі використовуємо серійний манометр МТА-4. У якості насоса будемо використовувати електробензонасос автомобіля ВДЗ-2190, що дозволить максимально наблизили умови випробування до реальних умов роботи форсунок у двигуні.

Загальне компонування стенда представлено на рис. 5.6.

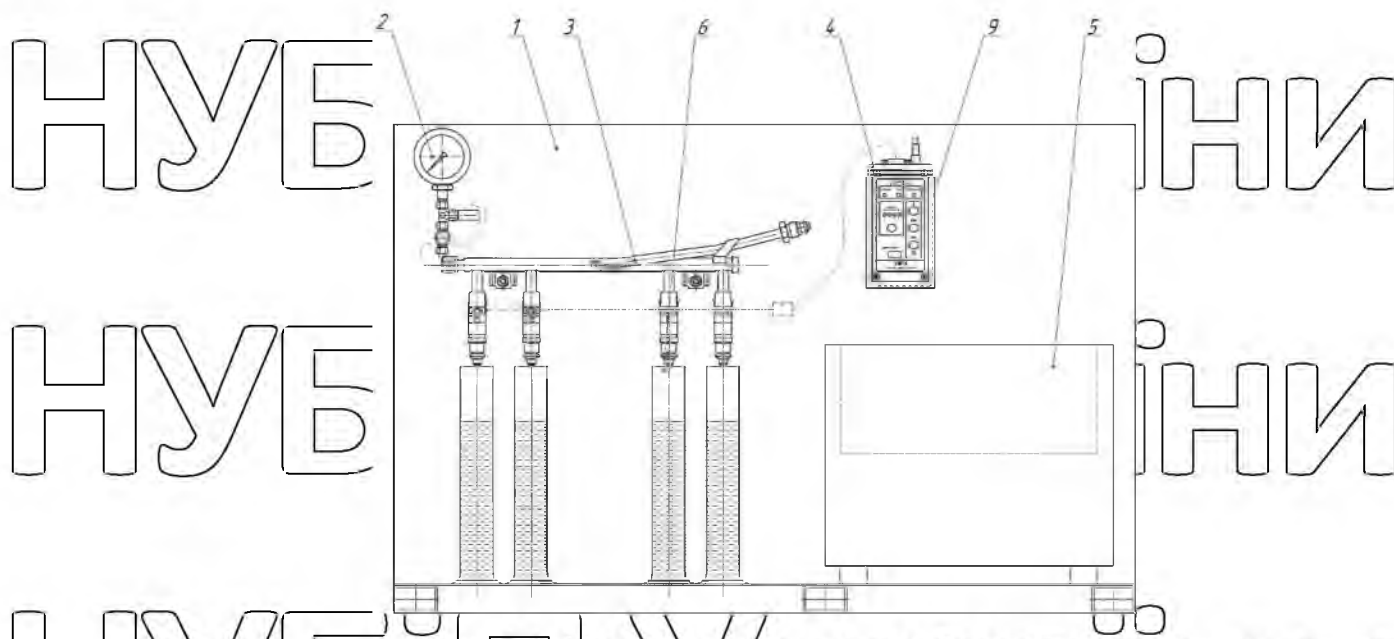


Рис. 5.6 Компонування елементів стенда.

1 – рама; 2 – манометр паливний МПА-4; 3 – випробовувана рампа форсунок; 4 – тестер форсунок ТФ-6; 5 – ультразвукова ванна; 6 – мірні циліндри; 7 – електробензонасос (не показаний), 8 – бак для промивної рідини, 9 – кронштейн тестера форсунок. Підбір комплектуючих для стенда

Проаналізуємо переваги і недоліки наявних на ринку електронних тестерів форсунок, які планується використовувати в якості пристрою керування роботою форсунок.

Драйвер керування форсунками SMC-114-1

Драйвер призначений для забезпечення відкриття електромагнітних клапанів форсунок або аналогічних пристроїв, що мають такі клапани, у процесі їх промивання в ультразвуковій ванні.

Пристрій і принцип роботи

В основі роботи драйвера лежить принцип по черговій подачі на клемми електромагнітного клапана форсунок (або аналогічних пристроїв) електричних імпульсів із частотою, що задається, проходження. Можливість регулювання частоти відкриття клапана дозволяє регулювати режими промивання внутрішніх каналів форсунок, що підвищує якість їх промивання.

Конструктивно драйвер виконаний у вигляді електронного блоку, що харчує кабель і кабелю для підключення клапанів електромагнітних форсунок.

Зовнішній вигляд драйвера.

Перевагами даного пристрою є можливість регулювання частоти відкриття електромагнітного клапана форсунок у широкому діапазоні, а також його висока універсальність, забезпечувана набором перехідників; до недоліків - висока вартість.

