

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності визначення технічного стану насос-
форсунок двигунів автомобілів приватного підприємства «Беркут транс»
місто Вінниця»

Виконав: студент 2-го курсу, групи
1АТ-23м спеціальності 274 –

Автомобільний транспорт

Освітньо-професійна програма –

Автомобільний транспорт

Мурга Б.О.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ

Огневий В.О.

« 8 » 12 2024 р.

Опонент:

Бакаловський Д.С.

« 15 » 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

к.т.н., доц. Цимбал С.В.

« 15 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 27 – Транспорт
Спеціальність – 274 – Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.

« 18 » 09 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мурга Богдану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності визначення технічного стану насос-форсунок двигунів автомобілів приватного підприємства «Беркут транс» місто Вінниця,

керівник роботи Огневий Віталій Олександрович, к.е.н., доцент,
затверджені наказом ВНТУ від «17» вересня 2024 року № 310.

2. Строк подання студентом роботи: 06.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – автомобілі ПП «БЕРКУТ-ТРАНС»; об'єкт дослідження – процес діагностування насос-форсунок автомобільних дизелів; похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

4. Зміст текстової частини:

1 Науково-технічне обґрунтування розробок з підвищення ефективності діагностування і ремонту насос-форсунок двигунів автомобілів приватного підприємства «Беркут транс».

2 Підвищення ефективності діагностування і ремонту насос-форсунок.

3 Експериментальні дослідження робочого процесу насос-форсунок.

4 Удосконалення методики та засобів діагностування і оцінка ефективності їх впровадження у виробництво.

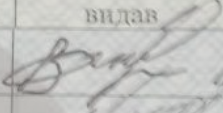
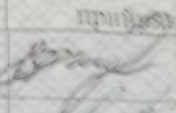
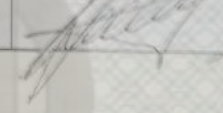
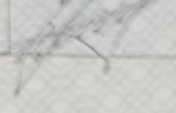
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1-3 Тема, мета та завдання дослідження.

4 Класифікація засобів діагностики паливної апаратури.

- 5 Класифікація методів діагностування систем подачі палива,
 6 Структурні елементи системи подачі палива з насос-форсунок,
 7 Техніко-економічні показники ПП «Беркут-транс»,
 8 Інформаційна модель функціонування насос-форсунок,
 9 Статистика відмов насос-форсунок фірми Bosch
 10 Допустимі значення діагностичних параметрів насос-форсунок фірми
 0414701019,
 11-13 Ізольній залежності циклової подачі
 14 Загальний вигляд експериментальної установки,
 15 Схема експериментальної установки,
 16 Схема підключення насос-форсунок до стенду,
 17 Допустимі відхилення структурних параметрів насос-форсунок,
 18 Стенд для дослідження насос-форсунок з безступінчастим регулюванням ходу
 плунжера,
 19 Технологія діагностування насос-форсунок на стенді.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

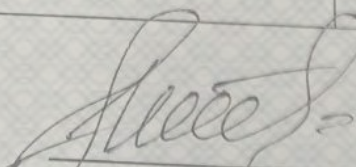
Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Огневий В.О., к.е.н., доцент кафедри АТМ		
Визначення ефективності запропонованих рішень	Цимбал С.В., к.т.н., доц. завідувач кафедри АТМ		

7. Дата видачі завдання « 18 » вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

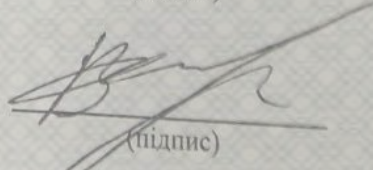
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	18.09-22.09.2024	Виконано
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	23.09-20.10.2024	Виконано
3	Обґрунтування методів досліджень	23.09-20.10.2024	Виконано
4	Розв'язання поставлених задач	21.10-03.11.2024	Виконано
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	04.11-17.11.2024	Виконано
6	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	18.11-01.12.2024	Виконано
7	Нормоконтроль МКР	02.12-06.12.2024	Виконано
8	Попередній захист МКР	09.12-11.12.2024	Виконано
9	Рецензування МКР	12.12-16.12.2024	Виконано
10	Захист МКР	17.12- 20.12.2024	

Здобувач


(підпис)

Мурга Б.О.

Керівник роботи


(підпис)

Огневий В.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 656.078

Мурга Б. О. Підвищення ефективності визначення технічного стану насос-форсунок двигунів автомобілів приватного підприємства «Беркут транс» місто Вінниця. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт, Вінниця: ВНТУ, 2024. 104 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 27 назв; рис.: 15; табл. 31.

В магістерській кваліфікаційній роботі пророблено питання підвищення ефективності визначення технічного стану насос-форсунок двигунів автомобілів приватного підприємства «Беркут транс».

У розділі 1 розглянуто науково-технічне обґрунтування розробок з підвищення ефективності діагностування і ремонту насос-форсунок двигунів автомобілів.

В розділі 2 розглянуті заходи з підвищення ефективності діагностування і ремонту насос-форсунок.

В розділі 3 виконано експериментальні дослідження робочого процесу насос-форсунок.

В розділі 4 проведено удосконалення методики та засобів діагностування і оцінка ефективності їх впровадження в виробництво.

Ілюстративна частина складається з 19 слайдів.

Ключові слова: насос-форсунка, двигун, технічний стан, автомобіль, автотранспортне підприємство.

ABSTRACT

UDC 656.078

Murga B. O. Increasing the efficiency of determining the technical condition of pump-injectors of car engines of the private enterprise "Berkut Trans", Vinnytsia. Master's thesis on specialty 274 - Automotive transport, Vinnytsia: VNTU, 2024. 104 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 27 titles; Fig.: 15; table 31.

In the master's qualification work, the issue of improving the efficiency of determining the technical condition of the pump-injectors of car engines of the private enterprise "Berkut Trans" was worked out.

Chapter 1 examines the scientific and technical justification of developments to increase the efficiency of diagnostics and repair of pump-injectors of car engines.

Chapter 2 deals with measures to improve the efficiency of diagnosing and repairing pump-injectors.

In section 3, experimental studies of the working process of the pump-nozzle were carried out.

In chapter 4, the improvement of diagnostic methods and tools and the evaluation of the effectiveness of their implementation in production were carried out.

The illustrative part consists of 19 slides.

Key words: pump-nozzle, engine, technical condition, car, motor vehicle enterprise.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ І РЕМОНТУ НАСОС-ФОРСУНОК ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ ПРИВАТНОГО ПІДПРИЄМСТВА «БЕРКУТ ТРАНС».....	12
1.1 Методи і засоби діагностування та ремонту паливо-подаючої системи (ППС) дизелів.....	12
1.2 Структурні і діагностичні параметри насос-форсунки.....	23
1.3 Засоби оптимізації робочого процесу системи подачі палива дизелів.....	26
1.4 Аналіз діяльності приватного підприємства «Беркут транс».....	31
1.4.1 Загальна характеристика підприємства.....	31
1.4.2 Аналіз складу, структури, стану і показників використання основних виробничих фондів підприємства.....	33
1.4.3 Аналіз складу, структури і стану рухомого складу.....	33
1.4.4 Аналіз виробничо-господарської діяльності підприємства.....	34
1.5 Аналіз стану існуючої виробничо-технічної бази приватного підприємства «Беркут транс».....	39
1.5.1 Огляд існуючої структури виробничо-технічної бази.....	39
1.5.2 Варіантний аналіз і оцінка стану виробничо-технічної бази і ступеня використання виробничої потужності.....	41
1.6 Висновки до першого розділу.....	46
РОЗДІЛ 2 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ І РЕМОНТУ НАСОС-ФОРСУНОК.....	47
2.1 Обґрунтування об'єкта дослідження.....	47
2.2 Удосконалення математичної моделі робочого процесу насос- форсунки.....	53
2.3 Ідентифікація розробленої математичної моделі стосовно насос- форсунки з напрацюванням.....	61
2.4 Результати розрахункових досліджень.....	65

