

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: “**Розробка приладу для очистки форсунок  
двигунів типу FSI»**”

Виконав: студент групи Ат-22СП  
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”  
(шифр і назва)  
\_\_\_\_\_ Тарас Венгринович \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище)

Керівник: \_\_\_\_\_ Юрій Габрієль \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище)

Дубляни 2023

УДК 629.032

Венгринович Тарас Андрійович «Розробка приладу для очистки форсунок двигунів типу FSI»

//Кваліфікаційна робота. – Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2023. – 56 с.

Представлена типова структура та принципи формування паливо-повітряної суміші в системах безпосереднього впорскування палива для бензинових двигунів типу FSI. Розглянуто основні характеристики стендів, які доступні на ринку для діагностики та очищення паливних форсунок. Розроблено та виготовлено спеціальну установку, яка призначена для проведення діагностики та профілактики паливних форсунок систем типу FSI. Проведена діагностика та очищення паливних форсунок систем безпосереднього впорскування та отримано еталонну характеристику подачі палива форсункою. Наведено заходи з охорони праці, що стосуються постів технічного обслуговування та ремонту автомобілів. Обчислено вартість виготовлення розробленого стенду для діагностики та очистки паливних форсунок систем типу FSI.

табл. 4; рис. 19, бібліогр. джерел 23

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	4
ВСТУП .....	5
1 СИСТЕМИ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА ТИПУ FSI.....	6
1.1 Типова будова системи типу FSI.....	6
1.2 Переваги систем живлення із безпосереднім упорскуванням ..	8
1.3 Викиди відпрацьованих газів у системі FSI.....	10
1.4 Сумішоутворення.....	11
1.5 Паливні форсунки високого тиску .....	15
2 СТЕНДИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА ПРОМИВКИ ФОРСУНОК.....	19
2.1 CNC-605A LAUNCH .....	19
2.2 Autool CT150 .....	21
2.3 Стенд для діагностики та очистки форсунок Триумф 6М.....	22
2.4 TopAuto B14.....	24
2.5 Launch CNC-602 .....	25
2.6 Дослідний стенд для очистки паливних форсунок .....	27
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....	34
3.1 Методика проведення досліджень .....	34
3.2 Діагностика та промивка паливних форсунок Keihin .....	34
3.3 Діагностика та очистка форсунок Bosch .....	37
4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	42
4.1 Вимоги до приміщень.....	42
4.2 Вимоги до території.....	44
4.3 Охорона атмосферного повітря .....	45
4.4 Зберігання та використання паливо-мастильних матеріалів...	45
4.5 Розрахунок системи вентиляції .....	46
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	48
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

## ВСТУП

Сучасний світ базується на розгалуженій транспортній мережі, в якій головну роль відіграє легковий транспорт. Хоча пасажирські транспортні засоби значно покращилися за останні десятиліття, вони все ще сприяють забрудненню навколишнього середовища та глобальному потеплінню [1].

Отже, необхідні нові шляхи скорочення їх викидів. Крім того, більшість сучасних легкових транспортних засобів приводяться в рух двигуном внутрішнього згорання, який працює на невідновлюваних видах палива, таких як бензин або дизельне паливо, вироблене з сирової нафти. Однак такі викопні види палива мають обмежені ресурси, тому також існує необхідність скоротити витрату палива легкового транспорту. Таким чином, вдосконалення технології двигунів буде відігравати центральну роль у розробці більш ефективних і екологічно чистих пасажирських транспортних засобів. В останні роки альтернативи двигуну внутрішнього згорання, такі як електродвигуни і паливні елементи, привертають все більшу увагу. Хоча ці технології швидко розвиваються, і електромобілі, зокрема, завойовують досить велику частку ринку, проте двигун внутрішнього згорання залишається домінуючим джерелом живлення для легкових транспортних засобів.

Було розроблено кілька передових концепцій згорання, щоб зробити бензинові двигуни екологічно чистішими та ефективнішими. Одним з таких понять є пошарове горіння. У бензинових двигунах пошарове згорання підвищує паливну економічність. Однак він також має тенденцію виробляти високі викиди твердих частинок і може зменшити стабільність горіння. Ці проблеми в основному виникають тому, що стратифіковане спалювання включає складний процес змішування, який генерує гетерогенну повітряно-паливну суміш як з багатими, так і з бідними регіонами [2].

У даній роботі ми запропонуємо стенд для діагностики та очищення паливних форсунок даних систем, оскільки вони відіграють суттєву роль у процесі роботи двигуна.

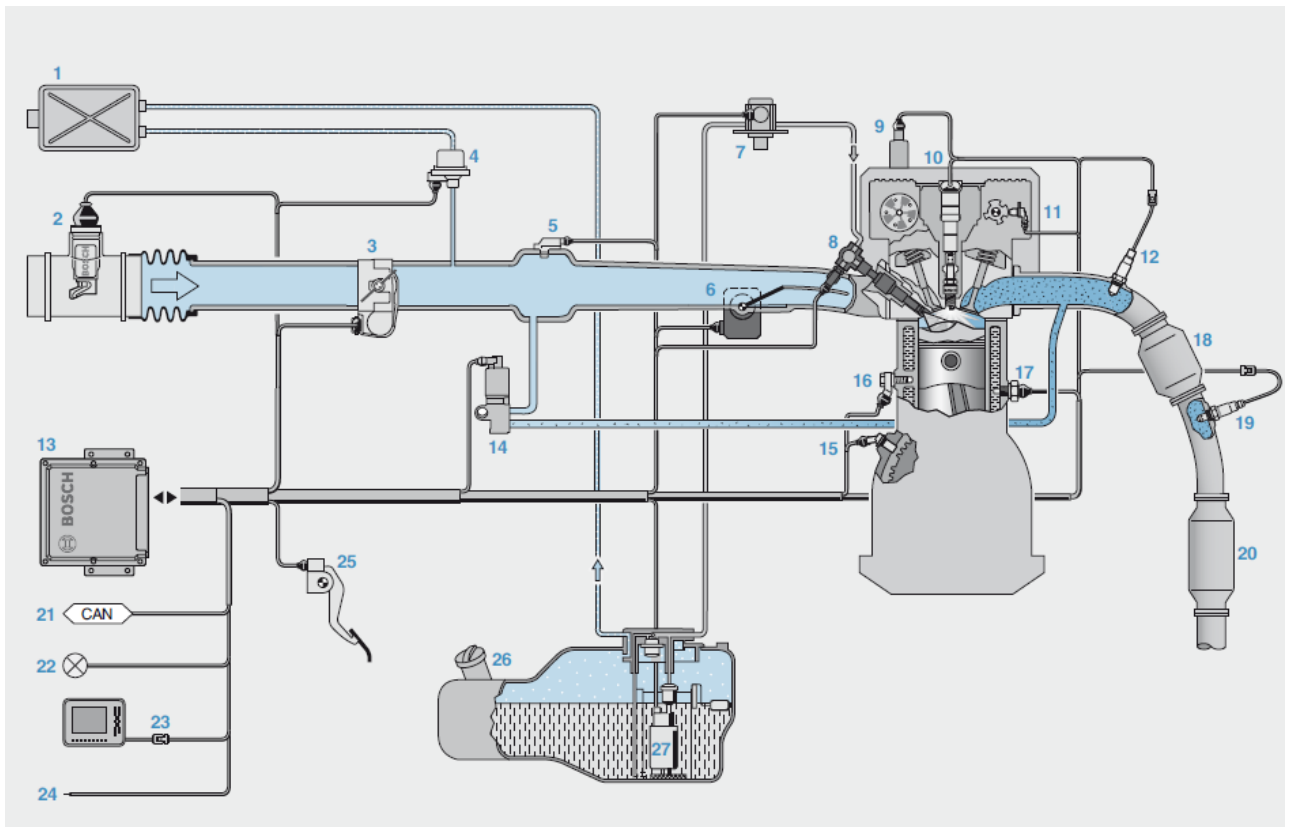
# 1 СИСТЕМИ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА ТИПУ FSI

Бензинові двигуни прямого впорскування (FSI) дають ряд особливостей, які не могли бути реалізовані у звичайних інжекторних двигунах: уникнення пливки паливної стінки в колекторі, підвищена точність співвідношення повітря/паливо під час динамічних режимів, зниження дроселювання втрат газообміну за допомогою пошарової та однорідної збідненої роботи, вищий тепловий ККД за рахунок пошарової роботи та збільшення ступеня стиснення, зниження витрати палива і викидів CO<sub>2</sub>, зниження тепловтрат, швидкий нагрів каталізатора за рахунок додаткового впорскування палива під час фази робочого ходу, підвищення продуктивності і об'ємної ефективності за рахунок охолодження повітряного потоку, кращі характеристики холодного пуску і кращий комфорт їзди [3].

## 1.1 Типова будова системи типу FSI

Система управління двигуном складається з електронного блоку управління, датчиків і виконавчих механізмів. Блок управління двигуном постійно вибирає один з режимів роботи в залежності від робочої точки двигуна і даних датчика. Електронний блок керування (ЕБК) керує виконавчими механізмами для вхідних сигналів, що посилаються датчиками. Всі виконавчі механізми двигуна управляються ЕБК, який регулює функції впорскування палива і кут випередження запалювання, роботу на холостому ходу, систему EGR, систему вловлювання пари палива, електричний паливний насос і роботу інших систем. Додавання цієї функції до ЕБК вимагає значного збагачення його обробки та пам'яті, оскільки система управління двигуном повинна мати дуже точні алгоритми для хорошої продуктивності та керованості.

Будова системи прямого вприскування палива наведена на рис. 1.1 [4].



1 - бак, що містить активоване вугілля; 2 - пристрій для вимірювання маси повітря з гарячою плівкою; 3 - електронно-керований дросельний пристрій (ETC); 4 - клапан продувки каністри; 5 - датчик тиску у впускному колекторі; 6 - регулюючий клапан для створення вихрового потоку; 7 - насос високого тиску; 8 - рейка з високотисковою паливною форсункою; 9 - регулятор розподільного вала; 10 - іскрова котушка разом з запальною свічкою; 11 - датчик фази розподільного вала; 12 - широкосмуговий лямбда-датчик (LSU); 13 - блок керування Motronic; 14 - клапан рециркуляції відпрацьованих газів (EGR); 15 - датчик положення колінчастого вала; 16 - датчик детонації; 17 - датчик температури двигуна; 18 - первинний каталітичний нейтралізатор; 19 - лямбда-датчик; 20 - вторинний каталітичний нейтралізатор; 21 - CAN-інтерфейс; 22 - світловий індикатор діагностики; 23 - діагностичний інтерфейс; 24 - інтерфейс з блоком управління імобілайзера; 25 - модуль педалі акселератора; 26 - паливний бак; 27 - модуль подачі палива з електричним насосом.

Рисунок 1.1. Компоненти, що використовуються для електронного управління в системі MED-Motronic компанії Bosch.

В якості вхідних сигналів в системі використовуються такі датчики: датчик масової витрати повітря, датчик температури впускного повітря, датчик температури двигуна, датчик тиску впускного колектора, датчик швидкості обертання двигуна, датчик положення розподільного вала, датчик положення дросельної заслінки, датчик положення педалі акселератора,

датчик тиску палива в рейці, датчик детонації, широкосмуговий лямбда-датчик первинного каталітичного нейтралізатора, лямбда-датчик після первинного каталітичного нейтралізатора, датчик температури відпрацьованих газів, лямбда-датчик після основного каталітичного нейтралізатора.

Вихідні сигнали блока керування надходять до таких елементів: паливні форсунки, котушки запалювання, електронна дросельна заслінка, електричний паливний насос, клапан регулювання тиску палива, клапан EGR, клапан системи вловлювання парів палива та керування вентилятором системи охолодження двигуна.

Навантаження на двигун в основному визначається датчиком масової витрати повітря. Визначення потоку газів системи EGR і її діагностика здійснюються за допомогою датчика тиску впускного колектора. Співвідношення повітря/паливо регулюється за допомогою широкосмугового лямбда-датчика, що знаходиться перед первинним каталітичним нейтралізатором. Система каталізатора діагностується двостановим лямбда-датчиком і датчиком температури відпрацьованих газів. Обов'язковим компонентом є електронний дросельний пристрій для управління різними режимами роботи [5].

## **1.2 Переваги систем живлення із безпосереднім упорскуванням**

Параметри, які мають найбільший вплив на ефективність двигуна, - це ступінь стиснення і співвідношення повітря/паливо. Ефект підвищення ступеня стиснення полягає у збільшенні вихідної потужності та зменшенні витрати палива. Максимальний ККД (або мінімальна питома витрата палива) відбувається з сумішшю, яка менше стехіометричної. Оскільки стандартні інжекторні двигуни працюють при стехіометричному співвідношенні повітря/паливо, неможливо поліпшення економії палива. У цих двигунах ступінь стиснення становить близько 9/1-10/1. Щоб запобігти стуку, ступінь стиснення не можна збільшувати більше. При тому ж обсязі двигуна зростаючий об'ємний ККД також підвищує вихідну потужність двигуна [6].