Тестер форсунок ТФ-6

Тестер форсунок ТФ-6 призначений для перевірки працездатності форсунок інжекторних автомобілів ВАЗ, ГАЗ і інших автомобілів, за умови сумісності рознімів і вільного доступу для підключення. ТФ-6 підключається до форсуночного жгуту або безпосередньо до форсунок і має можливість послідовно перевіряти працездатність усіх 4-х форсунок без додаткових перемикачів. Тестер має додатковий режим безперервної генерації одночасно на всі чотири форсунки, що дозволяє використовувати його в стендах промивання форсунок.

Основні технічні дані й характеристики відповідно до ТУ 4577-042-21300491-2009:

Номинальна напруга живлення від джерела постійного струму, 12 В.

Максимально допустиме напруження живлення, 18В. Мінімально допустиме напруження живлення, 9 В. Споживана потужність, Вт, не більш 0,8

Габаритні розміри (без кабелів), мм 135x68x29 Маса, кг, не більш 0,25

Термін служби, 5 років. Умови експлуатації: температура від -20 до +40°С, відносна вологість до 80% при +25°С.

Перевагами тестера є пристосованість для роботи з форсунками bosh, установленими на автомобілі ВАЗ, можливість діагностування форсунок на 3-х режимах, передбачених ТУ, а також його відносно невисока вартість. Ухвалюємо його для використання в розроблювальній конструкції.

Тестер форсунок ТФ-6 зображено на рис. 5.7.

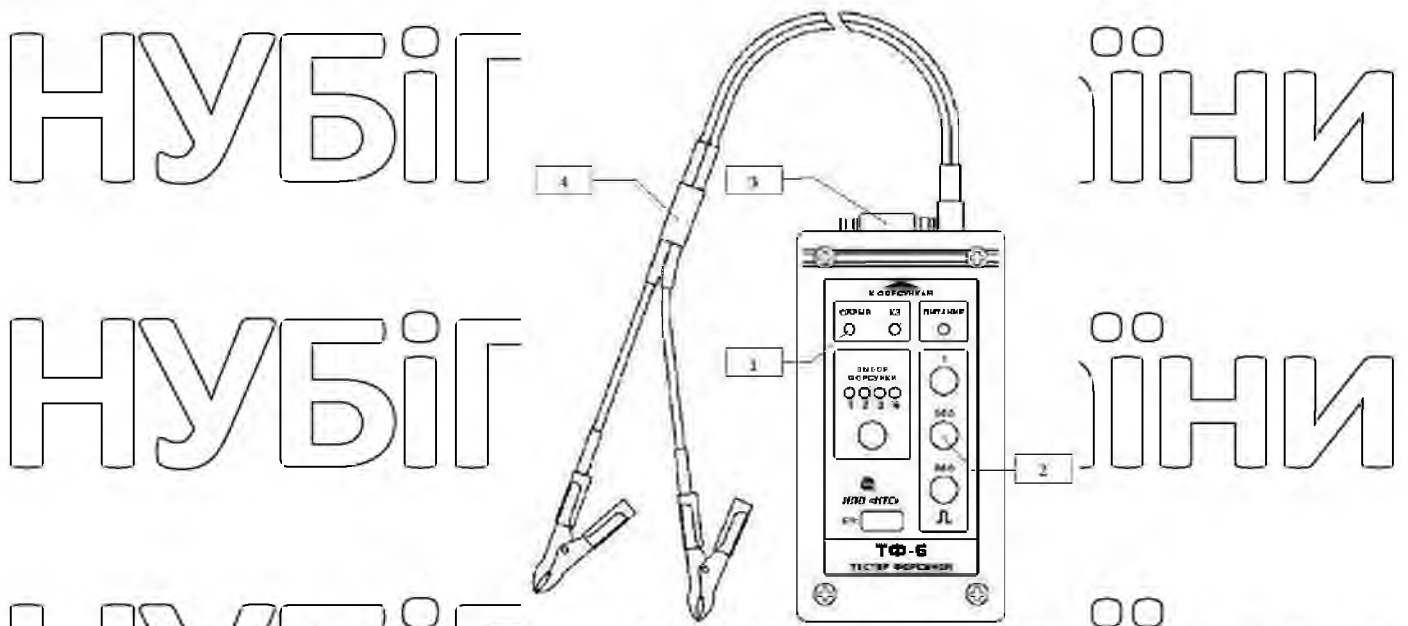


Рис. 5.7. Тестер форсунок ТФ-6.

1 - індикатори відображають інформацію про стан тестера і тестуємої форсунок, 2 - кнопки служать для вибору режиму роботи тестера. 3 – рознімання призначене для підключення спеціалізованих кабелів. 4 - кабель живлення з розніманнями типу «крокодили» призначений для підключення тестера до джерела живлення.