2.5 Обґрунтування допустимих відхилень структурних параметрів насос-форсунки в різних режимах роботи.....	67
2.6 Висновки до другого розділу.....	68
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ НАСОС-ФОРСУНКИ.....	70
3.1 Експериментальне дослідження насос-форсунок по визначенню характеристики впорскування.....	70
3.2 Обробка експериментальних даних, оцінка похибок вимірювань.....	75
3.3 Метод експериментального дослідження технічного стану прецизійних елементів насос-форсунки.....	77
3.4 Вплив змін структурних параметрів насос-форсунки на їх діагностичні параметри.....	79
3.5 Розробка методики поелементного діагностування насос-форсунок.....	85
3.6 Висновки до третього розділу.....	87
РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ТА ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ В ВИРОБНИЦТВО.....	89
4.1 Розробка стенду для випробування насос-форсунок з безступінчастим регулюванням ходу плунжера.....	89
4.2 Діагностичний модуль з програмним забезпеченням.....	92
4.3 Визначення економічного ефекту запропонованих міроприємств.....	96
4.4 Висновки до четвертого розділу.....	99
ВИСНОВКИ	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	102
ДОДАТКИ.....	105
Додаток А Ілюстративна частина	
Додаток Б Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	

ВСТУП

Актуальність роботи. Якісне та швидке виконання перевезень сьогодні не можна уявити без використання сучасних автомобілів. Значна кількість таких машин останнім часом оснащуються двигунами з електроннокерованими насос-форсунками, при цьому технічний стан насос-форсунок в основному визначають показники дизеля: потужність, економічність, димність і викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Надійність насос-форсунок досить висока (заявлений ресурс роботи становить близько 1 млн. км пробігу або 25 тис. мото-годин), проте досвід експлуатації показує, що навіть в гарантійний період спостерігаються їх відмови, що призводить до вимушених простоїв високопродуктивної техніки [4].

У зв'язку зі складною технологією ремонту насос-форсунок, жорсткими вимогами до устаткування і кваліфікації виконавців, виготівники надають регульовальні дані тільки авторизованим сервісним центрам. Існуючі технології діагностування і дефектації насос-форсунок розроблені виключно іноземними виробниками агрегатів, які жорстко орієнтуються на вимоги, встановлені для нових виробів навіть в процесі ремонту агрегату, не мають поняття поточного ремонту і нав'язують повну заміну всіх відповідальних деталей при обслуговуванні насос-форсунок.

У той же час відомо, що в процесі експлуатації насос-форсунок до заводського регулювання і допуски істотно змінюються, причому до певної межі це не робить помітного впливу на вихідні показники роботи дизеля. До того ж занадто завищені вимоги до вузлів в процесі складання та регулювання насос-форсунок призводять до необґрунтованих замін ще працездатних деталей, що істотно збільшує вартість ремонту. Проведення якісного ремонту насос-форсунок стримується відсутністю широко доступних і зрозумілих технологій ремонту, а також недорогого спеціального інструменту.

У зв'язку з цим, в умовах повсюдного імпортозаміщення є значний інтерес до розробки нових, науково-обґрунтованих методів діагностування та ремонту

насос-форсунок, а також розробка нових технічних засобів їх випробування, які не потребують авторизації у виробників агрегатів і враховують реальний технічний стан кожного елемента системи подачі палива.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалась у відповідності з напрямками наукових досліджень кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи - підвищення ефективності діагностування та ремонту насос-форсунок шляхом розробки методу та засобів поелементного їх діагностування з обґрунтуванням допустимих відхилень структурних параметрів насос-форсунок від контрольних значень з урахуванням їх напрацювання.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- провести комплексний аналіз показників якості роботи насос-форсунок з електронним управлінням, існуючих методів і засобів їх діагностування;
- уточнити математичну модель гідродинамічного розрахунку робочого процесу насос-форсунки з урахуванням природних зносів її структурних елементів в процесі експлуатації;
- обґрунтувати допустимі відхилення структурних параметрів насос-форсунки від значень, рекомендованих виробниками з урахуванням її напрацювання;
- удосконалити методику поелементного діагностування технічного стану насос-форсунок і діагностичні засоби для оцінки параметрів їх роботи;
- провести економічну оцінку запропонованих заходів;

Об'єкт дослідження - процес діагностування насос-форсунок автомобільних дизелів.

Предметом дослідження є закономірності впливу відхилень структурних параметрів насос-форсунок на їх вихідні діагностичні параметри з урахуванням напрацювання.

Методи дослідження. У теоретичних дослідженнях застосовані основи гідродинамічного розрахунку паливоподачі систем і основні закони

математичного моделювання робочих процесів з використанням програмного комплексу «вприскування». Експериментальні дослідження в лабораторних умовах проводили на спеціально виготовленому обладнанні за розробленими методиками, з використанням теорії планування багатофакторного експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів:

- на основі аналізу конструктивних схем насос-форсунок з електронним управлінням виявлені найбільш значущі структурні параметри і встановлено взаємозв'язки між ними і показниками роботи насос-форсунки в цілому;
- отримано аналітичні вирази для визначення витоків в прецизійних сполученнях і змін зусилля електромагніта при порушенні повітряного зазору, що дозволяють підвищити достовірність гідродинамічного розрахунку процесу подачі палива насос-форсункою шляхом обліку зносів її елементів в процесі експлуатації;
- встановлені функціональні залежності діагностичних параметрів насос-форсунок від фактичного стану її конструктивних елементів;
- удосконалена методика поелементного безрозбірного діагностування насос-форсунок з електронним управлінням з можливістю визначення конкретної несправної деталі насос-форсунки за даними безрозбірного діагнозу.

Практичне значення одержаних результатів. Удосконалений стенд для випробування насос-форсунок, який дозволяє проводити безступінчасте регулювання величини ходу плунжера для різних моделей випробовуваних насос-форсунок.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи забезпечена використанням для аналізу експериментальних даних стандартних пакетів прикладних програм і підтверджена збігом розрахункових і експериментальних даних.

Апробація результатів роботи. Проміжні результати досліджень були опубліковані серед матеріалів XVII міжнародної науково-технічної конференції

“Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту”,
Житомир 2024 р.

Публікації. Матеріали магістерської роботи висвітлені у 1 опублікованій науковій праці, з яких 1 – опублікована праця апробаційного характеру [12].



РОЗДІЛ 1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ І РЕМОНТУ НАСОС-ФОРСУНОК ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ ПРИВАТНОГО ПІДПРИЄМСТВА «БЕРКУТ ТРАНС»

1.1 Методи і засоби діагностування та ремонту паливо-подаючої системи (ППС) дизелів

При визначенні технічного стану паливної апаратури дизелів можна застосовувати різні методи діагностування, які розподіляться за ознаками використовуюваного фізичного процесу.

Діагностування ППС віброакустичним методом. Процес впорскування палива супроводжується формуванням в різних місцях системи подачі палива віброакустичних сигналів, що викликаються як переміщеннями рухомих деталей ППС (голки форсунки, нагнітального клапана, муфти приводу, деталей приводу плунжера), так і хвилями тиску палива в лініях низького і високого тисків [2].