Двигуни FSI працюють з бідною сумішшю і недросельовані при часткових навантаженнях, ця операція забезпечує значне поліпшення паливної економічності. При повному навантаженні, оскільки двигун FSI працює з однорідним зарядом і стехіометричною або трохи багатою сумішшю, цей двигун дає кращу вихідну потужність. У двигуні FSI паливо впорскується в циліндр до того, як свічка запалювання подає іскру при низьких і середніх навантаженнях. При такій умові співвідношення повітря/паливо (A/F) в циліндрах змінюється, тобто суміш перед свічкою запалювання багата, в інших місцях бідна. У всіх циліндрах співвідношення A/F є збідненим, а співвідношення A/F може бути доступним до 40/1 [4]. При однорідній роботі паливо починає впорскуватися в циліндр на такті впуску при повному навантаженні. Паливо, яке впорскується у камеру згоряння, випаровується в циліндрі. Випаровування палива охолоджує впускний заряд. Ефект охолодження дозволяє підвищити ступінь стиснення та збільшити об'ємну ефективність і, таким чином, отримати більший крутний момент. У двигунах FSI ступінь стиснення може становити до 12/1. Детонації не відбувається, тому що при низьких і середніх навантаженнях стискається тільки повітря. При повному навантаженні, оскільки паливо впорскується в циліндр, повітря, що надувається охолоджується, а це, в свою чергу, знижує тенденцію до детонації

Оскільки транспортні засоби використовуються, як правило, в міському русі, дослідження щодо поліпшення економії палива для міського водіння збільшилися. Двигуни працювали, як правило, при часткових навантаженнях (низьких і середніх навантаженнях) при міському їзді. Об'ємний ККД нижче при навантаженнях на деталі, тому ефективний ступінь стиснення двигуна зменшується (наприклад, з 8/1 до 3/1-4/1), знижується ефективність двигуна і збільшується витрата палива. Економія палива для міського водіння транспортних засобів дуже висока. Різниця між економією палива на шосе транспортних засобів дуже невелика. Оскільки більшість терміну служби транспортних засобів проходить у міському русі, власники транспортних засобів віддають перевагу транспортним засобам, економія палива для міських



водінь низька. При повному навантаженні, оскільки двигун FSI працює з дросельною заслінкою, до двигуна PFI можна отримати лише невелике зниження витрати палива. Існує більший потенціал економії палива при частковому навантаженні. На такті стиску, оскільки повітря подається в циліндри без дросельної заслінки для режиму пошарового заряду, втрати на дроселювання двигуна FSI при навантаженнях на деталі мінімальні.

Поліпшення теплової ефективності отримані в результаті зниження втрат на дроселювання, більш високих ступенів стиснення і подальшого розширення збідненої робочої межі в умовах шаруватого згоряння при низьких навантаженнях на двигун. У бензинових двигунах витрата палива може бути зменшена до 20%, а вихідна потужність на 10% може бути досягнута в порівнянні з традиційними двигунами MPI.

### **1.3 Викиди відпрацьованих газів у системі FSI**

Викид CO двигуна дуже низький у двигуні FSI. CO змінюється в залежності від співвідношення повітря/паливо. CO високий при багатих сумішах. Оскільки двигуни FSI працюють з збідненою сумішшю при часткових і стехіометричною сумішшю при повному навантаженні, викиди CO не є проблемою для цих двигунів. У двигуні FSI через змочування стінок поршня і циліндра рідким паливом може збільшитися викид HC. Викиди вуглеводнів (HC) є функцією оберненою до температури двигуна і, отже, вона може підвищуватися під час холодного запуску. Характеристики холодного пуску змінюються в залежності від характеристик розподілу палива, руху повітря в циліндрі, пароутворення палива і змішування палива з повітрям. Під час холодного запуску двигуна FSI може бути використана гомогенне сумішоутворення, що спричиняє зростання температури відпрацьованих газів, що призводить до скорочення часу нагрівання каталізатора та меншого викиду двигуном HC. Виділення сажі бензиновими двигунами може відбуватися лише при дуже багатих сумішах. Однак двигуни FSI виділяють сажу при пошаровому сумішоутворенні, оскільки в циліндрі можуть бути ділянки з дуже багатими сумішами. Крім того, в двигуні FSI, якщо сумішоутворення не

реалізується при повних навантаженнях за рахунок насиченої суміші, виділення сажі може збільшитися. Викиди  $\text{NO}_x$  є максимальним при високих температурах циліндрів і при  $\lambda = 1,1$ . Зі збільшенням крутного моменту температура підвищується і, в свою чергу, викиди  $\text{NO}_x$  двигуном збільшуються, особливо при повному навантаженні.

#### 1.4 Сумішоутворення

Особливістю систем безпосереднього впорскування є те, що паливо-повітряна суміш утворюється безпосередньо в циліндрі, тобто паливо впорскується безпосередньо в циліндри під високим тиском.

Під час такту впуску з відкритого впускного клапана надходить тільки повітря, що надходить в циліндр. Це забезпечує кращий контроль процесу впорскування і, зокрема, забезпечує впорскування палива пізніше під час такту стиску, коли впускні клапани закриті. Оскільки в двигунах FSI бракує часу на випаровування палива, паливо впорскується в циліндр під дуже високим тиском, щоб допомогти процесу розпилення та випаровування. Тривалість часу впорскування невелика; вдосконалений процес уприскування призводить до змочування поршня і зменшення часу впорскування зменшують достатній час для змішування палива і повітря. Крім того, впорскування палива безпосередньо в камеру згоряння дозволяє уникнути таких проблем, як збільшення HC і подача надлишкового палива в двигун [7].

Для двигунів FSI реалізовано два основних режими заряду, пошаровий та гомогенний заряд. В умовах часткового навантаження використовується пошарове сумішоутворення (пізні уприскування), тобто під час такту стиску впорскується паливо для утворення пошарового заряду. Двигун може працювати при співвідношенні повітря-паливо, що перевищує 100, і можлива повністю робота без дросельної заслінки, але двигун трохи піддається дроселюванню в цій зоні, і співвідношення повітря-паливо контролюється в діапазоні від 30 до 40, щоб ввести велику кількість рециркуляції вихлопних газів (EGR) і подати вакуум для гальмівної системи. Для більш високих умов навантаження кращий однорідний тип сумішоутворення (ранне

впорскування), тобто паливо впорскується під час такту впуску так, щоб забезпечити однорідну суміш. У більшій частині цього режиму двигун працює в стехіометричному або трохи збагаченому режимі при повному навантаженні. В умовах найменшого навантаження в цьому режимі двигун експлуатується в однорідних збіднених сумішах з повітряно-паливним співвідношенням від 20 до 25 для подальшого поліпшення паливної економічності. При роботі з однорідним зарядом регулювання навантаження двигуна здійснюється дроселюванням, в той час як при роботі з пошаровим зарядом двигун працює з необмеженими умовами, а навантаження двигуна регулюється співвідношенням палива/повітря. На рис.1.2 показані гомогенний (раннє впорскування) і пошаровий режими заряду (пізнє впорскування) [8].

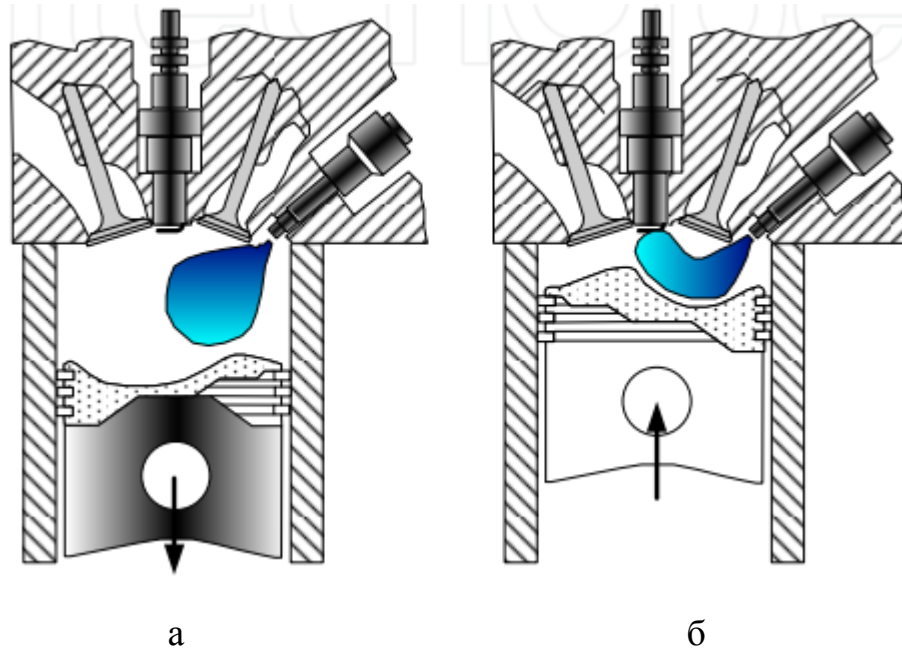


Рисунок 1.2 – Однорідний (а) і пошаровий (б) режим заряду.

При пошаровому сумішоутворенні використовуються три типи згорання для утворення займистої суміші біля свічки запалювання при миттєвому запалюванні. Це пристінні (wall-guided), повітряні (air-guided) та розпилювальні (spray-guided) системи згорання, рис. 1.3. Відмінність між різними поняттями полягає в використовуваному методі, за допомогою якого паливний потік надходить до свічки запалювання [9].

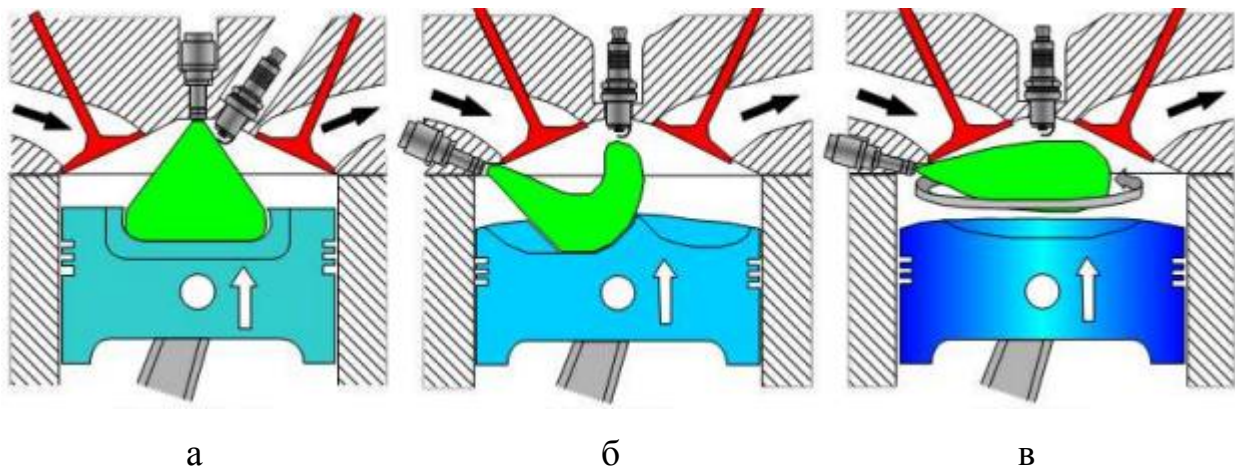
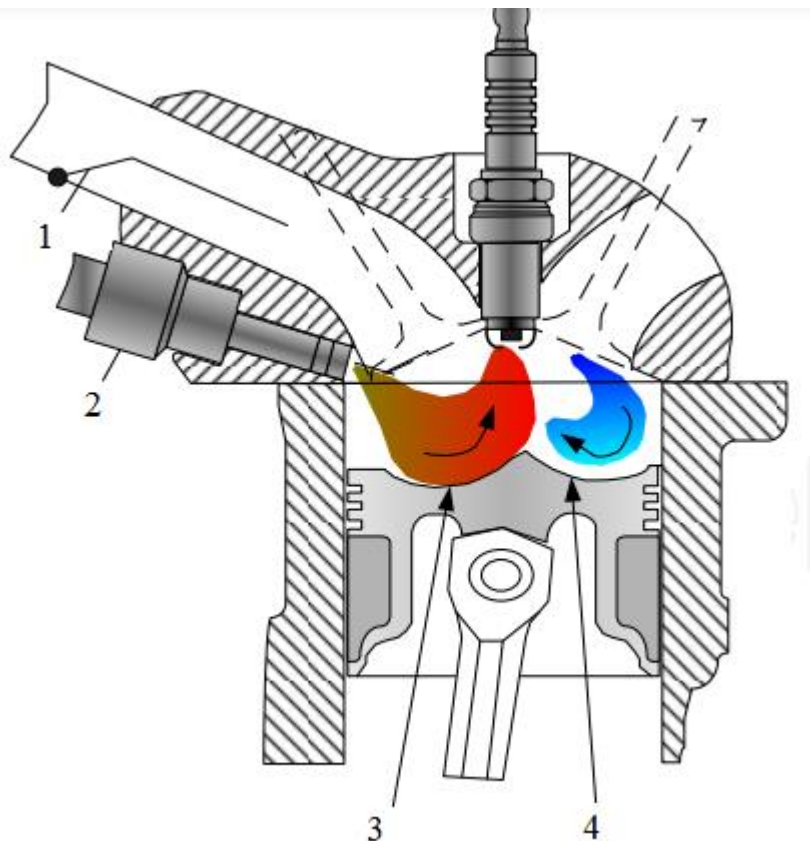


Рисунок 1.3 – Пристінні (а), повітряні (в) та розпилювальні (б) системи згоряння при пошаровому заряді

Пристінна система згоряння: паливо транспортується до свічки запалювання за допомогою поршневої поверхні спеціальної форми. У міру впорскування палива на поверхню поршня воно не може повністю випаруватися і, в свою чергу, збільшуються викиди НС і СО та витрата палива. Використовувати цю систему самостійно не ефективно [3].

Повітряна система згоряння: паливо впорскується в повітряний потік, який переміщує паливні бризки поблизу свічки запалювання. Повітряний потік виходить за допомогою вхідних отворів спеціальної форми, а швидкість руху повітря регулюється повітряними перегородками в колекторі. У цій техніці паливо не змочує поршень і циліндр. Більшість двигунів FSI використовують великомасштабний рух повітря (завихрення), а також спеціально сформовану поверхню поршня для того, щоб зберегти розпилення палива компактным і перемістити його на свічку запалювання [6].

Система сумішоутворення VW з прямим впорскуванням являє собою комбінацію двох систем - пристінної керованої та керованої повітрям - за допомогою перекидання потоку повітря. Ця система менш чутлива до циклічних коливань повітряного потоку. Дана система горіння показує переваги як в пошаровому, так і в гомогенному режимі сумішоутворення. Інжектор розміщений на стороні впуску, рис. 1.4 [10].