5.1. Технологічний процес діагностування форсунок на стенді

5.1.1. Методи очищення бензинових форсунок

Сучасні системи впорскування палива засновані на використанні інжекторів. Під сучасним інжектором варто розуміти паливні форсунки, які мають електромагнітний клапан. Слабким місцем інжекторної системи є те, що форсунки в процесі експлуатації поступово забруднюються. Інжектор забивається брудом навіть за умови того, що двигун працює на паливі гарної якості. Використання низькосортного бензину законспірно прискорює цей негативний процес.

Із часом хімічні елементи і різні з'єднання (сірка, бензол, олефіни), які втримуються в пальному, перетворюються в смолисті відкладання та отверділий лак. Це відбувається через високий тиск у системі впорскування (від 2,5 до 6-ї атм.) і роботі форсунок в умовах високих температурних режимів

(80-100° С). Такі утвори досить складно змиваються.

Результатом забруднення стає помітне погіршення роботи двигуна: падає потужність, знижується приємність, спостерігається нестійкість обертів у режимі холостого ходу, збільшується витрата палива. При інтенсивному розгоні виникають провали, а також зростає токсичність газів, що відробили, що тягне значне скорочення терміну служби каталізатора та лямбда-зонда. ЕБУ стає складніше коректувати паливоповітряну суміш стосовно до різних режимів роботи двигуна. Забиті відкладаннями форсунки не здатні забезпечувати необхідну продуктивність, міняється форма факела, напрямок розпилу, а також можливо повне припинення подачі палива через форсунку.

У практика показує, що високоякісний європейський бензин виключає необхідність частого очищення інжектора. Якщо мотор експлуатується на такому паливі, тоді чищення може знадобитися один раз в 120 - 150 тисяч кілометрів. Якщо говорити про країни СНД, то інжекторну систему найчастіше потрібно очищати вже через 30-40 тисяч кілометрів пробігу.

Найбільш помітним засмічення паливних форсунок стає із приходом холодної пори року. У цей час знижується випаровуваність палива, починають проявлятися проблеми з пуском холодного двигуна, а також помітні провали в його роботі на різних режимах і т.п.

4.3.2 Способи промивання інжектора

Існує кілька способів, які дозволяють промити інжектор. Вибір кожного способу обумовлений ступенем забруднення системи паливоподачі, зношуванням самої силової установки та іншими факторами.

Заливаємо промивання в бензобак

Найбільш простим і одночасно шадним способом очищення є заливання в паливний бак автомобіля спеціального промивання. Такий очисник паливної системи звичайно реалізується у флаконах обсягом близько 300 мл. Даного кількості вистачає на 60 - 70 літрів палива. Принцип дії добавки полягає в тому, що в процесі їзди вона поступово розчиняє відкладання в системі впорскування і частково запобігає їхньому наступному утворенню. Додавати очисник у паливо необхідно регулярно (кожні 4-5 тисяч км. пробігу). Якщо Ви не впевнені, що

використовуєте паливо належної якості, тоді зазначений інтервал рекомендовано скоротити.

Для тих машин, у яких система паливоподачі і упрорскування вже має серйозні забруднення, такий спосіб очищення не підходить. Більше того, промивання в паливному баку може навіть збільшити вже наявні проблеми.

Відмита очисником бруд і відкладання попадають у форсунки і забивають їх ще більше. Після цього буде необхідний демонтаж і чищення паливних форсунок іншими способами. Другим нюансом стає висока ймовірність того, що змита в бензобаку бруд засмітить паливний насос.

Забруднення електричного бензинового насоса приводить до його підвищеного зношування і зниженню ефективності роботи пристрою. Чищення інжектора без зняття форсунок

Інжектор можна почистити так, щоб не знімати форсунки і паливну рампу із двигуна. Для очищення використовується спеціальна промивна установка рідини, що її очищають. Найбільше широко застосовують суміші Wynn's і Liqui Moly.

Процес очищення здійснюється шляхом підключення промивної установки через перехідні штуцери прямо до інжектора автомобіля. Це

дозволяє виключити з ланцюжка бензобак, бензонасос, паливний фільтр і

паливні магістралі. При такому підході вимивається бруд вичітко в паливній рампі й форсунках. Двигун автомобіля запускають і дають попрацювати на суміші бензину і промивної рідини близько 30-40 хвилин у режимі холостого

ходу. Суміш подається із промивної установки під тиском від 3-х до 6-ї атмосфер. Тиск регулюється згідно з технічними вимогами стосовно до конкретної моделі автомобіля.

