

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Механіко – технологічний факультет**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри  
Тракторів і автомобілів**  
(назва кафедри)

\_\_\_\_\_ Калінін Є.І.  
(підпис) (ПІБ)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА**

**на тему «Розробка установки для технічного обслуговування паливних  
форсунок бензинових двигунів»**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

**Гарант освітньої програми**

К.т.н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Сівак І.М.  
(ПІБ)

**Керівник дипломного проєкту бакалавра**

К.т.н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Колеснік І.В.  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Лізогубов Євгеній Вікторович  
(ПІБ студента)

**КИЇВ – 2025**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Механіко – технологічний факультет**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

**Тракторів і автомобілів**

**д.т.н., професор**

(науковий ступінь, вчене ваня) (підпис)

**Калінін Є.І.**

(ПІБ)

“ ” 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту**

**Лізогубов Євгеній Вікторович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Розробка установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «26» листопада 2024 р. №2098 «С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру 19.05.2025

(рік, місяць, число)

**Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра** Нормативно довідкова література. Види та характеристики паливної системи ДВЗ.

**Перелік питань які потрібно розробити**

Вступ

1 Аналіз аналогів розроблюваного технологічного обладнання

2 Розробка конструкції установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів

2.1 Технічне завдання на розробку установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів

2.2 Технічна пропозиція на розробку установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів

2.3 Розрахунок конструкції установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів

3 Технологічний процес діагностування форсунок на установці

3.1 Особливості влаштування систем живлення бензинових двигунів з електронною системою управління (ЕСУ)

3.2 Основні несправності та способи їх усунення

3.3 Розробка технологічного процесу діагностування форсунок

4 Виробнича та екологічна безпека проєкту

4.1 Конструктивно-технологічна та організаційно-технічна характеристики технологічного процесу діагностування паливних форсунок бензинових двигунів

4.2 Заходи щодо зниження професійних ризиків

4.3 Пожежна безпека

5 Економічна ефективність проєкту

5.1 Розрахунок собівартості

5.2 Розрахунок витрат на виплату заробітної плати

5.3 Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію обладнання

5.4 Розрахунок загальної суми витрат за виготовлення конструкції

Висновки

Список використаних джерел

**Перелік графічного матеріалу**

---

1. Аналіз аналогів розроблюваного технологічного обладнання.
2. Конструкція установки для технічного обслуговування паливних форсунок.
3. Електрична схема установки.
4. Схема роботи гідрообладнання.
5. Схема сил у притисковому куточку.
6. Система подачі.
7. Технологічний процес випробування форсунок на установці.

Висновки

---

Дата видачі завдання «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Керівник дипломного проєкту бакалавра**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Колеснік І.В.

(прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв до виконання**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Лізогубов Є.В.

(прізвище та ініціали студента)

## РЕФЕРАТ

Основна частина дипломного проекту викладена на 57 сторінках пояснювальної записки і 9 слайдів презентації та ілюстрована 15 рисунком та 4 таблиці.

Пояснювальна записка складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків.

Тема дипломного проекту: «Забезпечення ефективної експлуатації паливної системи ДВЗ енергетичного засобу на транспортних операціях».

Об'єкт розробки: розробка конструкції установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів.

Мета та завдання роботи. Метою та завданням дипломного проекту є складання технічного завдання та технічну пропозицію на розробку установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів.

Новизна розробки даного дипломного проекту полягає в застосуванні розробленої конструкції установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів на легковому автомобілі вітчизняного виробництва.

*Ключові слова:* автомобіль, діагностика, стенд, паливна апаратура, форсунки.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ АНАЛОГІВ РОЗРОБЛЮВАНОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	10
2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ.....	19
2.1 Технічне завдання на розробку установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів .....	19
2.2 Технічна пропозиція на розробку установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів .....	21
2.3 Розрахунок конструкції установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів .....	32
2.3.1 Вибір насосу.....	32
2.3.2 Вибір електродвигуна.....	34
2.3.3 Розрахунок притискового куточка.....	34
2.3.4 Розрахунок гвинтів кріплення притискового куточка .....	36
3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ДІАГНОСТУВАННЯ ФОРСУНОК НА УСТАНОВЦІ.....	37
3.1 Особливості влаштування систем живлення бензинових двигунів з електронною системою управління (ЕСУ) .....	37
3.2 Основні несправності та способи їх усунення.....	39
3.3 Розробка технологічного процесу діагностування форсунок.....	42
4 ВИРОБНИЧА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРОЕКТУ.....	44
4.1 Конструктивно-технологічна та організаційно-технічна характеристики технологічного процесу діагностування паливних форсунок бензинових двигунів.....	44
4.2 Заходи щодо зниження професійних ризиків.....	45
4.3 Пожежна безпека.....	47
5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУ.....	48

5.1 Розрахунок собівартості.....	48
5.2 Розрахунок витрат на виплату заробітної плати.....	49
5.3 Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію обладнання.....	52
5.4 Розрахунок загальної суми витрат за виготовлення конструкції .....	53
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
ДОДАТКИ .....	58

## ВСТУП

Конструкція двигуна стає все складнішою і точнішою з розвитком сучасних технологій в галузі автомобілебудування. Тому деталі повинні відповідати дедалі вищим вимогам до технічних характеристик, особливо форсунки, які й так грають важливу роль двигуні.

В даний час перевірка та підтримання робочого статусу форсунки стає одним із найважливіших завдань протягом усього терміну служби двигуна.

Для підтримки нормальної роботи паливної системи необхідно проводити періодичне чищення форсунок. На думку фахівців, процедура має виконуватися кожні 20-30 тисяч кілометрів пробігу, але на практиці необхідність таких робіт виникає вже після 10-15 тисяч кілометрів пробігу. Це пов'язано з неякісним паливом, поганим станом доріг та не завжди правильним доглядом за машиною.

До найактуальніших проблем, які мають форсунки будь-якого типу, відноситься поява на стінках деталей відкладень, які є наслідком використання низькоякісного палива. Результатом є поява забруднень у системі подачі горючої рідини та виникнення перебоїв у роботі, втрата потужності мотором, надмірна витрата ПММ.

Причинами, що впливають на роботу форсунок, можуть бути:

- надмірний вміст сірки в ПММ,
- корозія металевих елементів,
- знос,
- засмічення фільтрів,
- неправильна установка,
- вплив високих температур,
- проникнення вологи та води [1].

Несправності, що насуваються, можна визначити за низкою ознак:

- поява незапланованих збоїв при старті двигуна;

– суттєве збільшення витрати палива порівняно з номінальними значеннями;

– поява вихлопів чорного кольору;

– поява збоїв, що порушують ритмічність роботи мотора на холостому ході [1].

Для вирішення вищезгаданих проблем потрібно періодичне промивання паливних форсунок. Для усунення забруднень застосовують ультразвукове очищення, використовують особливу рідину, виконуючи процедуру вручну, або додають спеціальні присадки, що дозволяють очистити форсунки без аналізу двигуна [2].

Заливання промивання в бензобак – найпростіший і щадний спосіб очищення забруднених форсунок. Принцип дії складу, що додається, полягає в постійному розчиненні з його допомогою наявних відкладень у системі впорскування, а також часткове запобігання їх появи в майбутньому. Така методика хороша для нових машин чи автомобілів з невеликим пробігом. У цьому випадку додавання промивання в бак з паливом виступає профілактикою, що дозволяє підтримувати силову установку та паливну систему машини у чистоті. Для машин із серйозними забрудненнями паливної системи цей спосіб не підходить, а в ряді випадків може завдати шкоди, посиливши наявні проблеми. При великій кількості забруднень змиті відкладення потрапляють у форсунки та забивають їх ще більше [7].

Чистка без зняття з двигуна. Промивання паливних форсунок без розбирання двигуна виконується шляхом підключення установки для промивання безпосередньо до мотора. Такий підхід дозволяє відмити бруд на форсунках і паливній рампі. Двигун на півгодини запускається на неодруженому ході, подача суміші відбувається під тиском.

Чищення зі зняттям форсунок. При сильних забрудненнях двигун розбирають на спеціальному стенді, знімають форсунки та виконують їх індивідуальне очищення. Подібні маніпуляції додатково дозволяють

визначити наявність несправностей у роботі форсунок зі своїми наступною заміною [3].

Чищення ультразвуком. Очищення форсунок виконується в ультразвуковій ванні для попередньо знятих деталей. Варіант підходить при сильних забрудненнях, що не забираються очисником. Комплексні роботи з промивання та заміни окремих деталей дозволяють забезпечити безперебійну роботу паливної системи ще на півроку, додавши 10-15 тисяч кілометрів пробігу.

## 1 АНАЛІЗ АНАЛОГІВ РОЗРОБЛЮВАНОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Відповідно до теми бакалаврської роботи було проведено пошук установок для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів, який виявив такі моделі установок:

- стенд промивання паливних форсунок Sprint 6;
- пристрій для тестування та чищення паливних систем JTC 4325;
- стенд для обслуговування бензинових інжекторів Trommelberg HP 107;
- Установа для діагностики та чищення форсунок LAUNCH CNC-602A;
- «Реаніматор форсунок».

Стенд промивання інжекторів «Sprint 6» (рис. 1) є універсальним обладнанням, призначеним для перевірки та механічного очищення електромагнітних форсунок більшості виробників. Стенд призначений для перевірки та очищення форсунок інжекторних автомобілів. Промивання здійснюється за допомогою хімії Wynns або подібними до неї. Якість промивання досягається за рахунок застосування імпульсів різних частот, у тому числі високих. На яких виникають більш сприятливі умови для очищення сопла та начинки форсунки. До та після очищення можна провести ряд перевірочних процедур, які можуть виявити несправності форсунок: продуктивність, розпил та форма конуса, швидкодія спрацьовування пружини, герметичність, опір. Режими роботи: Перевірка - на цьому режимі тестується продуктивність інжекторів; Витік - перевіряється герметичність інжекторів; Геометрія - перевірка факела розпилу форсунки, вибирається тривалість і задається одиничний імпульс; Універсал - аналогічний режиму "перевірка", так само дозволяє промивати форсунки. Цей режим створено зручності щоб зберігати інші настройки і втручатися у режим перевірка. Очищення – оптимізований режим чищення форсунок, можна встановити лише час промивання. Усі інші параметри підібрані автоматично. Імпульси подаються

із різною частотою і тривалістю, тобто. Чищення проходить на всіх можливих режимах циклічно. Динаміка - проводиться контроль часу відкривання та закривання форсунок Основний недолік цієї моделі в тому, що не можна вплинути на режим "Очищення" через те, що він повністю автоматичний. Але з іншого боку можна використовувати режими "Перевірка та Універсал" - на них можна вручну задати будь-який режим за допомогою зміни тривалості впорскування, частоти та кількості імпульсів. Також невеликий недолік режимів "Перевірка та Універсал" полягає в тому, щоб змінити характеристики під час роботи стенду, потрібно натиснути на клавішу "стоп", змінити характеристики впорскування, потім знову запусити процес очищення. Тобто не можна змінювати параметри нальоту. Всі ці недоліки усунуті на інших дорожчих моделях.

