

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

ДИПЛОМНА РОБОТА
другого магістерського рівня

на тему: «Дослідження процесу ультразвукової очистки електромагнітних
форсунок автомобільних двигунів»

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-62

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Вороновський Т.Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник: Крайник Л.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент: Рис В.І.
(прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

УДК 621.433.052

Вороновський Т.Р. «Дослідження процесу ультразвукової очистки електромагнітних форсунок автомобільних двигунів»

//Дипломна робота. – Дубляни: Львівський національний університет природокористування. 2024. – 77с.

В роботі аналітично обґрунтовано залежність витрати пального двигунів автомобілів від пробігу при забрудненні соплових отворів електромагнітних форсунок, що характеризує їх технічний стан сучасних двигунів внутрішнього згорання автомобілів. Встановлено, що експлуатаційні зміни робочих показників форсунок суттєво впливають на енергетичні та екологічні характеристики двигунів автомобілів.

Досліджено розпилювач форсунок для підтвердження факту зношування. Аналіз знімків показав, що у форсунок з напрацюванням внаслідок кавітаційного зношування спостерігаються спрацювання соплових отворів, що спричинює зміну форми та кута вихідної фаски соплового отвору, і як наслідок – зміну форми конуса розпилювання.

Розроблено склад та послідовність робіт з технічного обслуговування паливної апаратури бензинового двигуна в процесі експлуатації з включенням до комплексу робіт ТО заходів з очищення електромагнітних форсунок.

Визначено, що річний економічний ефект від зниження витрат на ремонт форсунок та економію палива складає 13870,2 грн. на один двигун.

Таблиць 7; рисунків 13 бібліогр. джерел 38

ЗМІСТ

ВСТУП.....	Помилка! Закладку не визначено.
1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	Помилка! Закладку не визначено.
1.1. Аналіз технічного стану паливної апаратури двигунів.....	10
1.2. Форсунки, що застосовуються в паливній апаратурі з розподіленим упорскуванням палива.....	
.....	Помилка! Закладку не визначено.
1.3. Несправності та порушення справного стану електромагнітних форсунок.	Помилка! Закладку не визначено.
1.4. Способи очищення електромагнітних форсунок	
Помилка! Закладку не визначено.	
1.5. Механізм видалення забруднень миючим розчином в ультразвуковому полі	26
Висновки за розділом	28
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ПРИ ЗМІНІ ПРОХІДНОГО ПЕРЕКАЗУ РОЗПИЛЮВАЧА ФОРСУНКИ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	
.....	Помилка!
Закладку не визначено.	
2.1. Математична модель об'єкта моделювання.....	Помилка! Закладку не визначено.
2.2. Схема створення математичної моделі	29
2.3 Типові математичні схеми моделювання	30
2.4. Регресійні моделі.....	31
2.5. Регресійний аналіз похибки вимірювання продуктивності форсунок залежно від пробігу автомобіля.....	31
Висновки за розділом	37

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	П
омилка! Закладку не визначено.	
3.1. Завдання дослідження.....	39
3.2. Методика оцінки очищення поверхневих забруднень з елементів форсунок.....	П
омилка! Закладку не визначено.	
3.3. Методика оцінки технічного стану форсунок.....	44
3.4. Методика очищення форсунок в ультразвуковій ванні.....	48
3.5. Методика дослідження елементів проточної частини форсунок за допомогою цифрового мікроскопа та оцінка якості очищення.....	50
Висновки за розділом	54
4.ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	Помилка! Закладку не визначено.
4.1. Нормативно-правова основа охорони праці.....	Помилка! Закладку не визначено.
4.2. Структурно функціональний аналіз процесів ультразвукової очистки електромагнітних форсунок автомобільних двигунів.....	Помилка! Закладку не визначено.
4.3. Умови і обставини появи небезпечних ситуацій та їх наслідки.....	59
4.4. Проектування логічно-імітаційної моделі виникнення травм в процесі експлуатації стенда ультразвукової очистки електромагнітних форсунок автомобільних двигунів.....	62
4.5. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	64
Висновки за розділом.....	Помилка! Закладку не визначено.
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ...69	
Висновки за розділом.....	70
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	Помилка! Закладку не визначено.
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Помилка! Закладку не визначено.

ВСТУП

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

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

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

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

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

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

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

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

Мета роботи - Поліпшення енергетичних та екологічних показників двигунів автомобілів з розподіленим упорскуванням палива ультразвуковим очищенням ЕМФ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Аналітично обґрунтувати залежність зміни середніх значень витрати палива при забрудненні соплових отворів ЕМФ від пробігу.
2. Оцінити вплив ультразвукового очищення ЕМФ на покращення

енергетичних та екологічних показників двигунів у процесі експлуатації.

3. Розробити склад та послідовність робіт при ультразвуковій очистці ЕМФ.

4. Розрахувати економічний ефект запропонованих заходів.

Об'єкт дослідження - ЕМФ сучасних двигунів автомобілів.

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

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз технічного стану паливної апаратури двигунів

Ускладнення автомобілів та посилення вимог до його агрегатів та систем призвели до того, що проблема підвищення їх надійності набула величезного значення. Ненадійний автомобіль не може ефективно функціонувати, оскільки кожна його відмова тягне за собою значні матеріальні втрати, а сумарні щорічні витрати на підтримання автотранспортних засобів у працездатному стані постійно зростають. Все це повною мірою відноситься і до основного агрегату автомобіля, його силової установки. Аналіз показників надійності двигунів показує, що можливість виникнення відмов і несправностей, у тому конструктивних елементах, досить велика (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Розподіл відмов двигуна ЗМЗ-4062.10

Найменування елементів силового агрегату	Частка відмов, %	Середнє напрацювання на відмову, км	Коефіцієнт варіації	Витрати ремонт, грн.			
				За послуги		На запчастини	
				Середнє значення	Коеф. варіації	Середнє значення	Коеф. варіації
1. Система живлення з розподіленням упорскуванням палива	25,59	35990	1,027	2331	0,947	3722	0,983
2. Підшипники колінчастого валу, шатун	18,32	36586	1,193	5703	0,259	93458	1,061
3. Циліндропоршнева група	14,05	36670	1,273	4322	0,712	16934	0,714
4. Система охолодження	5,42	14243	1,073	532	0,673	1753	1,012
5. Головка блоків циліндра	7,89	35613	1,102	1416	0,498	2385	0,593
6. Газорозподільний механізм	5,50	36627	1,147	750	0,342	1745	0,508
7. Система мастила	6,95	29526	0,887	572	0,525	3310	0,651
8. Стартер	4,71	62342	0,741	2105	0,357	1107	0,458
9. Генератор	4,86	77132	0,611	686	0,295	2826	0,402
10. Блок циліндрів	6,71	167347	1,178	10370	0,371	105000	0,272
Силовий агрегат загалом	100	23140	1,021	1613	1,138	11272	2,414

Аналіз елементів паливної апаратури (ПА) бензинових двигунів, що

встановлюються на транспортні засоби малої та середньої вантажопідйомності, показав, що найбільша частка відмов припадає на систему живлення з розподіленим упорскуванням.

В даний час найбільшого поширення набули системи живлення з розподіленим упорскуванням палива та електронним управлінням [11, 34]. Систему такого типу (рисунок 1.1) має і двигун ЗМЗ-4062.10, який встановлюється на автомобілі сімейства ГАЗ, які активно використовуються в агропромисловому комплексі.

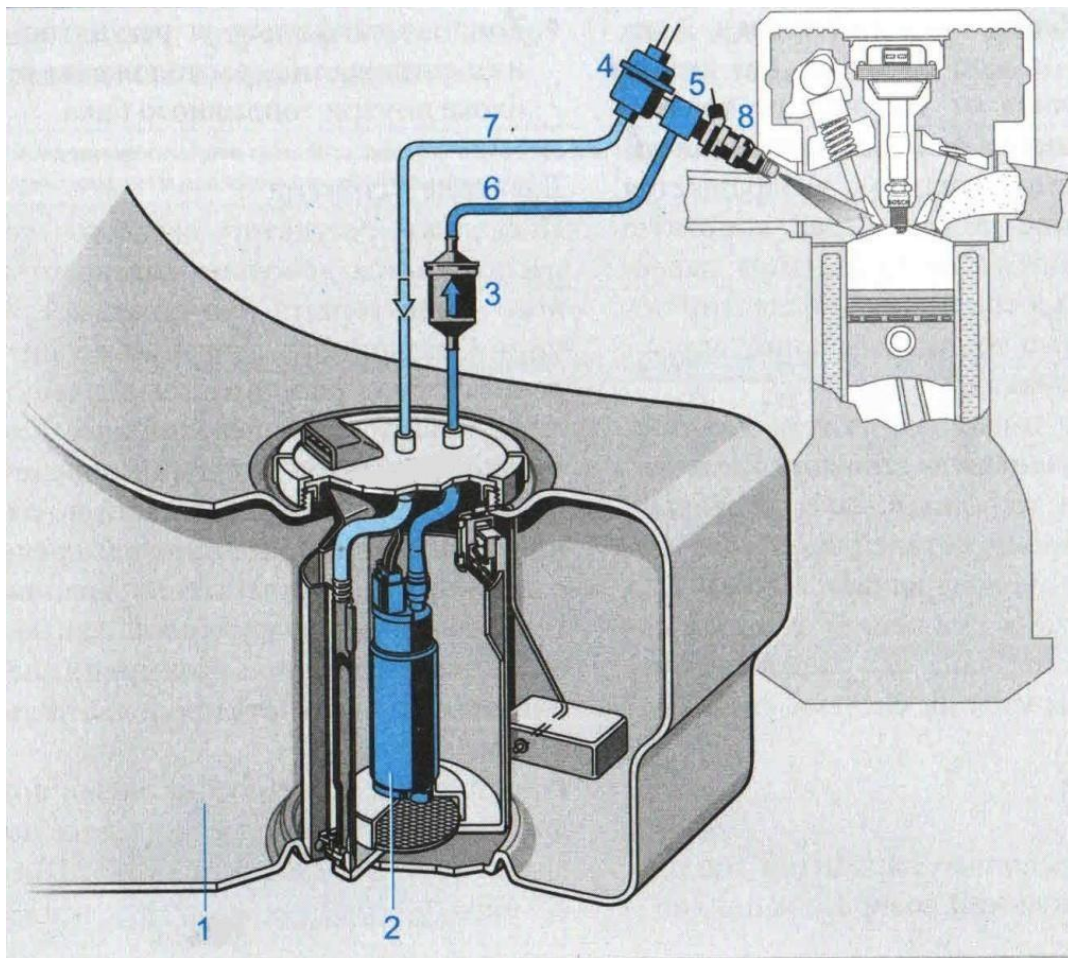


Рисунок 1.1 – Схема системи упорскування палива:

1 – паливний бак; 2 - електробензонасос; 3 - паливний фільтр тонкого очищення палива; 4 – регулятор тиску палива; 5 – паливна рамка; 6 – лінія подачі палива; 7 - лінія повернення палива; 8 – електромагнітні форсунки

Система подачі палива з розподіленим упорскуванням палива у впускний трубопровід містить наступні елементи:

- паливний бак;

- електробензонасос;
- паливний фільтр тонкого очищення палива;
- регулятор тиску палива;
- паливну рамку;
- електромагнітні форсунки.

Паливний бак є резервуаром для зберігання палива. Корпус паливного бака має корозійно-стійкі властивості і зберігає герметичність при перевищенні робочого тиску [3, 38]. Електричний бензиновий насос (ЕБН) повинен постійно подавати до двигуна достатню кількість палива за будь-яких умов роботи з низьким рівнем шуму, під необхідним тиском і протягом усього терміну служби автомобіля [3, 38]. Основні вимоги до паливного насосу:

- величина подачі палива при номінальній електричній напрузі повинна становити 60-200 л/год;
- тиск у паливній магістралі має становити 300-450 кПа (3,0-4,5 бар);
- забезпечення підвищення тиску під час падіння напруги до 50-60% від номінального рівня.

Паливний фільтр тонкого очищення палива здійснює фільтрацію палива, що надходить у паливну систему. Корпус фільтра містить елемент, що фільтрує, затримує частинки бруду. Як фільтруюче середовище використовується спеціальний, просочений смолою папір з целюлозного волокна. Ефективність фільтрації та опір фільтра потоку визначається пористістю паперу та розподілом пор. Фільтруючий елемент для систем із впорскуванням палива у впускний трубопровід має середню ширину пор приблизно 10 мкм. [3, 38].

Регулятор тиску палива повертає таку кількість палива назад у паливний бак, що перепад тиску на форсунці залишається постійним. Регулятор встановлений на паливній рамці, призначений для підтримки постійного перепаду тиску між паливом та повітрям у впускному колекторі при розпиленні палива ЕМФ [3, 38].

Паливна рампа служить для накопичення палива, яке потрібно для впорскування палива, згладжування пульсацій тиску форсунками та

рівномірного розподілу палива по всіх форсунках [3, 38].

Електромагнітна форсунка служить для впорскування дозованих порцій палива у впускний трубопровід під тиском. Управління форсункою здійснюється за рахунок зміни тривалості сигналу, що подається з електронного блоку управління [3, 38].

У процесі експлуатації бензинових двигунів відбуваються зміни робочих показників паливної системи [36].

Основними причинами цього є як спрацювання деталей та вузлів, так і забруднення магістралей та механізмів паливної системи.

Спрацювання:

- електричний бензиновий насос (щітки та клапани);
- сідло та голка електромагнітної форсунки;
- регулятор тиску палива (спрацювання мембрани).

Вище перелічені та інші фактори призводять до зміни робочого тиску в системі (зниження та пульсація), що призводить до погіршення експлуатаційних показників автомобіля.

Забруднення:

- на пропускну здатність паливопроводів та фільтрів впливає наявність механічних домішок у паливі, що призводить до зменшення їх пропускну здатності;
- лакові та смолисті відкладення зменшують прохідний переріз клапанів та фільтрів, а також призводять до зміни форми струменя електромагнітної форсунки.

На забруднення палива впливають, у тому числі й механічні домішки, що потрапляють під час транспортування, продукти корозії ємностей для зберігання та вода, що потрапляє у паливо внаслідок конденсації парів під час зберігання.

Кількість та склад домішок у паливі залежить від умов, термінів зберігання та транспортування до місця реалізації.

Аналіз статистичних даних показує, що в основному на роботу паливної системи впливають смолисті відкладення на елементах електромагнітної

форсунки, тоді як відкладення у магістралях та фільтрах не вносять змін у роботу паливної системи [36, 37].

На процес утворення відкладень електромагнітної форсунки впливає те, що розпилювач форсунки розташовується в безпосередній близькості від впускних клапанів і на розпилювач впливає підвищена температура. На них осідає частина палива, яка під впливом підвищеної температури піддається інтенсивному окисленню вуглеводнів та смолистих речовин з утворенням ущільнених, нерозчинних у бензині продуктів.

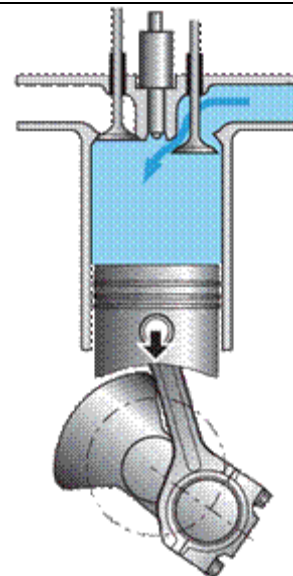
Зазначені відкладення негативно позначаються на формі розпилювання палива, яка відповідає початковим параметрам струменя, зазначеним заводом виробником [13, 38].

Розпилення струменя палива призводить до утворення крапель (тонкість розпилу), які надалі дробляться на дрібніші (рис. 1.2) [3].

Методики усунення вищезазначених недоліків у форсунках не передбачені нормативною документацією [15].

Впуск

Поршень рухається від ВМТ до НМТ і, діючи як насос, створює розрідження у циліндрі. Під впливом різниці тиску з навколишнього середовища у порожнину циліндра через відкритий впускний клапан засмоктується повітря, впускний клапан закритий. Після досягнення НМТ поршень йде до ВМТ, впускний клапан закривається (впуск закінчено). Тиск у циліндрі наприкінці такту становить 0,08 – 0,09 МПа, температура повітря внаслідок стикання з нагрітими деталями і змішування з продуктами згоряння підвищується до 30 – 50 °С.