5.1.2. Процес очищення і результати

Склад для чищення, змішаний з бензином, активно розм'якшує і змиває забруднення, що нагромадилися в інжекторі. Потім установка продавлює бруд через форсунки в циліндри мотора, де змиті відкладання остаточно згоряють. Такий спосіб промивання активно застосовують у випадку забруднень

середнього стану, а також при певних конструктивних складностах (для зняття форсунок необхідно демонтувати впускний колектор або інше навісне устаткування).

Визначити якість процедури очищення інжектора можна по наступних ознаках: усталена робота ДВЗ у режимі обертів холостого ходу; відсутність провалів в інших режимах роботи; збільшення віддачі від мотора; позитивні зміни відносно розгінної динаміки і реакції на дросель; зменшення змісту шкідливих речовин у вихлопі і т.д.; Для більшості випадків такого способу очищення інжектора цілком достатньо для відновлення нормальної роботи інжекторної системи.

Чищення інжектора подібним чином повинна проводитися один раз в 30-50 тисяч км. Після промивання без зняття форсунок у паливній рампі і самих інжекторах залишається деяка кількість рідини, що очищає. Невеликі залишки промивання попадають і в моторне масло. Із цієї причини рекомендовано спочатку проїхати на автомобілі 20-30 км. у режимі високих обертів для видалення залишків з інжектора.

Ще раз зверніть увагу, що після чищення на машині частина рідини для промивання виявиться в масляній системі двигуна. Інжектор необхідно чистити перед плановою заміною моторного масла і фільтрів, а не після. Також рекомендується після промивання перемінити і свічі запалювання.

У деяких випадках може додатково знадобитися заміна ущільнювальних кілець форсунок з появою витоків пального через їх. Такий ефект спостерігається через того, що промивна рідина в більшій або меншому ступені є агресивною стосовно гумових ущільнювачів. Якщо порівнювати розповсюджені промивання Liqui Moly і Wynn's, то по деяких відкликаннях перший варіант м'якше впливає на гуму.

Чистити даним способом сильно зношені двигуни не рекомендується.

Разом з інтенсивним очищенням інжекторної системи від різних відкладань у таких моторах паралельно відбувається видалення нагару і відкладань на поршневих кільцях і стінках циліндрів двигуна. Це може в ряді випадків привести до істотної втрати компресії і двигун після такого промивання не

запуститься.

Окремо рекомендується не прочищати на установці для чищення інжектора без зняття інжекторної системи типу KE-Jetronic, де має місце механічне паливне впорскування. Такі системи одержали дозатори з малими робочими зазорами, що робить їх у край чутливими до бруду і відкладанням. У процесі промивання дозатори швидко забиваються, що приводить до необхідності зняття форсунок і форсунки є нерозбірними, а їх очищення проводять методом продувки повітрям під тиском. Якщо механічна форсунка сильно забруднена, тоді буде потрібно повна заміна даного елемента.

5.1.3. Чищення зі зняттям форсунок

Сильні забруднення системи впорскування віддаляються таким способом, який має на увазі зняття форсунок і їх окреме прочищення. Даний спосіб дозволяє добитися найкращих результатів. Головною перевагою очищення інжекторних форсунок рідиною є відновлення протездатності таких інжекторів, які конструктивно мають складну конфігурацію своїх внутрішніх каналів.

Інжектор демонтують і роблять індивідуальне очищення кожної форсунки на спеціальному стенді. Даний підхід дозволяє зрівняти продуктивність, форму факела, напрямок і якість розпилювання до початку чищення і після неї. Додатково можна зрівняти і проаналізувати роботу всієї групи форсунок у сукупності.

Принцип роботи очисного стенда полягає в тому, що його системою керування здійснюється імітація роботи форсунок на двигуні. Замість бензину через них пропускається рідина для промивання інжекторів. Оператор стенда управляє частотою електричних коливань клапана форсунки. Головним завданням стає виникнення в каналі паливоподачі кавітації. Під кавітацією слід розуміти утворення пухирців повітря в рідині.

Гідродинамічна кавітація забезпечує рух голки форсунки в потоці рідини, що очищає, з великою швидкістю. За різними опуклими частинами утворюється вакуум. Під тиском навколишньої рідини вакуум моментально

ділиться на велику кількість мікроскопічних міхурів, які «лякають». Виходить ефект мікробибухів, а енергія від них впливає на лакові та грязьові відкладання, які утворювалися усередині паливного каналу інжектора і на самій голці.

Результатом такої операції стає ефективне руйнування і видалення відкладань і бруди в каналах форсунки, а також промивання сітчастого фільтра інжектора.

Виниклу кавітацію оператор визначає візуально. Струмінь світлої рідини, що виходить із форсунки, стає коричневою. Колір рідини на виході міняється через шлаки, що відшаровуються.

Показник продуктивності форсунок визначається як перед, так і після їхнього очищення. У тих випадках, коли очищені форсунки демонструють різні показники продуктивності з розбігом більш ніж 5%, тоді їх необхідно замінити. Несправні інжектори міняють як по одній штуці, так і групою.