1 – вихрові заслінки; 2 – форсунка; 3,4 – пристінна та повітряна системи сумішоутворення.

Рисунок 1.4 – Система згоряння з повітряним та пристінним згорянням двигуна Volkswagen FSI.

Паливо впорскується в поршень під заданим кутом. Поршень має дві чаші. Паливна чаша знаходиться на впускній стороні; Повітряна чаша знаходиться на стороні випуску. Повітряний потік виходить за допомогою спеціального впускного отвору. Паливо направляється одночасно по повітряній і паливній чаші на свічку запалювання [11].

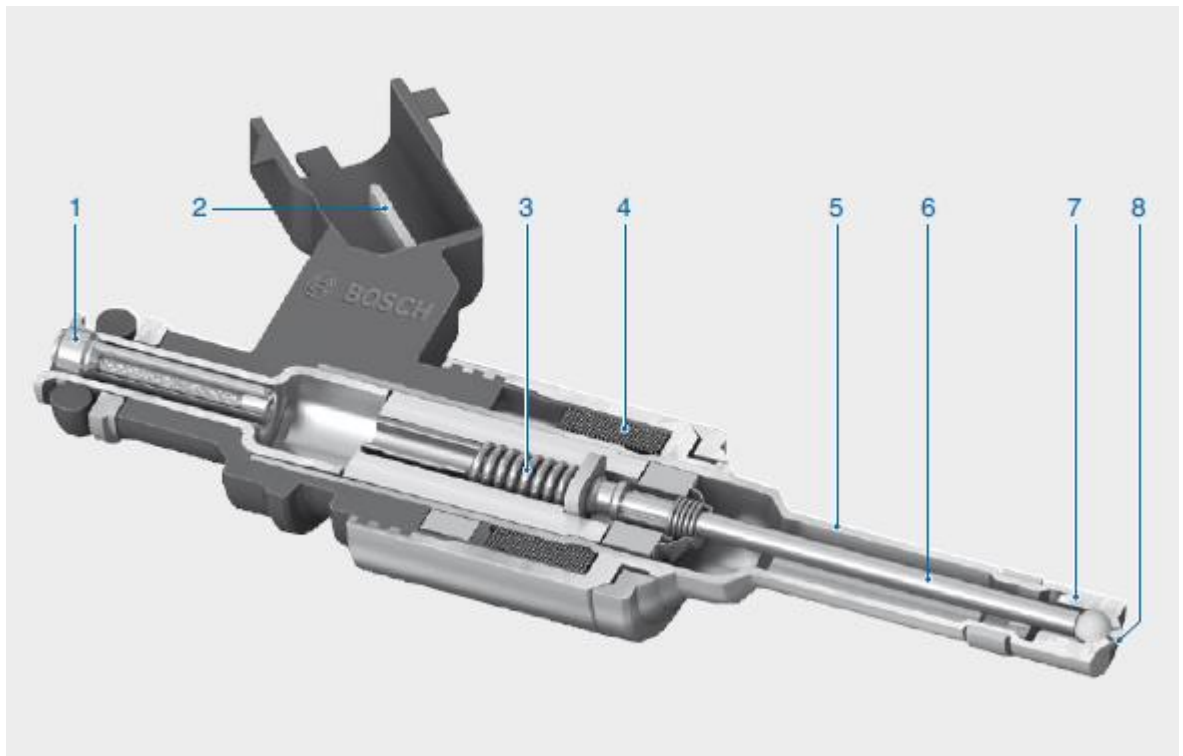
Система згоряння з розпиленням: у техніці з розпиленням паливо впорскується біля свічки запалювання, де воно також випаровується. Техніка з наведенням розпилення теоретично має найвищу ефективність. Процес згоряння, керований розпиленням, вимагає передових систем впорскування, таких як п'єзоінжектори. Ця техніка має деякі переваги: зменшене змочування стінок, збільшена шарувата робоча область, менш чутлива до потоку повітря в циліндрі, менш чутлива до зміни розміру циліндра та зменшені викидів НС.

Зазначеними недоліками є надійність свічок запалювання (забруднення) та низька надійність (висока чутливість до змін кута випередження запалювання та уприскування). Mercedes-Benz розробив нову систему згоряння з напиленням [12]. Цю систему має двигун Stratified-Charge Gasoline Injection (CGI) з технологією впорскування Piezo. Впорскування з розпиленням забезпечує кращу паливну ефективність, ніж звичайні пристінні системи прямого впорскування. Основна перевага двигуна CGI виходить при стратифікованому режимі роботи. Під час цього режиму двигун працює з великим надлишком повітря і таким чином забезпечується відмінна паливна економічність. Багаторазові впорскування розширюють цей режим роботи з бідною сумішшю до більш високих оборотів і діапазонів навантаження. Під час кожного такту стиску робиться серія впорскувань з інтервалом всього в частки секунди. Це забезпечує краще утворення суміші та згоряння, а також меншу витрату палива [10].

### **1.5 Паливні форсунки високого тиску**

Функція паливних форсунок високого тиску (HDEV) полягає, з одного боку, у подачі дозованої кількості палива, а з іншого - у максимальному розпилюванні палива і контролі сумішоутворення в певних зонах камери згоряння. Залежно від бажаного процесу згоряння, паливо або концентрується в зоні електродів свічок запалювання (пошарове згоряння), або рівномірно розподіляється по об'єму камери згоряння (гомогенне згоряння).

Паливна форсунка високого тиску (рис. 1.5) встановлюється в головці блоку циліндрів з боку впускного колектора. Паливні форсунки високого тиску впорскують паливо безпосередньо в циліндри двигуна під високим тиском. Результат такого розташування – розпилення якомога більшої кількості палива за відносно короткий час. Спосіб подачі палива залежить від поточного режиму роботи двигуна.



1 – вхідний паливний штуцер; 2 – електричний роз’єм; 3 – пружина; 4 – електромагнітна обмотка; 5 – корпус форсунки; 6 – голка розпилювача; 7 – ущільнення; 8 – розпилювач.

Рисунок 1.5. Будова форсунки високого тиску(Bosch).

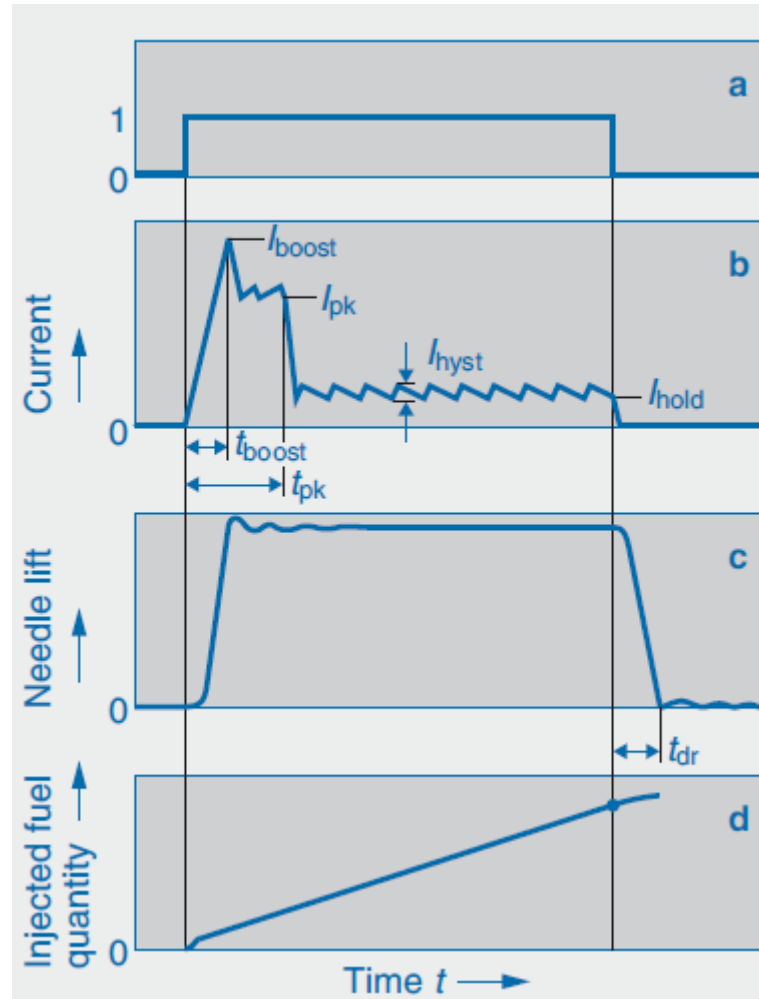
У випадку шаруватої суміші паливо повинно бути спрямоване до електродної частини свічки запалювання, в той час як у випадку гомогенної суміші воно повинно бути рівномірно розподілене по всьому циліндру двигуна. Для найкращого розподілу палива при утворенні шаруватої суміші конус факела розпилення повинен бути нахилений під кутом  $70^\circ$ , а вісь конуса - під кутом  $20^\circ$  від горизонтальної площини.

Паливні форсунки високого тиску повинні працювати з дуже складними кривими струму, щоб відповідати вимогам визначеного і повторюваного процесу впорскування палива (рис. 1.6). Мікроконтролер у блоці керування двигуном забезпечує лише цифровий сигнал запуску (а). Модуль виводу (ASIC) використовує цей сигнал для формування сигналу запуску (b) для паливної форсунки [13].

DC/DC-перетворювач блоку керування двигуном генерує високу напругу живлення (бустер) 65 В. Ця напруга необхідна для того, щоб підняти струм до більш високого значення якомога швидше під час фази форсування.



Це необхідно для того, щоб якомога швидше прискорити процес підйому голок форсунок. Під час фази підйому ( $t_{pk}$ ) голка клапана досягає максимального підйому відкриття (с) і протікає струм до 13 А. Коли паливні форсунки відкриті, зазвичай достатньо невеликого керуючого струму (струму утримання) 3-4 А.

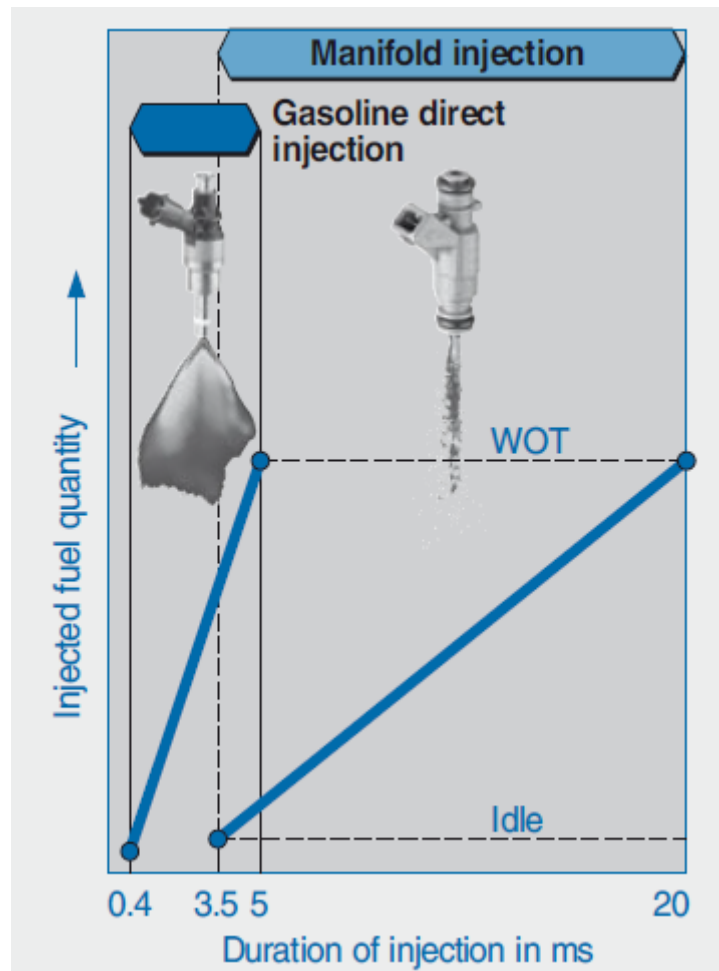


Time – час; Injected fuel quantity – кількість впорскуваного палива;  
 Needle lift – хід розпилювача; Current – струм.  
 Рисунок 1.6. Процес впорскування палива форсункою (Bosch).

Коли струм протікає через обмотки електромагніту інжектора, навколо форсунок створюється магнітне поле, яке втягує голки інжектора в себе і піднімає їх з гнізда. Так відбувається впорскування палива. Коли електромагнітна обмотка знеструмлюється, магнітне поле зникає, і голка форсунки під дією пружини притискається до сідла, припиняючи впорскування палива.



Система керування двигуном за допомогою вбудованої процедури самодіагностики може виявити несправність форсунки на основі зазору займання паливно-повітряної суміші в циліндрі двигуна і припинити подачу керуючого сигналу на несправну форсунку, щоб запобігти руйнуванню каталізатора. Відповідна помилка фіксується в реєстраторі несправностей.



Injected fuel quantity – кількість впорскуваного палива; Duration of injection in ms – час впорскування палива, мс; Gasoline direct injection – система безпосереднього впорскування; Manifold injection – традиційна система впорскування; Idle – холостий хід; WOT – режим повного навантаження.

Рисунок 1.7. Порівняння продуктивності стосовно часу впорскування форсунки типу FSI та звичайної форсунки(Bosch).

На рис. 1.7 порівнюються характеристики інжекторів з безпосереднім впорскуванням палива та звичайних інжекторів щодо часу впорскування. Як видно, форсунка FSI забезпечує час впорскування, який приблизно в чотири рази менший, ніж у звичайних форсунок [4].

## 2 СТЕНДИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА ПРОМИВКИ ФОРСУНОК

В даному розділі розглянемо прилади для діагностики та промивки форсунок, які присутні на ринку та запропонуємо розроблений власноруч прилад.