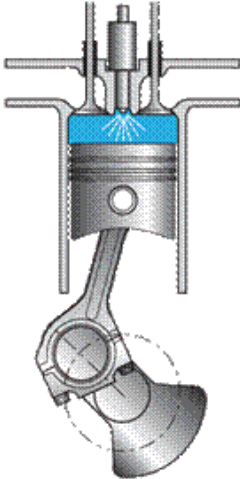
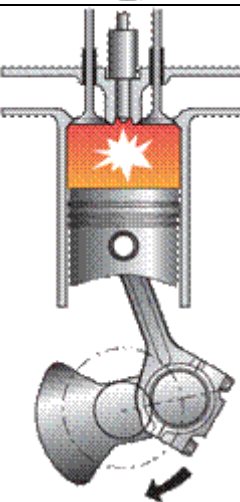
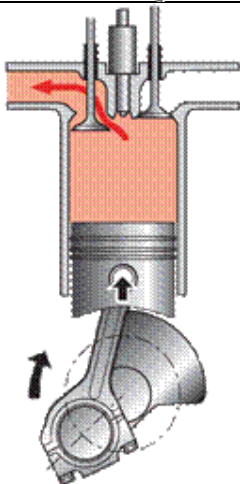
<p>Стиск Обидва клапани закриті. Поршень рухається до ВМТ, стискаючи повітря у циліндрі. У разі наближення поршня до ВМТ тиск у циліндрі підвищується до 3,5 – 4 МПа, температура – до 600 – 700 °С. Доза дизельного палива, що впорскується форсункою під тиском 12 – 18 МПа, змішується з повітрям, тобто створюється суміш, яка одразу ж спалахує, оскільки її температура значно вища за температуру самозаймання дизельного палива. Температура газів підвищується до 1800 – 2000°С, тиск – до 6 – 9 МПа.</p>	
<p>Робочий хід Обидва клапани залишаються закритими. Під дією тиску газів, що згоряють, поршень рухається до НМТ і, тиснучи через шатун на кривошип колінчастого вала, обертає його, тобто виконується робота. Наприкінці ходу поршня, біля НМТ, тиск газів знижується до 0,4 – 0,5 МПа, температура – до 700 – 900 °С. У цей час відкривається випускний клапан б, через значний перепад тиску в циліндрі та зовнішнім середовищем, починається випуск газів.</p>	
<p>Випуск Поршень, після зупинки у НМТ, знову рухається до ВМТ. Зменшуючи надпоршневий об'єм, поршень виштовхує із циліндра через відкритий випускний клапан продукти згоряння, які залишилися. Тиск у циліндрі становить 0,11 – 0,12 МПа, температура 400 – 500 °С. Після проходження поршнем ВМТ випускний клапан закривається і випуск закінчується.</p>	

Рисунок 1.2 – Механізми та фактори, що впливають на сумішоутворення під час упорскування палива у впускний трубопровід

1.2 Форсунки, що застосовуються в паливній апаратурі з розподіленим упорскуванням палива

Компоненти системи сумішоутворення повинні забезпечувати належне

утворення паливно-повітряної суміші при використанні тієї чи іншої системи упорскування палива. У системі з упорскуванням палива у впускний колектор це переважно завдання електромагнітної форсунки [3, 34].

Електромагнітна форсунка містить такі основні компоненти (рисунок 1.3):

- корпус клапана з електричним та гідравлічним з'єднувачами;
- електромагнітна котушка;
- голчастий клапан з якорем електромагніту та кулькою клапана;
- сідло клапана з діафрагмою;
- пружина клапана.

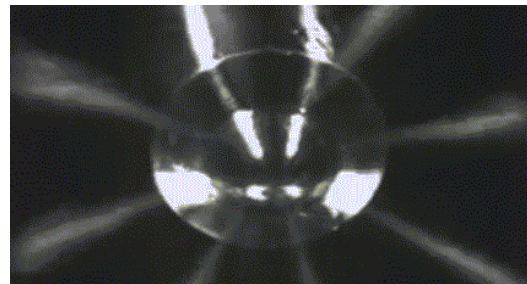
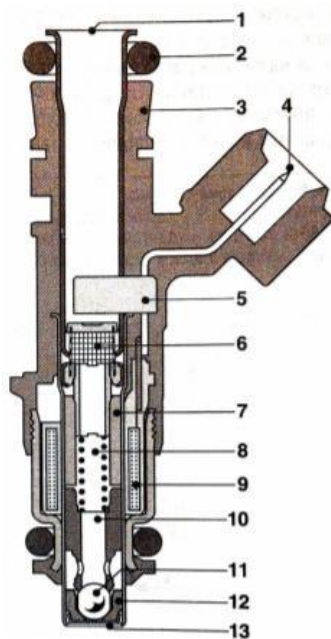


Рисунок 1.3 – Електромагнітна форсунка: 1 – гідравлічний канал; 2 - кільце ущільнювача; 3 – корпус клапана; 4 – електричний висновок; 5 - пластмасовий затискач зі штифтами; 6 - сітчастий фільтр; 7 – внутрішній полюс; 8 – пружина клапана; 9 – котушка електромагніту; 10 - голка клапана з якорем; 11 - кулька клапана; 12 – сідло клапана; 13 - розпилювальна пластина з отворами.

Фільтр на впуск палива захищає форсунку від забруднень. Кільце ущільнювача 2 (круглого перерізу) на гідравлічному з'єднанні служить для

ущільнення форсунки в паливній рамці. Нижнє кільце ущільнювача забезпечує ущільнення між форсункою і впускним трубопроводом.

Коли котушка електромагніту знеструмлена, кулька голчастого клапана 11 притискається до сідла 12 конічної форми пружиною 8 із зусиллям, створюваним тиском палива. При цьому система подачі палива ізольована від впускного трубопроводу. Коли на котушку електромагніту подається електричне живлення, створюється магнітне поле, що притягує ярів електромагніту клапана голки. Кулька клапана піднімається над сідлом, і відбувається упорскування палива. Коли котушка знеструмлена, голковий клапан закривається під дією пружини.

Паливо розпоршується пластиною 13 з отворами. Для кращого розпилення палива розпилювальні пластини, що раніше використовувалися з чотирма отворами були замінені на розпилювальні пластини з великою кількістю отворів (до дванадцяти). Штамповані діафрагми забезпечують якісну стабільність кількості палива, що впорскується. Форма струменя палива, що виходить із форсунки, визначається кількістю отворів у розпилювальній пластині та їх конфігурацією.

Кількість палива, що впорскується за одиницю часу, визначається в основному попереднім тиском у системі подачі палива, протитиском у впускному трубопроводі та геометрією області випуску палива.

Процес утворення струменя палива, тобто його форма, кут розсіювання та розмір крапель палива впливають на утворення паливно-повітряної суміші. Різна геометрія впускного трубопроводу і головки блоку циліндрів викликають необхідність створення струменів палива різної форми (рисунок 1.4) [3, 34].

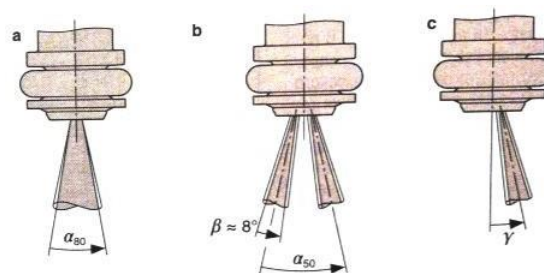


Рисунок 1.4 - Форми струменів палива: а - конусні струмені; б - подвійний струмінь; с - зміщений струмінь

Конусна форма розпилення. Окремі струмені палива, що виходять з їх отворів розпилювальної пластини, разом утворюють конусний струмінь.

Форсунки, що забезпечують конусну форму струменя палива, зазвичай встановлюються на двигунах з одним впускним клапаном на кожен циліндр. Однак вони можуть використовуватися і на двигунах із двома впускними клапанами на одному циліндрі.

Двоструменева форсунка. Двострумні форсунки часто використовуються на двигунах з двома впускними каналами на одному циліндрі. Отвори в розпилювальній пластині розташовані таким чином, що з форсунки виходять два конусні струмені, спрямовані до відповідних впускних клапанів або на перегородку між впускними клапанами.

Форсунка з кутовим відхиленням струменя. Струмінь палива виходить з форсунки під кутом до її осі.

Такі форсунки в основному використовуються, коли конструктивні особливості камери згоряння не дозволяють використовувати форсунку із співвісним напрямком струменя.

Електрична активація форсунки. Вихідний модуль у блоці керування двигуном приводить форсунку в дію, подаючи на неї сигнал. При подачі напруги електричний струм у котушці електромагніту зростає, що викликає підйом голкового клапана. Максимальний підйом клапана досягається після закінчення часу підйому. Упорскування палива починається, як тільки кулька клапана виходить із сідла.

Оскільки після знеструмлення котушки магнітне поле не зникає миттєво, клапан повністю закривається після часу розмагнічування [3, 34].

Нелінійність характеристики на ділянках відкриття та відкриття клапана форсунки повинна бути компенсована протягом періоду відкритого стану форсунки (час упорскування). Швидкість підйому кульки клапана залежить від напруги акумуляторної батареї. Вплив напруги компенсується за допомогою корекції тривалості впорскування.

1.3 Несправності та порушення справного стану електромагнітних форсунок

Несправність - стан технічного пристрою, у якому хоча б одне з його основних чи додаткових параметрів відповідає вимогам, зумовленим технічної документації.

Для стійкої роботи двигуна з електромагнітними форсунками потрібно, щоб вони працювали без збоїв, точно дозували кількість палива, необхідного силовим агрегатом [8, 12, 23]. З'єднання форсунки з паливним колектором, як і сам пристрій упорскування, повинні бути герметичними. Нормативний робочий тиск форсунок та рівні об'єму упорскування при подачі палива у впускний трубопровід становлять 250-300 кПа та 132-503 см³/хв відповідно [23].

Дуже важливим для досягнення нормативних енергетичних та екологічних показників двигуна є форма, напрямок факела палива та якість його розпилу [23]. Слід зазначити, що опис розпаду струменів, що формуються форсунками в системі безпосереднього впорскування, також як обчислення розміру крапель у потоці палива пов'язане зі складністю процесів, що протікають при впорскуванні паливної суміші.

Несправності та порушення справного стану електромагнітних форсунок пов'язані не тільки з природним зношуванням елементів пристрою упорскування, але і з їх забрудненням. До несправностей, обумовлених забрудненням, відносяться зміни подачі палива в циліндри двигуна, зміна форми та напрямку факела розпилу палива, погіршення однорідності розпилювання пального [5, 14, 16].

Пально-мастильні матеріали, взаємодіючи з металами, утворюють поверхневі забруднення у вигляді нагару, лаків та осадів. Механізм утворення останніх залежить від температури деталей розпилювача, групового вуглеводневого складу бензину, присутності в паливі смолистих речовин. На виникнення відкладень впливає також час контакту палива та олії з поверхнею проточних елементів електромагнітних форсунок [14, 16]. Особливістю забруднень деталей двигунів є їхня висока адгезія і здатність міцно утримуватися

на поверхнях деталей та вузлів. Умовно забруднення можна розділити на осади, лаки та нагари, до складу яких входять смоли, асфальтени, карбени та карбоїди. Смоли - речовини складного хімічного складу, які під впливом температури та інших факторів ущільнюються та переходять до асфальтенів. Надалі цей вид забруднень також зазнає змін, перетворюючись на високовуглецеві сполуки - карбени та карбоїди. Крім того, до складу експлуатаційних забруднень входять продукти згоряння та термічного розпаду палива – частки сажі та коксоподібних речовин.

Всі перераховані вище забруднення відкладаються на розпилювачах форсунок у вигляді липких високомолекулярних з'єднань (плівок). Плівка, у свою чергу, утримує на своїй поверхні мікрочастинки олії та палива. Уся ця маса з часом спікається, товщина шару збільшується. Цей процес відбувається циклічно, в умовах змінних параметрів роботи двигуна в цілому. Особливо цей процес проявляється після зупинки двигуна, коли температура корпусу форсунки зростає за рахунок нагрівання від гарячого двигуна, а охолоджуюча дія потоку бензину та повітря відсутня. Легкі фракції бензину в робочій зоні форсунки випаровуються, а важкі накопичуються у вигляді смолистих відкладень, що зменшують переріз каліброваного каналу [9, 23, 35].

Інтенсивність нагароутворення залежить від якості робочих рідин, режимів експлуатації, стану двигуна та виражається у вигляді нагару, який буває пухкий, щільний та маслянистий.

Існують основні три групи забруднень, що відрізняються фізико-хімічними та механічними властивостями.

- I** група - адгезійно-пов'язані (слабозв'язані) забруднення;
- II** група - поверхнево адсорбційно-пов'язані забруднення;
- III** група - міцно (глибинно) пов'язані забруднення.

II і III групи забруднень найбільш характерні для паливної апаратури бензинового двигуна (рис. 1.5).

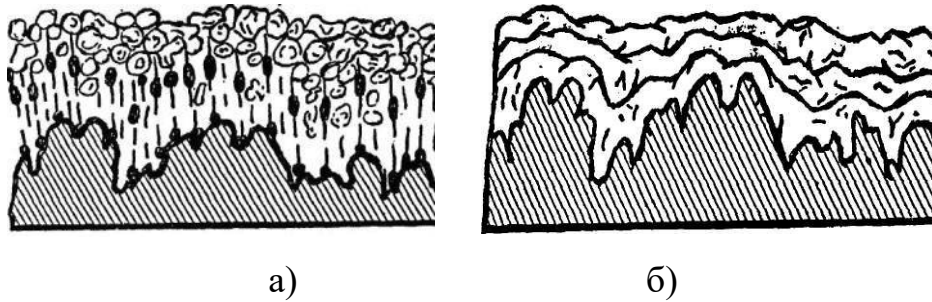


Рисунок 1.5 – Схема утворення забруднень на деталях паливної апаратури: а-поверхнево-адсорбційно-пов'язані; б-міцно (глибинно) пов'язані

До I групи відносяться забруднення, які безладно розташовані у вигляді частинок пилу різної природи з невеликим вмістом органічних речовин, що слабо утримуються на поверхні за рахунок молекулярних та електростатичних сил.

До II групи відносяться забруднення у вигляді олій, смолистих відкладень з великим вмістом органічних речовин. Ці забруднення, на відміну від I групи, утримуються на поверхні ще й з допомогою часткового поглинання забруднень твердою поверхнею.

До III групи відносяться забруднення у вигляді лакових відкладень, продуктів корозії, окалини тощо. Усі ці забруднення утримуються на поверхні виключно за рахунок міцного погашення твердою поверхнею.

Проведений аналіз показав, що найбільш характерними забрудненнями деталей паливної апаратури (особливо розпилювачів форсунок) є нагари, лакові та полімеризовані смолисті відкладення, які важко видаляються та стійкі до впливу миючих середовищ та розчинників.

1.4 Способи очищення електромагнітних форсунок

Одним із способів, що запобігають утворенню відкладень на поверхні форсунок, що відновлюють їх працездатність, видаляють з інжекторів вугільний пил смолу і мастило, є введення в бензин (безпосередньо виробником) миючих присадок або препаратів, що додаються в паливо автомобілістами [14, 24, 23]. Присутність миючих присадок регламентується нормативами та стандартами.

Так, у сучасних марках бензину застосування миючих присадок допускається. У вимогах Світової паливної хартії до якості палива використання цих препаратів є обов'язковим лише у розвинених країнах [21].

Ефективність дії присадок, що мають миючі властивості різна. До цього часу спеціалістами проводяться дослідження, метою яких є синтез композитів, що дозволяють отримати від хімічного реагенту максимальну віддачу не лише у запобіганні утворення шкідливих, а й у відновленні працездатності електромагнітних форсунок.

Асортимент присутніх у торгових мережах препаратів - очисників інжекторів, що додаються в бензин, дуже великий. Для підтвердження їх ефективної дії проводять випробування, знімаючи показники стендового двигуна під час роботи на базовому бензині та бензині, що містить такий препарат.