Вібродіагностика форсунок - апробований метод оцінки їх технічного стану [8]. Те ж саме можна віднести і до паливних насосів високого тиску. Метод розвивається як в додатку до ППС, так і в суміжних областях техніки.

Досить повну інформацію про динаміку голки форсунки в процесі впорскування палива мають максимальні віброприскорення форсунки, що виникають при підйомі і посадці голки розпилювача. Так, швидкість підйому і посадки голки розпилювача складає 1,6 ... 2,2 м/с [10]. Переміщення голки з такою швидкістю, ударний характер її підйому і посадки викликають інтенсивне зіткнення і формування вібраційних імпульсів, що реєструються вібродатчиком, який встановлюється на торець форсунки.

Між тиском початку впорскування і максимальним віброприскоренням форсунки, що виникають при підйомі і посадці голки розпилювача, існує лінійний зв'язок. Зменшення тиску початку впорскування, що відбувається в умовах експлуатації, збільшує амплітуду вібрації, що виникає при ударі голки

розпилювача об корпус форсунки, і зменшує амплітуду вібрації, що виникає при посадці голки розпилювача.

Безумовною перевагою віброакустичної діагностики є найпростіший спосіб закріплення первинних перетворювачів на об'єкті. Такі нові методи, як лазерна вібродіагностика взагалі допускають безконтактне зняття сигналу. Найпростіше реалізуються методи з обмеженою інформативністю, наприклад, що забезпечують фіксування початку і кінця подачі.

Разом з тим обробка, інтерпретація інформації, розпізнавання параметрів і дефектів вельми складні, недостатньо стабільні, достовірні і інформативні. Вібрація дуже сильно залежить від способу і якості закріплення вузла, від застосовуваних матеріалів, від стану деталей, на які встановлено об'єкт. Навіть для випробувань в безмоторних умовах бажане застосування стенду. При випробуваннях на дизелі діагностичні параметри змінюються в порівнянні з випробуваннями в модельних умовах, а розшифровка сигналів стає ще менш надійною. Розрахункове визначення власних частот коливань системи і її елементів важке і зазвичай пов'язане з грубими припущеннями. З цієї причини амплітудно-частотні характеристики зазвичай виявляють дослідним шляхом.

Велике число генераторів коливань ускладнює ідентифікацію і створення аналітичної моделі процесу. Її можна побудувати тільки на основі широких експериментальних досліджень. При вирішенні таких завдань використовуються статистичні методи, навчальні експерименти. Однак в будь-якому випадку потрібні попередні широкомасштабні експериментальні дослідження ППС апробованими методами і наступне випробування по віброакустичним методикам. Навіть сучасні методи і способи обробки сигналів на ЕОМ (за допомогою відповідних пакетів прикладних програм) при вирішенні завдань віброакустичного діагностування вимагають висококваліфікованого оператора і великої кількості статистичних даних, що визначаються експериментальним шляхом [10].

Ряд дефектів ППС при цьому взагалі не виявляється, побудова багатofакторної діагностичної моделі з урахуванням взаємодії чинників стає

практично нездійсненою. Так в роботі [22] відзначається, що при вібродіагностиці форсунок наявність більшості поширених дефектів (зависання голки, закоксування сопел розпилювача, зрізання головки розпилювача) характеризується зниженням рівня вібрації форсунки з якого неможливо точно вказати вид дефекту. Ефективність діагностування обмежується похибкою. За даними [22] похибка помилки діагностування становить 16%. Ці недоліки не виключаються навіть вибором режимів діагностування, де автори [16] пропонують здійснювати оцінку сигналу на режимі пуску (від 20 хв^{-1}) по вібраціям уприскування (дзвінкі, глухі).

Магнітоелектричний метод діагностування за параметрами переміщень рухомих деталей. Метод заснований на реєстрації змінюючого магнітного потоку в попередньо намагнічених деталях діагностичного механізму. Діагностуєма ЕРС в магніточутливому елементі датчика пропорційна швидкості руху намагніченої деталі. Метод дозволяє реєструвати переміщення, фазові параметри деталей агрегатів, визначати відхилення цих параметрів від номінальних значень. При діагностуванні цим методом можуть виникнути складнощі у зв'язку з нестабільністю з плином часу магнітних властивостей діагностуємого елемента. Визначення параметрів руху елементів форсунки (голки, штанги), за якими можна більш точно визначити характеристики подачі палива, викликає серйозні труднощі. У зв'язку з цим можна припустити, що при цьому методі можна витягти обмежену інформацію про стан ППС [22].

Спектрографічні методи («метал в середовищі») дуже зручні, мають добре розроблене математичне забезпечення та апробовані, наприклад, при діагностуванні та прогнозуванні залишкового ресурсу поршневої групи дизеля. Фірмами «Spectro Incorp» і «Caldwell Development» (США) розроблено для таких цілей «датчики-феррографи», які реєструють частинки розміром менше 150 мікрон [22]. Але для задач з ППС вони навряд чи знайдуть застосування через відсутність накопичення металу в рідині, незначному зношуванні, універсальності матеріалів для різних деталей і абсолютно недостатній інформативності.

Теплові методи діагностування засновані на визначенні температури відпрацьованих газів, аналізі температури певних деталей, наприклад, випускного колектора. Канарчук В.Є. пропонує оцінювати стан ППА за допомогою інфрачервоного пірометра (радіометра), спрямованого на випускний колектор дизеля. Провівши експеримент по заданій режимній програмі роботи дизеля, як стверджують автори, можна виявити порушення в регулюванні усереднених по циліндрах циклової подачі, тиску початку впорскування і куту випередження подачі. Схожий метод вимірювання нестационарного тиску відпрацьованих газів вже є контактним, але використовує більш освоєні вимірювання, ідентифікує роботу циліндрів [22].

Ще більш популярні методи контролю ППС через параметри робочого процесу дизеля. Це легко пояснити: вплив перших на другі значний, в процесі регулювання ППС при виробництві і в експлуатації параметри робочого процесу є єдиними критеріями, а самі вони на великих дизелях постійно діагностуються. Тому ці методи розробляються в першу чергу для тихохідних суднових дизелів і практично не застосовуються в швидкісних автомобільних дизелях в зв'язку з високою вартістю і обмеженим терміном роботи перетворювачів і датчиків [16].

Кінематичний метод діагностування характеризується зміною положення, руху деталей і їх сполучень з геометричної точки зору. Цей метод включає в себе безпосереднє вимірювання розмірів, зносів деталей, зазорів їх сполучень (установчі розміри важелів регулятора, хід рейки і т. п.), застосовується при перевірці окремих вузлів і деталей ППС і, як правило, проводиться при непрацюючому дизелі або розібраних вузлах .

Газоаналітичний метод оцінки стану ПА за вмістом шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизеля Д-240 розглядається в роботі [16]. За вмістом в відпрацьованих газах O_2 і CO_2 оцінюється якість процесів сумішоутворення і згоряння і на цій основі пропонується визначати технічний стан вузлів ППС.

З введенням нормативів на викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизелів охоплення цим методом діагностування істотно розширюється. Разом з тим за результатами діагностування складно судити про конкретний

дефект в ППС і кількісні характеристики параметрів технічного стану паливної апаратури.

До числа найбільш популярних методів вивчення і діагностування роботи ППС відносяться гідравлічні методи і, в першу чергу, *метод вимірювання тиску в нагнітальному трубопроводі* (біля насосу або біля форсунки). Його головна і безперечна перевага - вимір параметра, безпосередньо пов'язаного з інтенсивністю і особливостями впорскування. З використанням додаткової інформації та розрахункових методів цей сигнал дозволяє точно розраховувати найважливіші показники подачі для даної системи. До переваг методу також відносять і допустиму для задач діагностики складність монтажу датчика, яка при використанні комбінованих п'єзоплівочних датчиків фірм AVL, Kistler стає мінімальною [22].