Основні технічні характеристики:

- кількість діагностованих форсунок 6 шт;
- опір форсунок 1-30 Ом;
- напр. управління форсунками 6 та 12 В;
- робочий тиск 1-6 Атм;
- 8 режимів роботи;
- ємність бачка 1 л;
- економічний режим очищення;
- можливість змінювати параметри під час роботи;
- можливість послідовної роботи форсунок;
- підсвічування форсунок.



Рисунок 1 – Стенд для чищення форсунок з підсвічуванням Sprint 6

Пристрій для тестування та чищення паливних систем JTC 4325 (рисунок 2) – це відмінне рішення при виборі очисного обладнання у невелику автомайстерню чи домашнє господарство. За допомогою даної моделі користувач (як професіонал, так і любитель) може контролювати придатність паливної системи та ущільнювачів, а також здійснити чищення інжекторів, впускних клапанів, вакуумних пристроїв та інших елементів автомобіля, що взаємодіють із паливом. Комплект підійде до більшості марок автомобілів.

Даний набір також очищає і деталі циліндропоршневої групи, через те, що принцип роботи даного пристрою заснований на подачі речовини, що чистить, в циліндри двигуна замість звичайного палива. Для очищення використовують спеціальну рідину для промивання типу Wynn's. Для роботи з цим набором додатково знадобиться зовнішнє джерело стисненого повітря (компресор). У комплект входять перехідники, що дозволяють підключитись практично на всі автомобілі. Шланги та рознімання мають з'єднання типу

«швидкий роз'єм». Працює з наступними паливними системами: K-Jetronic, - Jetronic, ТВ, С, С, С Е, Е, МР, А С та іншими. За допомогою даного набору виконується чищення нагару у впускній системі та камері згоряння, що сприяє відновленню нормальної роботи двигуна.

Основні технічні характеристики:

- кількість форсунок, що одночасно промиваються: 1 шт.;
- максимальний обсяг очисної рідини: 650 см<sup>3</sup>;
- упаковка: міцний переносний кейс;
- габаритні розміри (Д×Ш×В): 450×350×100 мм;
- маса: 4,1 кг.

Принцип роботи.

Працює від стисненого повітря, як яке може використовуватися як стаціонарний повітряний компресор, так і звичайний автомобільний компресор для підкачування шин. Принцип очищення заснований на подачі рідини, що чистить (сольвента) в паливну систему замість палива. Для паливних систем, що мають зворотний контур для скидання надлишкового тиску, цей контур необхідно заглушити, щоб виключити попадання рідини в бак автомобіля. У процесі промивання інжектора відбувається очищення не тільки елементів паливної системи, а й деталей циліндропоршневої групи, вирівнюється і підвищується компресія в циліндрах [25].

Рекомендується повторювати процес промивання через кожні 15 тисяч кілометрів пробігу автомобіля.

особливості:

- практична упаковка. Кожен компонент пристрою для тестування та чищення паливних систем ЛТС 4325 надійно зафіксований в індивідуальному осередку міцного переносного кейсу, що гарантує збереження комплекту під час транспортування;
- зручне транспортування. У корпусі пластикового кейсу передбачена ергономічна рукоятка, що складається, з широкою поверхнею хвата, що

дозволяє користувачеві з комфортом піднімати і переносити набір з одного робочого місця на інше;

– візуальний контроль. Манометр з великим циферблатом та зрозумілим градуванням дозволяє спостерігати за тиском у балоні в режимі реального часу.

Переваги:

- виконує чищення нагару у впускній системі та камері згоряння,
- відновлення нормальної роботи двигуна,
- висока якість складання,
- міцні матеріали,
- захист від корозії,
- простота експлуатації,
- тривалий термін служби.



Рисунок 2 – Пристрій для тестування та чищення паливних систем JTC 4325

Стенд для обслуговування бензинових інжекторів Trommelberg HP 107 (рисунок 3) призначений для діагностики, ультразвукового очищення та зворотного промивання інжекторів МР і ТВ. Цей прилад оснащений високочастотним манометром, набором адаптерів та з'єднувальними шлангами. На передній панелі є дисплей та мікропроцесорна система керування. Усі вбудовані функції керуються пультом із дев'ятьма кнопками. Візуально перевірити роботу одночасно до шести інжекторів дозволяють скляні циліндри з підсвічуванням.



Рисунок 3 – Стенд для обслуговування бензинових інжекторів Trommelberg HP 107

#### Основні технічні характеристики:

- електроживлення:  $\sim 220 \pm 10\text{В}$ ,  $50 \pm 0,5\text{Гц}$ ;
- температура довкілля: від плюс  $10^\circ\text{C}$  до плюс  $40^\circ\text{C}$ ;
- відносна вологість:  $< 85\%$ ;
- напруженість магнітного поля:  $< 400\text{ А/М}$ ;
- потужність ультразвуку:  $70\text{ Вт}$ ;
- кількість форсунок, що одночасно промиваються:  $6\text{ шт.}$ ;
- час промивання, хв.:  $10\%$ ;
- регулювання частоти роботи інжектора від  $0$  до  $7500\text{ об/хв.}$  з кроком  $50\text{ об/хв.}$ ;
- регулювання кількості імпульсів упорскування: від  $0$  до  $9900$  імпульсів з кроком  $100$  імпульсів;
- налаштування часу очищення: від  $0$  до  $10\text{ хв.}$ ;
- регулювання тривалості імпульсу впорскування (PMW):  $0-20\text{ мс}$  з кроком  $0,1\text{ мс}$ ;
- налаштування тиску в системі  $0-0,5\text{ МПа}$ ;
- обсяг тестового циліндра  $140\text{ мл}$ ;
- розміри (Д×Ш×В):  $480 \times 450 \times 730\text{ мм}$ ;
- маса:  $60\text{ кг}$ .

#### Особливості:

- стенд для очищення та тестування інжекторів;
- тест на наявність витіку;
- скляні циліндри для візуальної перевірки роботи одночасно до  $6$  інжекторів;
- вбудована в тумбу стенду ультразвукова ванна, електронне налаштування тиску рідини, що очищає;
- великий ПК-дисплей з комп'ютеризованою системою керування,
- управління всіма за допомогою 4-спрямованого джойстика;
- високопродуктивний та стабільний у роботі рідинний насос SIEMENS.

#### Переваги:

- тест на наявність витоку;
- скляні циліндри;
- ультразвукова ванна;
- електронне налаштування тиску очищувальної рідини;
- дисплей та мікропроцесорна система управління;
- пульт керування всіма функціями з дев'ятьма кнопками;
- генератор ультразвуку потужністю 70 Вт;
- можливість налаштування режимів роботи.

Установки серії CNC-602A - призначені для тестування та ультразвукового чищення всіх видів форсунок - електромагнітних та механічних, очищення паливних систем автомобіля, а також впускних клапанів камер згоряння за допомогою сольвенту. CNC-602A - тестування до 6 форсунок одночасно, настільний варіант без стійки. У комплекті ультразвукова ванна та комплект адаптерів під різні типи форсунок. Можливість очищення паливної системи, не знімаючи форсунок з автомобіля. Призначений для роботи з будь-якими форсунками - як з верхнім, так і з бічним підведенням палива, в тому числі з новітніми типами (GDI, HPI, FSI); Вбудований мікрокомп'ютер та цифровий дисплей в автоматичному режимі Потужне ультразвукове чищення 100W. Тестування: симуляція різних режимів роботи з метою перевірки герметичності, продуктивності, якості розпилення однієї або декількох форсунок Промивання: автоматичне видалення опадів у форсунці. Чищення ультразвуком: одночасне чищення всіх форсунок Локальна чистка: чищення всіх видів забруднень у камері згоряння.



Рисунок 4 – Стенд для діагностики та очищення форсунок Launch CNC-602A

Технічні характеристики установки:

Робочі умови:

- температура:  $-10 \sim +40$  ;
- відносна вологість: 85%;
- напруженість магнітного поля: 400а/м;
- відсутність полум'я у радіусі 2м.

Технічні характеристики:

- живлення від мережі змінного струму:
- $\sim 220 \pm 10\%$ , 50/60гц;  $\sim ac 110 \pm 10\%$ , 50/60гц
- потужність: 250вт;
- потужність ультразвукового випромінювача: 100вт;
- діапазон числа оборотів: 10 ... 9990 об / хв; крок: 10 об/хв;
- установка таймера: 1 ... 9999с;
- ширина імпульсу упорскування: 0.5 ... 25мс;
- крок 0.1 мс;
- місткість бака: 4700мл;
- габаритні розміри: 385мм×410мм.

## 2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ

### 2.1 Технічне завдання на розробку установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів

Ця установка відноситься до ремонтної техніки, і може бути використана при складальних та розбиральних роботах системи живлення автомобілів із системою розподіленого упорскування палива. Вона може бути використана на авторемонтних підприємствах та станціях технічного обслуговування, де проводиться ремонт та технічне обслуговування легкових автомобілів.

Установка розробляється виходячи з технічного описи аналогів, отриманих результаті дослідження.

Призначенням даної розробки є розробка конструкторської документації, на основі якої розробляється робоча документація, якою буде виготовлено дослідний зразок установки. Після проведення всіх необхідних випробувань та робіт з доведення установки приймається рішення про можливий запуск її у дрібне серійне виробництво.

Метою розробки даної установки є спрощення конструкції аналога шляхом скорочення числа деталей, підвищення технологічності, спрощення конструкції окремих вузлів, що дозволяє виготовлення конструкції в умовах невеликого верстатного парку АТП, застосування економічно вигідніших конструкцій, а також деталей та вузлів інших підприємств (уніфікованих) [ 3].

За виконання конструкторської розробки особливу увагу слід звернути на такі джерела інформації: інтернет-форуми, журнали, методичні посібники та іншу технічну літературу.

До конструкції установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів висуваються такі вимоги:

– повинна відповідати вимогам правил експлуатації та бути безпечною під час експлуатації;

– конструкція рами установки повинна мати достатню жорсткість і міцність;

– повинні бути передбачені фіксація та кріплення робочих органів при ремонті та в неробочому стані при транспортуванні, пристрої безпеки оператора;

– для оснащення установки повинні максимально використовуватися механічні вузли, електричні та електронні елементи, агрегати та окремі елементи автомобільної промисловості, що відповідають сучасним та перспективним міжнародним та російським вимогам;

– дизайн установки має бути сучасним, мати гарний та естетичний вигляд;

– встановлення має відповідати вимогам пожежо- та електробезпеки;

– у процесі експлуатації установка не повинна вимагати частих профілактичних робіт та особливого догляду. Під час проведення технічного обслуговування необхідно використовувати лише експлуатаційні матеріали, що випускаються серійно, не потребують використання спеціальних інструментів;

– розробку конструкції виконати в універсальній системі автоматизованого проектування.

Технічна характеристика установки, що рекомендується, для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів:

– довжина, мм..... не більше 600;

– ширина, мм.....не більше 600;

– висота, мм.....не більше 2000;

– маса в зборі, кг.....не більше 100.

Технічна характеристика приводу стенду:

– тип приводу.....електричний;

– робочий тиск на стенді, бар.....2-5.

Складові частини конструкції повинні легко піддаватися збиранню-розбиранню при заміні деталей або транспортуванні.

Транспортування здійснюється у розібраному вигляді, всі частини установки мають бути запаковані у дерев'яні ящики, які маркуються відповідним чином. Зберігати пристрій у зібраному або розібраному вигляді у сухому приміщенні [10].