Заходи, пов'язані з очищенням форсунок без їх зняття з двигуна, проводять за допомогою введення в бензин препаратів, що мають миючу дію. Існує спосіб, при якому застосовують промивну рідину (сольвент-декорбанайзер), що є також як і бензин паливом для двигуна [16, 23, 37]. При цьому як і в першому випадку форсунки з паливної рамки не демонтують. Промивання проводять протягом 20-25 хв на працюючому двигуні. Штатну систему подачі палива відключають, а замість неї використовують спеціальну установку, при використанні якої очищення проводять без циркуляції сольвенту (палива) або з циркуляцією палива [23, 37].

В даний час на СТО найбільш популярною є рідина відомої бельгійської фірми WYNN'S.

Аналізуючи дані щодо оцінки технічного стану паливної системи автомобілів фольксваген моделі Tiguan до та після очищення рідиною WYNN'S, виробничу перевірку якої ми проводили на СТО можна зробити наступний висновок.

Сучасні паливні системи мають дуже точне налаштування, і тому вони дуже чутливі до різноманітних негативних впливів від хімічних реакцій, що

відбуваються в паливі. Вони призводять до засмічення паливної системи, поганого змащування, корозії та інших несправностей. На автомобілях з пробігом виникають проблеми з отриманням правильної паливної суміші (співвідношення повітря/паливо) та ефективністю її згорання. Це відбувається за рахунок накопичення відкладень у паливній системі та спрацювання деталей. Однак склад рідини WYNN'S ефективно очищає форсунки від забруднень, видаляє воду, захищає деталі паливної системи від корозії. Результати нашого аналізу наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати виробничої перевірки

VIN номер автомобіля Tiguan	Пробіг	Рік випуску	Причина звернення	Проведені роботи	Результат
XW8ZZZ5NZCG1260 34	94 327	2012	Висвітлюється індикація несправності ДВЗ "Check Engine"	Очищення рідиною WYNN'S	Індикація несправності ДВЗ "Check Engine" не відображається
XW8ZZZ5NZCG1234 93	97 289	2012	Висвітлюється індикація несправності ДВЗ "Check Engine"	Очищення рідиною WYNN'S	Індикація несправності ДВЗ "Check Engine" не відображається
XW8ZZZ5NZEG1183 81	48 243	2014	Висвітлюється індикація несправності ДВЗ "Check Engine"	Очищення рідиною WYNN'S	Індикація несправності ДВЗ "Check Engine" не відображається
XW8ZZZ5NZDGG1066 39	64 137	2013	Висвітлюється індикація несправності ДВЗ "Check Engine"	Очищення рідиною WYNN'S	Індикація несправності ДВЗ "Check Engine" не відображається
XW8ZZZ5NZCG1152 97	123 894	2012	Висвітлюється індикація несправності ДВЗ "Check Engine"	Очищення рідиною WYNN'S	Індикація несправності ДВЗ "Check Engine" не відображається

Очищення інжекторів після їх зняття з двигуна здійснюють в ультразвукових ваннах, якими комплектують діагностичні стенди, або на самих стендах, використовуючи в режимі вимірювання продуктивності форсунок промивну рідину [7, 16, 23]. В основі технології очищення форсунок із застосуванням високочастотних хвиль лежить ультразвукова кавітація [17, 31].

У процесі експлуатації сільськогосподарської техніки, серед яких особливе місце займають транспортні засоби малої та середньої вантажопідйомності з бензиновими двигунами з розподіленим упорскуванням палива, на зовнішніх та внутрішніх поверхнях деталей відкладаються технологічні забруднення у вигляді мастил, олій, рідких вуглеводнів та продуктів корозії. У ремонтному виробництві на автотранспортних підприємствах для очищення забрудненої поверхні деталей застосовують синтетичні миючі засоби (СМЗ). Аналіз науково-технічної літератури показує, що для підвищення технологічних властивостей СМЗ до них додають різні присадки, фосфатики які характеризуються високим інгібуючим ефектом по відношенню до сталі у водно-сольових середовищах. Відомо також, що комплексні сполуки мають, як правило, більш високі миючі та протикорозійні властивості, ніж їх складові окремо. Тому дослідження впливу боратфосфатних з'єднань на технологічні властивості водних розчинів МЛ-52, МС-8, Лабомід-203 та розробка на їх основі ефективних боратфосфатних миючих засобів (БФМЗ), становлять науково-практичний інтерес.

В таблиці 1.3 відображені переваги та недоліки способів видалення забруднень. Найменша кількість забруднень спостерігається при ультразвуковій очистці на частотах 20...40 кГц. При такому способі кількість забруднень, що залишилися, не перевищує 0,5%.

Аналізуючи способи очищення, найбільш перспективним є використання ультразвукового очищення, яка дозволяє видалити забруднення, що важко видаляються, з електромагнітних форсунок і деталей паливної апаратури [17, 26, 31]. Даний спосіб очищення найперспективніше використовувати на підприємствах, що експлуатують транспортну техніку.

Таблиця. 1.3

Порівняльний аналіз різних способів видалення забруднень з деталей паливної апаратури

Найменування методу		Очищувані деталі	Застосовується обладнання	Переваги	Недоліки
Механічний ручний		Корпуси, прецизійні деталі	КІ-5319, щітки, скребки	Універсальність, простота	Низька продуктивність праці та культура виробництва
Струменевий	з використанням водних розчинів миючих засобів	Всі деталі, крім прецизійних	ОМ-12077 ОМ-1418А ОМ-1459А ОМ-12139 та ін.	Доступність, використання водних розчинів екологічно безпечних миючих засобів, висока продуктивність	Недостатня якість очищення при видаленні твердих забруднень та очищення замкнених порожнин, кишень
			ОМ-5287 ОМ-5288 та ін.		
Занурювальний	з використанням органічних розчинників	Всі деталі	ОРГ-4990В та ін. ОМ-7АН8 та ін.	Доступність, універсальність	Пожежонебезпечність, токсичність, шкідливий вплив на навколишнє середовище
Ультразвуковий		Усі деталі, крім корпусних	ОР-15702 УЗВ-16М та ін.	Можливість видалення різних груп та видів забруднень, очищення деталей різної форми та конфігурації, використання водних розчинів екологічно безпечних миючих засобів, висока продуктивність та культура праці	Потреба в кваліфікованому обслуговуванні ультразвукового обладнання, утруднене очищення великогабаритних корпусних деталей

1.5. Механізм видалення забруднень миючим розчином в ультразвуковому полі

У наукових працях зазначено, що «ультразвук – пружні коливання та хвилі, частота яких перевищує 15...20 кГц. Нижня межа області ультразвуку визначається суб'єктивними властивостями людського слуху, а верхня - фізичною природою пружних хвиль, які можуть поширюватися лише у матеріальному середовищі, за умови, що довжина хвилі значно більша за довжину вільного пробігу молекул у газах або міжатомних відстаней у рідинах та твердих тілах. Ультразвукові хвилі застосовуються як у наукових дослідженнях вивчення будови і властивостей речовин, так вирішення найрізноманітніших технічних завдань, зокрема, видалення різних забруднень» [17].

Основним фактором впливу ультразвуку, що очищає, є явище кавітації.

Кавітація - це процес утворення в рідині бульбашок (каверн, порожнин), заповнених газом, паром або їх сумішшю, та їх подальшого захлопування. Кавітаційні бульбашки утворюються в результаті сильного локального зниження тиску в рідині і закриваються внаслідок його підвищення [17, 31].

Розрізняють гідродинамічну та акустичну кавітацію. Гідродинамічна кавітація виникає внаслідок зниження тиску в потоці рідини, що відбувається при різкому збільшенні швидкості потоку.

Гідродинамічна кавітація здійснюється за рахунок пристроїв, що перетворюють частину енергії турбулентного струменя миючої рідини в енергію акустичних коливань.

Акустична кавітація виникає внаслідок зниження тиску в рідині, яке відбувається при проходженні в рідині високоінтенсивної звукової хвилі під час напівперіоду розрядження. Переміщаючись із потоком в область із підвищеним тиском (у разі гідродинамічної кавітації) або під час напівперіоду стиснення (у разі акустичної кавітації) бульбашки закриваються.

Акустико-кавітаційне очищення здійснюється за допомогою ультразвукового мийно-очисного обладнання, основними вузлами якого є

ультразвуковий генератор, призначений для перетворення струму промислової частоти в струм ультразвукової частоти, і ультразвукова коливальна система, що забезпечує перетворення енергії електричних коливань і формує підсилення сформованих механічних коливань та їх введення в миючу рідину [17]. Безпосередньо очищення проводиться у робочій ємності, що заповнюється миючою рідиною. Розрізняють два типи ультразвукового (УЗ) мийно-очисного обладнання: УЗ ванни та занурювальні УЗ випромінювачі. Занурювальний УЗ випромінювач, на відміну від УЗ ванни, не містить у штатному комплекті спеціальної робочої ємності, в процесі роботи його занурюють у будь-яку відповідну ємність з миючою рідиною. Розрізняють модульні занурювальні випромінювачі та випромінювачі з занурювальними хвилеводами-концентраторами.

Пухирці утворюються в тих місцях, де тиск у рідині виявляється нижче деякого критичного значення, що відповідає порогу кавітації [17]. Для спонтанного утворення бульбашок в ідеальній однорідно чистій рідині потрібні великі напруги, що розтягують. У реальних умовах розриви суцільності рідини відбуваються при тисках, які лише трохи менші від тиску насиченої пари при даній температурі, що пояснюється наявністю зародків кавітації - мікроскопічних газових бульбашок, присутніх в обсязі рідини або в тріщинах і порах на поверхні твердих тіл (часток), що знаходяться в рідині. Ці зародки, опинившись у ділянці зниженого тиску, втрачають свою стійкість і починають швидко зростати в розмірах. Їх розширення обумовлено дифузією газу з рідини в пляшечку і випаровуванням рідини в пляшечку,

Процес ультразвукового очищення обумовлений низкою гідродинамічних явищ, що виникають в ультразвуковому полі значної інтенсивності: кавітацією, акустичними течіями, радіаційним тиском та ін [20, 29, 36]. Ефективність очищення залежить від параметрів звукового поля, джерел акустичної енергії - частоти та амплітуди коливань, інтенсивності звуку, звукового тиску та від фізико-хімічних властивостей миючої рідини - в'язкості, пружності насиченої пари, поверхневого натягу, щільності, газоутримання. Вибір параметрів

звукового поля та рідин з певними властивостями дозволяє керувати явищами, що зумовлюють ультразвукове очищення [17]. На ефективність очищення впливають також температура та концентрація миючого розчину. У процесі очищення відбувається руйнування поверхневих плівок забруднень, відшаровування та видалення забруднень їх емульгування та розчинення.

Висновки за розділом

Виконано науковий аналіз процесів забруднення та наслідків зношування елементів електромагнітної форсунки, виявлено їх вплив на роботу автомобільного бензинового двигуна.

Для запобігання та усунення забруднень ЕМФ існують способи очищення, які поділяють залежно від завдань подальшої експлуатації та виявлених порушень у роботі двигуна. Як профілактичні заходи використовують різні хімічні добавки в паливо, що дозволяють знизити схильність форсунок до забруднень.

Існуючі миючі присадки до бензину не забезпечують повного очищення форсунок. Вони можуть застосовуватись як профілактичний засіб проти забруднення форсунок у процесі експлуатації. Повністю видалити органічні відкладення можливо в процесі їх ультразвукового очищення.

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

2.1 Математична модель об'єкта моделювання

Математичну модель зазвичай представляють схемою (рисунок 2.1):

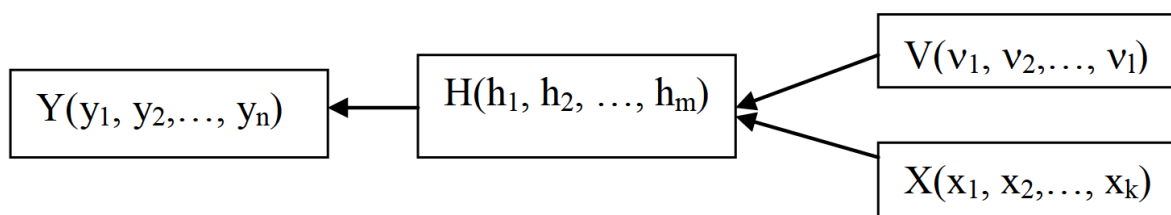


Рисунок 2.1 – Схема математичної моделі

Прямокутником позначений об'єкт (процес) моделювання, $X(x_1, x_2, \dots, x_k)$ - безліч зовнішніх впливів на об'єкт, що моделюється, $V(v_1, v_2, \dots, v_n)$ - безліч впливів зовнішнього середовища, $H(h_1, h_2, \dots, h_m)$ - безліч внутрішніх станів об'єкта, $Y(y_1, y_2, \dots, y_n)$ - безліч вихідних параметрів об'єкта, що моделюється. Безліч зовнішніх впливів $X(x_1, x_2, \dots, x_k)$ містить керовані параметри. У загальному випадку всі множини X, Y, V, H можуть містити як детерміновані, так і стохастичні змінні. Розглядають ці множини як деякі формальні вектори $Y = F(\bar{X}, \bar{V}, \bar{H}, \bar{Y}, t)$ параметр t - час. Параметр F - деякий оператор, визначення структури якого є метою моделювання.

Рівність $Y = F(\bar{X}, \bar{V}, \bar{H}, \bar{Y}, t)$ - формальна математична модель (динамічна модель). Якщо рівність відсутня, то модель називається статичною. Структура оператора F може бути аналітичною, чисельною чи статистичною. Тому математичні моделі поділяють на аналітичні, чисельні та статистичні моделі.

2.2 Схема створення математичної моделі

Математична модель створюється на основі змістовної моделі, яка

відображає суттєві властивості об'єкта або процесу, що моделюється, і містить опис вхідних параметрів (керованих або стохастичних), внутрішніх параметрів і вихідних параметрів. Створення математичної моделі відбувається шляхом формалізації змістовної моделі як рівнянь, систем рівнянь різних видів, нерівностей чи відносин. Робота із створеною моделлю містить:

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

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

2.3 Типові математичні схеми моделювання

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

1) дискретно-детерміновані F-схеми (кінцеві автомати) З допомогою цих схем описуються моделі механізмів контролю та управління, мають дискретний характер роботи у часі. Математична модель складається із завдання початкового стану автомата і з рівнянь, що задають значення вихідних

параметрів в даний час залежно від значень вхідних параметрів і внутрішніх станів в даний або попередній моменти. Замість рівнянь можна використовувати таблиці чи графи;

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

2.4 Регресійні моделі

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

2.5 Регресійний аналіз похибки вимірювання продуктивності форсунок залежно від пробігу автомобіля

У сучасних поршневих двигунах з розподіленим упорскуванням палива електромагнітні форсунки є основним типом систем подачі та розпилювання палива. До струменевих форсунок паливо також подається під деяким тиском. Внутрішній пристрій струминних форсунок є послідовною системою каналів, колекторів, простору навколо клапанів, пружин і т.п. На останній ділянці течії через форсунку паливо з великою швидкістю протікає через сопло малого діаметра і після вильоту з форсунки струмись на деякій відстані від зрізу сопла

розпадається на безліч дрібних крапель, створюючи вузький факел розпиленого палива (факел розпилу) з малим кутом розбіжності.

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

$$\Delta p_{T.0}^* = p_{T.0}^* - p_K^*, \quad (2.1)$$

де: $p_{T.0}^*$, p_K^* - абсолютні повні значення тиску палива перед форсункою та в камері згоряння, Н/м².