У більшості запропонованих методик діагноз базується на порівнянні вимірюваної діаграми тиску з еталонною, в результаті чого робиться більш-менш обґрунтований висновок про наявну несправність ППА.

Автоматизація постановки діагнозу дозволяє підвищити достовірність, трудомісткість робіт і знизити вимоги до кваліфікації виконавця. Однак для створення такої системи діагностики потрібне створення формалізованих достовірних діагностичних моделей. Вони повинні базуватися не на еталонній кривій, а на полях допусків, неминучих в умовах реального виробництва і експлуатації. Разом з тим створення такої діагностичної моделі - досить трудомісткий і дорогий процес. Математичне моделювання процесу подачі палива для конкретної ППС дозволяє зробити цю задачу більш реальною [22].

Разом з тим можливості методу значно ширші, але існують практичні труднощі створення докладної адекватної діагностичної моделі. Це завдання можна вирішувати на основі вивчення поведінки ряду діагностичних параметрів. Існує безліч проблем з оцінкою величини несправності, її виявленням при наявності допустимих відхилень, спеціальним підбором несправних і справних елементів ППС і т. д. Це пов'язано з великими експериментальними роботами, накопиченням статистичного матеріалу.

У роботах, які базуються на статистичній обробці і навчальних експериментах, випробовуються сотні і навіть тисячі комплектів ППС, при цьому з огляду на некерованості ступенем прояву дефектів деякі області залишаються недостатньо вивченими, комбінація відхилень погіршує достовірність діагностичної моделі та ще більш збільшує витрати на її створення.

Вирішенню деяких зазначених завдань присвячені роботи [14]. Авторами наголошується, що створена універсальна інформативна методика діагностування, що дозволяє виявляти і кількісно оцінювати типові дефекти ППС по діагностичній моделі в формі логічної таблиці несправностей.

Математичне моделювання подачі палива реальної ППС пов'язане з меншими матеріальними витратами, але, головне, дозволяє більш точно і достовірно вирішити задачу. Діагностична модель створюється не на базі ймовірісно-статистичного підходу, а точним детермінованим методом. Стає можливим точний облік допустимих відхилень структурних параметрів ППС і параметрів технологічної нестійкості. Альтернативні методи не дозволяють практично підійти до діагностування з тієї ж коректністю [22].

Недоліком методу є висока трудомісткість, викликана необхідністю аналізу безлічі діагностичних параметрів. Результати випробувань за цією методикою дають задовільні результати при стендових (безмоторних) випробуваннях, так як вимагають установки датчиків в лінії високого тиску і на виході з форсунки. До того ж при одночасних дефектах декількох елементів паливної апаратури ефективність методу різко знижується. До того ж стосовно до паливної апаратури автомобільних дизелів можливості реалізації методу не оцінювалися.

Різноманітність діагностичних засобів представлено в класифікаційній схемі (табл.1.1) [16], що відображає їх відмінність за призначенням, ступенем автоматизації вимірювань, спектру вирішуваних завдань, конструктивними особливостями і ін.

Таблиця 1.1 - Класифікація засобів діагностики ПА

Класифікаційні ознаки	Засоби діагностування
Ступінь автоматизації	Механізовані; автоматизовані; автоматичні
Призначення і підлаштування до діагностування елементів ПА	Пристрої і прилади для вимірювання окремих параметрів або вузлів; стенди для дослідження ППС; діагностичні системи і мотортестери;
Виконання	Переносні; пересувні; стаціонарні; бортові; частина загальної системи управління роботою дизеля
Стан об'єкта діагностування	Використані при: нефункціонуючому об'єкті; функціонуючому об'єкті; тестових дій на об'єкті; будь-яких станів об'єкта
Характеристика інформації по діагностованому об'єкту	Кількісна оцінка; якісна оцінка; кількісна і (або) якісна оцінка з прогнозуванням стану
Адаптивність	Всі операції діагностування проводяться за участі оператора (майстра-наладчика); налаштування параметрів і режимів діагностування проводиться оператором; самоналаштовувані
Спектр вирішених задач	Інформація про стан, прогнозування і рекомендації, формування бази даних для автоматичного налаштування і управління роботою ДВЗ

Разом з розглянутими методами продовжують застосовуватися і вдосконалюватися старі методи часткового діагностування ППС: підключення до форсунки через трійник тарований випробувальної форсунки (максиметра), безперервний запис підйому голки, вимір продуктивності і фази подачі палива, вимір запасу по продуктивності, візуальна оцінка якості розпилювання палива форсункою і т. д.

Електронний малогабаритний діагностичний прилад ЕМДП- переносний польовий прилад для майстрів-наладчиків, призначений для заявочного діагностування дизелів в польових умовах. Прилад дозволяє вимірювати: частоту обертання колінчастого вала двигуна безконтактним способом в межах $0 \dots 2000 \text{ хв}^{-1}$ з похибкою $\pm 1,5\%$; момент початку і тривалість нагнітання палива секцією паливного насоса двигуна в межах від 0 до 50° повороту колінчастого вала з похибкою $\pm 5\%$. Поєднання приладу ЕМДП з діагностичними комплектами типу KI13905M, KI-13919A, KI-13924 і ін. сприяє зменшенню часткових розборок і скорочення трудомісткості діагностування до 20% [22].

Діагностування ППС за допомогою діагностичної електронної установки KI-13940 або автоматизованого машинотестера АМТ KI-13950 може проводитися на станціях ТО, АТП [16].

На відміну від установки KI-13940 АМТ має більш широкі функціональні можливості. Процес подачі палива може відображатися в графічному вигляді на екрані монітора.

Є досвід створення діагностичних комплексів, в тому числі і портативних на базі вимірювань тиску в трубопроводі, фіксування інформації, в пам'яті ЕОМ, порівняння вимірюваних характеристик з еталонними і отримання діагнозу по п'яти-шести найважливіших несправностях ППС [2,13,17,18]. Такий підхід забезпечує найбільшу достовірність діагностики, швидкість аналізу, можливість подальшого вдосконалення.

У більшості розроблених приладів діагноз базується на порівнянні вимірюваної діаграми тиску з еталонною. Деякі діагностичні комплекси та дизель-тестери навіть забезпечуються еталонними кривими, по яких механік може зробити більш-менш обґрунтований висновок про наявні несправності.

Найбільш сучасною з вітчизняних розробок у цій галузі є комп'ютерна діагностична система «Автомайстер».

Для діагностування ППС комплекс обладнаний газоаналізатором (димоміром), стробоскопом, накидним п'єзоплівочним датчиком фірми AVL. Характеристика тиску палива в лінії нагнітання, що отримується при діагностуванні і виведена на екран монітора, може порівнюватися з еталонними кривими. Разом з тим цей комплекс, як і всі розглянуті вище, дозволяє здійснювати оцінку тільки однієї лінії нагнітання за один цикл вимірювань, не забезпечує видачу конкретних даних по ресурсу і ймовірного дефекту. У зв'язку з конструктивними особливостями діагностованих ППС (особливо зарубіжних) іноді не вдається під'єднатися до необхідної точки діагностування [17,28].

Вимірювання параметрів ППС при невстановлених режимах вважається перспективним напрямком оцінки технічного стану регуляторів ПНВТ. Рішення зазначеної задачі може бути істотно полегшено при застосуванні електронних

засобів і ЕОМ в процесах вимірювання і обробки інформації, при визначенні точок зовнішньої швидкісної і регуляторної характеристик ПНВТ і вимірі миттєвих значень параметрів подачі палива і числа обертів вала насоса.