Промивання дозволяє виявити те, що електромагнітний клапан зношений і не закривається повністю. Це означає, що така форсунка тече в той момент, коли на неї не подається електричний імпульс. Дана несправність приводить до перевитрати палива, збільшується нагар на клапанах, морщинах і т.д. Інжектори з подібною проблемою краще відразу замінити.

5.1.4. Чищення інжектора ультразвуком

Одним з розповсюджених способів очищення форсунок є використання установки, яка очищає попередньо зняті інжектори в спеціальній ультразвуковій ванні. Даний спосіб забезпечує високі результати, хоча деякі експерти вважають кращим спосіб очищення форсунок методом гідродинамічної кавітації.

Ультразвукова ванна є відкритою ємністю, яку наповнюють рідиною, що очищає. Із зовнішньої частини в дно такої ванни вмонтований пристрій, який являє собою випромінювач ультразвукових коливань. Сопло форсунки для очищення опускається у ванну. Під час проходження через, що очищає рідину ультразвукова хвиля запусає кавітаційний процес. Під час кавітації утворюються пухирці, які лопаються та утворюють ударні хвилі. Ці хвилі

впливають на бруд і відкладання, які накопичуються на поверхні сопла форсунок і у каналах.

5.2. Техніко-економічна оцінка ефективності дослідження

Дослідження теоретичних та експериментальних даних елементів паливної апаратури бензинового ДВЗ показали, що є можливість скоротити витрати на забезпечення його працездатності можливо зниженням часу експлуатації на граничних частотах обертання колінчастого валу та кількості відмов вузлів паливної апаратури [28, 29, 47, 58]. При цьому економічний ефект в експлуатації утворюється за рахунок зниження витрат простоїв у ремонті, а отже підвищення продуктивності сільськогосподарської техніки.

Зважаючи на відсутність єдиних тарифів на використання транспортних засобів малої та середньої вантажопідйомності з бензиновими двигунами з розподіленим упорскуванням палива в реальних умовах, дохідна ставка на 1 км. пробігу загалом становить $P = 35$ грн./км, а собівартість у експлуатації становить $S = 30$ грн./км. (Дані на 2021 рік). На даний момент, питомий простій у ТО та ПР $d = 0,5$ днів/тис. км. При визначенні річного економічного ефекту враховувався середній річний пробіг транспортної сільськогосподарської техніки, який за звітними даними становить $L = 105$ тис. км.

Оцінюючи економічного ефекту в експлуатації вихідними даними були результати впливу зміни параметрів паливної апаратури ДВЗ на величину міжремонтного ресурсу транспортних засобів. Ця інформація, а також результати експериментальних даних дозволили оцінити величину підвищення ресурсу транспортних засобів, що розглядаються в експлуатації в $\Delta I = 12\%$. Так само економічну оцінку можна провести зі зниження собівартості перевезень, а також продуктивності транспортних засобів при скороченні простоїв у технічному обслуговуванні та поточному ремонті.

За статистикою, на силовий агрегат припадатиме до 38% (qСА) із загальної частки витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт, який у

собівартості експлуатації транспортної сільськогосподарської техніки становить у середньому $Q = 15\%$. Відмови з паливної апаратури становлять $q_{ПА} = 25,59\%$. Множенням цих часток визначається відносне зниження собівартості експлуатації.

Таблиця 5.1.

Результати розрахунків

Показники	Одиниця виміру	Величина
1 Прибуткова ставка	грн./км.	35
2 Собівартість експлуатації	грн./км..	30
3 Середній простий у ТО та ПР	дн./тис. км	0,5
4 Середньорічний пробіг	тис. км.	105
5 Відносне зниження кількості відмов ПА за результатами роботи	%	12
6 Частка витрат на ТО та Р у собівартості експлуатації	%	15
7 Частка відмов силових агрегатів	%	38
8 Частка відмов ПА у відмовах силових агрегатів	%	25,59
9 Відносне зниження собівартості експлуатації за ТО та ПР	%	0,71
10 Річне зниження собівартості експлуатації від зниження ТО та ПР	грн/авт.	9 215,81
11 Частка простоїв у ТО та ПР за відмовами силового агрегату	%	44
12 Частка простоїв на усунення відмов ПА	%	25,59
13 Відносне зниження простоїв у ТО та ПР	%	1,15
14 Зниження простоїв у ТО та ПР	дн./тис. км.	0,75
15 Річне зниження простоїв у ТО та Р	дн./авт.	55,13
16 Річне збільшення доходів від ТО та ПР	грн/авт.	2654,39
17 Річний економічний ефект від ТО та ПР	грн/авт.	13870,2

При аналізі отриманих даних можна говорити, що мінімальні сумарні питомі витрати, розраховані за техніко-економічним критерієм, наступають при періодичності ультразвукового очищення ЕМФ двигунів ЗМЗ-4062.10 при 40000 км. Річний економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат становитиме 13870,2 гривень на 1 двигун на рік.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі проведено дослідження робочого процесу впорскування бензину електромагнітною форсункою.