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

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

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

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

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

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

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

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

де ρ_T - щільність палива, кг/м³;

w_t - теоретична швидкість витікання палива із сопла форсунки, м/с (це швидкість у площині вихідного перерізу сопла);

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

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

б) Рівняння Бернуллі для ідеальної стисненої рідини:

$$p_{T.0}^* = p_{T.0} + \rho \cdot \frac{w_t^2}{2g} \quad (2.3)$$

де $p_{T.0}$ - тиск палива у потоці рідини перед форсункою, Н/м²;

З рівняння (2.3) з припущення рівності тиску в потоці на зрізі сопла $p_{T.0}$ тиску газу в камері згоряння отримаємо теоретичну швидкість витікання палива w_t :

$$w_t = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p_{T.0}^*}{\rho_T}}, \quad (2.4)$$

Після підстановки цього виразу для w_t - у формулу для витрати пального (2.2) отримаємо:

$$G_{T.t} = F_c \cdot \rho_T \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p_{T.0}^*}{\rho_T}} = (\pi \cdot r_c^2) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_T \cdot \Delta p_{T.0}^*}, \quad (2.5)$$

Насправді, через наявність при перебігу реальної рідини через форсунку різних завихрень, межових шарів, в'язкого гідравлічного і поверхневого тертя, що створюють гідравлічні опори і через що дійсна швидкість витікання $w < w_t$, фактична витрата палива

$$G_T = \mu \cdot G_{T.t} = \mu \cdot (\pi \cdot r_c^2) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_T \cdot \Delta p_{T.0}^*}, \quad (2.6)$$

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

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

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

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

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

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

Таблиця 2.1

Середнє відхилення значень витрати пального (Δq_{cp}) залежно від пробігу $L(x_i)$

Параметр	$L(x_i)$, км					
	20 000	40 000	60 000	80 000	100 000	120 000
Δq_{cp} , (y_i), мл·хв ⁻¹ (до очищення УЗ)	1.2	1.3	1.6	2.0	2.3	3.5
Δq_{cp} , мл·хв ⁻¹ (після очищення УЗ)	1.1	1.2	1.4	1.7	1.8	2.0

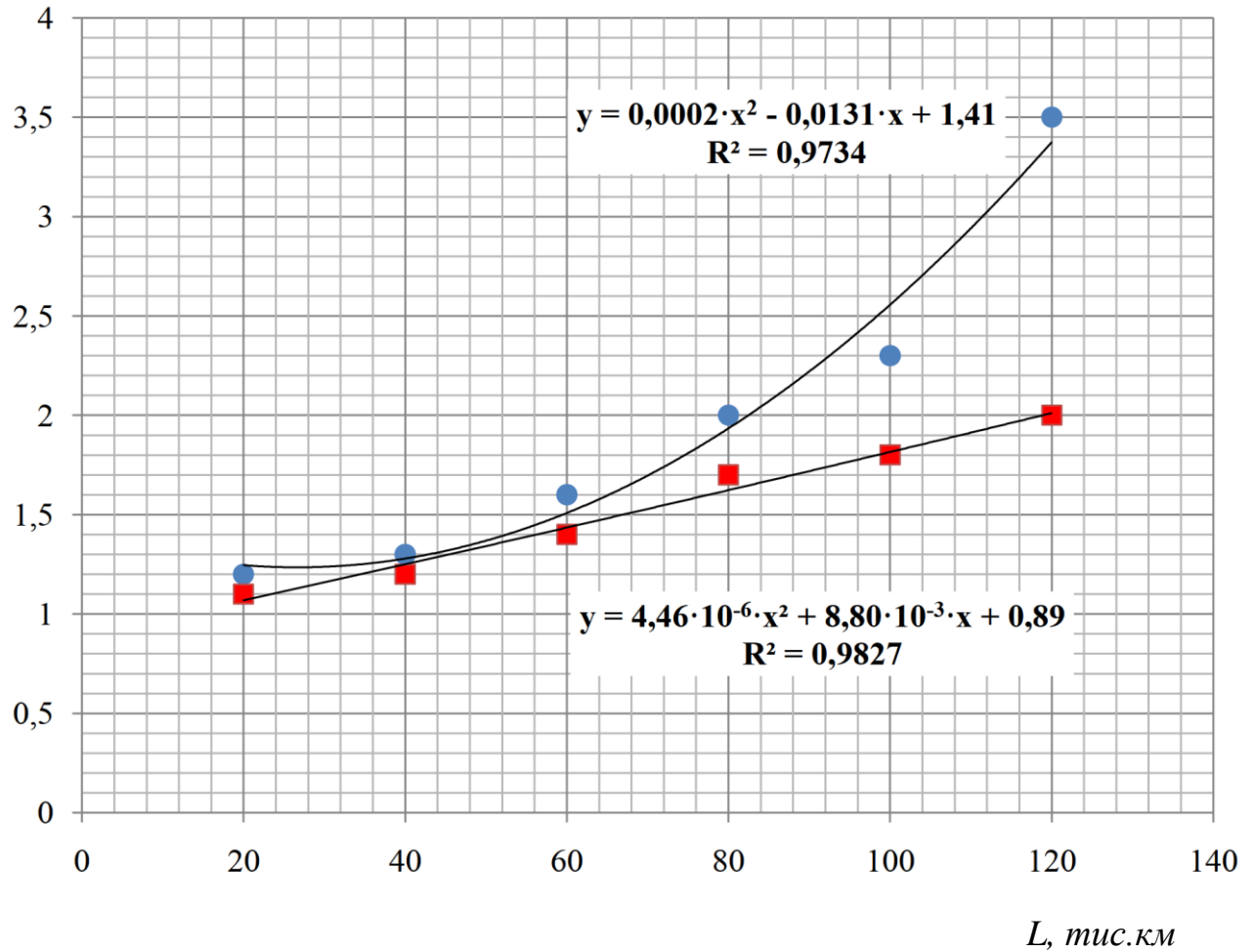
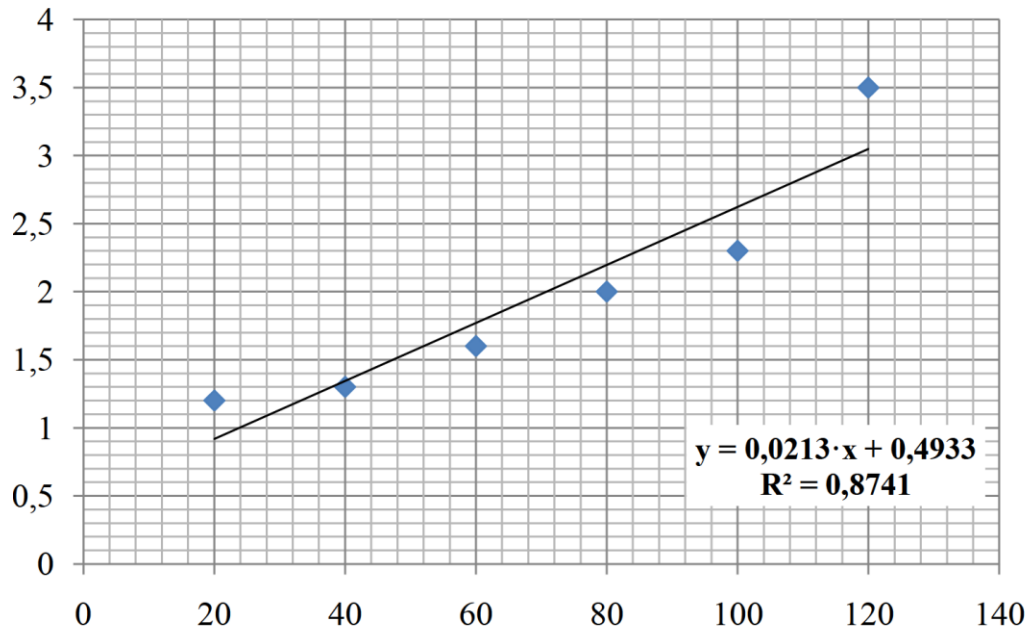


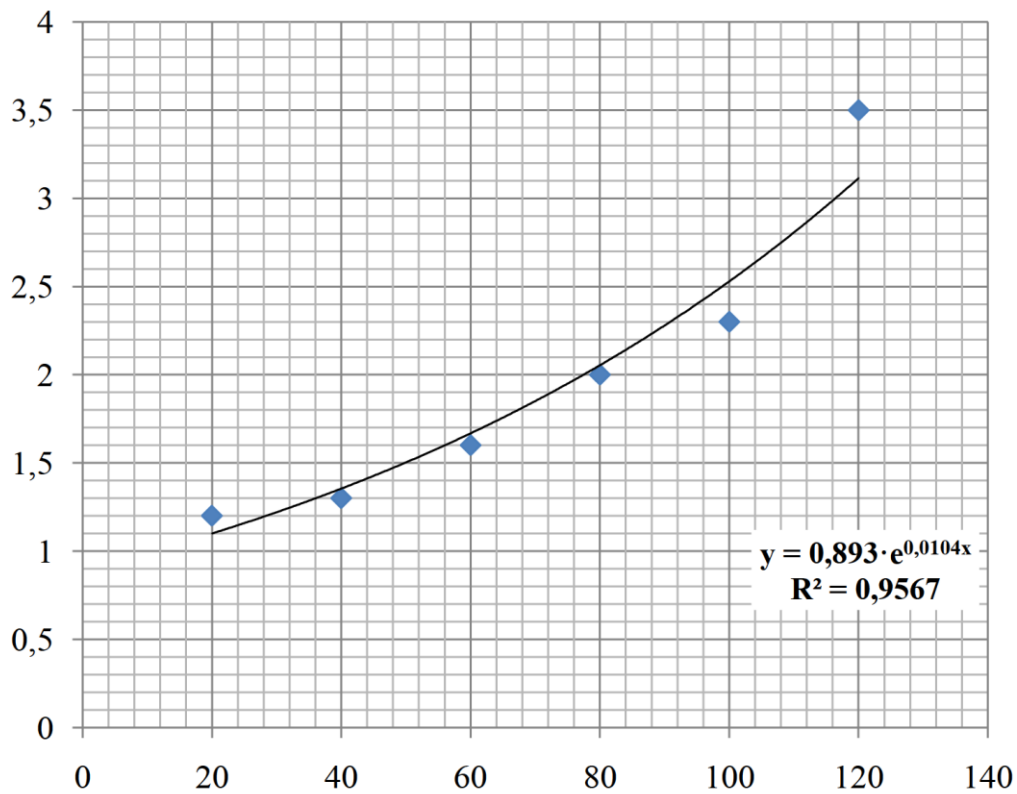
Рисунок 2.2 – Середнє відхилення значень витрати пального ($\Delta q_{\text{ср}}$) залежно від пробігу L до і після очищення ультразвуком

За результатами обробки статистичних даних проведено апроксимацію отриманих значень до очищення ультразвуком з метою визначення характеру залежностей (рисунки 2.3 - 2.4).



L, тис. км.

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



L, тис. км.

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

Зіставляючи значень коефіцієнтів детермінації (таблиця 2.2) видно, що найбільше значення параметра R^2 спостерігається в рівнянні регресії, отриманого апроксимацією даних поліномом другого ступеня. Отже, це квадратичне рівняння найповніше відображає зміну Δq_{cp} від пробігу автомобіля (L). Регресія як квадратичного рівняння нелінійна щодо пояснюючих змінних і лінійна щодо параметрів моделі. Тому оцінки методу найменших квадратів перетвореної лінійної моделі, отримані за допомогою функції «Регресія» табличного процесора Microsoft Office Excel є оцінками параметрів нелінійної моделі.

Таблиця 2.2

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

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

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

Висновки за розділом

1. Аналітично обґрунтовано залежність витрати палива від пробігу при забрудненні соплових отворів ЕМФ, що характеризує технічний стан сучасних

двигунів внутрішнього згорання.

2. Зі збільшенням напрацювання при забрудненні соплових отворів ЕМФ збільшується відхилення витрати палива до 25,2%. Отримано рівняння середнього значення витрат палива через форсунку при врахуванні зміни середнього відхилення значень витрати палива з урахуванням забруднень соплових отворів та пробігу.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Завдання дослідження

Для оцінки впливу ультразвукового очищення ЕМФ на покращення енергетичних та екологічних показників двигунів у процесі експлуатації було проведено низку експериментів на метрологічно повіреному обладнанні. Вимірювання здійснювалися до та після ультразвукового очищення ЕМФ:

- для оцінки вилучення поверхневих забруднень з елементів форсунки використовували прилад Reanimator Injector Reanimator v 2.0 (Реаніматор форсунок);

- для оцінки технічного стану ЕМФ використовували установку НР-6В фірми АЕ&Т;

- для очищення паливних форсунок використовували ультразвукову ванну.

"Ultrasonic Cleaner" фірми АЕ&Т;

- для підтвердження факту зношування елементів форсунки та їх забруднення був проведений аналіз фотографій розпилювачів форсунок, отриманих за допомогою цифрового мікроскопа Levenhuk DTX 90;

- порівняльні випробування енергетичних характеристик двигуна ЗМЗ-4062.10 автомобіля Газель 27040V з комплектом форсунок до та після ультразвукового очищення, проводилися на роликовому потужнісному стенді CARTEC LPS 2510 для однієї провідної осі;

- з метою оцінки екологічних показників використовувався газоаналізатор Інфракар М2Т.

Об'єктами дослідження були ЕМФ бензинових двигунів із розподіленим упорскуванням палива SIMENS DEKA ZMZ 6354. Форсунки експлуатувалися у силових агрегатах автомобілів ГАЗ-27040 V (Газель). Випробування проводили на 150 комплектах форсунок (у кожному комплекті 4 форсунки), знятих із двигунів автомобілів з пробігом від 0 до 170 тис. км.

3.2. Методика оцінки очищення поверхневих забруднень з елементів форсунки

Відомо, що зміни робочих параметрів форсунок впливають на якість розпилу палива і, в кінцевому рахунку – на енергетичні та екологічні показники двигуна, його пускові якості та динаміку транспортного засобу.

Для оцінки очищення поверхневих забруднень із внутрішніх та зовнішніх елементів форсунки було використано лабораторну установку з використанням приладу Reanimator Injector v 2.0 (реаніматор форсунок) (рис. 3.1).

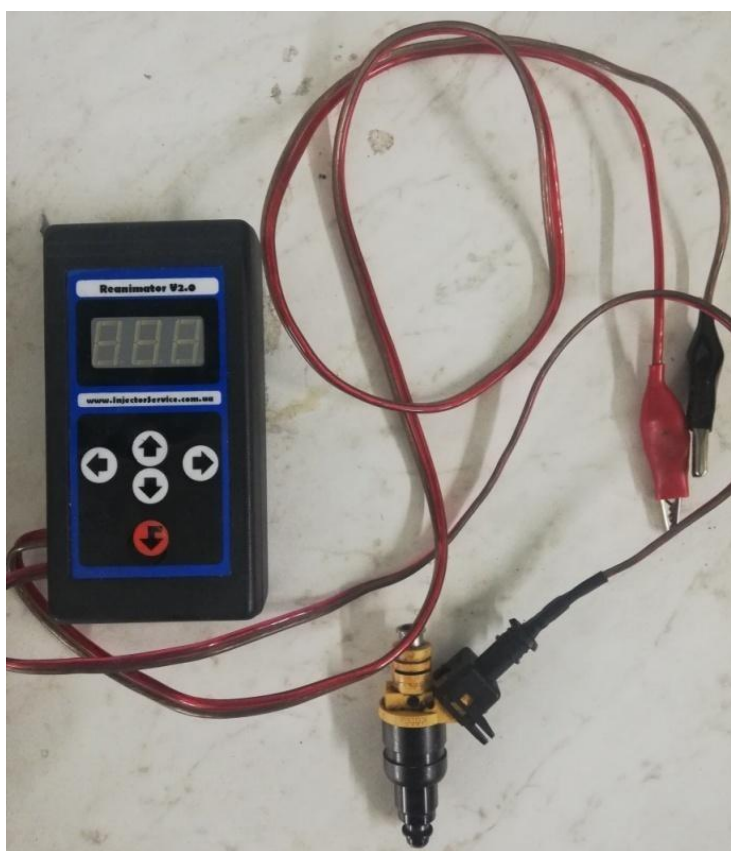


Рисунок 3.1 – Прилад Reanimator Injector v 2.0 (реаніматор форсунок)

Реаніматор форсунок дозволяє перевірити продуктивність форсунок у режимі «Перевірка», а в режимі «Очищення» витягти забруднення в рідину, що знаходиться в контакті з форсункою. Технічні характеристики приладу представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики приладу Reanimator Injector v 2.0

Кількість імпульсів відкриття форсунок	10 - 2550
Час відкриття форсунок	1,5 – 9,9 мс
Тимчасовий інтервал між імпульсами	10 – 100 мс

У режимі "Перевірка" на форсунки подаються однакові керуючі імпульси (обмотки всіх форсунок підключені паралельно). У режимі очищення програмне забезпечення автоматично визначає резонансну частоту голки форсунки. У цьому режимі роботи після "захоплення" проводиться девіація цієї частоти в невеликому діапазоні. У такому режимі форсунка, опущена в розчин, що щочищається, починає прокачувати рідину, що чистить, у зворотному напрямку. Це сприяє інтенсивній взаємодії хімічного очисника із забрудненнями всередині форсунки.