Автори [1,20,30] відзначають, що сам процес діагностування займає 15 ... 20% від загального часу. На встановлення режиму діагностування об'єкта і безпосередній вимір діагностичних параметрів витрачається 10 ... 15%. На фіксацію результатів і прогнозування залишкового ресурсу - 5 ... 6% відведеного часу [1].

Для оцінки технічного стану ППС застосовуються різні методи діагностування (таблиця 1.2) [22], що застосовуються відповідно до завдань діагностування. При перевірці працездатності елементів ППС використовують методи діагностування, що виявляють (без зазначення місця і причини) певну сукупність відмов і пошкоджень (зниження тиску впорскування, нестабільність параметрів подачі палива і т. д.).

Таблиця 1.2 - Класифікація методів діагностування СПП

Класифікаційні ознаки	Методи діагностування
Задачі діагностування	Перевірка працездатності; перевірка правильності функціонування; пошук дефектів
Застосування діагностичних засобів	Органолептичні; інструментальні
Характер вимірюваних параметрів	Прямий; опосередкований
Періодичність діагностування	Регламентний; заявочний; безперервний
Умови проведення діагностування	Польові; станція ТО; безмоторні;
По ступені розборки об'єкта діагностування	Розбірна; нерозбірна
Режим роботи об'єкта	При встановленому режимі; при невстановленому режимі; при статодинамічному режимі
Діагностичні параметри	Параметри робочого процесу; параметри супутніх процесів; структурні параметри
Використаний фізичний процес	Віброакустичний; магнітоелектричний; спектрографічний; тепловий; гідравлічний; газоаналітичний; кінематичний; інші

При перевірці правильності функціонування вузла діагностування направлений на визначення сукупності дефектів технологічних регулювань і

налаштувань, що викликають неприпустиме зниження техніко-економічних і екологічних показників. При пошуку дефектів методи діагностування дозволяють виявити місце, вид і причину дефекту (знос плунжерних пар, циклової подачі, витрати на управління і т. д.). За ступенем розбирання об'єкта діагностування методи поділяються на розбірні і нерозбірні.

Розбірні методи застосовуються при оцінці рухливості плунжерної пари, голки розпилювача, вимірювання зносу різних деталей ППС. Методи безрозбірної діагностики, як правило, засновані на непрямих вимірах структурних параметрів при установці датчиків або діагностичних пристроїв зовні об'єкта, що діагностується без зняття його з дизеля або на стенді для випробування ППС.

За діагностичними параметрами всі методи ділять на три групи в залежності від того, чи характеризує вимірюваний параметр робочий процес всієї ППС або її складової частини, супутній процес роботи, або безпосередньо структурний параметр деталі або сполучення деталей [22].

Методи діагностування за параметрами робочих процесів дозволяють перевіряти вихідні показники ППС (тиск палива в лінії високого тиску, хід голки розпилювача форсунки і т. п.) і численні технічні характеристики її складових частин (фазові параметри подачі палива і тиску, швидкість переміщення голки, витрата і ін.). Зазвичай точність вимірювання цих параметрів досить висока, так як в більшості випадків здійснюють пряме вимірювання контрольованої фізичної величини.

Фізичний процес характеризується зміною фізичної величини в часі. В основі гідравлічного - тиск; теплового - температура; віброакустичного - амплітуда коливань на певних частотах і т. д.

Основний недолік методів діагностування паливної апаратури за допомогою механічних засобів - неминуче їх втручання в нормальне функціонування систем живлення. Крім цього, проведене часткове розбирання може негативно позначатися на працездатності елементів ППС.

Розглянемо деякі з вживаних в даний час засобів і пристроїв визначення параметрів подачі палива, які могли бути використані для діагностування паливної апаратури. Кількома іноземними фірмами розроблені прилади для визначення кутів випередження подачі і тривалості впорскування, використання яких пов'язане з мінімальним втручанням в роботу паливної апаратури. Загальний їх принцип в тому, що в трубопроводі високого тиску монтують датчик (поршневого типу, язичковий, пластинчастий) або датчик встановлений в відгалуження трубопроводу форсунки. При зміні тиску в ЛВТ сигнал надходить від виконавчого механізму до реєструючого пристрою від якого надходить сигнал до стробоскопу для реєстрації тривалості упорскування.

Деякі незручності всіх методів полягають в тому, що для визначення кута початку впорскування необхідний доступ до маховика або якого-небудь шківу двигуна, що має кутові мітки, за яким стробоскопом роблять виміри. Перспективу усунення цієї незручності бачать в наявності на двигуні імпульс, відповідного, наприклад, ВМТ, при зіставленні якого з контрольованим імпульсом можна визначити кут випередження впорскування палива.

Принципова основа інших розроблених способів і пристроїв - аналіз кривої тиску палива в трубопроводі між насосом і форсунках. Ці способи дозволяють виявити несправності і оцінити на якісному рівні стан паливної апаратури. Багато діагностичних систем дозволяють визначити момент початку і тривалість впорскування і деякі інші параметри з аналізу характеристики подачі палива, яку отримують за допомогою датчика, що монтується в лінію високого тиску, а також застосування стробоскопа.

У більшості розроблених приладів [23] діагноз базується на порівнянні вимірюваної діаграми тиску з еталонною. Деякі діагностичні комплекси та дизель - тестери навіть забезпечуються еталонними кривими, за якими механік може зробити більш-менш відокремлений висновок про наявні несправності ППС. Ряд ефективних методів, реалізованих в діагностичних приладах, автоматизованих установках, машинотестерах, не представляється можливим для застосування на практиці без попередніх заходів щодо поліпшення

пристосованості як діагностичних засобів, так і дизеля і його ППС. Поліпшення пристосованості ППС до базових діагностичних засобів знижує трудомісткість установки датчиків на об'єкт, зменшує кількість перехідних пристроїв, підвищує ефективність діагностування.

В цілому слід зазначити, що дані пристрої та засоби діагностування дозволяють здійснювати оцінку тільки однієї лінії нагнітання за один цикл вимірювань, не забезпечують видачу конкретних даних по ресурсу і ймовірного дефекту, не вказують про конкретний дефект ППС. Не дають повного уявлення по багатьох діагностичних параметрах, утруднений аналіз отриманої інформації діагностується ППС. Все це вимагає розробки сучасних засобів діагностування та їх програмного забезпечення, тобто електронних автоматизованих систем.

Електронні автоматизовані системи створюють умови для вирішення проблеми діагностування на принципово новій індустріальній основі, тобто виконання майже всіх операцій технічного діагностування блоками електронної установки з видачею кінцевого результату про склад об'єкта у вигляді «придатний», «непридатний», «норма», «менше норми», «більше норми», категорія якості і т. п. При цьому процес діагностування ППС може здійснюватися безперервно по заданій оптимальній програмі в певній закономірній послідовності.

1.2 Структурні і діагностичні параметри насос-форсунки

У ППС з насос-форсунками розрізняють структурні і діагностичні параметри [1]. Елементи насос-форсунки, що відносяться до структурних параметрів (знос, зазор), безпосередньо характеризують технічний стан конкретних елементів вузла. При визначенні технічного стану ППС з насос-форсунками, її діагностичні параметри, в основному, побічно характеризують структурні параметри елементів, тому що залежать від них. У процесі діагностування визначається прямим вимірюванням структурний параметр одночасно виступає як діагностичний параметр.