Проведений аналіз існуючих конструкцій систем впорскування бензину, розглянуті їхні переваги та недоліки.

Наведена конструктивна схема основних типів форсунок, які застосовуються на сучасних двигунах. Проаналізовані часові фрагменти осцилограми перехідних процесів електромагнітної форсунки.

1. Аналітично обґрунтовано залежність витрати пального від пробігу при забрудненні соплових отворів ЕМФ, що характеризує технічний стан сучасних двигунів внутрішнього згоряння автомобілів, що працюють в АПК. Зі збільшенням напрацювання при забрудненні соплових отворів ЕМФ збільшується відхилення витрати палива до 25,2%. Отримано поліноміальне рівняння середнього значення витрат палива (2.9.) від пробігу.

2. Визначенні типові несправності та наведені різні методи діагностування форсунок. На основі математичної моделі побудована модель роботи форсунки в Simulink, така модель дає можливість наочно показати залежність циклової подачі палива форсункою від різних факторів.

3. Експлуатаційні зміни робочих показників ЕМФ суттєво впливають на енергетичні та екологічні характеристики двигунів автомобілів, що працюють у АПК. Так, при напрацюванні форсунок, що відповідає пробігу близько 40 тис. км., ефективна потужність після ультразвукового очищення збільшується на 13-19%, ефективний момент, що крутить, збільшується на 14-16%. При цьому знижується викид токсичних компонентів з газами, що відпрацювали - оксиду вуглецю CO на 15-25%, вуглеводнів CH на 15-30%.

4. Розроблено стенд, його склад та послідовність робіт з ефективності дослідження перевірки і очищення електромагнітних форсунок бензинових двигунів.

5. Зі збільшенням пробігу зростають сумарні витрати на технічне

обслуговування та ремонт паливної апаратури. Для зниження сумарних витрат та підтримки паливної апаратури у справному стані запропоновано технічне обслуговування з періодичністю 40 тис. км. (через одне ТО-2) з очищення ЕМФ ультразвуком. Річний економічний ефект від зниження витрат на ТР та економію палива складе 13870,2 грн. на один двигун.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Соснин Д.А. Автоэлектроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей: Учебное пособие./Д.А. Соснин М.: СОЛОН-Р, 2001, 272 с.
2. Амелин В.М. Электронные системы управления и контроля строительных и дорожных машин/ В.М. Амелин, Ю.М. Иньков, В.И. Марсов. Под ред. Б.И. Петленко. М.: Интекс, 1998, 382 с.
3. Васильев А.В. Совершенствование диагностики топливных форсунок поршневых двигателей с распределенным впрыском топлива/ А.В. Васильев, Д.С. Березюков, 2011, 4 с.
4. Браильчук А.П. Виброакустический метод экспресс-диагностики форсунок впрыска легких топлив/ А.П. Браильчук, А.А. Трифонов, Р.С. Санов. -2006, - 4 с.
5. Кукурудзяк Ю.Ю. Лабораторний практикум з дисципліни "Діагностика мехатронних систем автомобілів"/ Ю.Ю. Кукурудзяк.- ВНТУ, Вінниця 2013.
6. Ерохов В.И. Проектирование и расчет электромагнитных форсунок двигателей с принудительным воспламенением/ В.И.Ерохов. 2012, - 9 с.
7. Ерохов В.И. Системы впрыска бензиновых двигателей (конструкция, расчет, диагностика)/ В.И. Ерохов – М.: Горячая линия. Учебник для ВУЗОВ, 2011. – 567 с.
8. Куске Е.Я. Применение расчетных методов к анализу динамики затвора клапана в форсунках электронно-управляемых систем бензиновых двигателей/ Е.Я. Куске – 1984. – № 9. – С. 28-31
9. Грудинский П.Г. Электротехнический справочник. Том 1. / П.Г.Грудинский – М. Энергия, 1971. – 880 с.
10. Казаков Л.А. Электромагнитные устройства РЭА: справочник/ Л.А.Казаков – М.: Радио и связь, 1991. – 352 с.

11. Будыко Ю.И. Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей / Ю.И. Будыко, Ю.В. Духин, В.Э. Коганер, - 1982, - 144 с.

12. Абдулін, Р.З. Економетрика в MS Excel [Електронний ресурс] / Р.З. Абдулін, В.Р. Абдулін. - Іркутськ: Вид-во БДУ, 2016. - 135 с. - Режим доступу: <http://lib-catalog.isea.ua>.