Під час виконання завдання передбачити розробку технічної пропозиції з ескізним проектом.

На погодження надається технічна пропозиція з ескізним проектом. Погодження з іншими організаціями не потрібне.

Виготовлення дослідного зразка не передбачається.

Можливості експорту розроблюваної установки до зарубіжних країн не передбачено.

Використовувати установку повинні люди, які пройшли спеціальний інструктаж з техніки безпеки та вивчили правила експлуатації.

Установку для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів виготовити в 1 екземплярі. Оскільки серійне виробництво не передбачено, пошук на патентну чистоту не обов'язковий.

## 2.2 Технічна пропозиція на розробку установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів

При проектуванні використовуються матеріали, зібрані в ході досліджень конструкції на патентну чистоту, весь список рекомендованої літератури, курс лекцій кафедри тракторів і автомобілів.

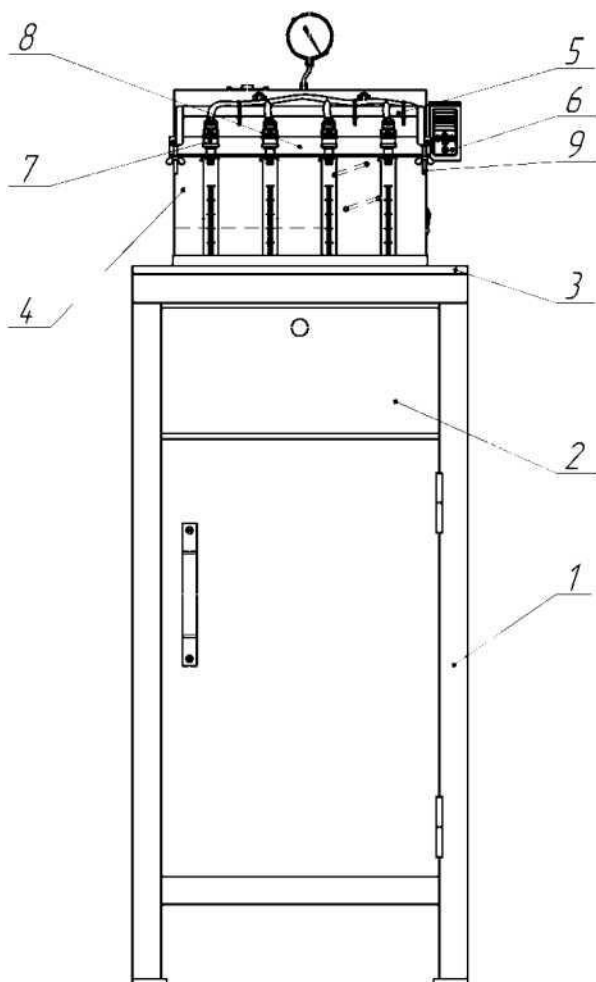
Пропонована конструкція установки (рисунок 5) складається з нижнього каркаса 1 столу, звареного їх стандартних профілів у вигляді куточків, зверху пригвинчується стільниця 3, виконана з двох шарів, листа тонкого листа зверху, і листа фанери під ним. Нагорі стільниці встановлений корпус 4 з встановленим всередині гідравлічним обладнанням. Корпус, виконаний з тонколистової низьколегованої сталі з відігнутими для жорсткості краями. Зовні на корпусі розміщуються: паливна рампа 5 від двигуна Opel Omega A 2.0i 5, блок управління 6 «Реаніматор форсунок», що управляє котушками

інжекторів, що промиваються 7. Інжектори притискаються до паливної рампи через алюмінієвий катаний куточок 9- Зусилля 8. Зусилля. Під кожною форсуною встановлений мірний циліндр з поділами в мілілітрах.

Робота вузла.

Послідовність промивання на розробленій установці така:

- візуальна перевірка форсунок щодо наявності корозії;
- перевірка продуктивності форсунок на установці до очищення (каталожні номери форсунок та виміряна пропускна спроможність кожної з них фіксуються в журналі);
- очищення форсунок за допомогою блоку «Реаніматор форсунок» із застосуванням миючої рідини Wynns;
- ультразвукове очищення форсунок (цей пункт можна упустити). Для цього використовується окреме обладнання, яке зберігається усередині каркасу установки;
- перевірка продуктивності форсунок на установці після очищення (каталожні номери форсунок та виміряна пропускна здатність очищених форсунок фіксуються в журналі) [24].



1 – нижня рама установки; 2 – допоміжний ящик; 3 – стільниця; 4 – корпус установки з гідрообладнанням; 5 – паливна рампа ДВЗ; 6 – блок діагностичний; 7 – форсунки, що перевіряються; 8 – притисний куточок; 9 - болт з гайкою-баранчиком

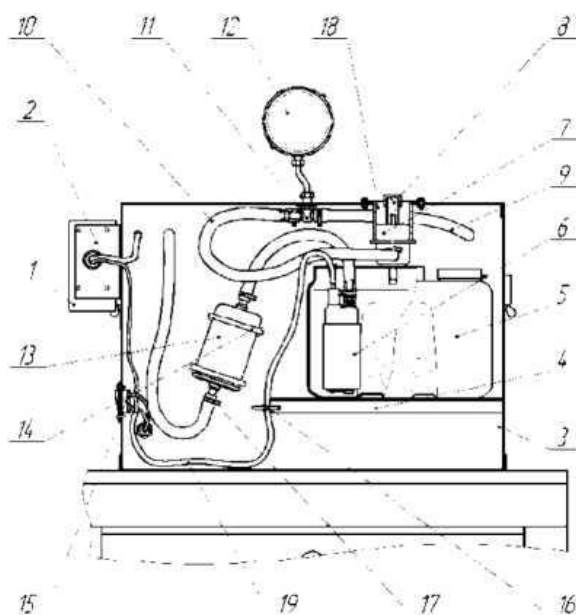
Рисунок 5 – Пристрій установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів

Робоче обладнання установки (рис. 6).

Специфікацію на установку для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів представлено в Додатку А.

Основним керуючим блоком є покупний блок 1 «Реаніматор форсунок», закріплений на корпусі 3 через зігнутий кронштейн 2. У середній частині корпусу закріплений кронштейн 4, виконаний також з тонколистового металу, що надає жорсткість корпусу і служить опорою бачка 5 омивача, як ємність для бензину. У верхній частині бачка встановлений регулятор 7 тиску від двигуна Opel Omega A 2.0i. Один патрубков регулятора виведений в бачок,

інший підключений до зливного патрубку 9 паливної рампи. Повітряний патрубок регулятора заглушений пробкою 8 на час зберігання, під час роботи знімається пробка, щоб не заважати роботі діафрагми регулятора [17].



1 – керуючий блок; 2 – кронштейн; 3 – корпус установки; 4 – кронштейн; 5 – бачок; 6 – паливний насос; 7 – регулятор тиску від двигуна Opel Omega A 2.0i; 8 – пробка повітряного патрубку регулятора; 9 – зливна магістраль; 10 - трубопроводи установки; 11 - Т-подібний штуцер; 12 – контрольний манометр; 13 – паливний фільтр; 14 - U-подібні шпильки; 15 – вимикачі; 16 – хомути пластикові; 17 – хомути металеві; 18 - притисний стакан; 19 – електропроводка установки

Рисунок 6 – Робоче обладнання для установки

На шляху зливальної магістралі 9 підключається контрольний манометр 12, службовець для діагностики насоса 6 і для контролю при регулюванні тиску на регуляторі 7. Всі гідрокомпоненти системи з'єднуються трубопроводами 10, обтиснутими в місцях з'єднаннях сталевими хомутами 17. Для розбирання гідросистеми положення регулятора 17 і притискає його до бачка 5. Склянка пригвинчується на три болти М5.

Від насоса 6 напірна магістраль проходить через фільтр паливний 13, і виходить назовні корпусу, на вхід паливної рампи. Фільтр прикручується до стінки корпусу через 3 через дві U-подібні шпильки 14.

Електрична частина установки складається з підведення живлення через стінку корпусу, живлення йде на насос б, живлення котушок інжекторів і блок керування через 1 вимикачі 15. Електропроводка закріплюється всередині корпусу через пластикові хомути 16 [6].

Електрична схема установки представлена нижче (рис. 9).

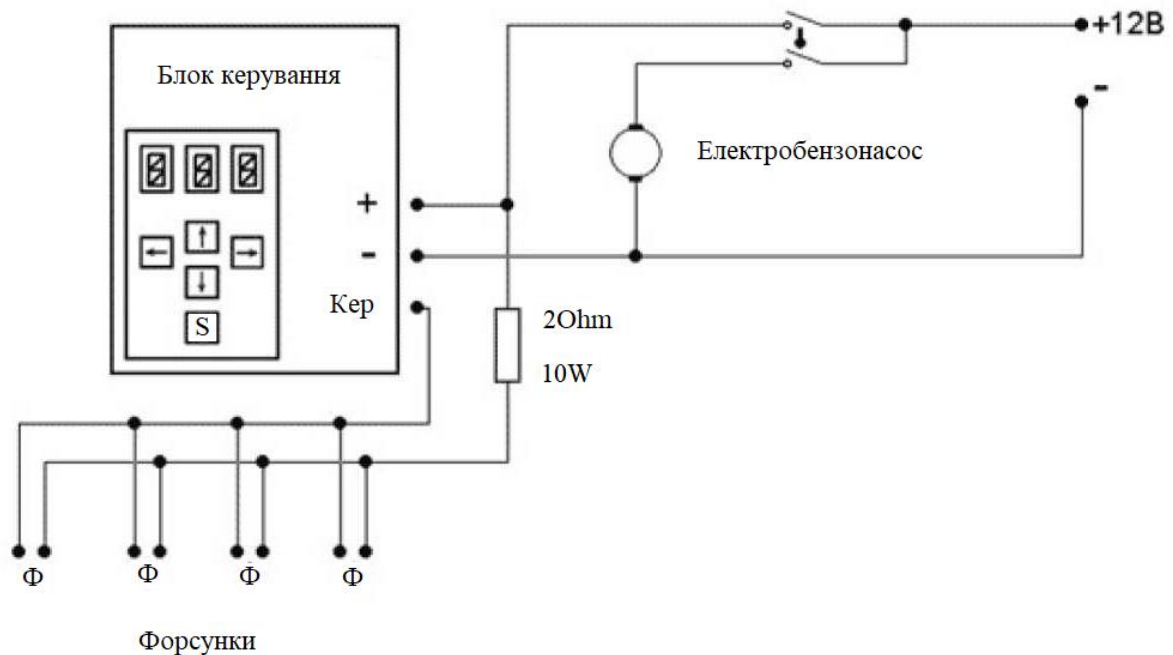


Рисунок 7 – Електрична схема установки

Застосоване на установці обладнання.

Манометр із такими технічними характеристиками:

- діаметр корпусу 80 мм,
- клас точності 0,6,
- діапазон тиску: від 1 до 5 кгс/см<sup>2</sup>.

Блок «Реаніматор форсунок» дозволяє перевірити продуктивність форсунок, а потім очистити їх завдяки спеціальному режиму роботи. Зовнішній вигляд показаний малюнку 10 [4].