Оскільки конструкція сучасної електромагнітної форсунки є безрозбірною, то для доступу до її проточної частини та дослідження на предмет забруднень потрібно використовувати ріжучий інструмент, що зрештою призведе до непридатності форсунки. Тому була запропонована лабораторна установка, яка дозволяє оцінити рівень переходу в рідку фазу смолистих, лакових і нагарних відкладень, не застосовуючи при цьому жодного ріжучого інструменту.

Заводи-виробники ДВЗ в інструкціях з експлуатації не регламентують необхідність контролю продуктивності форсунок через певні значення їх пробігу (напрацювання), оскільки на всіх АТЗ передбачені паливні фільтри, які, за задумом виробника, повинні захищати соплові отвори від забруднень. Однак фільтри, як свідчить практика, не дають повного захисту від забруднення проточної частини форсунок. Тому для перевірки присутності в соплових отворах забруднень проточної частини форсунок було проведено стендові випробування ЕМФ на установці АЕ&Т «НР-6В».

Оцінювався технічний стан паливних форсунок SIEMENS DEKA ZMZ 6354, що мають напрацювання 80...100 тис. км пробігу. При цьому частота

спрацьовування форсунок (імпульсів, що подаються на обмотку) і тривалість подачі палива залежали тільки від імітованого режиму роботи двигуна, яких було три: на холостому ході, максимальному навантаженні і високих швидкостях руху автомобіля. У першому випадку значення цих величин дорівнювали $v = 650 \text{ хв}^{-1}$, $\tau = 3 \text{ мс}$; у другому – $v = 2400 \text{ хв}^{-1}$, $\tau = 12 \text{ мс}$; у третьому - $v = 3600 \text{ хв}^{-1}$, $\tau = 6 \text{ мс}$ [53]. Кожна з форсунок випробовувалась двічі – у вихідному стані та після очищення від забруднень. При такій організації випробувань очищення включало два етапи: промивання в розчині, що складається з води, етанолу і поверхнево активних речовин, і власне очищення за допомогою подачі ультразвукових імпульсів.

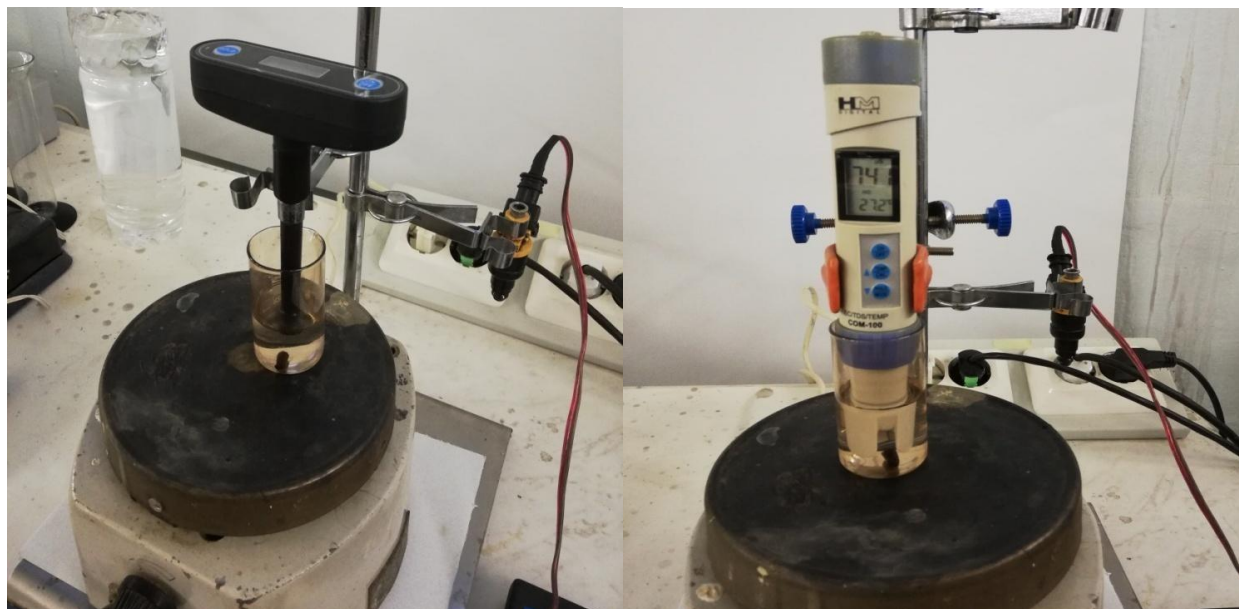
Процес промивань був гранично простим: форсунки поміщали в хімічну склянку, заповнену 20 мл розчину для промивання так, щоб при перемішуванні магнітною мішалкою омивалася тільки нижня частина пристрою (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Загальна схема лабораторної установки

Потім включався реаніматор форсунок, який подавав на форсунку робочі імпульси. Причому це робилося двічі: спочатку протягом 30 с, потім ще протягом 1 хв. Після кожного такого впливу форсунку залишали не виключаючи перемішування на 10 хв у хімічній склянці і далі вимірювали водневий показник рН та електропровідність σ рідкої фази (рис. 3.3). Як виявилось, рН (7.5 ± 0.1) рідкої фази у процесі промивання форсунок не змінюється, а електропровідність

зростає. Однак таке зростання σ пов'язане не з процесом промивання, а з випаровуванням одного з компонентів розчину, що супроводжує його, через великі перерви між промиваннями чергових форсунок. Так що цей недолік легко усунути.



а)

б)

Рисунок 3.3 – Вимірювання водневого показника рН
(а) та електропровідності σ рідкої фази (б)

З порівняння даних таблиці 3.2 видно, що продуктивність форсунок після їх ультразвукової обробки найчастіше перевищує продуктивність. Це свідчить про необхідність проведення такої процедури обслуговування паливних форсунок.

Таблиця 3.2 – Продуктивність форсунок (Φ) SIEMENS DEKA ZMZ 6354 при різних режимах випробування

Стан форсунки	Продуктивність форсунок, см ³ /хв							
	на режимі №2				на режимі №3			
	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4
До очищення	100.0	102.0	106.0	106.0	63.9	66.7	69.4	69.4
Після УЗ-очищення	106.0	106.0	106.0	106.0	66.7	68.1	69.4	69.4

Таким чином, експерименти показали: проведення контролю продуктивності форсунок після певних напрацювань не тільки бажано, але і необхідно. Більш того, для покращення енергетичних та екологічних показників

двигунів, процесу пуску, а також збереження динамічних характеристик транспортних засобів контроль та очищення форсунок від забруднень потрібно поєднувати з ультразвуковим очищенням. Ультразвукове очищення сприяє найбільш повному очищенню форсунок від забруднень.

Отже, контролювати робочі параметри форсунок доцільно після виконання двох операцій: промивання та очищення їх ультразвуком. Слід зазначити, що різниця значень продуктивності форсунок дуже низька, всього $\pm 0,4 \dots 1\%$.

3.3. Методика оцінки технічного стану форсунок

Технічний стан пристрою упрскування палива оцінювалося з використанням установки АЕ&Т НР-6В (рис. 3.4). Дана установка дозволяє перевіряти технічний стан форсунок, якість розпилу з імітацією різних режимів роботи двигуна та герметичність форсунок. Технічні характеристики установки представлені у таблиці 3.3.



Рисунок 3.4 – Установка АЕ&Т «НР-6В» для оцінки технічного стану паливних форсунок

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики установки «НР-6В»

1. Розмір установки:	56*56*75 см
2. Маса нетто/маса брутто:	42/56 кг
3. Потужність:	220 у перем. струму 50Гц 200 Вт
4. Діапазон тиску:	0~ 90 фунтів на кв. дюйм (6.4 кг/см ²)
5. Робоча температура:	-20°C~38°C
6. Кількість форсунок:	2-6 (Не менше 2 форсунок за раз)
7. Імпульси форсунки (кількість):	0-9950 імпульсів із кроком 50 імпульсів
8. Робоча частота форсунки (об/хв):	0-9950 об/хв з кроком 50 об/хв
9. Ширина імпульсів форсунки (ІМВ):	0-20 мс із збільшенням 0.1 мс

У процесі лабораторних досліджень оцінювалися наступні кількісні робочі показники форсунок до та після ультразвукового очищення.

Герметичність форсунок перевіряли під тиском палива. У непрацюючої форсунки, що знаходиться під тиском, не повинно утворюватися на носику розпилювача і відриватися з неї більше однієї краплі протягом однієї хвилини.

Статична та динамічна продуктивність форсунок визначалася в автоматичному та ручному режимах налаштування частоти (n_{τ}), ширини (τ) та числа імпульсів (N_{τ}).

Режим 1 – «Атомізація» (форсунки знаходяться у постійно відкритому стані). На даному режимі перевіряється продуктивність форсунок при їх відкритті на заданий час за кількістю рідини в кожній мірній склянці. Перевіряється форма розпилу факела палива.

Режим 2 – «Холостий хід». Даний режим імітує процес роботи форсунок, що тестуються на режимі холостого ходу: $n=650$ хв-1 («мінімум»), $\tau=3$ мс, $N_{\tau}=2000$ імпульсів.

Режим 3 – «Максимальне навантаження». Цей режим імітує процес роботи тестованих форсунок на режимі руху з підвищеним навантаженням на ДВЗ: $n=2400$ хв-1, $\tau=12$ мс, $N=1000$ імпульсів;

Режим 4 – «Робота при високих швидкостях». Даний режим імітує процес

роботи форсунок, що тестуються, на режимі руху на підвищеній швидкості: $n=3600$ хв-1, $\tau=6$ мс, $N_{\tau}=2000$ імпульсів.

Витрата q_i тестової рідини при випробуванні форсунок розраховується за такою формулою:

$$q_i = \frac{Q_t}{t}, \quad (3.1)$$

де Q_t – обсяг палива за час вимірювання t , мл; t - час виміру, хв.

Середнє відхилення значень витрати пального (Δq_{cp}) визначалося як сума середніх значень похибок вимірювань кожного режиму, поділених на кількість режимів:

$$\Delta q_{cp} = \frac{\sum \Delta q_i}{n}, \quad (3.2)$$

де $\sum \Delta q_i$ - сума похибок середньої арифметичної витрати тестової рідини всіх режимів, мл/хв; n -число режимів.

Як результат, у таблиці 3.4 наведені такі кількісні робочі показники форсунок до очищення, отримані на установці НР-6В.

Таблиця 3.4 – Кількісні робочі показники форсунок SIMENS DEKA ZMZ 6354 до очищення, отримані на установці «НР-6В»

Пробіг 40 тис. км. Siemens DEKA ZMZ 6354	Стат. вироб. у мл/хв	Динам. продуктивність у мл/хв		
		Режим 1 650 об/хв	Режим 2 2400 об/хв	Режим 3 3600 об/хв
Форсунка 1	126,8	13	91,7	83,3
Форсунка 2	125,6	12,7	90	81,9
Форсунка 3	125,6	13	90	84,7
Форсунка 4	126,8	13	91,7	84,7
Порівн. знач:	126,2	12,925	90,85	83,65
Стандартне відхилення:	0,69	0,15	0,98	1,34
Коеф. Стьюдента (t):	3,18244630	3,1824463	3,1824463	3,1824463
Абсолютна похибка	1,10	0,24	1,56	2,13
Середнє відхилення значень витрати палива мл/хв	1,26			

В результаті проведених досліджень встановлено, що витрата палива для форсунок, знятих з автомобілів з різним пробігом, не може бути узагальнюючим параметром, яким слід оцінювати технічний стан пристрою від пробігу. Це пов'язано з тим, що q відображає не тільки залежну від напрацювання ступінь забруднення форсунок, але й різницю в пропускну здатності виробу (наприклад, при тестуванні форсунок інших автомобілів, що спочатку відрізняються продуктивністю). Тому доцільно для об'єктів випробування оцінку технічного стану проводити щодо зміни (відхилення від середньої величини) витрати пального.

Середнє відхилення значень витрати палива (Δq_{cp}) дуже важливо при оцінці працездатності комплекту форсунок, оскільки зі збільшенням пробігу автомобіля спостерігається зростання параметра Δq_{cp} і це є основною причиною нерівномірного надходження палива до різних циліндрів та відхилень у складах суміші по циліндрах.

У окремих роботах зазначено зазначено, що «система управління двигуном не здатна компенсувати зростаючу нерівномірність циклових подач в комплекті форсунок, оскільки вона вносить на основі сигналу λ -зонда деяку загальну, усереднену коригуючу поправку для всього комплекту форсунок. Тому, щоб контролер двигуна міг компенсувати зростаючу нерівномірність циклових подач в комплекті форсунок, в ідеалі необхідно було б використання індивідуальних зондів для кожного з циліндрів двигуна ». Але через високу вартість таких датчиків цей спосіб не знаходить практичного застосування.

Дослідження на установці АЕ&Т НР-6В проводили при тиску палива в магістралі 300 ± 5 кПа. У процесі проведення вимірювань тиск палива контролювався за допомогою вбудованого манометра.

Як тестуючу рідину використовували професійну рідину LAVR Ln 2004 (рис. 3.5) для тестування бензинових форсунок на стендах. Ця рідина забезпечує точний контроль факела розпилю, продуктивність та герметичність форсунок при використанні її на стендах.

Рідина має еталонні параметри щільності та в'язкості, що відповідають ЄН

228-2004 «Паливо моторне. Бензин нестильований. Технічні умови (із Змінами N 1, 2, 3, 4)» [22].

Рідина підходить для тестування всіх типів форсунок: EURO, ASIA, USA, в тому числі на режимах з підвищеним тиском і високою частотою відкриття форсунки. Абсолютно безпечна для форсунок, гумових ущільнювачів та обладнання. Не токсична, не має вираженого запаху, важко спалахує. Не поєднується з очисниками, не випаровується і максимально довго зберігає функціональні властивості. До складу рідини входять аліфатичні вуглеводні, коректор в'язкості та барвник.



Рисунок 3.5 – Тестуюча рідина LVR Ln 2004

3.4. Методика очищення форсунок в ультразвуковій ванні

Для очищення використовувалося наступне обладнання, прилади та матеріали:

- ультразвукова ванна "Ultrasonic Cleaner" (рис. 3.6);
- установка АЕ&Т «НР-6В» для оцінки технічного стану паливних форсунок;
- установка LVR Ln 2003 для видалення смолистих, лакових і нагарних відкладень.



Рисунок 3.6 – Ультразвукова ванна «Ultrasonic Cleaner»

Ультразвуковий генератор ультразвукової ванни має функцію автопідстроювання частоти, функцію стабілізації вихідної потужності. Ультразвукові коливання з частотою до 40 кГц сприяють проникненню миючого розчину через сопло форсунки, а кавітаційні процеси, що при цьому виникають, забезпечують очищення форсунки. Ультразвуковий генератор викликає коливання в миючому розчині і при цьому навколо поверхонь, що сполучаються всередині паливної форсунки, виникають зони вакууму. Цей вакуум призводить до виникнення бульбашок пари. При руйнуванні цих бульбашок миючий розчин спрямовується в ці зони і вдаряючись до поверхні очищає їх.

Для формування електричних імпульсів, призначених для періодичного відкривання паливних форсунок при виконанні очищення, використовували установку НР-6В для оцінки технічного стану паливних форсунок.

Порядок проведення лабораторних експериментів наведено нижче.

Дія 1. Встановили робочі форсунки на підставку в УЗВ (підставка входить у комплект із ванною).

Дія 2. Перевірили рівень рідини для очищення деталей – сопло робочих форсунок має бути повністю занурене в очищувальну рідину. Якщо рідини мало, тоді її слід долити.

Дія 3. Підключили живлення до всіх форсунок через гніздо для живлення.

Дія 4. Запустили ультразвуковий випромінювач рахунок перемиканням тумблера активації ванни в позицію «включено». Тумблер розташований на задній поверхні корпусу ультразвукової ванни.