### 2.1 CNC-605A LAUNCH

Випробувальна машина розроблена для комплексної діагностики форсунок. За допомогою даної машини можна діагностувати та промивати широкий спектр форсунок. Принцип роботи стенда полягає у використанні спеціального обладнання, яке забезпечує контроль тиску палива, часу відкриття форсунок, а також можливість промивки форсунок від забруднень [13].



Рисунок 2.1. Стенд CNC-605A LAUNCH

Для випробування конкретних типів форсунок пропонуються спеціальні інструменти.

Основні переваги пристрою: стенд оснащений спеціальним програмним забезпеченням, яке забезпечує контроль та діагностику форсунок. Воно дозволяє оператору контролювати параметри промивки, перевірки та діагностики форсунок. Також він має вбудований дисплей, на якому відображаються дані про стан форсунок, такі як тиск палива, час відкриття форсунок та інші параметри. Оснащений вбудованою системою, яка забезпечує точний контроль тиску палива для форсунок. Це дозволяє встановлювати і підтримувати оптимальний тиск палива для кожної форсунки. Одночасно може перевіряти до 6 форсунок.

Функції управління форсункою.

Привідна схема підходить для широкого спектру форсунок.

- Напруга живлення 110-220 В
- Струм керування (соленоїд) 0-20 А
- Струм заряду (п'єзо) 0-3 А
- Профіль струму приводу: регульований
- Тиск тестувальної рідини 0.01-1МПа
- Тиск повітря 0.5-0.8 МПа
- Діапазон оборотів 10-9990 об\хв
- Тривалість імпульсу включення форсунок 0.5-25 мс(крок 0.1)
- Робочий об'єм 3000 мл

Фізичні характеристики:

- Суха вага 18.5 кг
- Розміри Д 500 мм, Ш 400 мм, В 200 мм

Система випробувальної рідини: сумісність з рідинами 8802012 - рідина для форсунок Hartridge D80; ємність баку 3 л; фільтрація баку 2 мкм (MANN WK712-2 або сумісний); фільтрація вимірювального пристрою 7 мкм.

Ціна 50400 грн.

## 2.2 Autool CT150



Рисунок 2.2. Стенд Autool CT150.

Технічні характеристики [3]: кількість посадочних місць форсунок - 4 шт. ; час очищення - 30 хв.; напруга мережі - 220 В; ємність бачка розчину для чищення - 140 мл; ємність бачка перевіркової рідини – 2500 мл.; витрата розчину для чищення - 80 ... 150 мл.; тиск в режимах – 0... 5 атм.; габаритні розміри (ДхШхГ) - 225x320x300 мм.; вага - 15 кг.; гарантія - 12 міс.

Функціональні можливості:

очищення бензинових форсунок: FSI, TSI, FSI, IDE, DISI, ECOBOOST;

очищення бензинових форсунок: Європа / Японія / Америка;

очищення бензинових форсунок з поздовжньою подачею палива / бічною подачею палива / монорисуку.

Autool CT150 дозволяє точно контролювати розподіл палива та тиск форсунок. Він може проводити тестування та налаштування форсунок з високою точністю; режим чищення клапана холостого ходу; перевірка герметичності форсунок; регулювання тиску промивної рідини; індикатор

тиску заливного бачка промивної рідини; окремий заливний бачок під промивну рідину; Завдяки прецизійному контролю розподілу палива та тиску форсунок, СТ150 дозволяє налаштовувати форсунки з високою точністю. Це особливо важливо для досягнення оптимального спалювання палива та зменшення викидів шкідливих речовин.

Ціна: 16 300 грн.

### 2.3 Стенд для діагностики та очистки форсунок Тріумф 6М



Рисунок 2.3. Стенд Тріумф 6М

Стенд для діагностики і очищення форсунок бренду представлений у вигляді мобільного 15-кілограмового блоку, що встановлюється на робочу поверхню столу або візок для ручного інструменту [4].

Прилад призначений для тестування і очищення форсунок двигунів внутрішнього згоряння з класичним інжекторним уприскуванням палива.

Вбудований мікрокомп'ютер з цифровим дисплеєм і наявність кнопок управління розширюють функціонал обладнання і спрощують тестування з очищенням.

Стенд для діагностики і очищення форсунок вміє працювати одночасно з шістьма форсунками.

В можливості цього приладу входить: очистка бензинових форсунок Америка/Японія/Європа

Одночасний замір опору зразу декількох форсунок; динамічна перевірка витрат; автоматичний режим очистки; ручний режим очистки; турбо режим очистки; система (антиудар); режим чистки клапана холостого ходу; перевірка герметичності форсунок; безрозбірна очистка форсунок; регулювання тиску рідини; індикатори тиску зливних бачків; електронне управління гідравлічною системою.

Зроблений з якісної інструментальної сталі стенд для діагностики гарантує власнику обладнання надійність і довговічність в експлуатації.

#### ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Опір форсунок 2-25 Ом.

Живлення 220 В.

Час очистки 30 хв

Тиск компресора 0-5 атм.

Вага 15 кг.

Габарити :370x295x333.

Ємність баку 700мл

Ціна: 35203 грн.

## 2.4 TopAuto B14



Рисунок 2.4. Стенд промивання інжекторів «TopAuto B14»

Установка ультразвукова для перевірки та промивання 4 форсунок TopAuto B14 призначена для контролю та стеження за станом систем упорскування бензину (системи FSI, FSI, встановлені на машини VW, FORD, PSA, MITSUBISHI, TopAuto B14 ALFA ROMEO та ін.) та нових інжекторів систем GPL [5]. Широко використовуються в різних автосервісах і на станціях технічного обслуговування автомобілів, у тому числі невеликих (це дозволяє компактний розмір установки).

Режими роботи:

- Ультразвукова очистка
- Перевірка моно-форсунок
- Перевірка форсунок L-jetronic
- Перевірка форсунок FSI/FSI
- Перевірка форсунок на герметичність



- Перевірка факелу розпилювання форсунки
- Регулювання оборотів двигуна з показаннями LED
- Регулювання часу впорску (2/4/6)мс

Ціна 134 000 грн.

## 2.5 Launch CNC-602



Рисунок 2.5. Установка CNC-602

CNC-602 від Shenzhen Launch Tech Co., Ltd. може очищати і тестувати паливні форсунки в режимі, який повністю імітує їх роботу на двигуні [6]. Він також дозволяє промивати паливну систему та форсунки автомобіля без зняття двигуна, що економить значну кількість часу. Якість промивання забезпечується ультразвуковою технологією, а точність результатів тестування - мікропроцесорним контролем часу впорскування і тиску палива



в замкнутому контурі. Автоматизація всього процесу і проста панель управління забезпечують легку і зручну експлуатацію.

Режими роботи:

- Ультразвукове очищення форсунок: Повне видалення органічних відкладень за один прийом за допомогою випромінювача потужністю 100 Вт.
- Перевірка балансу продуктивності і факела розпилу: одночасне вимірювання відносної і індивідуальної продуктивності 6-ти форсунок.
- Перевірка герметичності: Перевіряється візуально при максимально допустимому робочому тиску.
- Перевірка витрати: Відповідність продуктивності форсунки паспортному значенню перевіряється установкою необхідного тиску і тривалості упорскування на панелі приладу і подальшим контролем об'єму пропущеної форсункою рідини. Автоматична перевірка: перевірка форсунок при імітації режимів роботи на автомобілі.
- Промивання на автомобілі: Дозволяє чистити форсунки і систему подачі палива автомобіля. Підключення приладу до паливної системи будь-якого автомобіля вкрай нескладно і дозволяє економити час. Відповідний набір адаптерів входить в комплект поставки.
- Переваги: основні переваги ультразвукової мийки та очистки перед усіма відомими методами видалення забруднень наступні: швидкість і висока якість очищення, механізація трудомістких ручних операцій, виняток дорогих токсичних і вибухонебезпечних розчинників і заміна їх більш прийнятними лужними розчинами, обробка виробів складної конфігурації, можливість в ряді випадків видаляти забруднення, що не піддаються видаленню іншими методами. Дія ультразвуку в основному позначається на

прискоренні процесу розчинення забруднень в розчинниках, доставці свіжих порцій розчинника до забрудненим поверхням і видаленні відокремилися часток забруднень із зони очищення. Як правило, очищення в ультразвукової ванні повністю відновлює форсунки за один прийом.

- Тиск робочої рідини підтримується комп'ютером з високою точністю у всьому робочому діапазоні, що дозволяє адаптувати прилад до будь-якого автомобіля з уприскуванням палива. Процес тестування форсунок повністю автоматизований.
- Автоматичне спустошення мірних склянок без зняття форсунок і розгерметизації трубопроводу, що подає економить час і допомагає утримувати прилад в чистоті.
- Робочі умови: температура:  $-10 \sim +40^{\circ}\text{C}$ ; відносна вологість: 85%; напруженість магнітного поля: 400А/м; відсутність полум'я в радіусі 2м.
- Технічні характеристики: живлення від мережі змінного струму:  $\sim 220\text{В} \pm 10\%$ , 50 / 60Гц;  $\sim \text{AC}110\text{В} \pm 10\%$ , 50 / 60Гц ; потужність: 250Вт; потужність ультразвукового випромінювача: 100Вт; діапазон числа обертів: 10 ... 9990  $\text{хв}^{-1}$ ; крок: 10  $\text{хв}^{-1}$ ; установка таймера: 1 ... 9999 с; ширина імпульсу впорскування: 0.5 ... 25мс; крок 0.1 мс; ємність баку: 4700мл; габаритні розміри: 385мм  $\times$  410мм

Ціна 32 760 грн.

## 2.6 Дослідний стенд для очистки паливних форсунок

Таким чином, на ринку існує досить багато різних типів стендів для діагностики та очищення інжекторів бензинових двигунів, з різною функціональністю та ціновим діапазоном. Ми поставили собі за мету розробити стенд, який був би відносно недорогим, але при цьому пропонував широкий спектр функцій. Основними вимогами були простий

користувальницький інтерфейс, можливість вимірювання опору форсунок, режими роботи, придатні як для форсунок прямого впорскування, так і для форсунок звичайних систем впорскування, зміна часу огляду і очищення, зміна часу впорскування і зміна частоти впорскування (імітація швидкості обертання).

Наявність ультразвукового очищення не є обов'язковою, оскільки досить багато форсунок систем прямого впорскування мають тефлонове покриття, а ультразвукове очищення може пошкодити тефлонове покриття. Для використання на стендах ми вважаємо, що окрема ультразвукова ванна може бути використана в звичайних умовах.

Виходячи з вищесказаного, була підготовлена електрична схема стенду для перевірки та очищення форсунок бензинових двигунів, як показано на рис. 2.6.

Схема реалізована на базі мікроконтролера Atmega 8535. Таким чином, наш пристрій має потенціал для подальшого вдосконалення (в майбутньому), а програмний код може бути легко модифікований. Крім того, схема містить стабілізатор напруги живлення 5 В 7805 для живлення мікроконтролера і плати дисплея; мікросхема ULN2003 використовується як драйвер для керування виконавчими пристроями (тут - реле, що живляться від 12 В). Також є мікросхема KP1533, яка діє як попередній драйвер для керування транзисторами вихідного каскаду, таким чином керуючи процесом впорскування. Ця мікросхема також може бути використана для отримання ШІМ-сигналів управління, використовуючи лише один вихід мікроконтролера для всіх виходів інжектора.

Керуючий сигнал на форсунки FSI подається наступним чином: на час 0,6 мс подається постійний сигнал 12 В, а потім модульований ШІМ-сигнал з коефіцієнтом заповнення 40% для запобігання перегріву форсунок, оскільки вони мають низьке значення опору котушок [19].

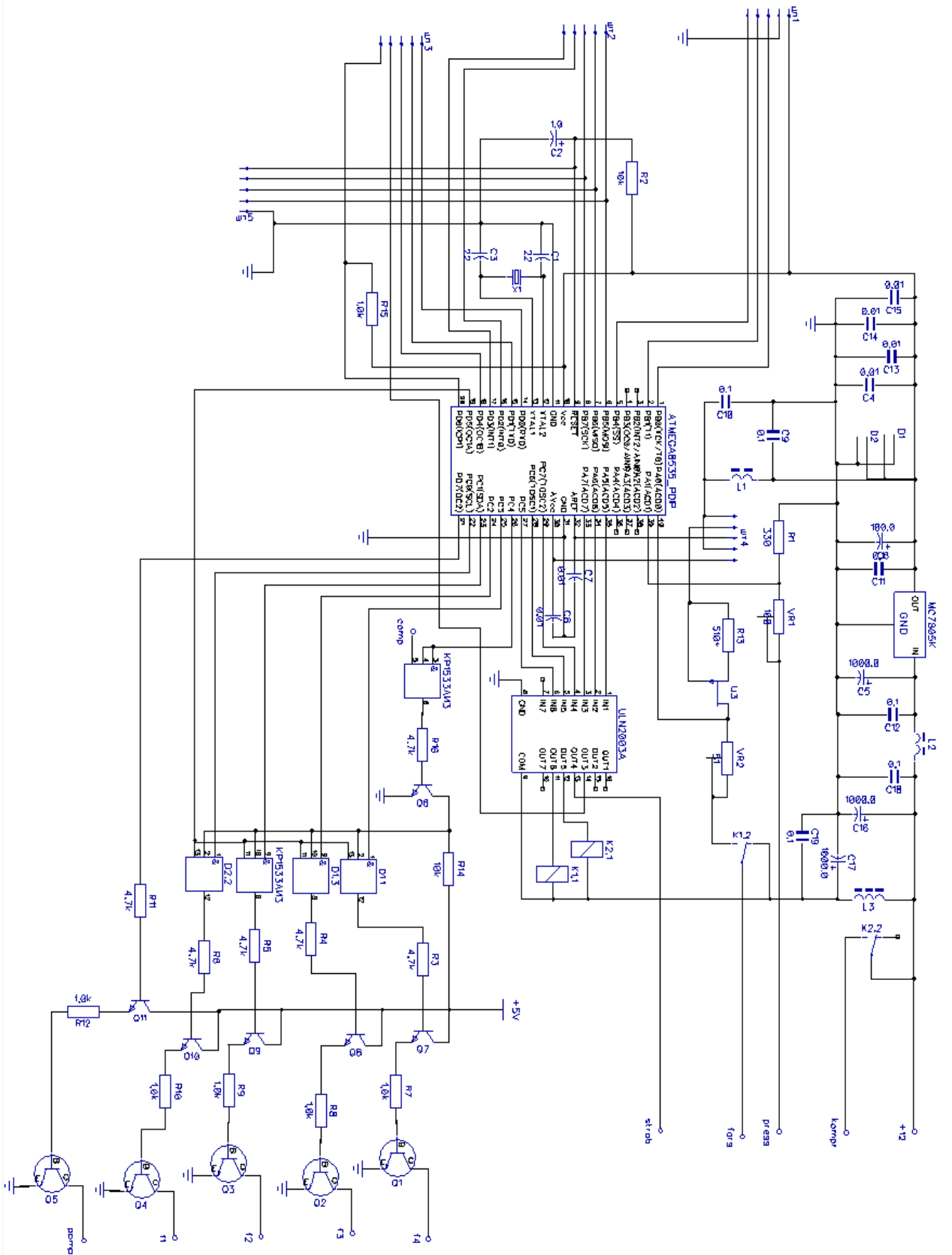


Рисунок 2.6. Електрична схема силової частини розробленого стенду

На рис. 2.7 показано окрему схему панелі управління та індикації. Ця панель має 2-рядковий 16-символьний дисплей, звукову сигналізацію та п'ять кнопок керування. Кожна плата має окремий сервісний роз'єм для тестування, налаштування та програмування стенду.