Рисунок 8 – Блок «Реаніматор форсунок»

Технічні характеристики реаніматора форсунок у режимі Перевірки:

- кількість імпульсів відкриття форсунок – від 10 до 2550;
- час відкриття форсунок – від 1,5 до 9,9 мс;
- часовий інтервал між імпульсами – від 10 до 100 мс» [2].

Паливний фільтр (рисунок 9) тонкого очищення – повнопоточний, кріпиться поруч із паливним баком. Фільтр нерозбірний, забезпечений сталевим корпусом з паперовим елементом, що фільтрує [7].



Рисунок 9 – Паливний фільтр

Мірний циліндр 1015 з PMP (Polymethylpentene Polymer).

Виробництво «anplatec Corporation», об'ємом 200 мл, має високу термічну (до 170°C) та хімічну стійкість. Зовнішній вигляд показаний рисунку 10 [16].

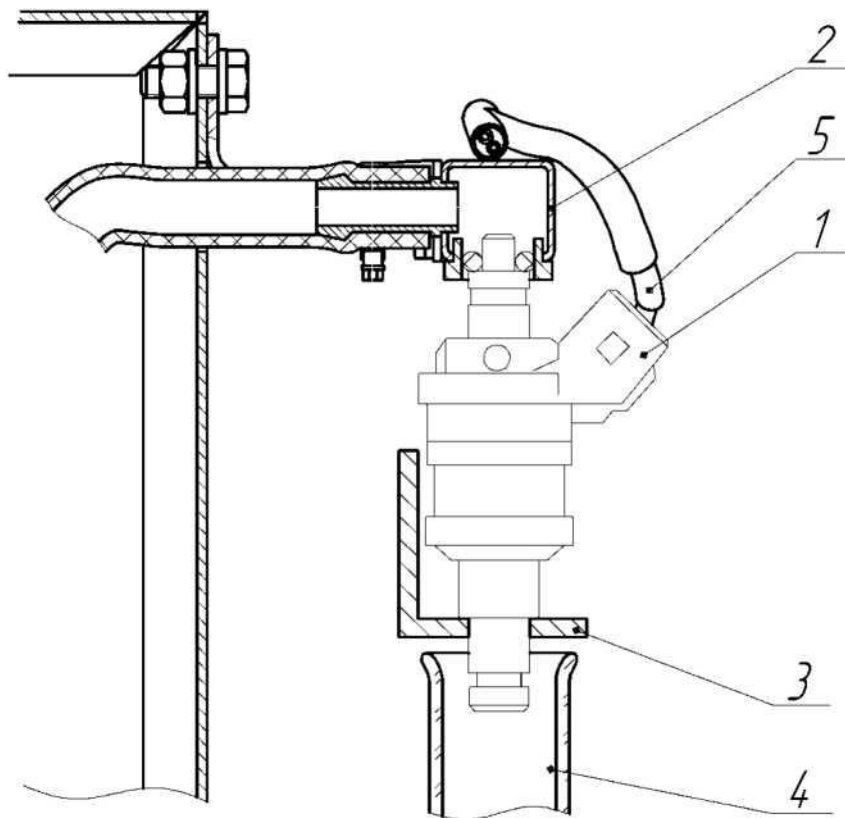


Рисунок 10 - Мірний циліндр

Прозорий, має точну та контрастну градуювальну шкалу, яка забезпечує максимальну зручність та максимальну точність у роботі. Восьмикутна основа циліндра забезпечує максимальну стійкість. Має розширену горловину, що забезпечує зручнішу роботу оператора [10].

Робота на устаткуванні.

Робота на установці починається з форсунок на стенд. Установку виконувати згідно з рисунком 11.



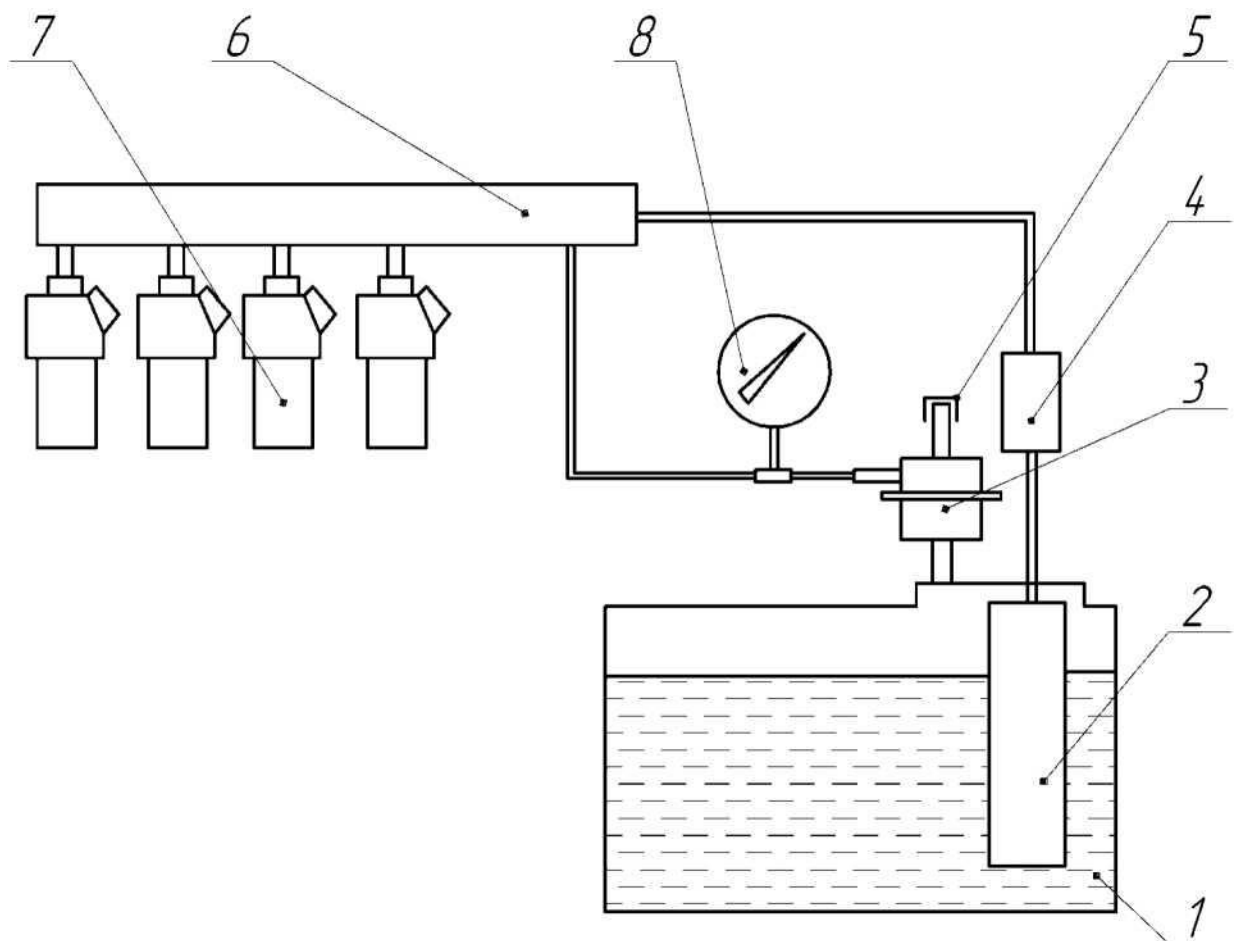
1 - форсунка, що промивається; 2 – паливна рампа установки; 3 – притискний куточок; 4 – вимірювальний циліндр; 5 – електропроводка установки

Рисунок 11 – Встановлення форсунки на стенд

Форсунку 1 вставляють вхідним штуцером у гніздо паливної рампи 2. При установці японських форсунок потрібно використовувати спеціальні ущільнювачі. Після встановлення всіх чотирьох форсунок вони фіксуються і притягуються куточком 3. Далі під вихідний штуцер (з голкою) підставляється вимірювальний циліндр 4. В кінці до роз'єму форсунки підключається електропроводка установки 5.

Після встановлення форсунок потрібно включити живлення, спочатку вмикається живлення насоса, потім живлення блоку управління [19].

Після подачі живлення можна працювати із гідрообладнанням на стенді. Схема роботи показано рисунку 12.



1 – бачок; 2 – паливний насос; 3 – регулятор тиску; 4 – фільтр; 5 - пробка повітряного патрубку регулятора; 6 – паливна рампа; 7 - форсунка, що промивається; 8 – контрольний манометр

Рисунок 12 – Схема роботи гідрообладнання

Коли потрібно подати (впорснути) паливо, в обмотку електромагніту форсунки 7 від електронного блоку «Реаніматора форсунок» протягом певного проміжку часу подається електричний струм. Серце електромагніта, пов'язане з голкою форсунки, при цьому втягується, відкриваючи шлях палива в вимірювальний циліндр. Тривалість подачі електричного струму, тобто тривалість упорскування палива, регулюється електронним блоком. Програма електронного блоку на кожному режимі стенду забезпечує оптимальну подачу палива.

З бачка 1 паливо надходить під тиском від паливного насоса 2, проходить магістралі через проточний паливний фільтр 4 і потрапляє в паливну рампу 6 (рампу інжекторів), загальну для всіх електромагнітних

форсунок. Тиск у цій рампі регулюється за допомогою регулятора 3, який залежно від розрідження у впускному патрубку 5 (закритому на час простою пробкою) направляє частину палива з рампи назад у бак. Зрозуміло, що всі форсунки 7 знаходяться під тим самим тиском, рівним тиску палива в рампі. На виході з форсунок паливо потрапляє у вимірювальні циліндри, точно відбиваючи його витрати [24].

Робота стенду в режимі перевірки.

Проводиться перевірка форсунок на продуктивність. При цьому на форсунки подаються однакові керуючі імпульси (обмотки всіх форсунок підключені паралельно) та паливо під тиском близько 2,5 бар (залежить від моделі застосованого регулятора тиску).

Рекомендовані для перевірки продуктивності параметри:

- кількість імпульсів відкриття форсунок – 2000;
- час відкриття форсунок – 9,9 мс;
- часовий інтервал між імпульсами – 10 мс.

Вимірювання кількості пролитого кожною форсункою палива проводиться за допомогою мірної мензурки.

Результати вимірів записуються в журналі в наступній формі:

- дата проведення вимірювань;
- каталожний номер форсунок;
- продуктивність кожної форсунки до очищення;
- продуктивність кожної форсунки після очищення.

Це дозволяє скласти таблицю еталонних значень продуктивності форсунок. Завдяки чому при черговому очищенні можна буде порівнювати виміряну продуктивність форсунок з еталонним значенням, і таким чином оцінювати рівень їх забрудненості до проведення очищення [7].

Робота установки в режимі очищення.

Реаніматор форсунок був розроблений у 2000 р. Насамперед він був призначений для очищення форсунок виробництва Bosch. Паливні форсунки інших виробників на ринку України тоді зустрічалися рідко.

У режимі очищення «Реаніматор форсунок» може працювати тільки з однією форсункою! У цьому режимі роботи програмне забезпечення автоматично визначає резонансну частоту голки форсунки. Після захоплення проводиться дев'ять цієї частоти в невеликому діапазоні. У такому режимі форсунка виробництва Bosch, опущена в розчин, що чистить (наприклад Wynns ) починає прокачувати рідину, що чистить, у зворотному напрямку. Це сприяє інтенсивній взаємодії хімічного очищувача та забруднень усередині форсунки.