Дія 5. Вибрали час для очищення за допомогою повороту спеціального тумблера, розташованого на стінці корпусу ультразвукової ванни. Час очищення становив 15 хвилин.

Дія 6. Активували кнопку "Імпульс" з метою передачі керуючого імпульсу на встановлені форсунки. У разі потреби є можливість змінити характеристики керуючого імпульсу.

Дія 7. Активували кнопку "Старт" в області панелі керування ультразвуковою ванною. Таким чином, буде задіяний зворотний тимчасовий відлік.

Дія 8. Дочекатися, коли значення таймера досягне нуля. За таких умов процес очищення вважається закінченим. У разі потреби процес очищення можна перервати у будь-який момент часу за допомогою кнопки "Стоп" (вона розташована на корпусі ультразвукової ванни) або за допомогою повороту тумблера активації ванни в позицію "вимкнено".

Дія 9. Вийняти форсунки, а потім протерти дані пристрою м'якою ганчіркою з метою усунення залишків рідини для повного очищення деталей. Далі слід провести продування за допомогою компресора. Як очищувальну рідину використовували професійну рідину LAVR Ln 2003 для видалення смолистих, лакових та нагарних відкладень. До складу рідини входить: суміш неіоногенних та катіонних поверхнево-активних речовин (ПАР) < 5%, тринатрій нітрилотріацетат < 5%, компоненти хелату < 5%, ефіри гліколей 5-15%, регулятор рН < 5%, дистильована вода.

3.5. Методика дослідження елементів проточної частини форсунок за допомогою цифрового мікроскопа та оцінка якості очищення

Для підтвердження факту зношування та присутності забруднень соплових отворів форсунок були проаналізовані фотографії розпилювачів,

використовувався цифровий мікроскоп Levenhuk DTX 90 [10, 20, 31].

Форсунок експлуатувалися у силових агрегатах автомобілів ГАЗ-27040 V (газель "Фермер"). Дослідження проводили на комплекті форсунок, знятих з двигунів автомобілів з пробігом 40 тис. км), до та після очищення ультразвуком, а також на комплекті нових форсунок.

Цифровий мікроскоп Levenhuk DTX 90 – це сучасний професійний USB-мікроскоп для надточних робіт, оснащений 5-мегапіксельною камерою. Прилад дає 10-300-кратне збільшення. Комплектується спеціальним штативом, основою з вимірювальною шкалою та двома затискачами для закріплення зразка (форсунок).

Мікроскоп дозволяє отримувати знімки високої якості та роздільної здатності. Підключається до комп'ютера або ноутбука через порт USB 2.0. Обробка зображення проводиться за допомогою програми захоплення зображення, що входить до стандартної комплектації.

Параметри мікроскопа Levenhuk DTX 90 наведено у таблиці 3.5, зовнішній вигляд якого представлений на рис. 3.7.

Таблиця 3.5

Технічні характеристики цифрового мікроскопа Levenhuk DTX 90

Тип мікроскопа:	цифровий
Тип насадки:	цифровий дисплей/монітор ПК
Матеріал оптики:	оптичне скло
Збільшення, крат:	10-300
Фокусування:	ручна, в межах від 0 мм до 150 мм
Підсвічування:	світлодіодна
Регулювання яскравості:	є
Джерело живлення:	5 У постійного струму через кабель USB 2.0
Число мегапікселів:	5
Можливість запису відео:	є

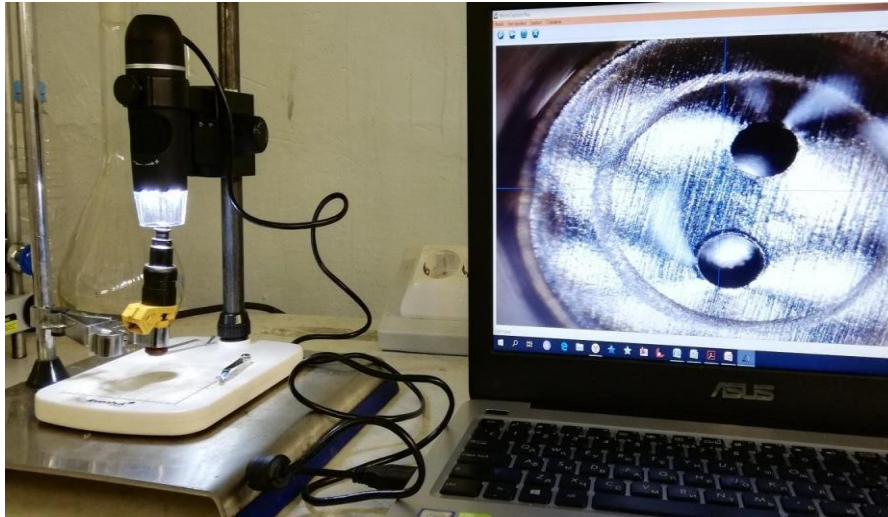










Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд цифрового мікроскопа Levenhuk DTX 90

За допомогою мікроскопа була отримана серія фотографій соплових отвори, найбільш характерні з яких представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Фотографії соплових отворів нових форсунок та форсунок з напрацюванням 40 тис. км. до та після впливу ультразвуку

Фотографії соплових отворів нових форсунок			
			
Фото соплових отворів форсунок із пробігом 40 тис. км. до очищення в УЗВ			
			
Фото соплових отворів нових форсунок із пробігом 40 тис. км. після них очищення в УЗВ протягом 10 хвилин			

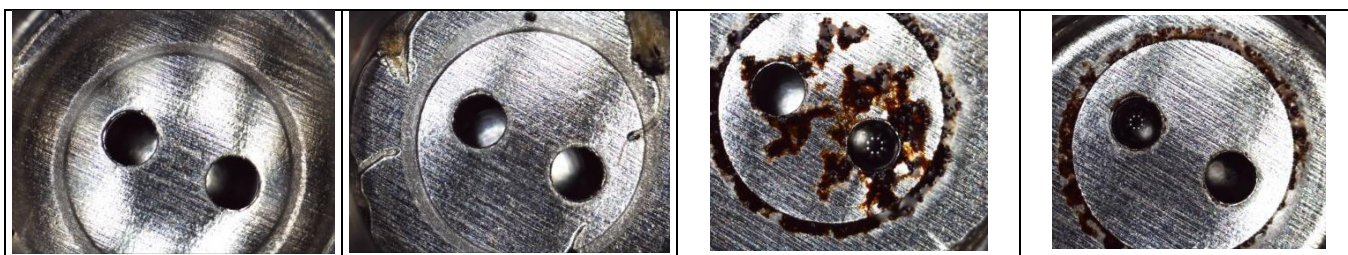


Фото соплових отворів нових форсунок із пробігом 40 тис. км. після них очищення в УЗВ протягом 15 хвилин

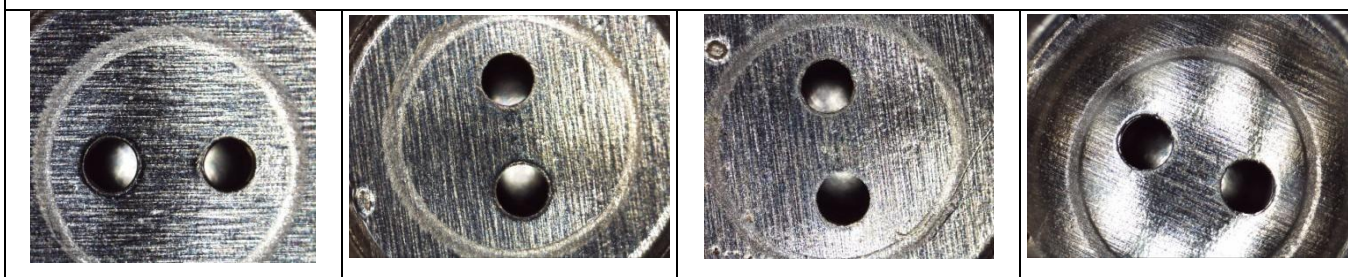
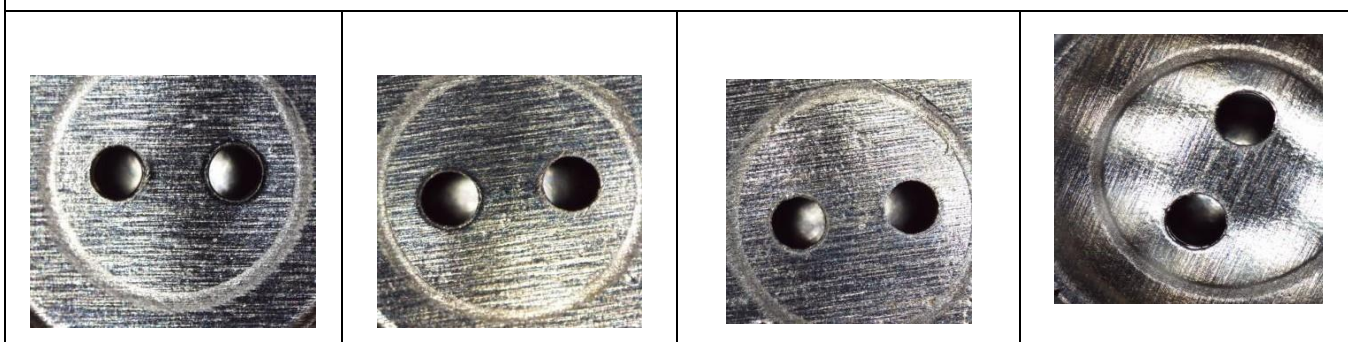


Фото соплових отворів нових форсунок із пробігом 40 тис. км. після них очищення в УЗВ протягом 20 хвилин



Аналіз фотографій показав, що для форсунок з напрацюванням є забруднення. Встановлено, що розмір соплових отворів після ультразвукової обробки більший за діаметр соплових отворів нових форсунок. Це пов'язано з протікаючим у процесі тривалої експлуатації форсунок кавітаційним зношуванням соплових отворів. Наслідком такого впливу є зношування, виражене у зміні форми кута вихідної фаски соплових отворів, а також у зміні форми конуса розпилювання.

Слід зазначити, що спрацювання спостерігається у місці сполучення голки та сідла у проточній частині форсунки. Зношується як контактна поверхня самої голки, і поверхня сідла.

В результаті наших досліджень було встановлено, що зношування

присутнє не тільки в місці сполучення голки та сідла в проточній частині форсунок. При цьому варто відзначити, що зношується як контактна поверхня голки, так і поверхня сідла.

Крім запропонованої 10-бальної системи оцінки чистоти металевих поверхонь деталей сільськогосподарської техніки існує і 5-бальна шкала. За бал приймається певна кількість залишкових забруднень. У п'ятибальній шкалі 1 бал відповідає найбільш забрудненим поверхням, на яких повинен бути щільний наліт чорного кольору, чиста поверхня без нальоту сріблясто-сірий колір (колір металу) оцінюється 5 балами.

За результатами проведених експериментів проведено оцінку впливу ультразвукового очищення на якість очищення розпилювачів форсунок. Якість очищення, що максимально досягається, склала 4,92 бала. При цьому загальноприйнята якість очищення понад 4,5 бали вважається задовільним результатом.

З таблиці 3.6 видно, що стабілізація (припинення зростання) якості очищення настає після 15 хвилин процесу впливу ультразвуку в миючій рідині.

Виходячи з умови мінімізації витрат, раціональним поєднанням факторів (режимом очищення) слід вважати тривалість очищення – 15 хвилин.

Висновки за розділом

1. У третьому розділі описані програми та методики експериментальних досліджень з експлуатаційних змін основних показників електромагнітних форсунок та їх впливу на енергетичні та екологічні характеристики автомобільного бензинового двигуна:

2. Проведено оцінку усунення поверхневих забруднень з елементів форсунок за допомогою лабораторної установки з використанням приладу Reanimator Injector Reanimator v 2.0 (реаніматор форсунок).

3. Проведено оцінку технічного стану ЕМФ та їх очищення. Експериментально отримані дані щодо експлуатаційних змін основних показників електромагнітних форсунок свідчать про те, що зі збільшенням

пробігу автомобіля їх робочі характеристики можуть суттєво змінюватися, причому як у бік збільшення, так і зменшення циклових подач палива.

4. Досліджено розпилювач форсунки для підтвердження факту зношування. Аналіз знімків показав, що у форсунки з напрацюванням внаслідок кавітаційного зношування спостерігаються спрацювання соплових отворів, що спричинює зміну форми та кута вихідної фаски соплового отвору, і як наслідок – зміну форми конуса розпилювання.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Нормативно-правова основа охорони праці

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, які забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Практично усі заходи з охорони праці базуються на законодавчих і нормативних положеннях. Основним законодавчим актом є Конституція України. Статті основного закону, які стосуються охорони праці, знаходяться у другому розділі Конституції України, який присвячений врегулюванню питань, пов'язаних з основами правового статусу людини й громадянина. До цих статей можна віднести: статтю 43, яка дає громадянину право на працю, на належні, безпечні і здорові його умови; статтю 44, яка надає право на страйк; статтю 45, яка надає право на відпочинок; статтю 46, яка надає право на соціальний захист, та багато інших статей. Усі ці статті знаходять свій подальший розвиток у Кодексі законів про працю України та у законі України “Про охорону праці”.

Згідно з законом України “Про охорону праці” показники умов праці на робочому місці, характеристики технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови, повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці.

В автомобільному транспорті є також свої “Правила охорони праці на автомобільному транспорті”, які регулюють питання з охорони праці на автомобільному транспорті. Дія цих Правил поширюється на всі автотранспортні підприємства і організації, а також підприємства, до складу яких входять транспортні цехи, дільниці, майстерні, гаражі тощо, незалежно від відомчої належності та форми власності. Вимоги цих Правил є обов'язковими для всіх працівників при організації та виконанні робіт, які пов'язані з

експлуатацією, профілактичним обслуговуванням та ремонтом транспортних засобів, а також при проектуванні та реконструкції підприємств, їх виробничих об'єктів, споруд, розробці технологічних процесів, устаткування тощо.

При виконанні робіт, які не є специфічними для підприємства, треба керуватись міжгалузевими правилами, нормами, стандартами та іншими нормативними актами з охорони праці. У разі зміни або перегляду “Правил охорони праці на автомобільному транспорті” та інших нормативних актів з охорони праці, вимоги яких поширюються на автотранспортні підприємства, треба керуватися заново затвердженими нормативними документами.

У разі відсутності в нормативних актах про охорону праці вимог, які необхідно виконувати для забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці на певних роботах, власник (керівник автотранспортного підприємства) зобов'язаний вжити погоджених з органами державного нагляду за охороною праці заходів, що забезпечують безпеку працівників.

На основі “Правил охорони праці на автомобільному транспорті”, типових інструкцій та інших нормативних актів з охорони праці власник підприємства зобов'язаний розробити і затвердити інструкції з охорони праці за професіями та на окремі види робіт з урахуванням фактичних умов проведення робіт, прийнятої організації і технології, наявності устаткування, оснастки, інструменту, засобів захисту та рівня підготовки виконавців.

Керівникам усіх рангів забороняється давати вказівки працівникам про проведення робіт, що суперечать чинним нормативним актам з охорони праці.

Кожний працівник повинен співробітничати з власником автотранспортного підприємства у справі організації безпечних і нешкідливих умов праці, особисто вживати посильні заходи щодо усунення будь-якої виробничої ситуації, яка створює загрозу його життю чи здоров'ю, або людям, які його оточують, негайно повідомляти свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу. У разі наявності на робочих місцях небезпечних і шкідливих виробничих факторів працівник, зайнятий на таких роботах, має право на безплатне лікувально-профілактичне харчування, забезпечення

молоком або рівноцінними харчовими продуктами, газованою солоною водою, на оплачувані перерви санітарно-оздоровчого призначення, скорочення тривалості робочого часу, додаткову оплачувану відпустку, пільгову пенсію, оплату праці у підвищеному розмірі та інші пільги та компенсації, передбачені чинним законодавством. При роботі у шкідливих умовах, а також при роботах, пов'язаних із забрудненням або виконуваних у несприятливих температурних умовах, працівникам видаються безплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також миючі та знешкоджуючі засоби.