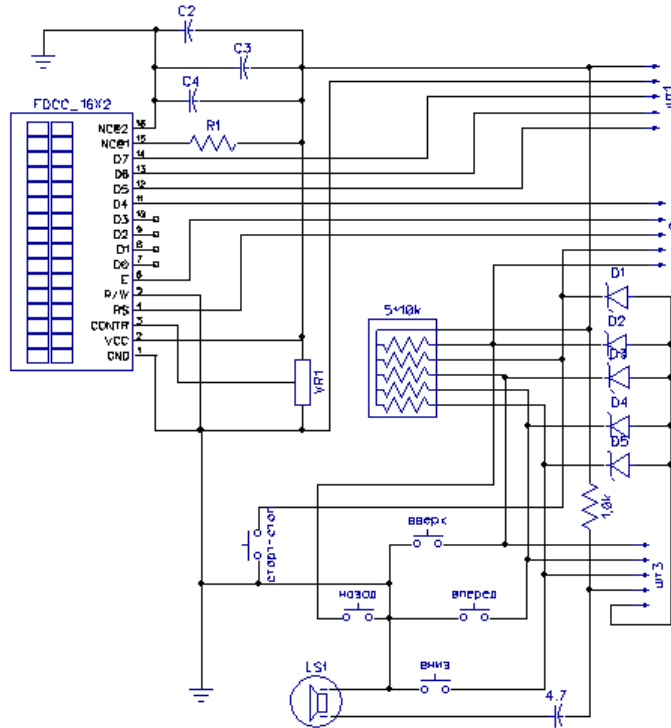


Рисунок 2.7. Електрична схема панелі керування та індикації.

Для моделювання роботи пристрою та підтвердження його працездатності було використано середовище Proteus, після чого було розроблено друковані плати для обох компонентів пристрою. Компонування друкованих плат та компонентів показано на рис. 2.8 та 2.9.

Друкована плата виготовлена з двосторонньої фольги Tectolite. Готовий виріб було отримано за допомогою прозорої плівки з використанням фоторезисту і надрукованою на ній друкованою платою. Фотографія виробу показана на рис. 2.10.

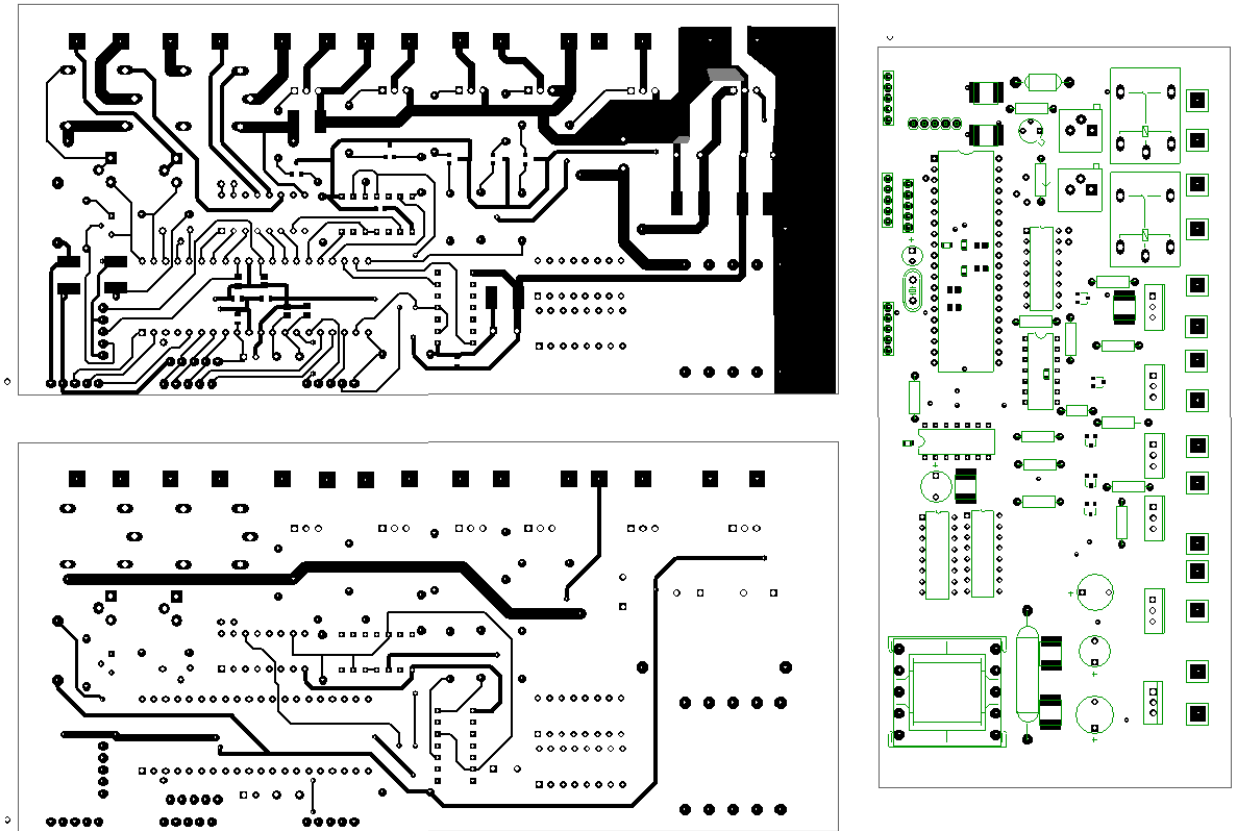


Рисунок 2.8. Печатна плата та схема розміщення компонентів силової частини приладу

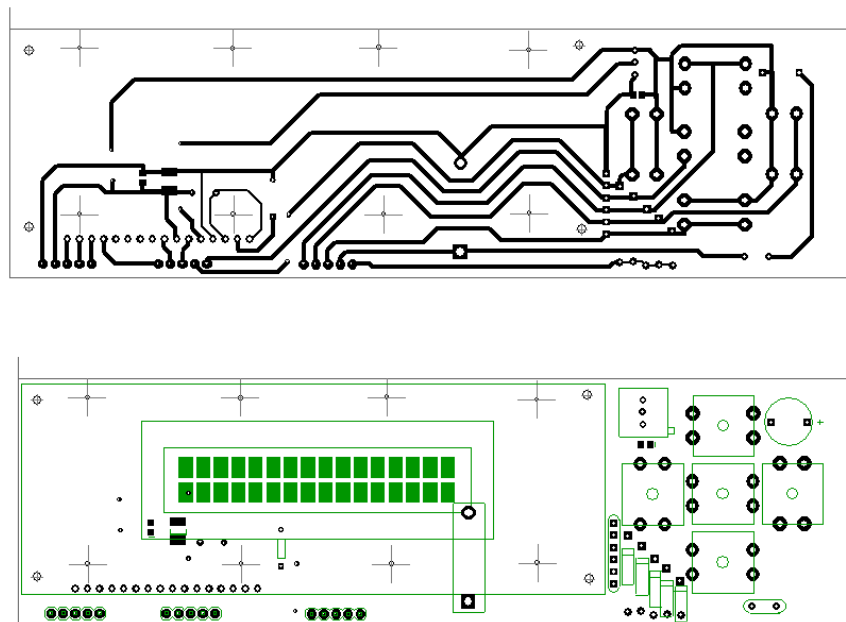


Рисунок 2.9. Печатна плата та схематичне розміщення компонентів панелі керування

Готовий розроблений нами прилад (електрична частина) зображений на рис. 2.10.

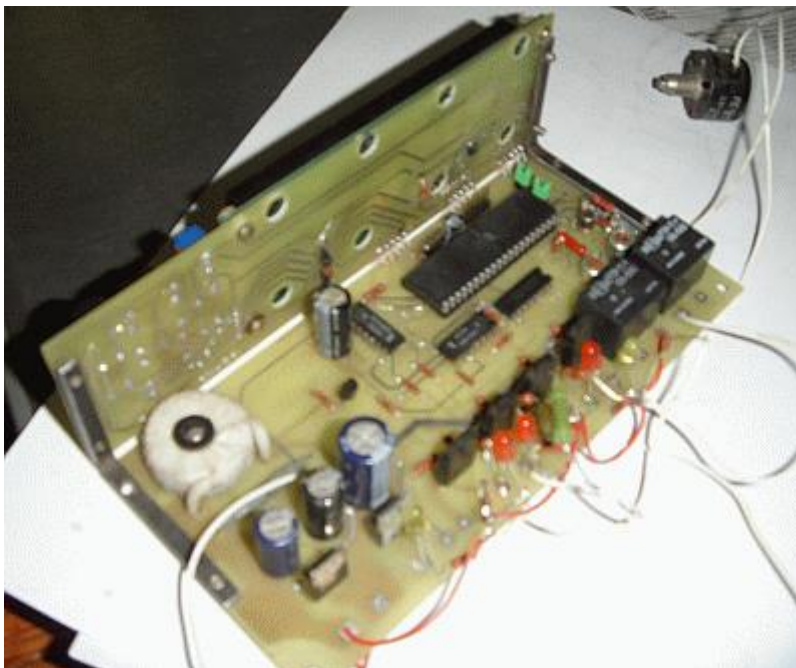


Рисунок 2.10. Фото зробленої плати керування

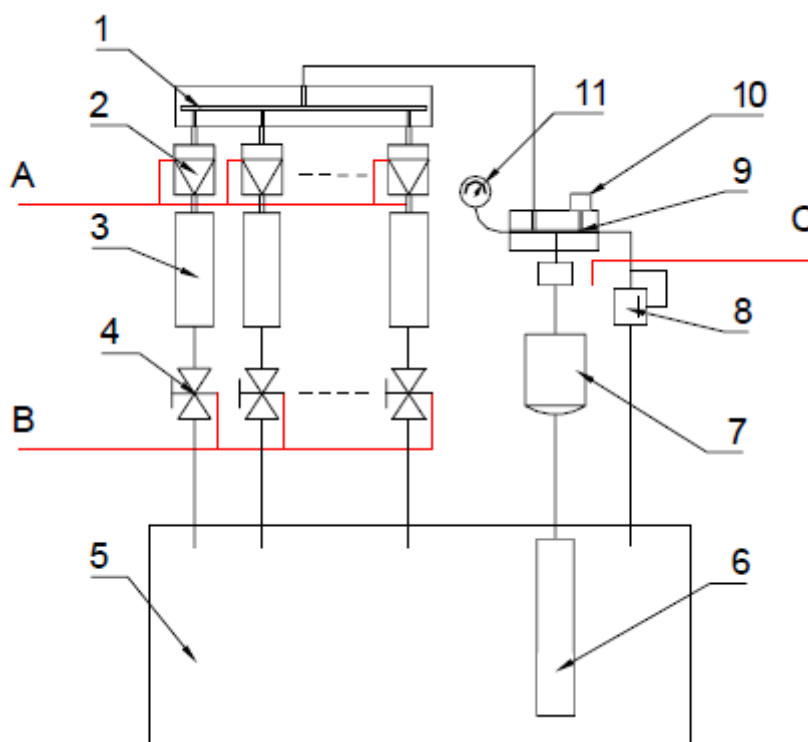


Рисунок 2.11. Гідравлічна схема дослідного стенду(схематичне зображення)

1-розподільник палива; 2-форсунка; 3-мірний стакан; 4-електромагнітний клапан; 5-бак; 6-електронасос; 7-фільтр; 8-клапан скидання тиску; 9-T-подібний розподільник; 10-роз'єм; 11-манометр; А-провід підключення форсунок; В-провід управління електромагнітними клапанами; С- провід живлення насосу.

Для досягнення поставленої мети нами було обрано наступного типу гідравлічну схему, що зображена на рис. 2.11.

Як видно зі схеми, стенд має паливну рейку 1 на чотири форсунки, а кожна з форсунок 2, що тестується, оснащена мірним стаканом 3, здатним вимірювати об'єм рідини до  $125 \text{ см}^3$  з точністю  $\pm 0,5 \text{ см}^3$ . Кожна з мірних чашок оснащена електромагнітним клапаном 4, керованим платою управління, що дозволяє зливати рідину з мірних чашок, а в режимі промивання ці клапани постійно активовані, щоб гарантувати, що в мірних чашках не залишиться рідини.