Можливе очищення форсунок та інших виробників, але в цьому випадку необхідно створити додаткове розрідження з боку паливного штуцера форсунки.

Достатньо «прокачати» форсунку в режимі «Очищення» протягом 20...30 сек (бензин усередині форсунки повинен замінитися рідиною для промивання). Потім форсунка має бути встановлена вертикально на 5...10 хв. Це необхідно для того, щоб рідина для промивання всередині форсунки змогла розчинити відкладення. Після цього форсунку знову прокачують протягом 1 хв.

Для посилення ефекту чищення форсунку бажано помістити на деякий час в ультразвукову ванну. Ванну можна заповнити водою з додаванням рідкого мила (рідини для миття посуду). Тривалість очищення форсунок в ультразвуковій ванні становить 10...15 хв.

Після очищення форсунки встановлюються на установку, де вимірюється їх продуктивність. Продуктивність форсунок має бути однаковою. Показання продуктивності очищених форсунок мають бути записані до журналу [8].

Естетичні вимоги до виробу, що розробляється.

Загальний конструктивний стиль окремих вузлів має створювати гармонійну, продуману конструкцію виробу.

Якщо дивитися на установку спереду та зверху, то конструкція установки в основному симетрична.

Форма обрисів вузлів і деталей проста і строга і має здебільшого повторення горизонтальних та вертикальних ліній. Проста зовнішня форма дозволяє містити установку в чистоті та полегшує видалення бруду та пилу.

Забарвлення установки повинно проводитися також відповідно до естетичних вимог та вимог безпеки. Усі корпусні частини установки у світло-зелений колір, оскільки він є більш природним, діє заспокійливо і не викликає збудження, не розосереджує увагу людини і не впливає на продуктивність праці. Частини, що рухаються, забарвлюються яскраво-червоною емаллю, захисний відкидний кожух забарвлюється жовтою фарбою [11].

#### Ергономічні вимоги

Загалом конструкція установки ергономічна, оскільки обслуговування не пов'язане з великими незручностями.

Паливна рампа, електропроводка, блок керування легко доступні та знаходяться на рівні зігнутих у лікті руках оператора.

Ручка висувної скриньки, ручка дверцят шафи в каркасі установки знаходяться під одну руку, на прийнятній висоті каркаса [13].

### 2.3 Розрахунок конструкції установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів

#### 2.3.1 Вибір насосу

При виборі насоса враховуємо, що розрахунок буде перевірочним для одного з уніфікованих електронасосів паливної системи.

Діаметр отвору в паливній рейці заданий, потік визначимо з умови забезпечення ламінарного перебігу рідини, за формулою:

$$d \geq \frac{R_e \cdot \nu}{V} \quad (1)$$

де  $R_e$  - число Рейнольдса. Рекомендується призначати число Рейнольдса, рівним від 1000 до 1500, приймається рівним 1300;

$\nu$  – кінематична в'язкість паливної рідини,  $0,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;

$V$  – швидкість закінчення рідини. Для збереження ламінарного руху швидкість має перевищувати  $6000 \text{ см/с}$ , приймається рівною  $8000 \text{ см/с}$  [14].

$$d \geq \frac{1300 \cdot 0,9 \cdot 10^{-6}}{8000} = 0,0014 \text{ см}$$

Зважаючи на те, що проєктована установка за ступенем використання палива є багаторазовою, то дотримуємося наступних рекомендацій: в установках із багаторазовим обігом рідини доцільно використовувати менший тиск рідини, але більшу витрату від рекомендованих» [15].

Кількість форсунок у паливній системі автомобілів зазвичай дорівнює 8 штук. Приймаємо діаметр відкритої форсунки рівним 1 мм.

Визначаємо витрату рідини.

$$Q = \alpha \cdot n \cdot \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{(2g \cdot H)} \quad (2)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт запасу, приймається рівним 1,1;

$n$  – кількість форсунок, що приймається рівним 70;

$\mu$  – коефіцієнт витрати, що приймається рівним 0,45;

$\omega$  – площа поперечного перерізу отвору насадки.

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$H$  - натиск перед форсункою, приймається рівним 60 м [14].

$$V_{cp} = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (4)$$

Визначимо середню швидкість течії рідини у трубопроводі: де  $d$  – діаметр трубопроводу, приймається рівним 15 мм [14].

$$V_{cp} = \frac{4 \cdot 0,0047}{3,14 \cdot 0,015^2} = 0,24453 \text{ м/с}$$

Визначимо втрати напору прямолінійної ділянки трубопроводу

$$H_L = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V_{cp}^2}{2g} \quad (5)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт опору трубопроводів, що приймається рівним 0,03;

$L$  - Довжина ділянки трубопроводу, приймається 1 м (конструктивно, за кресленням);

$d$  – внутрішній діаметр трубопроводу, що приймається рівним 0,025 м;

$V_{cp}$  – середня швидкість руху рідини у трубопроводі, приймається рівною 0,2445 м/с [16].

$$H_L = 0,03 \cdot \frac{20}{0,025} \cdot \frac{0,025^2}{2 \cdot 9,81} = 0,149 \text{ м.}$$

Визначимо втрати напору місцевого опору:

$$H_{\Gamma} = \xi \cdot \frac{v_{cp}^2}{2g} \quad (6)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт втрат місцевого опору приймається рівним 3 [16].

$$H_{\Gamma} = 3 \cdot \frac{0,2445^2}{2 \cdot 9,81} = 0,01 \text{ м.}$$

Напір насосу:

$$H = H + H_L + H_{\Gamma} \quad (7)$$

$$H = 60 + 0,149 + 0,01 = 60,159 \text{ см.}$$

Виходячи з отриманих результатів, підбираємо тип насоса за розрахованою продуктивністю та тиском промивання в стендах-аналогах.

Остаточню приймається бензонасос Bosch 0580453453, тиск насоса 3,5 бар.

### 2.3.2 Вибір електродвигуна

За підсумками розрахунку електродвигун підбирати не потрібно, він виконаний в одному корпусі бензонасосу.

### 2.3.3 Розрахунок притискного куточка

Куточок випробовує вигин нижньої полиці від дії сили  $F$  зтягування кріпильних гвинтів (рисунок 13).

Під час роботи установки для розрахунку приймається найбільш навантажений випадок, коли барашкова гайка зтягнута на максимальне зусилля, при якому гайка самостопориться. Зусилля зтягування гайки – від руки [17].

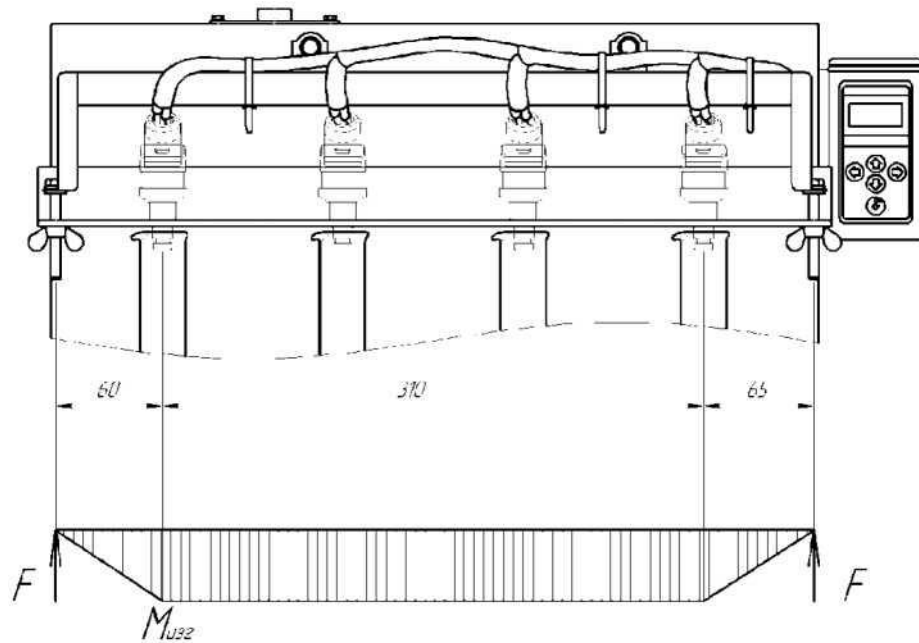


Рисунок 13 – Схема сил у притискному куточку

Конструктивно виберемо матеріал куточка: 35x35, товщина стінки 3,5 мм, матеріал – алюміній.

«Перевіряємо куточок на міцність при згинанні. За такого розрахунку потрібно виконати умову:

$$\sigma_{\text{згин}} = \frac{M_i}{W} \quad (8)$$

де  $M_i$  - згинальний момент,

$W$  – момент опору в розрахунковому перерізі куточка, що приймається рівним 80,75 см<sup>3</sup> для обраного куточка 35×35×3,5, згідно з довідником [16].

Далі будемо ешпору навантаження куточка (рисунок 13):

$$M_i = P \cdot (385 - 110 - 5) \quad (9)$$

Для розрахунку знаходимо максимальний згинальний момент:

де  $P$  - зусилля гвинта-баранця, приймається рівним 10 кг; (385-110-5) – плече дії сили  $F$ .

$$M_i = 500 \cdot 270 = 13500 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}}$$

$$\sigma_{\text{згин}} = \frac{13500}{80,75} = 167,18 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2} \leq [\sigma_{\text{згин}}] = 350 \text{КГ/СМ}^2$$

Умова виконується, отже, розрахунок зроблений правильно.

### 2.3.4 Розрахунок гвинтів кріплення притискного куточка

Визначимо силу  $R$ , яку необхідну прикласти до гвинта при його загвинчуванні до появи в стрижні (різьба М6) напруг, рівних межі плинності [19].

Плече додаток сили:

$$L = 15 \cdot d \quad (10)$$

$$L = 15 \cdot 0,012 = 0,18 \text{ м.}$$

Осьова сила  $F$  при якій напруга в стрижні болта досягає межі плинності:

$$F = \frac{\pi \cdot d_1^2 \cdot \delta_T}{4} \quad (11)$$

де  $d_1^2$  - внутрішній діаметр різьблення, що приймається рівним 0,016 м;

$\delta_T$  – межа плинності матеріалу, що приймається рівним 100 МПа [18].

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,016^2 \cdot 100 \cdot 10^6}{4} = 20,1 \text{ кН.}$$

Максимально допустимий момент при затягуванні:

$$M = 0,15 \cdot 20,1 \cdot 10^3 \cdot 0,018 = 54,27 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (12)$$

$$M = 0,15 \cdot 20,1 \cdot 10^3 \cdot 0,018 = 54,27 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Визначимо максимальну силу  $R$ , яку можна прикласти до гвинта:

$$R = \frac{M}{L} \quad (13)$$

$$R = \frac{54,27}{0,18} = 301,5 \text{ Н.}$$

Висновки за розділом.

У розділі було проведено розробку конструкції установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів, складено технічні завдання та пропозицію, виконано розрахунок основних елементів конструкції установки.