У процесі діагностування основним завданням є вибір конкретних несправностей і визначення поточних значень структурних параметрів, при порушенні яких насос-форсунка втрачає працездатність. Висновок про стан насос-форсунки робиться виходячи з еталонних або нормативних значень.

На рисунку 1.1 приведена схема структурних елементів і конструктивно-регулювальних параметрів ППС з насос-форсунками дизелів, по відношенню до яких може проводитися діагностування.



Рисунок 1.1 - Структурні елементи СПП з насос-форсункою

Працездатність кожного елемента і його складових визначається сукупністю регламентованих показників, їх технічного стану або структурними параметрами. На етапі аналізу ППС, як об'єкта, що діагностується, слід вибрати необхідну і достатню кількість структурних параметрів. Їх вибір повинен в ідеалі забезпечувати відсутність помилок пропуску несправного стану і помилок помилкового відбраковування (при створенні діагностичних моделей такі помилки прийнято називати помилками 1 і 2 роду).

Оціночними показниками якості роботи ППС виступають значення діагностичних параметрів. У свою чергу перелік діагностичних параметрів багато в чому визначається методами, засобами і умовами діагностування. У зв'язку з цим тут же наводиться аналіз «споживчих» якостей діагностичних параметрів при різних методах діагностування.

Проведений аналіз показує, що найбільш повну інформацію про стан структурного параметра при проведенні безрозбірної діагностики, дає аналіз процесу подачі палива по тиску палива в лінії нагнітання.

Зазвичай в якості діагностичних параметрів приймаються характерні параметри кривих тисків палива в лініях високого тиску (ЛВТ) біля штуцера насоса і біля штуцера форсунки і лінії низького тиску (ЛНТ) в головці насоса, а так як їх параметри, середній тиск упорскування; середній тиск в ЛНТ; - тривалість подачі по плунжеру; максимальний тиск в ЛВТ; середнє значення $dP / d\varphi$ в ЛВТ від початку нагнітання до першого максимуму; залишковий тиск в ЛВТ; параметри впорскування на пусковому режимі; циклова подача палива, отримані шляхом обробки кривих.

При діагностуванні паливної апаратури за вказаними характеристиками аналіз її працездатності проводять за осцилограмами процесу впорскування шляхом виділення характерних ділянок [10]. За осцилограмами тиску впорскування палива і по їх розташуванню щодо оцінки ВМТ виявляють більшість несправностей паливної апаратури. Діагностування проводять шляхом порівняння еталонної і досліджуваної осцилограм, знятих на одному і тому ж режимі роботи двигуна. Їх аналіз дозволяє встановити, що зрушення максимуму осцилограми щодо ВМТ і нахил ділянки лінії початку подачі визначають стан плунжерної пари, розпилювача штовхача і приводу насос-форсунки. Ордината ділянки падіння тиску в результаті початку підйому голки визначає зусилля затягування пружини форсунки і стан прецизійної пари голка-корпус розпилювача. Максимальний тиск палива характеризує стан отворів розпилювача. Цей метод, дозволяє визначити кут випередження подачі палива в кожному циліндрі, максимальну і мінімальну частоти обертання колінчастого вала, кути випередження впорскування, що встановлюються автоматичною муфтою, а також зусилля затягування пружини. Поряд з цим виявляються знос плунжерних пар, знос, обрив і закоксованість розпилюючих отворів, заклинювання плунжерів і голок розпилювачів, поломки пружин запірних клапанів, голки розпилювача і плунжерів.

У той же час необхідно відзначити, що зазначені вище методики діагностування досить трудомісткі і вимагають спеціального обладнання. У зв'язку з цим одним з головних напрямків зниження експлуатаційних витрат на обслуговування і ремонт, є вдосконалення процесів технічного обслуговування з впровадженням діагностичних засобів і методів, які, дозволять знизити трудомісткість і підвищити точність діагнозу.

1.3 Засоби оптимізації робочого процесу системи подачі палива дизелів

Дослідити процеси, що протікають в паливній апаратурі дизелів, найбільш ефективно за допомогою програм комп'ютерного моделювання робочих процесів, що дозволяють виключити тривалі натурні випробування насос-форсунок.

Існуючі в теперішній час програмні комплекси призначені для математичного моделювання процесів подачі і комп'ютерної оптимізації систем впорскування, а також для розрахунків, досліджень і проектування паливоподаючої апаратури безпосередньої дії і систем акумуляторного типу, в тому числі з електронним управлінням.

Інноваційною складовою описуваних програм є кошти для розробки випереджальних технічних рішень і технологій світового рівня для проектування і оптимізації паливних систем з електронно-керованим уприскуванням палива і тисками до 300 ... 400 МПа, що забезпечують скорочення термінів і здешевлення створення перспективних дизельних двигунів.

На відміну від ряду конструкторських завдань оптимізація характеристик уприскування, кількості, діаметру і орієнтації сопел розпилювача на сьогоднішній день вирішується експериментально. Причиною цього є відсутність в широкій практиці адекватного програмного забезпечення. Інтенсивний розвиток Computational Fluid Dynamic (CFD), що реалізує тривимірне моделювання витікання газу і палива, що впорскується, поки не дає практично відчутних результатів з огляду на величезну трудомісткість

розрахунків (сотні годин розрахунків на потужних комп'ютерах і до 5 ... 15 днів підготовки даних) і недостатньою достовірністю результатів. Говорити про використання цих програм для інженерних оптимізаційних розрахунків тим більше передчасно [18].

Найбільш популярні програми BOOST (AVL), WAVE (Ricardo), GT-Power (Gamma Technologies), що використовують термодинамічний підхід обмежені в можливостях оптимізації параметрів паливної апаратури і при цьому дорогі для споживачів (вартість їх інсталяції на 1 робочому місці - 1 ... 3 млн. грн).

Оптимізація робочого процесу - єдино науково обґрунтований спосіб формулювання вимог до найважливіших показників впорскування і, відповідно, ПА. До їх числа відносяться число і діаметр сопел, тиск і характеристика упорскування, режимні характеристики і ін. Після доповнення вимог, вибору типу і основних конструктивних рішень початкового варіанту (декількох різних варіантів) ПА, з метою виключення тривалих натурних випробувань пропонується її комп'ютерна дискретна і параметрична оптимізація. Для вирішення поставлених в даному дослідженні завдань ми використовуємо спеціалізований програмний комплекс упорскування, розроблений в МГТУ ім. Баумана.

Використовувані в ПК впорскування математичні моделі процесу мають високу точність і швидкодію. ПК створювався для проектування ППС дизелів, а також може бути корисним для вирішення гідродинамічних задач в системах впорскування бензину або альтернативних палив.

При аналізі складних систем користувач зазнає труднощів інтерпретації їх схем та ідентифікації отриманих результатів за основними елементами ППС. Тому для ілюстрації досліджуваної ППС використовується графічний образ, в якому користувач з наявних примітивів може видалити або додати елемент в рамках прийнятого типу ППС.