4.2. Структурно функціональний аналіз процесів ультразвукової очистки електромагнітних форсунок автомобільних двигунів

В процесі використання лабораторного стенда ультразвукової очистки електромагнітних форсунок автомобільних двигунів на його обслуговуючий персонал впливають різноманітні середовища та дії: окремі механічні (закріплення форсунки в тримач, поступове занурення форсунки у мийний розчин), хімічні (миюча рідина у спеціальній робочій ємності,), електричні (електрична система стенду із кабелями і проводами для перетворення струму промислової частоти в струм ультразвукової частоти). Обслуговуючий персонал має реагувати на такі зовнішні впливи в тих ситуаціях, коли вони не перебільшують допустимі рівні і тривалість. За умови, коли межі цих рівнів, а також тривалість перевищують встановлені значення, це може призводити до пошкодження чи ураження організму, які в багатьох випадках характеризують як нещасний випадок, травма.

Сам процес експлуатації лабораторного стенда ультразвукової очистки електромагнітних форсунок автомобільних двигунів за допомогою спеціально призначеного обладнання характеризується деякою травмо- та аварійною небезпекою, яка в сукупності може подіяти на стан здоров'я обслуговуючого персоналу з негативної сторони. Стан безпечності праці на робочому місці

оператора суттєво впливає на використання в цілому робочого часу, а також і на результати роботи. Через це організація і підтримка безпечних умов праці в процесі використання розробленого стенду є одним із чинників підвищення ефективності його використання в ремонті і діагностиці електромагнітних форсунок.

Чинники травмонебезпечних ситуацій та аварій характеризуються окремими особливостями, що впливають на формування умов та зростання ймовірності виникнення нещасних випадків під час експлуатації стенду. Для аналізу причин виникнення цих чинників потрібно зробити аналіз видів операцій, що виконуються і відбуваються в процесі експлуатації стенда ультразвукової очистки електромагнітних форсунок автомобільних двигунів.

Стенд є автономним. Безпосередньо очищення проводиться у робочій ємності, що заповнюється миючою рідиною. Процес промивань був наступним: форсунки поміщали в хімічну склянку, заповнену 20 мл розчину для промивання так, щоб при перемішуванні магнітною мішалкою омивалася тільки нижня частина пристрою. Потім включався реаніматор форсунок, який подавав на форсунку робочі імпульси. Причому це робилося двічі: спочатку протягом 30 с, потім ще протягом 1 хв. Робочі імпульси створювались завдяки випромінювачу з занурювальними хвилеводами-концентраторами.

Таким чином можна стверджувати, що в процесі роботи внаслідок окремих подій можуть виникати як шкідливі, так і небезпечні чинники:

- 1) ймовірні опіки під час попадання робочої рідини на частини тіла оператора;
- 2) ураження електричним струмом через порушення в під'єднанні ультразвукового генератора;
- 4) підвищена загазованість в робочій зоні стенду;
- 4) підвищена шумність і вібрації на робочому місці тощо.

4.3. Умови і обставини появи небезпечних ситуацій та їх наслідки

В процесі експлуатації лабораторного стенда ультразвукової очистки електромагнітних форсунок автомобільних двигунів виникають різні небезпечні

чинники, що негативно впливають на життя та основні чинники, від яких залежить здоров'я працівників. Це відбувається, коли недотримуються правила техніки безпеки.

Для попередження травмування, запобігання ураження шляхом отримання опіків, ураженню електричним полем, зменшення впливу шуму і вібрацій, зниження рівня загазованості в місці роботи стану, потрібно проаналізувати проходження процесів формування та виникання аварій і травмонебезпечних ситуацій.

Окремі небезпечні зони стану повинні бути недоступні для можливого попадання мийного розчину на частини тіла оператора, тобто захищені захисними щитами з відповідним кольором пофарбування, під'єднання генератора робочих імпульсів до мережі повинне бути надійним та захищеним.

Зупинимось на найпоширеніших ймовірних ситуаціях, які можуть виникнути та призвести до травмувань чи аварії за умови серйозного порушення обслуговуючим персоналом навчального стану вимог безпеки табл. 4.1.

Таблиця 4.1. – Аналіз процесу формування та виникнення травмонебезпечних ситуацій

Вид роботи, виробничий підрозділ	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова НУ	Небезпечна дія НД	Небезпечна ситуація НС		
1	2	3	4	5	6
Експлуатація стану. Блок-схема	НУ ₁ – генератор не обладнаний захисним пристроєм; НУ ₂ – розміщення руки оператора у зоні очистки форсунки. НУ ₁ → НУ ₂ →	НД ₁ – різкий рух руки. НД ₂ →	НС – попадання капель мийної рідини на тіло руки оператора; НС →	Т – травма; Т	Розробка і впровадження захисних пристроїв згідно вимог охорони праці. Контроль безпеки оператора перед процесом очистки.
Експлуатація стану	НУ ₁ – ненадійна	НД ₁ – небезпечний	НС ₁ – попадання	Т А	Організувати контроль

Блок-схема	фіксація форсунки у ванні НУ ₂ - ненадійне під'єднання генератора імпульсів НУ ₁ →	рух руки; дотикання до електрокабеля НД ₁ →	капель миючої рідини на тіло руки оператора; Ураження електричним полем. НС ₁ → НС ₂ → Т	безпеки машини перед роботою; проводити інструктажі з техніки безпеки.
------------	---	--	--	--

Ураження тіла опіками виникає в результаті відсутності захисних щитків в розробленому стенді, або в процесі неправильної експлуатації стенду, недосконалої його конструкції. Під впливом цього чинника оператор може дістати серйозні опіки. Для перешкоджання цьому доцільно вчасно здійснювати заходи із розробки захисних конструкцій стенду.

Під час процесу обслуговування генератора імпульсів може відбутися випадковий його запуск. Якщо частини тіла знаходяться у небезпечній зоні, тоді може статися небезпечна ситуація. Вона за конкретних дій обслуговуючого персоналу та певних обставин може призвести до його травмування – ураження електричним струмом.

У робочій зоні можуть спостерігатися випари робочої рідини та бути підвищена загазованість. З цієї причини для уникнення загазованості робочої зони потрібно мати справну витяжку робочу вентиляцію приміщення, де розміщений стенд.

Відповідно під час роботи з лабораторним стендом двигуна за певних обставин і небезпечних дій є ймовірність виникнення різних травмонебезпечних, а також та аварійних ситуацій. Проводячи їх аналіз, існує можливість розробки серйозних ефективних заходів стосовно запобігання і попередження – організаційні (інструктаж, навчання, екзаменування після перевірки знань, перевірка заземлення, контроль за справністю і безпечністю техніки тощо), технічні (виготовлення і встановлення захисних щитків та огорожень, розміщення в необхідних місцях стенду захисних засобів від ураження струмом

та запобігання опіків, перевірка та доцільність влаштування вентиляції тощо).

4.4. Проектування логічно-імітаційної моделі виникнення травм в процесі експлуатації стенда ультразвукової очистки електромагнітних форсунок автомобільних двигунів

Під час процесу формування та виникнення небезпек, виробничих аварій чи травм окремі випадкові події, що формують аварійну чи травмонебезпечну ситуацію, зв'язані між собою наслідко-причинними зв'язками. Ці зв'язки характеризують кінцеві, проміжні та початкові події.

Початкові події (небезпечні умови, небезпечні дії) обстежують у процесі дослідження об'єктів виробництва, а кінцеві і проміжні входять до схеми чи основі аналізу окремих варіантів перебігу подій.

Процес побудови логічно-імітаційної моделі полягає в наступному. За присутності домінуючої події (явища) – травми через попадання на ділянки тіла миючого засобу розпочинається побудова моделі (“дерева подій”). За допомогою операторів “і” чи “або”, здійснюють аналіз набору ситуацій, які можуть визначити головну подію.

Визначають травмонебезпечні ситуації, а також їх множину, що можуть бути присутніми в процесі. Встановлюють ще й другі події, що містяться в кожній такій ж ситуації, завдяки логічному аналізу із використанням операторів. Процес побудови моделі продовжується до того моменту, поки не будуть виявлені основні базові події, які характеризують межу моделі. Наприклад, подія базова “ контроль стану з охорони праці”. Для розрахунку імовірності потрібно встановити, наскільки (у відсотках) від ідеального рівня проводиться відповідний контроль на конкретному об'єкті. Якщо буде виявлено, що такий рівень перевірки рівний 20% або 30%, то імовірність, складає 0,2 і 0,3.

Після визначення ймовірності усіх подій, встановлених у ромбах, а також базових подій, розпочинаючи з лівої крайньої гілки “дерева”. Надалі позначають номерами випадкові події, які входять до моделі (рис. 4.1).

Розроблена логіко-імітаційна модель процесу становлення та виникнення травм буде вміщувати базові події з значенням імовірності його появи (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Значення імовірностей випадкових подій

№ п/п	Назва події	Ймовірність
1.	Стан контролю з охорони праці	$P_1 = 0,3$
2.	Професійний рівень оператора	$P_2 = 0,25$
3.	Досвід оператора	$P_4 = 0,15$
4.	Стан контролю з охорони праці	$P_5 = 0,05$
5.	Стан оператора	$P_6 = 0,2$
6.	Досвід роботи	$P_{7.1} = 0,15;$

Розглянемо травмонебезпечну ситуацію, що виникає за умови травмування оператора, а саме отримання хімічних опіків, та розрахуємо ймовірності виникнення подій, які формують логіко-імітаційну модель цього травмування і призводить до травми (рис.4.1).

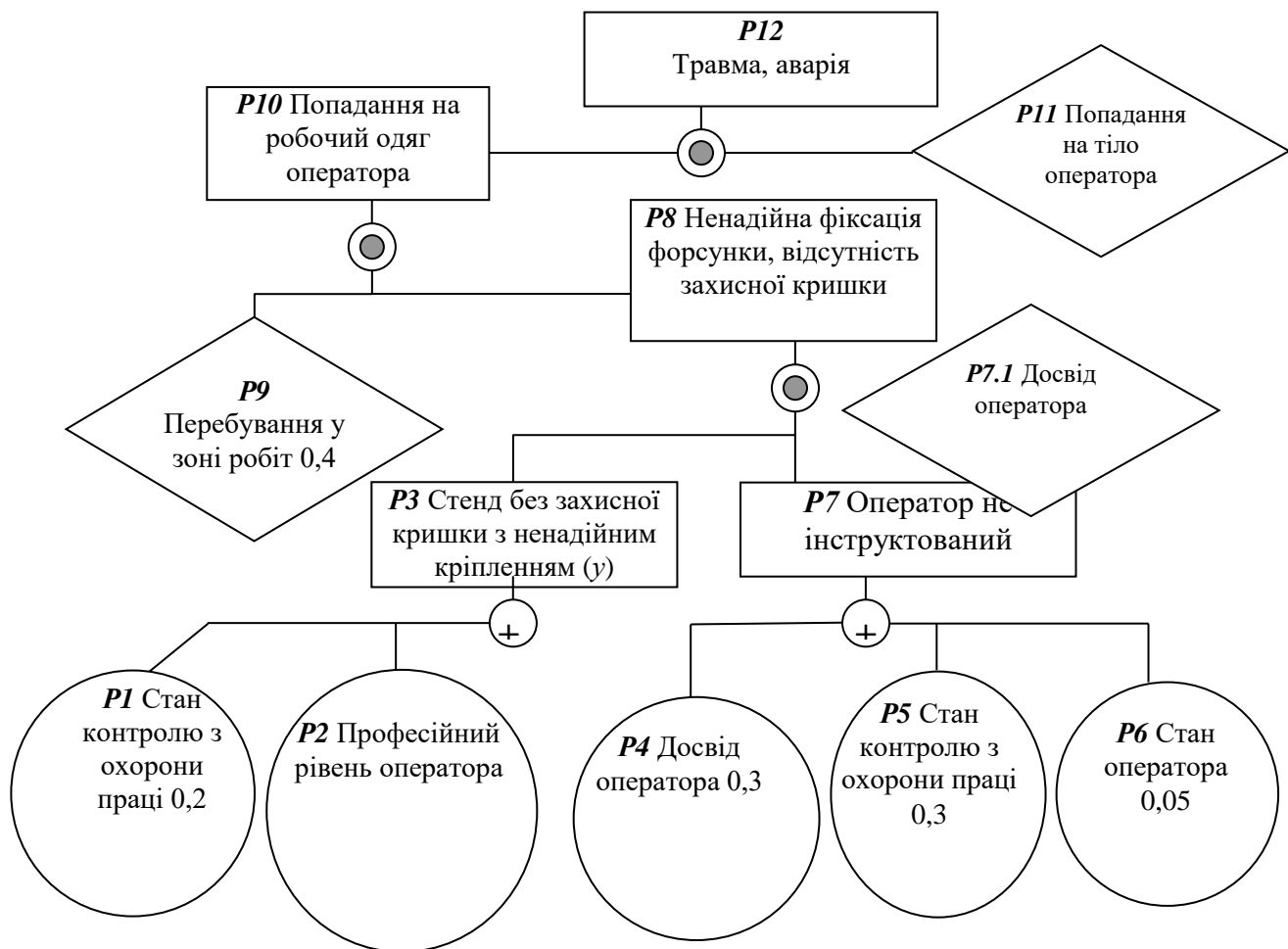


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель появи та формування аварій

Імовірність появи подій $P_3 - P_{12}$ розраховують за відомими формулами булевої математика, які відображають імовірності появи чи не появи травмонебезпечних подій. За розрахунками імовірність появи травми навчального майстра в процесі експлуатації стенду становить $P_{12} = 0,000025$. Іншими словами, на 100 аналогічних робочих місць може статися приблизно 0,0025 травм. Тобто імовірність настання травм є суттєво низькою для розробленого стенду.

Таким чином, дослідження травмувань і аварійності за принципом “логіко-імітаційної моделі”, а також обґрунтування міроприємств з безпеки праці, уможлиблюють зниження імовірності появи аварійних чи настання травмонебезпечних ситуацій.

4.6. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Кожен має право на захист свого життя і здоров'я від наслідків аварій, катастроф, пожеж, стихійних лих і на вимогу гарантій забезпечення реалізації цього права від Кабінету Міністрів України, міністерств і інших центральних органів виконавчої влади, місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування, керівництва підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування.

Держава як гарант цього права створює систему цивільної оборони, яка має на своїй меті захист населення від небезпечних наслідків аварій і катастроф техногенного, екологічного, природного і військового характеру.

Кожна людина у випадках аварій, катастроф стихійних лих повинен уміти захистити себе, свою сім'ю і надати допомогу таким, що постраждав.

Необхідності цього вимагає саме життя, наша дійсність. Науково-технічний прогрес значно збільшив можливості виробництва, але приніс з собою техногенну і екологічну небезпеку для людини і навколишнього середовища. Більшість регіонів держави підпадають під вплив небезпечних природних явищ. От чому кожний з нас винен добре знати і уміти для збереження здоров'я і життя.

Автотранспортне підприємство може опинитися в зоні надзвичайних ситуацій тих видів, що потребують евакуації персоналу. Але працівники АТП можуть бути залучені до евакуації населення, тому в даному розділі розглянемо саме цей випадок.

Евакуація населення виконується у наступних випадках:

- загальної аварії на атомній електростанції (код НС 10500 та 10510);
- всіх видів аварії зі СДЯР, наслідки яких загрожують життю і здоров'ю людей, що проживають в зоні можливого ураження (код НС 10520);
- загрози катастрофічного затоплення місцевості (коди НС 10720, 11110, 11120, 11130, 20260, 20310, 20311, 20314, 20420, 20510, 20590);
- масових лісових і торфових пожежах, що загрожують населеним пунктам (коди НС 20600, 20610, 20620, 20630, 20640);
- катастрофічних землетрусів та інших геофізичних та гідрометеорологічних з тяжкими наслідками (коди НС 20110, 20200, 20210, 20220, 20230, 20240, 20250, 20260 та ін.);

При проведенні часткової евакуації завчасно вивозиться незайняте у виробництві та обслуговування населення: діти, учні навчальних закладів, вихованці дитячих будинків, разом з викладачами та вихователями, студенти, пенсіонери та інваліди, які перебувають у будинках для осіб похилого віку, разом з обслуговуючим персоналом і членами їх сімей.