## 3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ДІАГНОСТУВАННЯ ФОРСУНОК НА УСТАНОВЦІ

### 3.1 Особливості влаштування систем живлення бензинових двигунів з електронною системою управління (ЕСУ)

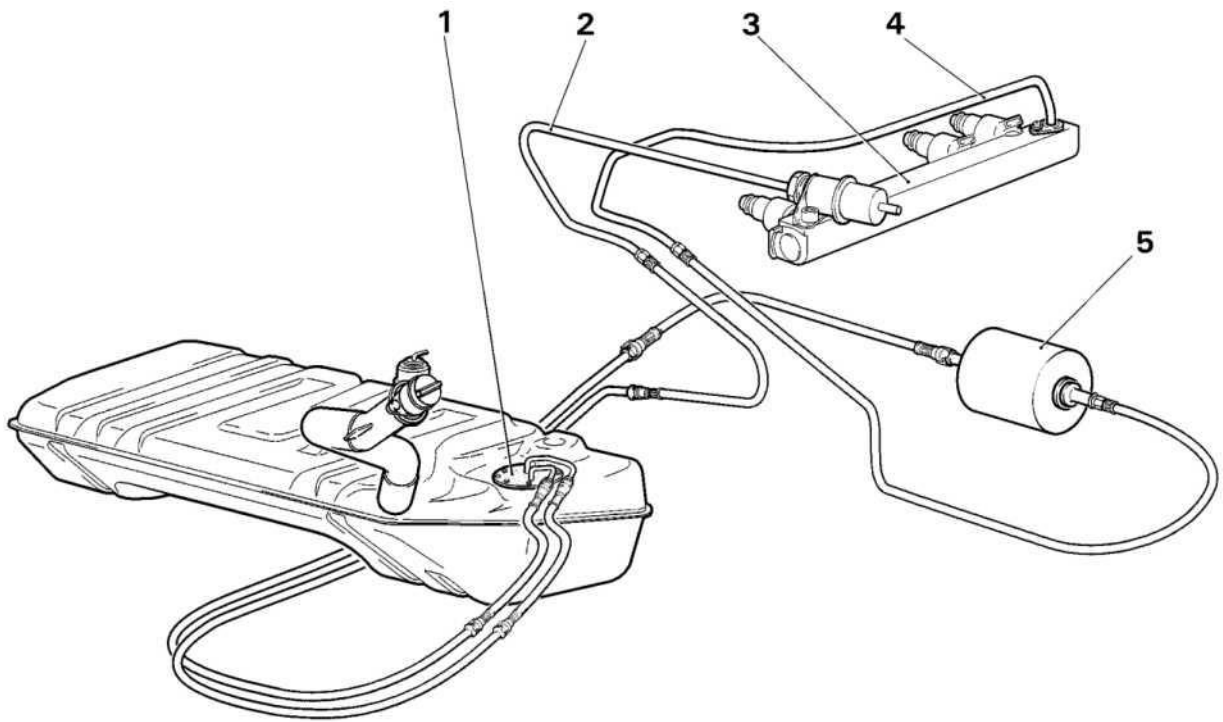
Система подачі палива (система подачі палива) призначена для забезпечення безперебійної подачі необхідної кількості палива в двигун на всіх режимах його роботи.

На сучасних автомобілях використовується переважно дві системи подачі палива: з попарно-паралельним упорскуванням та з розподіленим послідовним упорскуванням. Ці системи відрізняються організацією процедури упорскування палива та місцем розташування регулятора тиску палива в системі.

У системі подачі палива з попарно-паралельним упорскуванням (рисунок 16) одночасно спрацьовують дві форсунки. ЕБУ включає паливні форсунки попарно (1-4, 2-3) поперемінно через кожні 180° повороту колінчастого валу. Паливо у впускний трубопровід кожного циліндра впорскується двічі: спочатку на закриті клапани впуску на такті робочого ходу, а потім на такті впуску [23].

Електробензонасос, встановлений у баку, подає паливо через магістральний паливний фільтр тонкого очищення та шланги подачі палива на рампу форсунок. Електромагнітні форсунки, встановлені у трубі впускної двигуна, впорскують паливо точними дозами на впускний клапан, де воно практично миттєво випаровується. Далі готова паливоповітряна суміш надходить у циліндри двигуна.

Регулятор тиску палива підтримує постійний перепад тиску між впускною трубою та магістраллю рампи, що нагнітає. Тиск палива, що подається на форсунки, знаходиться в межах від 284 до 325 кПа при включеному запаленні та непрацюючому двигуні [19].

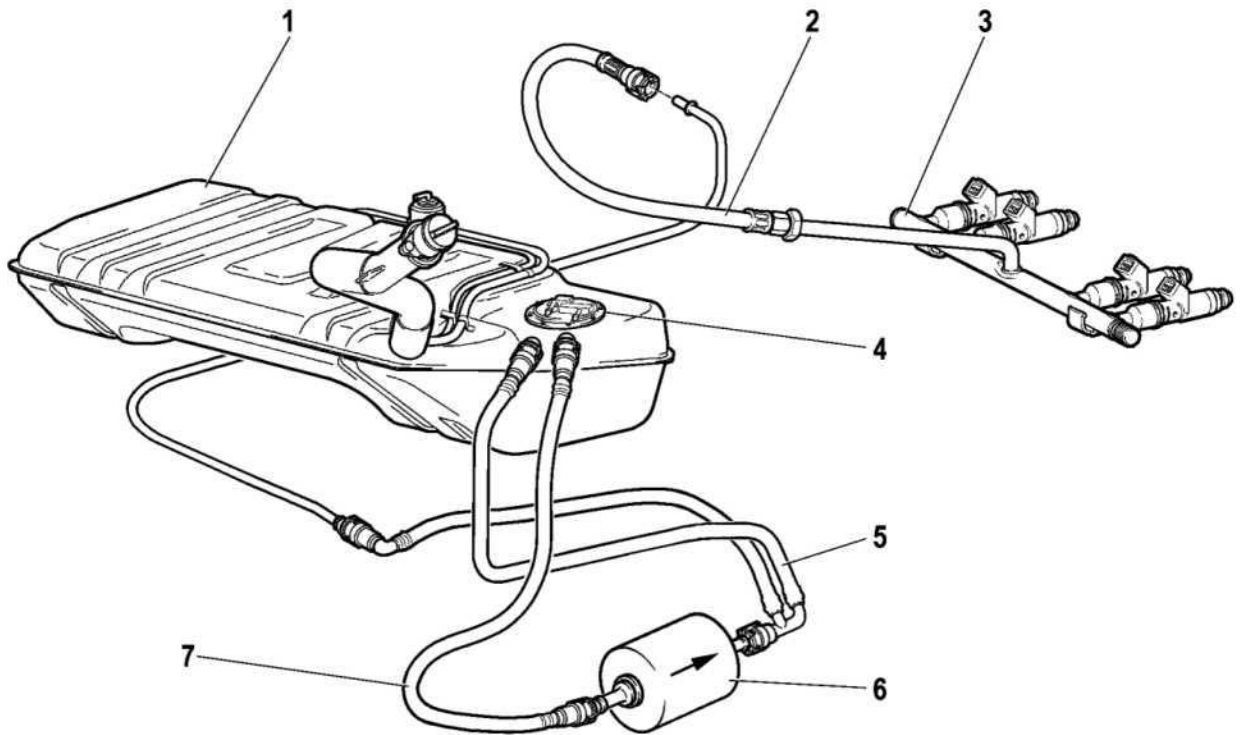


1 – електробензонасос; 2 – зливальний паливопровід; 3 – рампа форсунок;  
4 - подає провід; 5 – паливний фільтр

Рисунок 14 – Система подачі палива з попарно-паралельним упорскуванням

У системі подачі палива з розподілим послідовним упорскуванням (рисунок 15) ЕБУ включає паливні форсунки послідовно (1-3-4-2). Кожна з форсунок включається через кожні  $720^\circ$  кута повороту колінчастого валу, тобто один раз за робочий цикл чотиритактного двигуна. У цьому випадку забезпечуються ідентичні умови сумішоутворення для кожного циліндра.

Вбудований в електробензонасос регулятор тиску палива підтримує тиск палива в рампі форсунок від 364 до 400 кПа в залежності від режиму роботи двигуна. Надлишки палива зливаються назад у паливний бак через спеціальну магістраль, що йде від фільтра тонкого очищення до регулятора тиску бензонасоса [19].



1- паливний бак; 2 - шланг подачі палива до рампи форсунок; 3-рампа форсунок; 4- електробензонасос; 5 - шланг подачі палива від фільтра; 6 - шланг подачі палива до фільтра; 7- паливний фільтр

Рисунок 15 – Система подачі палива з розподіленням послідовним упорскуванням

### 3.2 Основні несправності та способи їх усунення

З усіх систем сучасних автомобілів найбільш чутливою до різного роду забруднення є паливна система автомобіля.

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

Паливо подається до форсунки під певним (залежним від режиму роботи двигуна) тиском. Електричні імпульси, що надходять на електромагніт форсунки від блоку управління, приводять в дію голчастий клапан, що відкриває та закриває канал форсунки. Кількість палива, що розпилюється, пропорційно тривалості імпульсу, що задається блоком управління. На процес сумішоутворення істотно впливає як кількість і розташування розпилювальних отворів, а й їх чистота [20].

Найбільш поширеною несправністю форсунок є їхнє забруднення. Так як форсунки розташовані в зоні впливу високих температур, то вони є теплонавантаженими деталями системи подачі палива, а тому і головним об'єктом накопичення смолянистих відкладень. Наслідок цього – закоксування важкими і важко випаровуються фракціями, що містяться в паливі (особливо низькоякісному), а також сірчистими сполуками, які під впливом температури і кисню перетворюються на липкі темно-коричневі опади- смоли. Освіта на форсунці твердих відкладень, навіть найменшої їх кількості, що перекривають (частково або повністю) розпилювальні отвори і порушують герметичність голчастого клапана, здатні сильно змінити як кількість палива, що впорскується, так і якість його розпилення [8].

Крім того, загальне забруднення елементів паливної системи (бака, трубопроводу, фільтра тощо) призводить до засмічення частинками шламу каналів та фільтру форсунки.

В результаті цього якість і склад суміші порушуються, погіршується її згоряння, і, як наслідок, виникають різні проблеми: утруднений запуск двигуна, нестійка робота на малих оборотах, підвищена витрата палива, підвищений рівень CO, CH, перегрів, детонація, втрата тяги, передчасний вихід із ладу агрегатів та деталей системи [23].

Для усунення вищеописаних проблем, зниження експлуатаційних витрат рекомендується проводити відновлення нормальної працездатності форсунок методом їхнього очищення на ультразвуковому стенді [23].

Основні несправності елементів системи палива, супутні їм діагностичні ознаки, а також способи усунення несправностей наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характерні несправності системи паливоподачі та методи їх усунення

Діагностичні ознаки	Несправності	Методи усунення несправності
Двигун не запускається	Погана якість палива	Заправляйтесь на офіційних автозаправних станціях (АЗС)
	Несправно реле бензонасосу	Замінити реле
	Несправний бензонасос	Замінити бензонасос [17].
Двигун погано запускається або глохне одразу після запуску	Несправний регулятор тиску палива	Замінити регулятор тиску палива
	Засмічення форсунок	Очистити форсунки та замінити [9].
Підвищена витрата палива	Прихоплення клапана форсунки у відкритому стані	Замінити форсунку
	Несправний регулятор тиску палива	Замінити регулятор тиску палива
	Негерметичність з'єднань шлангів паливних магістралей	Замінити шланги, підтягнути з'єднання [17].
Нестійка робота двигуна	Засмічення паливних фільтрів	Замінити фільтри
	Несправний регулятор тиску палива	Замінити регулятор тиску палива
Смикання автомобіля на всіх режимах роботи	Несправний регулятор тиску палива	Замінити регулятор тиску палива
Провали в роботі двигуна	Несправний регулятор тиску палива	Замінити регулятор тиску палива
	Негерметичність з'єднань шлангів паливних магістралей	Замінити шланги, підтягнути з'єднання [18].