Таблиця 1.3 Порівняльний аналіз програмного забезпечення для проектування паливоподаючих систем дизелів

Найменування	Характеристики				
	Ricardo FINJECT	AVL HYDSIM	Caterpillar	Bosch	МДТУ ВПРЫСК
Розробники програм, їх назви					
Можливість дослідження систем відповідних схем	так	так	ні	так	так
Графічна генерація схеми паливної системи	так	так	ні	так	так
Примітиви графічного редактора: функціональні (Ф) / прості геометрич. (Г)	Г	Г	ні	Ф	Ф
Одномірна оптимізація	так	так	так	так	так
Двохмірна оптимізація	ні	ні	ні	ні	так
Багатомірна оптимізація	ні	ні	ні	ні	так
Можливість проектування ППА по заданим параметрам (характеристиці) вприску	ні	ні	ні	ні	так
Метод розрахунку руху в трубопроводах	МКЭ	Годунова	характ.	характ.	Даламб., Годунова
Врахування змінності швидкості звуку	так	так	ні	ні	так
Врахування нестационарного тертя	ні	ні	ні	ні	так
Врахування неізотермічності	так	ні	ні	так	так
Врахування газової фази в ЛВТ	так	так	так	так	так
Врахування гістерезису двохфазного стану палива	ні	ні	ні	ні	так
Розрахунок об'ємного (О) або масового (М) балансу в порожнинах	О	О	О	О	М
Врахування податливості приводу ПНВТ	так	так	так	ні	так
Привід ПНВТ як багато-(М) або одно-(О) масова крут. система	ні	М	О	ні	М
Нелінійні жорсткі характеристики демпфування	ні	так	так	ні	так
Врахування люфтів в приводі	ні	ні	так	ні	так
Кільцева крутильна система	ні	ні	ні	ні	так
Електрогідропривід плунжера	так	ні	ні	ні	так
Перехідні режим в ТПС	ні	ні	ні	ні	так
Сумісність з програмами розрахунку циклу дизеля	так	так	ні	так	так

Передбачені типові редакційні маніпуляції з елементами і файлами. Програми обробки розпізнають образи, формують матрицю зв'язків, розрахункову схему, перевіряють коректність і доступність для розрахунку створеної схеми.

У програмах фірм Рікардо (Ricardo) і АВЛ (AVL) передбачається генерувати ППА з дрібних елементів (звуження, вхід, ділянка ламінарної течії, заслінка і т. п.). Настільки дрібне розбиття створює занадто багато роботи для творців і занадто утомливе для користувачів. У ПК “Уприскування” ППС складається з обмеженого числа типових елементів з набором характерних видаляючихся або підключаючихся піделементів. Тому для генерації ППС зручніше мати укрупнені елементи або навіть вузли, а конкретизується в таблицях або підмінію ПК. Його концепція ближче до іншої відомої розробці - фірми Бош (R.Bosch).

Тільки в даних ПК “Уприскування” і ПК Бош користувач без обмеження можливостей аналізу оперує з укрупненими елементами (плунжерні пари, гідропривід, клапан і т. д.), а не з елементарними (зазор, щілину, конус, вікно і т. п.). Це полегшує і прискорює роботу користувача.

ПК “Уприскування” дозволяє:

- здійснювати розрахунок характеристик подачі палива ППС на довільному режимі її роботи, отримувати швидкісні і навантажувальні характеристики;
- можливе дослідження ППС різних типів (в рамках даного класу);
- дослідити вплив на процес подачі різних конструктивних і режимних параметрів ППС;
- вирішувати багатофакторні завдання оптимізації процесу подачі, використовуючи для цього метод одновимірної, двовимірної і багатовимірної сканування;
- проектувати привід ПНВТ і досліджувати його вплив на подачу.

Особливістю ПК “Уприскування” є його універсальність щодо особливостей ППС дизелів і навіть двигунів безпосереднього впорскування бензину. Він дозволяє працювати з акумуляторними системами, рядними, розподільними, роторними ПНВТ, з кулачковим, гідравлічним або іншим приводом. Форсунки можуть бути будь-якого типу: з гідроімпульсним замиканням, двома пружинами. ППА може включати додаткові клапани, золотники, жиклери, акумулятори, трубопроводи, фільтри і т. д.

При аналізі складних систем користувач зазнає труднощів інтерпретації їх схем та ідентифікації отриманих результатів за основними елементами ППС. Тому для ілюстрації досліджуваної ППС використовується графічний образ, в якому користувач з наявних примітивів може видалити або додати елемент в рамках прийнятого типу ППС. Передбачені типові редакційні маніпуляції з елементами і файлами. Аналогічні можливості мають ПК фірм Ріккардо (Ricardo, Finject), АВЛ (AVL, Hydram), Гамма Технолоджи (Gamma Technology, FuelInject), Р.Боша (R.Bosch).

Математична модель, покладена в основу ПК, базується як на апробованих підходах, так і на результатах оригінальних фундаментальних досліджень, присвячених процесам в сучасній ППА. ПК відрізняється від відомих максимальним урахуванням істотних для подачі палива явищ і процесів. Перебіг в трубопроводі розраховується залежно від цілей роботи з використанням рішення Д'Аламбера або лінеаризованого методу С.К.Годунова (з урахуванням змінності швидкості звуку). Тільки в ПК “Уприскування” достовірно розраховується нестационарний опір трубопроводів, що нині стало актуально і для ППС швидкохідних і середньооборотних двигунів. Коректно враховується неізотермічність процесу з відповідною зміною властивостей палива. Використано уточнені співвідношення для опису властивостей однофазного і двофазного стану палива, включаючи і ніде математично не описаний гістерезис двофазного стану. У рівняннях граничних умов використані рівняння масового балансу, вперше - з формулами закінчення стисливої рідини. Розрахунок подачі палива ведеться як пов'язаний з розрахунком приводу ПНВТ, як багатомасової

крутильної системи з урахуванням нелінійних жорсткостей і характеристик демпфування, люфтів, наявності веденої гілки ременів (ланцюгів) і т. д. У ПК “Уприскування” закладені можливості аналізу ПА з електроприводом клапанів (золотників), електро-гідроприводом плунжера, сучасними кулачками і розрахунком навантажень. Стійко розраховуються всі експлуатаційні режими двигуна, включаючи пуск і холостий хід, перехідні режими.

ПК “Уприскування” розроблявся як інструмент конструктора, має дружній користувальницький інтерфейс, зручну форму редагування даних з їх швидким і детальним аналізом їх достовірності, представлення результатів у табличному вигляді, плоскою, квазітримірною і тривимірній графіці, поєднання сімейств кривих. Спираючись на проведений аналіз вважаємо найбільш ефективним використовувати ПК “Уприскування” для вирішення поставлених завдань.

1.4 Аналіз діяльності приватного підприємства «Беркут-транс» м. Вінниця

1.4.1 Загальна характеристика підприємства

Приватне підприємство "Беркут-транс" засноване в 1991 році, як транспортне підприємство. Основний напрям діяльності якого - міжнародні автомобільні перевезення. В 1996 році, відкривається в місті Вінниці, а через декілька років і в деяких районних центрах, автокранниці з широким асортиментом запасних частин до вітчизняних автомобілів, а з 2000 року асортимент поповнюють запчастини до автомобілів і причіпної техніки європейського виробництва. З 2001 року підприємство входить в склад Асоціації міжнародних автомобільних перевізників. З 2002 року розвивається сервіс великовантажних автомобілів: від заміни окремих елементів до капітального ремонту вузлів і агрегатів, і капітального ремонту причіпної техніки. В 2009 році створено підрозділ державного технічного огляду (реєстраційний №000555).

В даний час підприємство розвиваючи вантажні перевезення і торгівлю запчастинами, займає лідируючі позиції на ринку торгівлі вантажною технікою (автомобілі, причепа і напівпричепа) і митного оформлення автотранспортних засобів.

Приватне підприємство "Беркут-транс" знаходиться за адресою 21022, м. Вінниця, вул. Тарногородського, 42.

Приватне підприємство "Беркут-транс" відоме не лише в місті і області, а завдяки своєму широкому асортименту вантажної та причіпної техніки і запасним частинам відоме майже у всій країні та у близьких країнах Європи.