Для подачі рідини використовується паливний насос системи прямого впорскування 6, який здатний розвивати тиск до  $0,7 \text{ МПа}$ . Для регулювання тиску рідини в системі використовується механічний клапан регулювання тиску 9, за допомогою якого можна змінювати значення тиску в діапазоні  $0,08\text{--}0,65 \text{ МПа}$ . Тиск в системі очищення можна перевірити візуально за допомогою манометра 11. аналіз інформації про процедури огляду та очищення форсунок системи FSI підтверджує їх працездатність при низьких ( $0,6 \text{ МПа}$ ) значеннях тиску, тому насоси для створення більш високих тисків не використовуються.



Рисунок 2.12. Вимірювальна частина дослідного стенду.



## **3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА**

### **3.1 Методика проведення досліджень**

Метою проведених нами експериментальних досліджень було:

- дослідження впливу тривалості процесу промивання форсунки на її працездатність;
- дослідження розбалансу подачі палива форсунками перед та після процедури очищення;
- вибір оптимальних параметрів для проведення процедури очищення паливних форсунок;
- визначення режимів роботи стенду, які потрібні під час його експлуатації.

В експериментальному дослідженні було використано три комплекти бензинових форсунок високого тиску Bosch, які VAG використовує в своїх автомобілях, обладнаних FSI, і один комплект форсунок Keihin, що використовується в Mitsubishi Galant. Така кількість комплектів була зумовлена тим, що три автомобілі Passat 2.0, в яких блок керування показував, що суміш була занадто бідною через несправність у сумішоутворенні. Це підтверджувалося нестабільною роботою двигуна, поганим запуском і довготривалим коефіцієнтом корекції подачі палива +25%. Якщо довготривалий коефіцієнт корекції подачі палива відхиляється на 25%, блок керування реєструє несправність системи подачі палива щодо сумішоутворення: при 25% - надмірно багату суміш, а при 25% - надмірно бідну суміш [20].

### **3.2 Діагностика та промивка паливних форсунок Keihin**

На автомобілі Mitsubishi Galant дефект блоку управління двигуна призвів до надмірного співвідношення повітря/палива в паливній суміші. Це призводило до підвищеної димності відпрацьованих газів, нестабільної роботи двигуна та значно підвищеної витрати палива. Крім того, при роботі електричного підкачуючого бензонасосу було чути звук, характерний для

витоку рідини (палива), при цьому витоку за межами паливної системи не спостерігалось. Всі ці ознаки вказують на те, що паливна форсунка негерметична. Витік палива відбувався через форсунки прямо в циліндр.

Після демонтажу форсунок вони були встановлені на наш стенд для діагностики та промивки паливних форсунок.

Для перевірки герметичності форсунок на нашому випробувальному стенді передбачена процедура випробування на щільність, яка називається "Витік".

Режим "витік" призначений для контролю герметичності форсунок. (Нормальне значення - відсутність краплі палива протягом 5 хвилин під тиском 0,6 МПа). Для контролю протікання форсунок виконайте наступну послідовність дій:

1. Встановити форсунки та виконати їх підключення.
2. Залити в бачок робочу рідину.
3. Вибрати за допомогою клавіш «вверх» або «вниз» режим "Витік".
4. Використовуючи регулятор тиску встановити потрібне його значення.
5. Підтвердити вхід в режим використовуючи клавішу «вперед».
6. Запустити режим перевірки кнопкою старт/стоп.

Для п'ятихвилинного тесту увімкніть електричний паливний насос на випробувальному стенді та відкрийте електромагнітний зливний клапан. Візуально перевірте форсунки на наявність крапель після завершення тесту.

В нашому випадку всі чотири форсунки досить суттєво протікали, а отже потрібно провести процедуру очистки.

Режим "Очищення" використовується для очищення каналу подачі палива, розпилувальної голки та корпусу розпилувача при безпосередньому вмиканні інжектора. У цьому режимі на форсунку безперервно подаються імпульси заданої тривалості та частоти впорскування.

Для очищення форсунок в режимі "Очистка" слід виконати наступну послідовність дій:

1. Встановити форсунки на стенд та виконати їх під'єднання.

2. Залити робочу рідину в бак.
3. Обрати за допомогою кнопок «вверх» або «вниз» процедуру "Очистка".
4. За допомогою клапану регулювання тиску виставити значення тиску 0,6 МПа.
5. Вибрати частоту імпульсів упорскування.
6. Запустити обраний режим кнопкою «старт/стоп».

Режим проведення очищення можна зупинити в будь-який момент часу за допомогою клавіші старт/стоп.

Під час цієї процедури вмикається електричний паливний насос стенду, відкривається електромагнітний зливний клапан і процедура обмежується програмою до 60 хвилин. Під час цієї процедури час впорскування циклічно та автоматично змінюється від 0,6 до 3 мс з кроком 0,1 мс. Частоту впорскувань можна змінювати від 1 до 10 разів на секунду з кроком 1.

Після заповнення баку очищувальною рідиною Wynn`s і запуску процедури очищення протягом 15 хвилин, а також запуску режиму "витоку", не спостерігалось суттєвих змін у герметичності інжектора. Після повторної процедури очищення не спостерігались суттєві зміни. Аналіз ситуації з очищенням форсунок підтверджує гіпотезу, що багато виробників обладнання для промивки та діагностики форсунок рекомендують виконувати процедуру промивки не менше 20 хв., потім робити паузу 20 хв., а згодом повторити 20 хвилинну процедуру промивки. Тому такий алгоритм управління був нами реалізовано.

Після завершення процедури автоматичної промивки було проведено повторну перевірку на герметичність і виявлено несправність 3-ох з форсунок. Тому було вирішено замінити на нові. Причина полягала у тому, що форсунки вже фізично зносились. Після встановлення нових форсунок двигун відновив нормальну працездатність.

### 3.3 Діагностика та очистка форсунок Bosch

При цьому всі автомобілі мали ознаки несправності, а саме - наявність бідної паливно-повітряної суміші, тобто форсунки працювали надто погано.

Комплекти форсунок з №1 по №3, які були в наявності для діагностики та промивки, були умовно пронумеровані. При цьому №1-3 - це комплекти для двигунів автомобілів Passat B6 з пробігом від 180000 до 250000 км.

Після демонтажу форсунок тест на герметичність показав позитивні результати у всіх випадках. Далі необхідно перевірити і порівняти подачу палива до форсунок на тестовому стенді. Для цього використовується режим роботи приладу "Тест".

Режим "Перевірка" призначений для перевірки продуктивності форсунок. В цьому режимі форсунки отримують фіксовану кількість імпульсів заданої тривалості. Для перевірки продуктивності форсунок виконується наступна послідовність дій:

1. Встановлення форсунок та їх підключення.
2. Наповнення бачка робочою рідиною.
3. Вибір режиму "Перевірка" за допомогою клавіш "вверх" або "вниз".
4. Налаштування тиску на рівень 0,6 МПа за допомогою клапана регулювання тиску.
5. Підтвердження вибраного режиму за допомогою клавіші "вперед".
6. Вибір тривалості імпульсів вприскування.
7. Вибір кількості імпульсів вприскування.
8. Запуск режиму очищення за допомогою кнопки "старт/стоп".
9. Після завершення режиму "Перевірка" (за звуковим сигналом) вимірювання кількості пропущеної рідини кожною з форсунок за допомогою мірної колби.

Тест продуктивності форсунок можна перервати в будь-який момент, натиснувши клавішу старт/стоп. У режимі тестування оцінюється порівняльна продуктивність форсунок двигуна для забезпечення стабільної та оптимальної роботи двигуна на всіх режимах. Головна умова - пропорційне вприскування

палива. Максимально допустима різниця у подачі палива становить 5% від середньої потужності форсунок в одній паливній рампі. Ця різниця у подачі палива форсункою визначається різним ступенем забруднення паливних каналів форсунки. Таким чином, поступове і нерівномірне забруднення спочатку збільшує витрату палива, а потім призводить до нестабільної роботи двигуна на холостому ходу, утрудненого запуску, "провалів" акселератора на ходу і підвищеної загазованості. Ці несправності зазвичай з'являються, коли відхилення продуктивності знаходиться в межах 2,5-4,5%. Коли відхилення впорскування перевищує 5%, починають виникати пропуски і глохнути двигун. У "тестовому" режимі на форсунку подається строго відкалібрована кількість імпульсів заданої тривалості. Потім ці об'єми вимірюються на кожній форсунці за допомогою мірної колби і записуються в журнали V1, V2, V3 і V4 (для чотирьох форсунок).

Після проведення вимірювань проводимо розрахунок середнього об'єму впорскування ( $V_{cp}$ ): сума об'ємів чотирьох форсунок ділиться на 4.

Потім визначаємо величину відхилення об'єму по кожній із форсунок:

$$\Delta V_1 = V_1 - V_{cp}; \dots \Delta V_4 = V_4 - V_{cp} \quad (3.1)$$

Далі визначаємо величина відхилення об'єму подачі пального по кожній форсунці у %:

$$\Delta_1 = \frac{\Delta V_1}{V_{cp}} * 100\%, \dots \Delta_4 = \frac{\Delta V_4}{V_{cp}} * 100\% \quad (3.2)$$

Допустимим розбалансуванням паливоподачі форсунок допускається розбаланс у межах  $\pm 2\%$  від середнього значення. При відхиленнях продуктивностей форсунок більше чим:

- $\pm 2,5\%$  - зростає витрата пального автомобілем;
- $\pm 3,5\%$  - спричиняє поганий холодний пуск двигуна та нестабільну роботу холостого ходу;
- $\pm 4\%$  - відчутний провал педалі акселератора при різкій зміні навантаження;
- $\pm 5\%$  - спричиняє «троїння» двигуна та утруднений його запуск

Для зручності результати перевірки продуктивності до та після режиму очистки занесемо у таблиці. При перевірці продуктивності форсунок, ми вносили такі параметри: 10 впорскувань за 1 с; кількість впорскувань 3000; тривалість імпульсу впорскування 2,5 мс.

Таблиця 3.1 – Результати тестувань комплекту форсунок №1 до та після очистки.

№ форсунки	Об'єм, см <sup>3</sup>	V <sub>ср</sub> , см <sup>3</sup>	ΔV, см <sup>3</sup>	Δ, %
1	45	47,75	-2,75	-5,76
2	49	47,75	1,25	2,62
3	51	47,75	3,25	6,81
4	46	47,75	-1,75	-3,66
після очистки				
1	49	48,75	0,25	0,51
2	48	48,75	-0,75	-1,54
3	49	48,75	0,25	0,51
4	49	48,75	0,25	0,51

У табл. 3.1 наведено результати тестування комплекту форсунок № 1 і з отриманих даних видно, що форсунка № 1 має значно меншу величину подачі палива, а форсунка № 3, навпаки, має підвищену подачу палива. В результаті очищення форсунок, як описано вище, відхилення в роботі форсунок знаходиться в допустимих межах. Після встановлення цього комплекту на автомобіль робота двигуна була відновлена, а несправність більше не проявлялась.

Таблиця 3.2 – Результати тестувань комплекту форсунок №2 до та після очистки.

№ форсунки	Об'єм, см <sup>3</sup>	V <sub>ср</sub> , см <sup>3</sup>	ΔV, см <sup>3</sup>	Δ, %
1	43	43,75	-0,75	-1,71
2	44,5	43,75	0,75	1,71
3	43	43,75	-0,75	-1,71
4	44,5	43,75	0,75	1,71
після очистки				
1	51	50,63	0,38	0,74
2	50	50,63	-0,63	-1,23
3	51	50,63	0,38	0,74
4	50,5	50,63	-0,13	-0,25

Дані, представлені в табл. 3.2, показують досить цікаві результати. Попередні випробування показують нормальні відхилення у витраті палива через форсунки. Однак після процедури очищення паливних форсунок можна побачити, що продуктивність форсунок покращилася на 12,5%. Це означає, що для більш детальної діагностики паливних форсунок доцільно провести еталонні вимірювання продуктивності для кожного типу форсунок.

Таблиця 3.3 – Результати тестувань комплекту форсунок №3 до та після очистки

№ форсунки	Об'єм, см <sup>3</sup>	V <sub>ср.</sub> , см <sup>3</sup>	ΔV, см <sup>3</sup>	Δ, %
1	47	45,38	1,63	3,58
2	43,5	45,38	-1,88	-4,13
3	43	45,38	-2,38	-5,23
4	48	45,38	2,63	5,79
1	49	48,38	0,63	1,29
2	48	48,38	-0,38	-0,78
3	48,5	48,38	0,13	0,26
4	48	48,38	-0,38	-0,78

У Таблиця 3.3 спостерігаємо надмірну забрудненість форсунки №2 та №3, проте після проведення процедури очистки відносні продуктивності форсунок вкладаються у межі допуску. Якість виконання очистки форсунок підтвердилась подальшим їх встановленням на автомобіль та відсутністю несправностей системи самодіагностики двигуна.