Щоб організовано провести евакуацію, не допустити паніки і загибелі людей необхідно:

- завчасно планувати евакуацію населення;
- визначити райони, придатні для розміщення евакуйованого з небезпечних зон населення;
- організувати оповіщення керівників підприємств і населення про початок евакуації; організувати управління евакуацією;
- турбуватись про життєзабезпечення в місцях розміщення евакуйованого населення;
- організувати навчання дітей під час проведення евакуації.

Евакуація – це упорядковане виведення чи вивезення людей з об'єктів і населених пунктів, перебування і яких стає небезпечним для життя. Основна мета евакуації – забезпечення безпеки кожної людини і всіх. Евакуації підлягають цінності, документація та архівні матеріали.

Масштаби евакуації на АТП залежать від величина поширення ураження чи загрози надзвичайної ситуації. Успішність проведення евакуації залежить від підготовленості керівництва об'єктів, населених пунктів, адміністративних територій, керівників держави, населення, сил і засобів.

Розрізняють такі види евакуації:

а) загальна евакуація – АТП звільняє повністю;

б) часткова евакуація – звільняється частина АТП (цехів, приміщень). При частковій евакуації необхідно обмежити виробничу діяльність і збільшити шанси на врятування, така евакуація в будь-яку мить може перерости в загальну евакуацію;

в) негайна евакуація є терміновим заходом, якщо надзвичайна подія (пожежа, вибух, аварія та ін.) уже виникли або може виникнути в обмежений відрізок часу. Кожен з названих видів евакуації під впливом обстановки, що змінюється, може перерости в негайну евакуацію;

г) тимчасова евакуація – проводиться при порівняно невеликій, тимчасовій загрозі (підняття рівня води, хімічна аварія на віддалені та ін).

д) евакуація робітників з небезпечної зони (крім зон карантину) проводиться у разі загрози життю та здоров'ю людей. Евакуації підлягає все населення району, якому загрожує небезпека. Евакозаходи можуть мати масовий характер і здійснюватись у стислі строки із залученням всіх видів транспорту або поступово залежно від обстановки.

Приводом для планування евакозаходів є прогнозовані рівні та дози радіації, ступені радіоактивного забруднення, концентрації або щільності хімічного зараження, які перевищують допустимі дози і можуть призвести до довгострокових або непоправних наслідків для життя і здоров'я людей.

Підставою для практичного проведення евакозаходів є фактичні

показники обстановки в разі надзвичайної ситуації, рішення уряду щодо проведення евакозаходів, у невідкладних випадках рушення керівника місцевої представницької та виконавчої влади території де сталося лихо.

Евакуаційні заходи АТП передбачають завчасну розробку планів евакуації, підготовку зон і районів розміщення для нормальної життєдіяльності евакуйованого населення, підготовку всіх видів транспорту, створення необхідних структур і органів управління на період евакуації, проведення комплексу заходів для охорони громадського порядку і підтримання організованості серед населення.

Евакуйовані постійно проживають у заміській зоні до особливого розпорядження.

Заміська зона – це територія, розміщена за межами можливих руйнувань у містах.

В обстановці загрози населенню особливого значення набуває термін евакуації людей за межі небезпечних зон. За таких умов у мінімальний термін евакуацію можна провести комбінованим способом, який полягає у тому, що масове виведення із небезпечної зони пішки поєднується з вивезенням деяких категорій населення всіма видами наявного транспорту.

Транспортом вивозять формування ЦО, робочі зміни підприємств, які продовжують виробничу діяльність у небезпечній зоні, населення, яке не може саме пересуватися. Решту населення організовано виводять пішки.

Евакуація робітників і членів сімей проводиться за виробничим принципом, тобто через об'єкти господарювання. Евакуація населення, не пов'язаного з виробництвом, проводиться за територіальним принципом – за місцем проживання, через домоуправління і житлово-експлуатаційні органи. Діти евакууються разом з батьками, але можливе вивезення їх зі школами і дитячими садками.

Проведенням евакуаційних заходів займаються начальники і штаби ЦО об'єктів господарювання, керівники домоуправлінь і житлово-експлуатаційних органів, а також міські й районні евакуаційні комісії.

Основним документом, який визначає обсяг, зміст, термін проведення евакуації населення, є план цивільної оборони з розділом про захист населення. На основі плану евакуації для допомоги штабам ЦО у містах, районах і на об'єктах, господарства (підприємствах, організації і навчальні заклади) створюються евакуаційні комісії, а у сільській місцевості – евакоприймальні комісії.

Цивільна оборона України є державною системою органів управління, сил і засобів, що створюється для організації і забезпечення захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного, екологічного, природного та воєнного характеру.

Керівництво підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального та колективного захисту, організовує здійснення евакозаходів, створює сили для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та забезпечує їх готовність до практичних дій, виконує інші заходи з цивільної оборони і несе пов'язані з цим матеріальні та фінансові витрати в порядку та обсягах, передбачених законодавством.

Висновки за розділом

1. Використання стенду ультразвукової очистки електромагнітних форсунок автомобільних двигунів передбачає застосування найменшої кількості ручних робіт, що значно зменшує ймовірність виникнення аварій, травм та небезпечних ситуацій під час виконання певних операцій;

2. Під час оцінки рівня небезпеки виникнення аварій та травм в процесі ультразвукової очистки електромагнітних форсунок побудовано логічно-імітаційну модель, яка дозволяє передбачити усі потрібні заходи безпеки.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

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

Зважаючи на відсутність єдиних тарифів на використання транспортних засобів малої та середньої вантажопідйомності з бензиновими двигунами з розподіленим упорскуванням палива в реальних умовах, дохідна ставка на 1 км. пробігу загалом становить $P = 35$ грн./км, а собівартість в експлуатації становить $S = 30$ грн./км. (дані на 2022 рік). На даний момент, питомий простій у ТО та ПР $d = 0,5$ днів/тис. км. При визначенні річного економічного ефекту враховувався середній річний пробіг автомобілів, який за звітними даними становить $L = 105$ тис. км.

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

За статистикою, на силовий агрегат припадатиме до 38% із загальної частки витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт, який у собівартості експлуатації транспортної сільськогосподарської техніки становить у середньому $Q = 15\%$. Відмови з паливної апаратури становлять 25,59%.

Множенням цих часток визначається відносне зниження собівартості експлуатації.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків

	Показники	Одиниця виміру	Величина
1	Прибуткова ставка	грн./км.	35
2	Собівартість експлуатації	грн./км..	30
3	Середній простий у ТО та ПР	дн./тис. км.	0,5
4	Середньорічний пробіг	тис. км.	105
5	Відносне зниження кількості відмов ПА за результатами роботи	%	12
6	Частка витрат на ТО та Р у собівартості експлуатації	%	15
7	Частка відмов силових агрегатів	%	38
8	Частка відмов ПА у відмовах силових агрегатів	%	25,59
9	Відносне зниження собівартості експлуатації за ТО та ПР	%	0,71
10	Річне зниження собівартості експлуатації від зниження ТО та ПР	грн/авт.	9 215,81
11	Частка простоїв у ТО та ПР за відмовами силового агрегату	%	44
12	Частка простоїв на усунення відмов ПА	%	25,59
13	Відносне зниження простоїв у ТО та ПР	%	1,15
14	Зниження простоїв у ТО та ПР	дн./тис. км.	0,75
15	Річне зниження простоїв у ТО та Р	дн./авт.	55,13
16	Річне збільшення доходів від ТО та ПР	грн/авт.	2 654,39
17	Річний економічний ефект від ТО та ПР	грн/авт.	13 870,2

При аналізі отриманих даних можна говорити, що мінімальні сумарні питомі витрати, розраховані за техніко-економічним критерієм, наступають при періодичності ультразвукового очищення ЕМФ двигунів ЗМЗ-4062.10 при 40 000 км. Річний економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат становитиме 13870,2 гривень на 1 двигун на рік.

Висновки за розділом

Оцінюючи техніко-економічну оцінку завдяки ультразвуковому

очищенню ЕМФ двигунів ЗМЗ-4062.10 можна стверджувати, що річний економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат становитиме 13870,2 гривень на 1 двигун на рік.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Аналітично обґрунтовано залежність витрати пального від пробігу при забрудненні соплових отворів ЕМФ, що характеризує технічний стан сучасних двигунів внутрішнього згоряння автомобілів. Зі збільшенням напрацювання при забрудненні соплових отворів ЕМФ збільшується відхилення витрати палива до 25,2%..

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

3. Розроблено склад та послідовність робіт з технічного обслуговування паливної апаратури бензинового двигуна в процесі експлуатації з включенням до комплексу робіт ТО заходів з очищення ЕМФ, що дозволить покращити енергетичні та екологічні характеристики двигунів автомобілів, що працюють в АПК.

4. Зі збільшенням пробігу зростають сумарні витрати на технічне обслуговування та ремонт паливної апаратури. Для зниження сумарних витрат та підтримки паливної апаратури у справному стані запропоновано технічне обслуговування з періодичністю 40 тис. км. (через одне ТО-2) з очищення ЕМФ ультразвуком.

5. Річний економічний ефект від зниження витрат на ТР та економію палива складає 13870,2 грн. на один двигун.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Абдулін, Р.З. Економетрика в MS Excel [Електронний ресурс]/Р.З. Абдулін, В.Р. Абдулін. - Іркутськ: Вид-во БДУ, 2016. 135 с. Режим доступу:<http://lib-catalog.isea.ua>.
2. Аверченко В.І., Федоров В. П., Хейфец М. Л. Основи математичного моделювання технічних систем. 2-е вид., стереотип. ФЛІНТА, 2011. 271 с.
3. Konrad Reif та ін. Автомобільний довідник. 3-тє вид. 2012. 1274 с.
4. Байков Д.В., Іншаков А.П., Десяєв С.С. Стенд для обкатки та випробувань двигунів мобільної сільськогосподарської техніки малої потужності. 2016. №2. С. 51-53.
5. Бакайкін Д. Д. Діагностування електромагнітних форсунок бензинових двигунів автомобілів, що експлуатуються в сільському господарстві: дис. ... канд. тех. наук : 05.20.03. 2013. 132 с.
6. Бараз В.Р., Пегашкін В. Ф. Використання MS Excel для аналізу статистичних даних. 2-ге вид., перероб. та дод. 2014. 181 с.
7. Березюков Д. С. Розробка методу безрозбірного діагностування електромагнітних форсунок ДВЗ із упорскуванням легкого палива та дослідження змін їх робочих показників: дис. ... канд. тех. наук: 05.04.02. 2012. 131 с.
8. Валова Т.С. Модель побудови та структура керуючої системи упорскування палива двигуна внутрішнього згоряння : дис. канд. тех. наук: 05.11.16. 2017. 135.
9. Васін В.А., Лебедев А.Т., Павлюк Р.В. та ін. До питання підвищення ресурсу форсунок. Наукова думка. 2017. №3. С. 74-77.
10. Верейтін А.Ю. Спосіб діагностування електромагнітних форсунок двигунів з упорскуванням бензину: дис. ... канд. тех. наук: 05.04.02. 2010. 143 с.
11. Волков В.С. Мешкова С.С., Пухов Є.В. Особливості проведення технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. Зб.: Наука та освіта на сучасному етапі розвитку: досвід, проблеми та шляхи їх вирішення. Матеріали

національної науково-практичної конференції. 2019. С. 125-128.

12. Гаврилов, К.Л. Професійна діагностика ДВЗ, систем паливостачання, запалення, енергопостачання, пуску автомобілів, дорожньо-будівельних та сільськогосподарських машин. 4-те вид. 2017. 720 с.

13. ГОСТ 26899-86. Стенди роликові для визначення параметрів тягово-швидкісних властивостей та паливної економічності автомобілів та колісних тракторів в умовах експлуатації. Загальні технічні вимоги. Введ. 01.07.87: Вид-во стандартів, 1986. 9 с.

14. ДЕРЖСТАНДАРТ 32513-2013 Палива моторні. Бензин Неетильований. Технічні умови. Введ. 01.01.2015: Стандартиформ, 2014. 12 с.

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

16. Григор'єв М.В., Далідович А.А. Діагностика та обслуговування електромагнітних форсунок бензинових ДВЗ. 2018. 52 с.

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

18. Далінгер В. А., Симонженков С. Д., Галюкшов Б. С. Теорія ймовірностей та математична статистика із застосуванням Mathcad. 2-ге вид., випр. та дод.: Видавництво Юрайт, 2020. 145 с.

19. Данилов І.К., Ходяков А.А., Бавовна С.В. Вплив ультразвукового очищення форсунок та промивання інжекторної системи на збільшення потужності та крутного моменту ДВЗ. Зб.: Удосконалення системи підготовки та додаткової професійної освіти кадрів для агропромислового комплексу. Матеріали національної науково-практичної конференції. 2017. С. 69-73.

20. Денисов А.С., Басков В.М., Захаров В.П. Вплив періодичності профілактики на надійність автомобілів. Автотранспортне підприємство. 2011. № 1. С. 51-52.

21. Дьяконов, В.П. Mathematica 5.1/5.2/6 у математичних та науково-технічних розрахунках. 2-ге вид., перероб. та дод. Москва: СОЛОН-Прес, 2008.

743 с.

22. Єрохов, В. І. Системи упорскування бензинових двигунів: конструкція, розрахунок, діагностика. Гаряча лінія-Телеком. 2011. 551 с.

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

24. Залознов І.П., Рудських В.І. Аналіз відмов та несправностей двигуна ЗМЗ-4062.10 та його систем. Праці Сибаді. Вид-во Сибаді, 1998. Вип. 2, ч. 1. С. 72 – 77.

25. Залознов, І.П. Підвищення ефективності експлуатації автомобілів за рахунок обґрунтування періодичності обслуговування електромагнітних форсунок: дис. канд. тих. наук: 05.22.10, 2003. 115 с.

26. Іншаков А.П., Капітонов С.С., Курбаков І.І. та ін. Інформаційні засоби підвищення надійності використання мобільної техніки. Сільський механізатор. 2018. № 1. С. 41-43.

27. Колодочкін М., Шабанов В. Чим залити бензин. За кермом. 2012. №3. С.144-148.

28. Комаров В.А., Нуянзін Є.А. Аналіз технічної оснащеності підприємств та готовності техніки. Сільський механізатор. 2018. №1. С. 12-13.

29. Коробова Л.А., Бугаєв Ю.В., Черняєва С.М. та ін. Математичне моделювання. Практикум. 2017. 113 с.

30. Кувшинов Г.І., Прохоренко П.П. Акустична кавітація біля твердих поверхонь. Мінськ. Наука та техніка, 1990. 111 с.

31. Кудряшов Б.А., Атаманенко Н.В., Деєв Н.С. Ультразвукове очищення деталей вантажного автомобіля як фактор підвищення ефективності ремонтних робіт. Вантажівка. 2019. №5. С. 37-40.

32. Купряшкін В.Ф. Уланов А.С., Купряшкіна В.М., Шляпніков М.Г., Гусєв А.Ю., Купряшкін В.В. Стенд визначення сили тяги на ходових колесах малогабаритної техніки. Механізатор. 2019. № 2. С. 38-39.

33. Лукачов С.В., Діденко А.А., Зубрилін І.А. та ін. Математичні моделі

та розрахунок розподілу палива в турбулентному потоці повітря за відцентровою форсункою [Електронний ресурс]. 2011. Режим доступу:<http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Matematicheskie-modeli-i-raschet-rasperedelenia-topliva-v-turbulentnom-potoke-vozduha-za-centrobezhnoi-forsunkoi-Elektronnyi-resurs-elektron-ucheb-posobie-54926>

34. Ляховецький А.М., Кремянська Є. В., Клімова Н. В. Статистика: навчальний посібник. КНОРУС. 2016. 362 с.

35. Marusin A.V., Danilov I.K., Khlopkov S.V. Modelu paliva i rationale для diagnosing diesel Engines moving injector needle. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 422, 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming 17–18 October 2019.

36. Shaw C.T. Using Computational Fluid Dynamics. Prentice Hall, 1992. 315 p.

37. Simulation of a Magnetic Injection Valve, Computer Simulation Technology CST GmbH, <http://www.cst.com>, 2007.

38. Simulator of Electron Trajectory in Solids, version 2.42, <http://www.gel.usherbrooke.ca/casino/index.html>.