Примітка. У таблиці не наводяться несправності елементів, що конструктивно не входять в систему паливоподачі, але що впливають на її роботу (ДМРП і так далі).

### 3.3 Розробка технологічного процесу діагностування форсунок

Технологічний процес випробування представлений у таблиці 2. Технологічна карта діагностування форсунок на установці. Загальна трудомісткість – 0,43 чол.-год. Виконавець – слюсар з ремонту паливної апаратури 5-го розряду.

Таблиця 2 – Технологічний процес випробування форсунок на установці

Найменування операції	Кількість точок впливу	Місце виконання	Обладнання та інструмент	Трудомісткість чол.-хв.	Технічні вимоги
1 Підготовка установки до роботи	–	–	–	4,5	–
1.1 Заповнити установку рідиною SMC-ТЕСТ (рідина для тестування)	1	Заливна горловина бака установки	Вирва, каністра з рідиною SMC-ТЕСТ	2,0	Об'єм рідини приблизно 3,5 л. При заливці слідкуйте, щоб рівень рідини був нижчим за
1.2 Заповнити ультразвукову ванну рідиною (рідина для очищення інжекторів)	1	ультразвукова ванна	Каністра з рідиною	2,0	Об'єм рідини приблизно 2,5 л.
1.3 Підключити кабель живлення до мережі 220 В.	1	Кабель	Кабель, розетка	0,5	Повинні спалахнути індикатори» [21].
2 Встановлення форсунок на установку	–	-	–	3,0	–
2.1 Встановити зняті з двигуна форсунки на установку	4	Рампа установки		2,0	Рампа кріпитися двома болтами-
2.2 Зафіксувати форсунки стопорними кільцями	4	Рампа установки		1,0	Після встановлення переконатися, що форсунки розташовуються точно по центру мірних циліндрів, при необхідності перемістити
3 Діагностування форсунок	–	-	–	17,5	–
3.1 Перевірити герметичність системи		Установка	Установка	2,0	Після натискання кнопки ПУСК вмикається насос на заданий час (1 хв)

## Продовження таблиці 2

Найменування операції	Кількість точок впливу	Місце виконання	Обладнання та інструмент	Трудомісткість чол.-хв.	Технічні вимоги
					Форсунки залишаються закритими. Проводиться візуальний контроль герметичності системи. Падіння крапель палива не допускається.
3.2 Перевірити форсунки на урвище та коротке замикання		Установка	Установка	3,5	Послідовно перевіряється кожен ланцюг кожної форсунки. Якщо форсунка в нормі, то після закінчення тесту індикатори ОБРИВ і КЗ гаснуть. Якщо горить лампа ОБРИВ, то ланцюга форсунки є обрив, якщо горить КЗ, то замикання ланцюга форсунки на «землю» [25].
3.3 Перевірка факела розпилу	4	вимірювальні колби	візуально	2,0	Візуально оцінюється форма та якість розпилу палива, при виявленні відхилень форсунка піддається очищенню
3.4 Перевірити баланс форсунок на 3 режимах		вимірювальні колби	вимірювальні колби	10,0	Форсунки з відхиленням подачі на 20% більше за середнє значення для інших форсунок необхідно перевірити повторно. Форсунки для яких не дотримуються умови $1/2P_1=P_2=P_3$ піддаються очищенню. При виявленні несправності хоча б однієї з форсунок
Загальний оперативний час				26,0	

## 4 ВИРОБНИЧА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРОЕКТУ

4.1 Конструктивно-технологічна та організаційно-технічна характеристики технологічного процесу діагностування паливних форсунок бензинових двигунів

Забезпечення безпеки людини у її повсякденній діяльності є важливою метою, в умовах сучасного цивілізованого, соціально-орієнтованого, економічно стабільного світу.

У випадку термін «безпека» розуміється як система «людина-машина-середовище» у роботі якої необхідно зберегти умова, у якому виникнення аварій усувається з певною ймовірністю.

У світі, особливо останніми роками, спостерігається інтенсивне зростання небезпечних процесів. З одного боку, це небезпечні природні явища та стихійні лиха, з іншого боку – техногенні аварії та катастрофи. За останні півстоліття кількість небезпечних стихійних лих збільшилася приблизно втричі, а збитки від них – десять. При цьому слід зазначити, що небезпечні природні явища багато в чому пов'язані з діяльністю людини: деградація природного середовища в результаті скорочення лісового покриву, викидів, зміни режимів природної води, забруднення води і так далі.

Спільними заходами, спрямованими на зниження виробничого травматизму, є: раціональний устрій основних та допоміжних виробничих будівель та споруд; раціональний пристрій машин, установок, приладів, інструменту, пристроїв та іншого обладнання, їх розміщення та утримання у справному стані; раціональна організація робочих місць; ізоляція виробничого процесу; покращення технології виробництва; механізація; автоматизація; захист працюючих; організаційно-масові заходи [25].

З метою забезпечення споживача достовірною інформацією щодо безпеки застосування, зберігання, транспортування та утилізації матеріалів, виробів, пристроїв, а також їх використання з побутовою метою для кожного товару/послуги розробляється паспорт безпеки.

Паспорт безпеки містить доступну, коротку та найважливішу достовірну інформацію, достатню для вживання споживачем необхідних заходів щодо забезпечення захисту здоров'я людей та їх безпеки на робочому місці, охорони навколишнього середовища на всіх стадіях життєвого циклу, у тому числі утилізацію [7].

#### 4.2 Заходи щодо зниження професійних ризиків

Спеціальна оцінка умов праці є єдиним комплексом послідовно здійснюваних заходів щодо ідентифікації виробничого середовища та трудового процесу та оцінки рівня їх впливу на працівника з урахуванням відхилення їх фактичних значень від встановлених уповноваженим органом виконавчої влади нормативів умов праці та застосування засобів індивідуальної та колективного захисту працівників.

Типовий перелік щорічно реалізованих роботодавцем за рахунок зазначених засобів заходів щодо поліпшення умов та охорони праці та зниження рівнів професійних ризиків встановлюється органом виконавчої влади, що здійснює функції з вироблення державної політики та нормативно-правового регулювання у сфері праці.

Основні заходи:

а) Проведення спеціальної оцінки умов праці (далі – СОУП). СОУП дозволяє оцінити умови праці на робочих місцях:

1) інформувати працівників про умови та охорону праці на робочих місцях, про ризик пошкодження здоров'я, гарантії, що надаються їм, компенсації та засоби індивідуального захисту;

2) розробити та реалізувати заходи щодо приведення умов праці у відповідність до державних нормативних вимог охорони праці;

3) встановити працівникам компенсації за роботу зі шкідливими та (або) небезпечними умовами праці [6];

б) забезпечення працівників, зайнятих на роботах зі шкідливими та (або) небезпечними умовами праці, а також на роботах, що виробляються в

особливих температурних та кліматичних умовах або пов'язаних із забрудненням, засобами індивідуального захисту, змиваючими та знешкоджуючими засобами;

в) влаштування нових та (або) модернізація наявних засобів колективного захисту працівників від впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів;

г) приведення рівнів природного та штучного освітлення на робочих місцях, у побутових приміщеннях, місцях проходження працівників у відповідність до чинних норм;

д) влаштування нових та (або) реконструкція наявних місць організованого відпочинку, приміщень та кімнат релаксації, психологічного розвантаження, місць обігріву працівників, а також укриттів від сонячних променів та атмосферних опадів при роботах на відкритому повітрі; розширення, реконструкція та оснащення санітарно-побутових приміщень;

е) забезпечення зберігання засобів індивідуального захисту, а також догляду за ними (своєчасна хімічистка, прання, дегазація, дезактивація, дезінфекція, знешкодження, знепилювання, сушіння), проведення ремонту та заміна ЗІЗ.

ж) придбання стендів, тренажерів, наочних матеріалів, науково-технічної літератури для проведення інструктажів з охорони праці, навчання безпечним прийомам та методам виконання робіт, оснащення кабінетів (навчальних класів) з охорони праці комп'ютерами, теле-, відео-, аудіоапаратурою, ліцензійними навчальними та тестуючими програмами, проведення виставок, конкурсів та оглядів з охорони праці;

з) навчання осіб, які відповідають за експлуатацію небезпечних виробничих об'єктів;

і) обладнання за встановленими нормами приміщення для надання медичної допомоги та (або) створення санітарних постів з аптечками, укомплектованими набором лікарських засобів та препаратів для надання першої допомоги [6].

### 4.3 Пожежна безпека

До пожежної безпеки будівель та споруд слід відноситися з усією відповідальністю, при цьому вимоги щодо пожежної безпеки регулюються зведенням правил. Зведення правил пожежної безпеки – нормативні документи, відповідно до яких проводиться проектування протипожежного захисту будівель та споруд про пожежну безпеку являють собою документ, в якому прописані правила, яким слід дотримуватися, починаючи від проектування та закінчуючи періодом експлуатації. Ті чи інші будівлі (споруди) прийнято класифікувати за двома категоріями – конструктивною та функціональною пожежною небезпекою. Крім того, всі будинки категорують за вогнестійкістю. Ступінь вогнестійкості споруд знаходиться у прямій залежності від вогнестійкості конструкцій несучого типу (стін, перекриттів).

Будь-яка будівля в залежності від ступеня вогнестійкості має бути обладнана:

- під'їзними шляхами для пожежної техніки,
- зовнішніми пожежними сходами,
- системою протидимного захисту,
- протипожежним водопроводом,
- засобами, що полегшують виходи на горище.

При організації протипожежної безпеки потрібно приділяти особливу увагу системам та засобам запобігання розповсюдженню пожежі по всій площі приміщень. Існують певні вимоги до використання тих чи інших матеріалів для облицювання різних поверхонь. Крім того, у будь-якій будівлі (споруді) має бути розміщена сигналізація, а також первинні засоби пожежогасіння та протипожежні перешкоди.

Протипожежна безпека в будівлі повинна бути організована таким чином, щоб у разі виявлення загоряння люди могли якнайшвидше покинути приміщення. Евакуаційні шляхи мають бути запобігання небезпечним факторам пожежі, це можливо завдяки впровадженню комплексу конструктивних, технічних та інженерних рішень. Організація пожежної

безпеки в будь-якій будівлі – обов'язковий та необхідний захід, до цього процесу слід підійти з усією відповідальністю, без економії коштів на облаштування систем протипожежного захисту та засобів пожежогасіння.

Кожен керівник об'єкта повинен здійснювати необхідний комплекс заходів щодо запобігання пожежам на об'єкті на постійній основі.