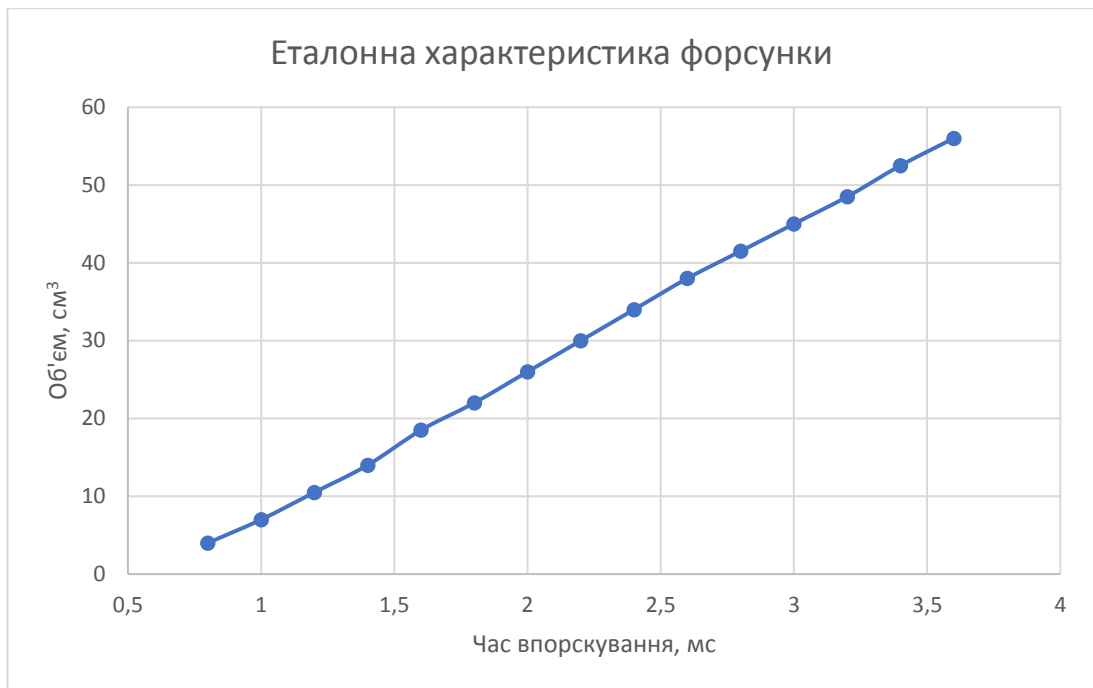


Рисунок 3.1. Еталонна характеристика форсунки типу FSI.

Після придбання нової паливної форсунки були отримані еталонні характеристики подачі палива в залежності від часу впорскування (рис. 3.1), які допоможуть в діагностиці цього типу паливної форсунки. Ці результати застосовні тільки при використанні нашого випробувального стенду і тестуванні з 1000 імпульсів впорскування і тиском рідини в паливній системі 0,6 МПа.



## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Території, виробничі та допоміжні приміщення, майданчики і споруди для зберігання транспортних засобів повинні відповідати НПАОП 0.00-1.62-12 "Про затвердження Правил охорони праці на автомобільному транспорті" та чинним будівельним, санітарним та протипожежним нормам і правилам [21].

### 4.1 Вимоги до приміщень

Розташування виробничих і допоміжних цехів компанії повинні відповідати технологічному процесу обслуговування і ремонту транспортних засобів.

Промислові та допоміжні засоби та предмети, необхідні тільки за прямим призначенням, який передбачено для проекту.

Для всіх будівель і споруд повинна бути документація.

У тих місцях, в області зберігання, технічного обслуговування, діагностики та управління роботою автотransпортних засобів, які працюють на LPG заборонено облаштування підземних споруд, підвальних приміщень, обладнання нагрівачів у відкритій стоянці автомобіля, траншеях, тунелях (за винятком ям мийних станцій).

Транспортні засоби та обладнання для обслуговування або ремонту, що зберігаються зовні повинні бути розміщені на окремих платформах на рівній площині. Щоб уникнути падіння агрегату, самовільного руху транспортних засобів і падіння їх вивішених частин необхідно встановлювати спеціальні підставки, упори.

У виробничих приміщеннях і на території зберігання деталей, вузлів, агрегатів і різного металу повинно бути організовано в окремих місцях на стелажах.

Промислові відходи, сміття, непотрібні деталі, вузли і агрегати відразу прибираються і збираються в спеціально відведених місцях.

Відстань від площадок, призначених для зберігання і очікування ремонту транспортних засобів, до будівель і споруд приймається відповідно до вимог ВСН 01-89 [22].

Підлога у приміщеннях для будь-яких цілей, повинні бути гладкими, непроникним для ґрунтових вод, без вибоїн.

Матеріали, що застосовуються для покриття підлоги, повинні мати гладку та неслизьку поверхню, зручну для очищення, задовольняти експлуатаційним вимогам даного приміщення.

Там, де використовуються кислоти, луги і нафтопродукти, підлоги повинні бути стійкі до дії цих речовин і не поглинати їх.

Підлоги в приміщеннях фарбувальних дільниць, відділень підготовки фарби, у приміщеннях, де здійснюються антикорозійні роботи, у газогенераторних, а також складів для зберігання пожежовибухонебезпечних матеріалів (рідин), балонів з горючим газом повинні бути зроблені з матеріалів, що не дають іскри при ударі металевим предметом.

Робочі місця в приміщеннях з холодною підлогою повинні бути оснащені міцними дерев'яними переносними решітками (гратами).

Ззовні при вході у виробничі і допоміжні приміщення повинні встановлюватися металеві решітки або інші пристрої для очищення взуття від бруду.

На підлозі заводу і компанії не допускається:

- безлад на дорогах, тротуарах, під'їзних шляхах до пожежних гідрантів, місцях розташування протипожежного обладнання та устаткування;
- захарщення місця на зовнішній стороні транспортних засобів, що перевищують норму і порушують встановлений порядок їх розташування;
- куріння за межами спеціально відведених для цього місць;
- Використання відкритого вогню, без належного протипожежного захисту;
- завалювати запасні ворота як зсередини, так і ззовні, підхід та під'їзд до них завжди повинен бути вільним;

- безладно розміщувати і зберігати (привалювати, спирати) матеріали, агрегати, запчастини тощо до елементів будинків, споруд, устаткування і огороження.

#### **4.2 Вимоги до території**

Територія повинна бути обгороджена, освітлена в нічний час, завжди в чистоті і порядку.

Паркани в місці станцій і ремонту, які забезпечують обслуговування більше 10 або зберігання 50 і більше транспортних засобів повинні забезпечити, принаймні, двоє воріт на в'їзді.

Приміщення повинні бути оснащені дренажною системою і жолобами. Прогалини стоків та інших підземних споруд повинні знаходитися в закритому положенні.

Під час виконання ремонтних, земляних та інших робіт на території підприємства відкриті люки, траншеї і ями повинні бути огорожені. У місцях переходу через траншеї встановлюються перехідні містки шириною не менше 1,0 м з перилами висотою 0,9 м.

На території підприємства повинні бути проїзди для руху автомобілів і пішохідні доріжки, що мають тверде покриття. Влітку їх необхідно очищати від бруду, а взимку - від снігу і льоду, при ожеледиці посипати піщаними сумішами.

Ширина проїздів на території підприємства повинна бути не менше 6 м при двосторонньому русі і не менше 3 м - при односторонньому.

Ширина пішохідної доріжки повинна бути не менше 1 м.

Для проходу працівників на територію підприємства повинна бути влаштована прохідна.

Прохід працівників через ворота забороняється.

У місцях перехрещення під'їзних шляхів канавами, траншеями, залізничними коліями тощо повинні встановлюватися настили або мости для переїздів.

Для стоянки власного транспорту слід передбачати місце на окремих площадках поза межами території підприємства. Рух особистого транспорту по території підприємства забороняється.

### **4.3 Охорона атмосферного повітря**

Одним із найважливіших чинників, що потребує охорони є атмосферне повітря. Основні джерела забруднення атмосфери - це природні та промислові процеси.

Серед промислових викидів основними джерелами є технологічні та вентиляційні викиди безперервної дії, що складають близько 81% від загальної кількості викидів.

Основна маса забруднення повітря припадає на спалювання органічних енергоносіїв (вугілля, нафта, газ). До 40% забруднень дає автотранспорт. Справа погіршується ще, й тим, що автомобільні викиди концентруються в приземному шарі повітря – тобто саме в зоні дихання.

Надзвичайно важливою особливістю таких викидів є те, що максимальні концентрації шкідливих речовин існують у безпосередній близькості від місця їх виникнення.

В господарстві основними забрудниками повітря є котельня, трактори та автомобілі, тваринницька ферма [22]. Для зменшення кількості викидів на автомобілях і тракторах встановлюють спеціальні каталізатори, що окислюють СО до СО<sub>2</sub>.

### **4.4 Зберігання та використання паливо-мастильних матеріалів**

Правильне зберігання і використання нафтопродуктів – один із найважливіших чинників охорони атмосферного повітря, водоймищ, а також ґрунтів, тому особливу увагу у господарстві мають приділяти саме використанню, зберіганню і утилізації ПММ.

В господарстві є заправна станція, яка обладнана підземними резервуарами для дизельного пального і бензину, відповідні резервуари для зберігання різних типів змащувальних рідин, є також бак для відпрацьованих

ПММ. Всі установки мають чималий термін використання, але завжди слідкується за їх технічно-справним станом відповідно до вимог. Перевіряється герметичність резервуарів, трубопроводів, установок. Робітники мають відповідну кваліфікацію. В ремонтній майстерні також є резервуари для зливу відпрацьованих газів.

#### 4.5 Розрахунок системи вентиляції

Визначимо об'єм повітря який подається системою загально-обмінної вентиляції за формулою:

$$L_n = K_{\text{пр}} \cdot V_n, [\text{м}^3/\text{год}]; \quad (4.1)$$

де  $K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт повітрообміну, приймаємо  $K_{\text{пр}} = 4$  год.

$V_n$  – об'єм приміщення,  $V_n = 540 \text{ м}^3$ .

$$L_n = 4 \cdot 540 = 2160 (\text{м}^3/\text{год}).$$

Загальний об'єм повітря, який подається в зону діагностики:

$$L = L_k + L_n [\text{м}^3/\text{год}]; \quad (4.2)$$

$$L = 1713.6 + 2160 = 3873,6 (\text{м}^3/\text{год}).$$

Продуктивність вентилятора визначаємо за формулою:

$$L_B = (1,05 \dots 1,1) \cdot L, [\text{м}^3/\text{год}]; \quad (4.3)$$

$$L_B = 1,07 \cdot 3873,6 = 4145, (\text{м}^3/\text{год}).$$

Приймаємо опір в мережі подачі повітря  $P_M = 35 \text{ кгс/м}^2$ .

Приймаємо радіальний вентилятор типу Ц4 – 70 №5 з колесом 1,05  $D_{\text{ном}}$ , який при  $L_B = 4145 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $P_M = 35 \text{ кгс/м}^2$  має ККД рівний 0,805, частота обертів ротора 930 об/хв.

Приймаємо, що вентилятор приводить в рух електродвигун через клинопасову передачу.

Потужність двигуна, яка потребується:

$$N_{\text{дв}} = \frac{L \cdot P_M}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B \cdot \eta_{\text{пер}}}, [\text{кВт}]; \quad (4.4)$$

Де  $\eta_B$  – ККД вентилятора,  $\eta_B = 0,805$ ;

$\eta_{\text{пер}}$  - ККД передачі,  $\eta_{\text{пер}} = 0,95$ ;

$$N_{\text{дв}} = \frac{4145 \cdot 35}{3600 \cdot 102 \cdot 0,805 \cdot 0,95} = 0,52, (\text{кВт}).$$

Установча потужність двигуна з урахуванням коефіцієнта запасу визначається за формулою:

$$N_{\text{дв.у}} = K_3 \cdot N_{\text{дв}}, [\text{кВт}]; \quad (4.5)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу, для даного типу двигунів,  $K_3 = 1,2$ ;

$$N_{\text{дв.у}} = 1,2 \cdot 0,52 = 0,62, (\text{кВт}).$$

Приймаємо електродвигун асинхронний серії 4А закритого виробництва 4А90ЛА, який має потужність 0,75 кВт при синхронній частоті обертання 750 об./хв.

В мережу вентиляції необхідно встановити:

- 1) фільтр для очистки подаваного повітря;
- 2) калорифер для обігріву подаваного повітря в холодну пору року.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Ціну проектування та виготовлення стенду для діагностики та промивки форсунок можна визначити по формулі:

$$C = Z_{од} + B_c + E_c + B_{рем} + B_{вд} + B_{ину} + A_{обу} + B_n + B_{пру}, \quad (5.1)$$

де  $Z_{од}$  – основна та додаткова заробітна плата, грн.;

$B_c$  – нарахування у фонд соціального страхування та інші типи фондів (приймається на рівні 38% від  $Z_{од}$ );

$E_c$  – затрати на енергію;

$B_{рем}$  – затрати стосовно ремонту та обслуговування обладнання;

$B_{вд}$  – витрати на додаткові матеріали;

$B_{ину}$  – витрати на експлуатацію ріжучих інструментів;

$A_{обу}$  – амортизаційні відрахування;

$B_n$  – витрати на утримання приміщення;

$B_{експ}$  – експлуатаційні витрати.

Розрахунок затрат по кожній статті проводиться таким чином.