13. Аверченко, В.І. Основи математичного моделювання технічних систем [Текст] / В. І. Аверченко, В. П. Федоров, М. Л. Хейфец - 2-е вид., стереотип. - ФЛПНТА, 2011. - 271 с.

14. Автомобільний довідник [Текст] / Konrad Reif та ін; Bosch. - 3-тє вид. - 2012. - 1274 с.

15. Байков, Д.В. Стенд для обкатки та випробувань двигунів мобільної сільськогосподарської техніки малої потужності [Текст] / Д.В. Байков, А.П. Іншаков, С.С. Десяєв // 2016. №2. С. 51-53.

16. Бакайкін, Д. Д. Діагностування електромагнітних форсунок бензинових двигунів автомобілів, що експлуатуються в сільському господарстві [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.20.03 / Бакайкін Дмитро Дмитрович. - Челябінськ, 2013. - 132 с.

17. Бараз, В.Р. Використання MS Excel для аналізу статистичних даних [Текст] / В.Р. Бараз, В. Ф. Пегашкін. - 2-ге вид., перероб. та дод. ©, 2014. - 181 с.

18. Березюков, Д. С. Розробка методу безрозбірного діагностування електромагнітних форсунок ДВЗ із упорскуванням легкого палива та дослідження змін їх робочих показників [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.04.02 / Березюков Денис Сергійович. - Волгоград, 2012. - 131 с.

19. Валова, Т.С. Модель побудови та структура керуючої системи упорскування палива двигуна внутрішнього згоряння [Текст] : дис. канд. тех. Наук : 05.11.16 / Валова Тетяна Сергіївна. - Рязань, 2017. - 135.

20. Васін, В.А. До питання підвищення ресурсу форсунок [Текст] / В.А. Васін, А.Т. Лебедев, Р.В. Павлюк та ін. // Наукова думка. 2017. №3. С. 74-77.

21. Верейтін, А.Ю. Спосіб діагностування електромагнітних форсунок двигунів з упорскуванням бензину [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.04.02

/Верейтін Олександр Юрійович. – Рязань, 2010. – 143 с.

22. Волков, В.С. Особливості проведення технічного обслуговування сільськогосподарської техніки [Текст] / В.С. Волков, С.С. Мешкова, Є.В. Пухов

// У збірнику: Наука та освіта на сучасному етапі розвитку: досвід, проблеми та шляхи їх вирішення. Матеріали національної науково-практичної конференції. 2019. С. 125-128.

23. Гаврилов, К.Л. Професійна діагностика ДВЗ, систем паливостачання, запалення, енергопостачання, пуску автомобілів, дорожньо-будівельних та сільськогосподарських машин [Текст] / К. Л. Гаврилов. 4-те вид.

, 2017. - 720 с.

24. ГОСТ 26899-86 Стенди роликові для визначення параметрів тягово-швидкісних властивостей та паливної економічності автомобілів та колісних тракторів в умовах експлуатації. Загальні технічні вимоги [Текст]. -

Введ. 01.07.87. : Вид-во стандартів, 1986. - 9 с.

25. ДЕРЖСТАНДАРТ 32513-2013 Палива моторні. Бензин неетильований. Технічні умови [Текст]. - Введ. 01.01.2015. -: Стандартінформ, 2014. - 12 с.

26. ДЕРЖСТАНДАРТ Р 51866-2002 Палива моторні. Бензин неетильований. Технічні умови [Текст]. - Введ. 01.07.2002. -: Вид-во стандартів, 2002. - 19 с.

27. Григор'єв, М.В. Діагностика та обслуговування електромагнітних форсунок бензинових ДВЗ [Текст] / М.В. Григор'єв, А.А. Далідович; -, 2018. - 52 с.

28. Гусаков, С.В. Планування, проведення та обробка даних експериментальних досліджень двигунів внутрішнього згорання [Текст] : Навчальний посібник / С.В. Гусаков, Н.М. Патрахальцев. -: Вид-во РУДН, 2004. - 167 с.

29. Дадінгер, В. А. Теорія ймовірностей та математична статистика із застосуванням Mathcad [Текст] / В. А. Дадінгер, С. Д. Симонженков, Б. С. Галюкшов. 2-ге вид., испр. та дод. -: Видавництво Юрайт, 2020. - 145 с.

30. Данилов, І.К. Вплив ультразвукового очищення форсунок та промивання інжекторної системи на збільшення потужності та крутного моменту ДВЗ [Текст] / І.К. Данилов, А.А. Ходяков, С.В. Бавовна // У збірнику:

Удосконалення системи підготовки та додаткової професійної освіти кадрів для агропромислового комплексу. Матеріали Національної науково-практичної конференції. - 2017. - С. 69-73.