Кожен працівник зобов'язаний:

- «знати та дотримуватись вимог правил пожежної безпеки та інструкцій про море пожежної безпеки, що діють на підприємстві;

- при прийомі на роботу пройти вступний протипожежний інструктаж;

- до початку самостійної роботи пройти первинний протипожежний інструктаж на робочому місці:

- не рідше одного разу на півріччя проводити повторний протипожежний інструктаж;

- за необхідності проводити позаплановий та цільовий протипожежні інструктажі;

- дотримуватися запобіжних заходів при використанні засобів побутової хімії, газових приладів, проведенні робіт з легкозаймистими та горючими речовинами, матеріалами та обладнанням;

- у разі виникнення пожежі негайно повідомити про це пожежну охорону, безпосереднього або вищого керівника, вжити всіх заходів до евакуації людей, гасіння пожежі та збереження матеріальних цінностей;

- у разі порушення пожежної безпеки на ділянці роботи, використання не за прямим призначенням пожежного обладнання, вказати про це порушнику та повідомити особу, відповідальну за пожежну безпеку [27].

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУ

### 5.1 Розрахунок собівартості

Розраховуємо витрати на купівлю сировини та матеріалів за формулою (14):

$$M = C_M \cdot Q_M \cdot \left(1 + \frac{K_{ТЗ}}{100}\right) \quad (14)$$

Зводимо інформацію щодо витрат на купівлю сировини та матеріалів у таблицю 3.

Таблиця 3 – Інформація щодо витрат на купівлю сировини та матеріалів

Номенклатура сировини, матеріалів	Кількість, одиниця виміру	Ціна з ПДВ за одиницю, грн.	Загальна сума, грн.	Умови поставки
Профіль 20×20×2	1,7 м	53	90,1	Самовивіз зі складу
Профіль 40×20×2	0,4 м	76	30,4	
Профіль 40×40×2	0,6 м	97	58,2	
Профіль 50×25×2	0,7 м	92	64,4	
Профіль 80×40×4	0,4 м	302	120,8	
Профіль 100×50×3	0,6 м	284	170,4	
Фарба	1 л	145	145	
Всього:	–	–	679,3	
Транспортно-заготівельні витрати			68	
Всього:	–	–	747,3	–

Розраховуємо витрати на покупні вироби та напівфабрикати за формулою (15):

$$P_i = C_i \cdot \eta_i \cdot \left(1 + \frac{K_{ТЗ}}{100}\right) \quad (15)$$

Зводимо інформацію про витрати на покупні вироби таблицю 4.

Таблиця 4 – Інформація щодо витрат на покупні вироби та напівфабрикати

Номенклатура покупного виробу	Кількість, одиниця виміру	Ціна з ПДВ за одиницю виробу, грн.	Загальна сума, грн.	Умови поставки
Мерный цилиндр	4	111	444	Самовивіз зі складу складу
Манометр МТИ-К	2	450	900	
Паливна рампа ДВЗ Opel Omega A 2.0i	1	400	400	
Рукав напорный ВГ-20 ТУ 38-105998-91	1,6 м	108	172,8	
Регулятор тиску ДВЗ Opel Omega A 2.0i	1	952	952	
Бачок омивача вітрового скла	1	130	130	
Бензонасос Bosch 0 580 453 453	1	1300	1300	
Хомут TR 37802-22	12	69,50	834	
Блок «Реаніматор форсунок»	1	1335	1335	
Кріплення	70	1,5	105	
Итого:	–	–	6572,8	
Транспортно-заготовительные расходы			123,13	
Всего:	–	–	6695,93	–

## 5.2 Розрахунок витрат на виплату заробітної плати

Розраховуємо витрати на заробітну плату за формулою (16):

$$З_0 = C_p \cdot T \cdot \left(1 + \frac{K_{ТЗ}}{100}\right) \quad (16)$$

Зводимо інформацію щодо витрат на виплату основної заробітної плати до таблиці.

Розраховуємо витрати на виплату додаткової зарплати за формулою:

$$З_д = З_0 \cdot K_д \quad (17)$$

де  $K_д$  - коефіцієнт доплат до годинного фонду заробітної плати, коефіцієнт приймаємо 1,1 [20].

Розраховуємо витрати на відрахування єдиного соціального податку за такою формулою:

$$O_c = (З_0 + З_д) \cdot K_c \quad (18)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт доплат до годинного фонду зарплати, коефіцієнт дорівнює 0,26 [19].

### 5.3 Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію обладнання

Розраховуємо витрати на утримання та експлуатацію обладнання за формулою (19):

$$P_{\text{сод.об}} = Z_o \cdot K_{\text{об}} \quad (19)$$

де  $K_{\text{про}}$  - коефіцієнт, що враховує витрати на утримання та експлуатацію обладнання, коефіцієнт дорівнює 1,04 [4].

Розраховуємо витрати на загальновиробничі потреби за формулою:

$$P_{\text{опр}} = Z_o \cdot K_{\text{опр}} \quad (20)$$

де  $K_{\text{опр}}$  - коефіцієнт розподілу загальновиробничих витрат, коефіцієнт дорівнює 1,5 [6].

Розраховуємо витрати цехової (внутрішньогосподарської) собівартості за формулою:

$$C_{\text{ц}} = M + \Pi_i + Z_o + Z_d + O_c + P_{\text{соб.об}} + P_{\text{опр}} \quad (21)$$

Розраховуємо витрати на загальногосподарські витрати за формулою:

$$P_{\text{охр}} = Z_o \cdot K_{\text{охр}} \quad (22)$$

де  $K_{\text{охр}}$  - Коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати, приймаємо рівним 1,6 [10].

Розраховуємо загальні витрати за формулою:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{ц}} + P_{\text{охр}} \quad (23)$$

Розраховуємо витрати на позавиробничі потреби за такою формулою:

$$P_{\text{вн}} = C_{\text{пр}} \cdot V_{\text{позавир}} \quad (24)$$

де  $K_{\text{позавир}}$  - коефіцієнт, що враховує позавиробничі витрати, дорівнює 0,05 [12].

#### 5.4 Розрахунок загальної суми витрат за виготовлення конструкції

Розраховуємо загальні витрати на виготовлення конструкції установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів, купівлю матеріалів, виплату коштів за формулою [8].

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{пр}} + P_{\text{вн}} \quad (25)$$

Орієнтовна вартість виготовлення спроектованої установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів складає 18766,56 грн.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання роботи були вирішені такі завдання:

- проведено аналіз аналогів установок для технічного обслуговування паливних форсунок;
- складено технічне завдання та пропозицію на встановлення для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів;
- виконано конструкторську розробку установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів та проведено відповідні розрахунки;
- розглянуто виробничу та екологічну безпеку проекту, визначено професійні ризики та заходи щодо їх зниження;
- визначено економічну ефективність установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів.

Проект розробки конструкції установки для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів є економічно ефективним і надалі може знайти широке застосування.

Проектована установка для технічного обслуговування паливних форсунок бензинових двигунів дешевше аналога - установки для перевірки форсунок, за інших рівних експлуатаційних можливостей. Все це говорить про доцільність розробки цієї конструкції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сажко В.А., Електрообладнання автомобілів та тракторів. «Українська книга», Київ: «Каравела» 2009 – 402с.
2. Сажко В.А. Електричне та електронне обладнання автомобілів. – К.: Каравела, 2004. – 304 с.
3. Анур'єв, В. І. Довідник конструктора-машинобудівника. у 3т. Т.1 / В. І. Анур'єв; за ред. І. Н. Жесткової. - 8-е вид., перероб. та дод., 2001. – 920 с.
4. Системи автоматизованого проєктування: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; автори: К.С. Барандич, О.О. Подолян, М.М. Гладський. – Електронні текстові дані (1 файл 3,05 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 97 с.
5. Конструкторське проєктування обладнання. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів які навчаються за освітньонауковою програмою магістерської підготовки, спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиниринг, комп'ютерне моделювання та проєктування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів» / В. Ю. Щербина КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 83 с.
6. Волков В.П., Мармут І.А., Кривошапов С.І., Белов В.І. Проєктування підприємств автомобільного транспорту. Харків: ХНАДУ. 2014. 388 с.
7. Павленко П. М. Основи математичного моделювання систем і процесів: навч. посіб. Київ: Книжкове вид-во НАУ, 2013. 201 с.
8. Екологічна та техногенна безпека промислових об'єктів та технологій: навчально-методичний посібник / А.Г. Мнухін, Ю.В. Куріс, Н.О. Мнухіна, О.Б. Матяшева, А.А. Гітуляр; Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2018. – 196 с.

9. Захарчук О.В. Технічне обслуговування і ремонт АТЗ: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Олег Вікторович Захарчук. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. – 140 с.

10. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с

11. Конспект лекцій з дисципліни «Основи розрахунків, проектування і експлуатації технічного обладнання» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 274 „Автомобільний транспорт” / Укл.: Авер’янов В.С., Скорняков Е.С., Кам’янське, ДДТУ, 2018. – 135 с.

12. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технічного обладнання для автомобільного транспорту. / О.М. Коробочка, Е.С. Скорняков, О.О. Сасов. – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2007 р. – 252 с.

13. Основи проектування і конструювання машин. Навчальний посібник. / І.І. Назаренко, І.М. Берник. – К.: Видавництво «Аграр Медіа Груп». – 2013. – 544 с

14. Економіка організації і планування виробництва. Економіка і організація виробництва. Ч. 1. Економіка виробничого підприємства [Електронний ресурс]: навчально-наочний посібник для студентів усіх форм навчання / НТУУ «КПІ»; уклад. Т. В. Сакалош. – Київ: НТУУ «КПІ», 2012.

15. Створення та модернізація транспортно-технологічних механізмів машин і обладнання / О.Л. Ляшук, Р.Б. Гевко, В.О. Дзюра, О.М. Кирик, А.П. Довбиш. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – 167 с.

16. Мазепа С.С., Куцик А.С. Електрообладнання автомобілів. – Львів: Львівська політехніка, 2004. - 168 с

17. Білоконь Я.Ю., Окоча А.І. Трактори і автомобілі. - К.: Урожай, 2002. – 322 с.

18. Теорія механізмів і машин. Курс лекцій для студентів спеціальності «Динаміка і міцність машин» / Автор: к.т.н., доц. О.П. Заховайко. – К.: НТУУ "КПІ", 2010. – 243 с.

19. Sandvik Coromant [Електронний ресурс]: каталог містить продукцію для металообробної промисловості – Електрон. дан. – Стокгольм, 2016.
20. Методичні вказівки до виконання економічної частини бакалаврської роботи для студентів усіх форм навчання / уклад. Чернобровкіна С.В., Кучіна С.Е. – Харків : НТУ «ХПІ» 2021. – 16 с.
21. David A. Hensher, Kenneth J. Button / Handbook of transport modeling. – [2. impr.]. – Amsterdam [etc.] : Pergamon, 2002 [1] с. – 165 p.
22. Henzold G. Geometrical dimensioning and tolerancing for design, manufacturing and inspection / A handbook for geometrical product specification using ISO and ASME standards – Burlington, 2016. – 390 p.
23. Lange F. H. Signale und Systeme / F. H. Lange. - Bd. 1,2. – Berlin: VEB Verlag Technik, 1975.
24. Mikell, P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems / P. Mikell. - John Wiley & Sons, 2010. – p. 1024.
25. Rabiner R. Theory and Application of Digital Signal Processing / R. Rabiner, B. Gold. -New York, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1975.

# ДОДАТКИ