Заробітна плата (як основна, так і додаткова) виробничого персоналу розраховується за формулою [23]:

$$Z_{од} = l_r \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha) \cdot (1 + 0,01 \cdot \beta), \quad (5.2)$$

де:  $l_r$  – тарифна годинна ставка працівника,  $l_r = 22,134$  грн./год;

$t_{ум}$  – час обробки деталі на  $i$ -тій операції;

$\alpha, \beta$  – додаткова зарплата за відпрацьований час, ( $\alpha = 12\%, \beta = 8\%$ );

$$Z_{од} = 20,134 \cdot \frac{180}{60} \cdot (1 + 0,01 \cdot 12) \cdot (1 + 0,01 \cdot 8) = 779,3 \text{ (грн)};$$

$B_c = 0,38 \cdot Z_{од} = 0,38 \cdot 779,3 = 296,134$  грн;

Витрати на по використанню електричної енергії:

$$E_c = \frac{N_{\delta} \cdot K_{oi} \cdot K_N \cdot K_{\eta}}{\eta_{\delta} \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot C_e; \quad (5.3)$$

де  $N_{\delta}$  – потужність електродвигунів, встановлених на верстатах, кВт;

$$N^B = N^H = 1 \text{ кВт};$$

$K_{oi}=0,6 \dots 0,7$  – коефіцієнт одночасності використання двигунів;

$K_N=0,7 \dots 0,85$  – коефіцієнт, що враховує завантаженість електродвигунів по потужності;

$K_u=0,5 \dots 0,7$  – коефіцієнт, що враховує завантаженість електродвигунів по часу;

$\eta_d = 0,86 \dots 0,9$  – ККД електродвигунів;

$\eta_m = 0,92 \dots 0,96$  – коефіцієнт, що враховує втрати електропостачання в електричній мережі;

$C_e = 4,5$  грн/кВт·год – ціна електроенергії;

$$E_c = \frac{10 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,4}{0,9 \cdot 0,95} \cdot \frac{160}{60} \cdot 4,5 = 6,82 (\text{грн});$$

Витрати, що стосуються ремонту обладнання визначаються так:

$$B_{рем} = \frac{W \cdot R \cdot K_e \cdot t_{ум}}{T_{рм} \cdot 60}; \quad (5.4)$$

де  $W$  – витрати на ремонт і обслуговування, що припадають на одиницю складності механічної одиниці верстата (приймаються в залежності від складності верстата для  $R < 250$ ,  $250 < R < 320$ ,  $R > 360$ );

$R$  – категорія ремонтної складності верстата;  $R^B = 10$ ,  $R^H = 114$ ;

$K_e = 1,3$  – коефіцієнт, що показує кількість додаткових витрат на ремонт верстата;

$T_{рм}$  – тривалість циклу верстата між ремонтами, год.:

$$T_{рм} = A \cdot \beta_m \cdot \beta_{тв} \cdot \beta_n \cdot \beta_e;$$

де  $A$  – нормативна тривалість циклу між ремонтами ( $A = 2400$  годин для станка з числовим програмним управлінням);

$\beta$  – коефіцієнти, які враховують тип матеріалу, тип виробництва, значення головного параметру, масу верстату:

$\beta_m = 0,85$  – для станка з числовим програмним управлінням;

$\beta_{тв} = 1,5$  – для одиничного виробництва;



$\beta_n = 1$  – для металорізального обладнання;

$\beta_e = 1$  – для верстатів невеликої маси.

$$T_{pm} = 2400 \cdot 0,85 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = 3060 \text{ год.}$$

Витрати на ремонт визначаємо по формулі:

$$B_{pm} = \frac{250 \cdot 10 \cdot 1,3 \cdot 160}{30600 \cdot 60} = 0,106 (\text{грн});$$

Витрати на допоміжні матеріали розраховуємо по формулі:

$$B_{md} = \frac{M_{zd} \cdot R \cdot t_{um}}{60} \cdot K_T; \quad (5.5)$$

де  $M_{zd} = 0,75$  – годинні витрати на додаткові матеріали та на одиницю складності механічної ремонтної частини всіх типів верстатів, грн;

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує тип виробництва ( $K_T = 0,85$  – для одиничного виробництва).

$$B_{md} = \frac{0,75 \cdot 10 \cdot 160}{60} \cdot 0,85 = 6,375 (\text{грн});$$

Затрати на експлуатацію різноманітного ріжучого інструменту розраховуємо за формулою:

$$B_{iny} = \frac{(B_n + p \cdot B_{nep}) \cdot \gamma \cdot t_{um}}{t_e \cdot (p + 1)} \cdot K_e; \quad (5.6)$$

де  $B_n = 3,6$  грн – початкова ціна інструменту;

$p = 20$  – кількість заточувань до повного спрацювання інструменту;

$B_{nep} = 0,23$  грн – ціна одного заточування;

$t_e = 40$  хв – економічна стійкість інструменту;

$K_e = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує ймовірність вибуття інструменту;

$\gamma = 0,7$  – коефіцієнт машинного часу роботи інструменту і

обладнання в загальному обсягу його роботи.

$$B_{iny} = \frac{(3,6 + 20 \cdot 0,23) \cdot 0,7 \cdot 160}{40 \cdot (20 + 1)} \cdot 0,8 = 0,05 (\text{грн});$$

Витрати на експлуатацію різноманітних пристосувань складають:

$$B_{нпу} = \frac{(0,6...0,7) \cdot Ц_{нр} \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot \eta_i}; \quad (5.7)$$

де  $Ц_{нр}=3500$  грн – початкова вартість пристосувань;

$\eta_i = 0,95$  – коефіцієнт, що враховує завантаженість обладнання на конкретній операції.

$$B_{нпу} = \frac{0,6 \cdot 3500 \cdot 160}{3809 \cdot 60 \cdot 0,95} = 0,088(\text{грн});$$

Амортизаційні відрахування на різноманітне обладнання визначають за формулою:

$$A_{обу} = \frac{B_{бал} \cdot 2,5 \cdot H_{ам} \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{зав}}; \quad (5.8)$$

де  $B_{бал}$  – балансова вартість обладнання,  $B_{бал} = 14662$  грн;

$H_{ам} = 15\%$  – відсоток амортизаційних відрахувань;

$\eta_{зав} = 0,9$  – нормативний коефіцієнт використання обладнання для даного виду виробництва.

$$A_{обу} = \frac{14662 \cdot 2,5 \cdot 15 \cdot 160}{3809 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,9} = 1,58(\text{грн});$$

Витрати, які стосуються експлуатації приміщення, розраховуємо визначаємо за формулою:

$$B_n = \frac{S_{од} \cdot K_F \cdot B_{нл} \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot \eta_{зав}}; \quad (5.9)$$

де  $S_{од}$  – виробнича площа, яка припадає на один верстат,  $S_{од} = 2,97$  кв.м;

$K_F = 3,5$  – коефіцієнт, що враховує необхідну виробничу площу;

$B_{нл} = 300$  грн – річні витрати, які пов'язані з використанням 1 квадратного метра виробничих приміщень.

$$B_n = \frac{2,97 \cdot 3,5 \cdot 30 \cdot 160}{3809 \cdot 60 \cdot 0,9} = 0,91(\text{грн});$$

Собівартість виготовлення стенда для промивки форсунок буде складати:

$$C=779,3+296,134+6,82+0,22+6,375+0,005+0,088+1,58+0,91=$$

$$=1091,44 \text{ грн};$$

Таблиця 5.1 – Статті витрат та ціни стенду промивки форсунок

Статті витрат	Ціна, грн
<b>Змінні витрати</b>	
Заробітна плата	779,3
Відрахування до соцстраху та інш.ф.	296,13
Електрична енергія	6,82
Ремонт	0,22
Допоміжні матеріали	6,38
Експлуатація універсального ріжучого інструменту	0,05
Експлуатація універсального оснащення	0,09
Амортизація універсального обладнання	1,58
Експлуатація приміщення	0,91
Всього	1091,48
<b>Покупні деталі</b>	
Блок керування та індикації, грн;	4 600
Електричні кабелі, вилки, грн;	200
Паливний насос	2100
Мірні стакани (4 шт.)	400
Шланги та хомути	200
Бак	180
Профільна труба 40x40 мм (3 м), грн;	168
Профільна труба 20x20 мм (2 м), грн;	104
Металевий лист, 1 м <sup>2</sup> , грн;	350
Опорні колеса ( 4 шт), грн.	600
Всього	8 902,00
<b>Ціна стенду</b>	<b>9993,48</b>

Проте щоб визначити загальну ціну нашого стенду мають бути враховані всі затрати. До таких ще відносяться затрати на необхідні матеріали, металоконструкції, електричні кабелі, покупні деталі тощо.

- блок керування та індикації – 4 600 грн;
- електричні кабелі, вилки – 200 грн;
- паливний насос – 2100 грн;

- мірні стакани (4 шт.) – 400 грн;
- шланги та хомути – 200 грн;
- бак – 180 грн;
- профільна труба 40x40 мм (3 м) – 168 грн;
- профільна труба 20x20 мм (2 м) – 104 грн;
- металевий лист, 1 м<sup>2</sup> – 350 грн;
- опорні колеса ( 4 шт) – 600 грн.

Отримані дані розрахунків зводимо до табл. 5.1.

Беручи до уваги відображені в табл. 51 дані можна зробити висновок, що ціна запропонованого і виготовленого у виробничих умовах стенду для діагностики та промивки форсунок враховує витрати власне на безпосереднє виготовлення і витрати на покупні деталі. Узагальнивши та просумувавши ці дві статті було встановлено ціну стенда, яка становить 9993,48 гривень.

## ВИСНОВКИ

1. Представлена типова структура та принципи формування паливо-повітряної суміші в системах безпосереднього впрыскування палива для бензинових двигунів типу FSI. Розглянуті основні процеси формування суміші паливо-повітря при різних режимах роботи двигуна. Проаналізовано особливості функціонування паливної форсунки даних систем.
2. Представлені основні характеристики стендів, які доступні на ринку для діагностики та очищення паливних форсунок.
3. Було розроблено та виготовлено спеціальну установку, яка призначена для проведення діагностики та профілактики паливних форсунок систем типу FSI. Установка включає електричну та гідравлічну системи, які взаємодіють між собою для забезпечення правильної роботи форсунок.
4. Була проведена діагностика та очищення паливних форсунок систем безпосереднього впрыскування, а також була підтверджена працездатність дослідного стенду. Під час експериментальних досліджень було отримано еталонну характеристику подачі палива форсункою, залежно від тривалості імпульсу впрыскування.
5. Наведено заходи з охорони праці, вимоги до приміщень та території постів технічного обслуговування та ремонту автомобілів та пораховано продуктивність вентиляційного обладнання.
6. Обчислено вартість виготовлення розробленого стенду для діагностики та очистки паливних форсунок систем типу FSI, що становить 9993,48 грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ВИКИДИ ВІД ТРАНСПОРТУ І ЯК З НИМИ БОРОТИСЯ [Електронний ресурс] / ЕкоДія: [сайт]. [2023]. URL: <https://ecoaction.org.ua/vykydy-vid-transportu.html> (дата звернення: 10.5.2023).
2. Oshuga M., Shiraishi T., Nogi T., Nakayama Y. Mixture preparation for direct-injection SI engines / JSAE Review. 1997.
3. Bosch. Bosch Automotive Handbook. 8th ed. Bentley Production, 2015. 510 pp.
4. Reif, Konrad; Bosch Professional Automotive Information. Gasoline Engine Management: Systems and Components. Springer, 2014. 354 pp.
5. IAV. Standardized E-Gas monitoring concept for gasoline and diesel engines / IAV. 2023. URL: <https://www.iav.com/sites/default/files/attachments/seite/ak-egas-v5-5-en-130705.pdf> (дата звернення: 3.4.2023).
6. Halderman J.D. Automotive technology. Boston: Prentice Hall, 2011. Electronic Book.
7. Kiencke U., Nielsen L. Automotive Control Systems. 2-е вид. Springer-Verlag, 2005. 512 с.
8. Pal B.A.K.&.S.A. Automobile Engineering. S. Chand Publishing, 2014. 358 pp.
9. Reif K. Fundamentals of Automotive and Engine Technology: Standard Drives, Hybrid Drives, Brakes, Safety Systems. Springer, 2014. 277 pp.
10. Volkswagen AG. Bosch Motronic MED7 Gasoline Direct Injection. / Wolfsburg: Volkswagen SelfStudy Program 253, 2002. 63 pp.
11. Heywood B. Internal Combustion Engines Fundamentals. McGraw Hill Book, 2000. 378 pp.
12. World premiere of an innovative direct petrol injection system [Електронний ресурс] / MotorMove Online: [сайт]. [2023]. URL: <http://schwab-kolb.com/daimler/en/dc000259.htm> (дата звернення: 4.3.2023).
13. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. / Львів: Видавництво НУЛП, 2006. 440 с.
14. Стенд для діагностики та чищення форсунок (GDI, EFI, SFI) CNC-605A LAUNCH [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Launch в

- Україні: [сайт]. [2023]. URL: <https://launch.ua/gdi-605s/> (дата звернення: 17.4.2023).
15. Autool CT150 - стенд для тестирования и промывки форсунок с УЗВ ванной [Електронний ресурс] / <https://avtodiagnost.rv.ua/>: [сайт]. [2023]. URL: <https://avtodiagnost.rv.ua/shop/obslugovuvannya-ta-remont-forsunok/stendi-d%D1%96agnostiki-ta-chishhennja-forsunok/autool-ct150-stend-dlya-testirovaniya-i-promyvki-forsunok-s-uzv-vannoј-ru-uk> (дата звернення: 15.4.2023).
  16. ТРИУМФ 6М, Обслуживание топливных систем [Електронний ресурс] / ТИРТОР ШИНОРЕМОНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ: [сайт]. [2023]. URL: [https://www.tiptop.com.ua/ru/triumf\\_6m/](https://www.tiptop.com.ua/ru/triumf_6m/) (дата звернення: 19.4.2023).
  17. ТОРАUTO [Електронний ресурс] / Dispositivo per la pulizia di iniettori per motori diesel e benzina BI4.: [сайт]. [2023]. URL: <https://www.topauto-equipment.com/product-page/bi-4?lang=en> (дата звернення: 1.5.2023).
  18. Установка для диагностики та чищення форсунок LAUNCH CNC-602A [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Launch в Україні: [сайт]. [2023]. URL: <https://launch.ua/cnc-602a/> (дата звернення: 2.5.2023).
  19. Robert Bosch GmbH. Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics. 530th ed. / Plochingen: Springer, 2007.
  20. Мазепа С.С., Куцик А.С. Електрообладнання автомобіля. / Львів: Видавництво НУЛП, 2004. 168 с.
  21. Городецький І.М., Пістун І.П., Березовецький А.П. Охорона праці на автомобільному транспорті: навчальний посібник. / Львів: Тріада плюс, 2009. 320 с.
  22. Жидецький В.Н. Д.В.С..М.О.В. Основи охорони праці. / Львів: Афіша, 2001. 349 рр.
  23. Бойко І.М. Економіка підприємства. / Київ: Кондор, 2016. 378 с.