31. Денисов, А.С. Вплив періодичності профілактики на надійність автомобілів [Текст] / О.С. Денисов, В.М. Басков, В.П. Захаров // Автотранспортне підприємство. - 2011. - № 1. - С. 51-52.

32. Дьяконов, В.П. Mathematica 5.1/5.2/6 у математичних та науково-технічних розрахунках [Текст] / В. П. Дьяконов. - 2-ге вид., перероб та дод. - Москва: СОЛОН-Прес, 2008. - 743 с.

33. Єрохов, В. І. Системи упорскування бензинових двигунів: конструкція, розрахунок, діагностика [Текст] / В. І. Єрохов. - : Гаряча лінія-Телеком, 2011. - 551 с.

34. Загородських, Б.П. Зниження обводненості дизельного палива при експлуатації автотракторної техніки [Текст] / Б.П. Загородських, С.В. Абрамов, Д.С. Маяков // : Наука та вища професійна освіта. - 2016. № 3 (43). З. 192-196.

35. Залознов, І.П. Аналіз відмов та несправностей двигуна ЗМЗ-4062.10 та його систем [Текст] / І.П. Залознов, В.І. Рудських // Праці Сібад. - : Вид-во Сібад, 1998. - Вип. 2, ч. 1. - С. 72-77.

36. Залознов, І.П. Підвищення ефективності експлуатації автомобілів за рахунок обґрунтування періодичності обслуговування електромагнітних форсунок [Текст] : дис. канд. тех. наук: 05.22.10 / Залознов Іван Павлович. - Київ, 2003. - 113 с.

37. Іншаков, А.П. Інформаційні засоби підвищення надійності використання мобільної техніки [Текст] / А.П. Іншаков, С.С. Капітонов, І.І. Курбаков та ін. // Сільський механізатор. - 2018. № 1. С. 41-49.

38. Колодочкін, М. Чим залити бензин [Текст] / М. Колодочкін, А. Шабанов // За кермом. - 2012. - №3 - С.144-148.

39. Комаров, В.А. Аналіз технічної оснащеності підприємств та готовності техніки [Текст]/В.А. Комаров, Є.А. Чуханзін // Сільський механізатор. 2018. №1. С. 12-13.

40. Коробова, Л.А. Математичне моделювання. Практикум [Текст]/Л.А. Коробова, Ю.В. Бугаєв, С.М. Черняєва та ін; наук. ред. Л.А. Коробова. - 2017. - 113 с.

41. Кувшинов, Г.І. Акустична кавітація біля твердих поверхонь [Текст]/Г.І. Кувшинов, П.П. Прохоренко. - Мінськ.: Наука та техніка, 1990. - 111 с.

42. Кудряшов, Б.А. Ультразвукове очищення деталей вантажного автомобіля як фактор підвищення ефективності ремонтних робіт [Текст]/Б.А. Кудряшов, Н.В. Атаманенко, Н.С. Дєєв // Вантажівка. 2019. №5. С. 37-40

43. Купряшкін, В.Ф. Стенд визначення сили тяги на ходових колесах малогабаритної техніки [Текст] / В.Ф. Купряшкін, А.С. Уланов, В.М. Купряшкіна, М.Г. Шляпніков, А.Ю. Гусєв, В.В. Купряшкін // механізатор. 2019. № 2. С. 38-39.

44. Лукачов, С.В. Математичні моделі та розрахунок розподілу палива в турбулентному потоці повітря за відцентровою форсункою [Електронний ресурс] / С.В. Лукачов, А.А. Діденко, І.А. Зубрилін та ін. - 2011. - Режим доступу: <http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Matematicheskie-modeli-i-raschet-raspredelenia-topliva-v-turbulentnom-potoke-vozduha-za-centrobeznoi-forsunkoi-Elektronnyi-resurs-elektron-ucheb-posobie-54926>

45. Ляховецький, А.М. Статистика: навчальний посібник [Текст] / А. М. Ляховецький, Є. В. Крем'янська, Н. В. Клімова. - : КНОРУС, 2016. - 362 с.

46. Marusin, AV Розвиток математичного моделювання і rationale для diagnosing diesel Engines moving injector needle / Marusin, AV, Danilov, IK, Khlopkov, SV, Marusin, AV, Uspenskiy, IA // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 422, 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming 17-18 October 2019, Voronezh, Російська Федерація.

47. Shaw CT, Using Computational Fluid Dynamics - Prentice Hall, 1992.
 -315 p.

48. Simulation of a Magnetic Injection Valve, Computer Simulation
 Technology

CST GmbH, <http://www.cst.com>, 2007.

49. Simulator of Electron Trajectory in Solids, version 2.42

50. <http://www.gel.usherbrooke.ca/casmo/index.html>

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України