Предметом діяльності підприємства є:

- надання транспортних послуг з перевезення вантажів суб'єктам підприємницької діяльності, юридичним та фізичним особам;
- капітальний, поточний і заявочний ремонт, технічне обслуговування та діагностика і експертна оцінка технічного стану техніки, вантажних автомобілів, агрегатів, вузлів, пристроїв, електромеханічного обладнання, лазерна діагностика розвал-сходження;
- комерційне миття вантажних автомобілів;
- торгівля автомобілями, причепами і напівпричепами, митне оформлення автотранспортних засобів;
- комісійна продаж автомобільної техніки на власних площах;
- надання на договірних засадах посередницьких, інформаційних, консультаційних та комерційних послуг юридичним та фізичним особам в придбанні матеріалів, устаткування, сировини, комплектуючих та напівфабрикатів.

Підприємство виконує як міжміські так і міжнародні перевезення, викликані необхідністю забезпечення потреб у різноманітних товарах таких, як продукти харчування, товари народного вжитку, безалкогольні напої, будівельні матеріали. Основні напрямки маршрутів складають внутрішні перевезення по Україні, міжнародні перевезення.

1.4.2 Аналіз складу, структури, стану і показників використання основних виробничих фондів підприємства

Вартість основних виробничих фондів визначаємо на основі „Приміток до річної фінансової звітності за 2022 рік” за формою №5, які зводимо до таблиці 1.1.

Аналізуючи дані наведені в таблиці 1.4, можна зробити висновки про структуру основних виробничих фондів підприємства: будівлі, споруди та передавальні пристрої становлять 9,1 % від загальної вартості; машини та обладнання – 17,1 %; транспортні засоби – 72,0 %; інструменти і прилади – 1,8%.

Таблиця 1.4 – Основні виробничі фонди

Групи основних засобів	Код рядка	Залишок на початок року		Надійшло за рік	Вибуло за рік		Нараховано амортизації за рік	Залишилось на кінець року	
		Первісна (переоцінена) вартість	знос		Первісна (переоцінена) вартість	знос		Первісна (переоцінена) вартість	знос
Будинки, споруди та передавальні пристрої	120	380,9	3,0				18,6	380,9	21,6
Машини та обладнання	130	588,9	24,1	132,2			51,5	721,1	75,6
Транспортні засоби	140	2351,7	43,1	676,5			294,3	3028,2	337,4
Інструменти, прилади	180	10,9	0,5	64,6	7,8		8,2	75,5	8,7
Разом	260	3332,4	70,7	64,6	7,8		372,6	4205,7	443,3

1.4.3 Аналіз складу, структури і стану рухомого складу

Для перевезення вантажів і забезпечення перевезень ПП «Беркут-транс» має власний рухомий склад, дані про який наведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Відомості про рухомий склад

Тип, марка і модель автомобіля	Вантажопід- йомність, т	Кількість, одиниць	Сумарна вантажопід- йомність,т
1	2	3	4
Сідельні тягачі			
КамАЗ-54112	-	4	-
DAF 95 XF	-	18	-
Разом		22	-
Напівпричепи			
Trouillet ST 3340	26	3	78
Chereau C38	24	1	24
Lamberet LVFS3E1R	24	4	96
Loualut SR10	23	2	46
Fruehauf	28	1	28
Pacton	25	5	125
SAM	26	1	26
Krone	26	4	104
Samro	25	1	25
Разом:	-	22	552

В таблиці 1.6 подано віковий розподіл рухомого складу.

Таблиця 1.6 - Групування власних автомобілів залежно від часу перебування в експлуатації

Тип автомобіля (кузова)	Всього	В т.ч., які перебували в експлуатації з моменту випуску заводом виготовлювачем				
		до 3 років включно	від 3,1 до 5 років включно	від 5,1 до 8 років включно	від 8,1 до 10 років включно	більше 10 років
Сідельні тягачі	20	-	5	6	6	5
Напівпричепи	20	-	3	7	7	5

Аналізуючи дані таблиці 1.6 приходимо до висновку, що приблизно половина транспортних засобів до 8 років, що означає достатньо високу ефективність в експлуатації транспортних засобів.

1.4.4 Аналіз виробничо-господарської діяльності

Метою даного аналізу є визначення основних техніко-експлуатаційних показників роботи рухомого складу.

В даній частині комплексного дипломного проекту розглядається робота і використання вантажних автомобілів великої вантажопідйомності. Результати роботи цього автотранспорту за останній період часу, визначені за формами № 2-тр державного статистичного спостереження, наведені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 - Основні дані про роботу автомобілів великої вантажопідйомності

Показники	2021	2022	2023
1. Середньооблікова кількість автомобілів, од.	22	22	22
2. Автомобіледні перебування в господарстві, тис.	8,03	8,03	8,03
2. Автомобіледні в роботі, тис.	5,46	5,06	5,22
3. Час в наряді, тис. год.	63,34	57,67	62,11
4. Загальний пробіг, тис. км	1911,69	1480,23	1724,00
5. Обсяг перевезень, тис. т	614,84	415,45	502,60
6. Вантажообіг, тис. ткм	605622,14	390781,81	409622,60

Беручи за основу відомості, які містяться в таблиці 1.7, визначаються основні техніко-експлуатаційні показники роботи рухомого складу підприємства за попередній період.

Коефіцієнт випуску автомобілів на лінію визначається за формулою:

$$\alpha_{\epsilon}^i = \frac{AD_{роб}^i}{AD_{госп}^i}, \quad (1.1)$$

де $AD_{роб}^i$ - автомобіледні в роботі за i -тий період, тис.;

$AD_{госп}^i$ - автомобіледні перебування в господарстві за i -тий період, тис.

$$\alpha_{\epsilon}^{20} = \frac{5.46}{8.03} = 0,68; \quad \alpha_{\epsilon}^{21} = \frac{5.06}{8.03} = 0,63; \quad \alpha_{\epsilon}^{22} = \frac{5.22}{8.03} = 0,65.$$

Середній час перебування рухомого складу в наряді за добу визначається за формулою:

$$T_{\text{н}}^i = \frac{A\Gamma_{\text{нар}}^i}{A\Delta_{\text{роб}}^i}, \quad (1.2)$$

де $A\Gamma_{\text{нар}}^i$ – час перебування автомобілів в наряді за i -тий період, тис. год.;

$$T_{\text{н}}^{20} = \frac{63.34}{5.46} = 11.6_{\text{год}}; \quad T_{\text{н}}^{21} = \frac{57.67}{5.06} = 11,4_{\text{год}}; \quad T_{\text{н}}^{22} = \frac{62.11}{5.22} = 11.8_{\text{год}}.$$

Середньодобовий пробіг одиниці рухомого складу визначається за формулою:

$$l_{\text{ср}}^i = \frac{L_{\text{заг}}^i}{A\Delta_{\text{роб}}^i}, \quad (1.3)$$

де $L_{\text{заг}}^i$ – загальний пробіг рухомого складу за i -тий період, тис. км;

$$l_{\text{ср}}^{20} = \frac{1911.69}{5.46} = 350.1_{\text{км}}; \quad l_{\text{ср}}^{21} = \frac{1480.23}{5.06} = 292.6_{\text{км}}; \quad l_{\text{ср}}^{22} = \frac{1724.0}{5.22} = 330.3_{\text{км}}.$$

Для розгляду динаміки зміни обсягів транспортних послуг можна скористатись формулами структурних змін.

Індекси зміни основних параметрів визначаються за формулою:

$$I_{A_i} = \frac{A'_i}{A_i}, \quad (1.4)$$

де A_i, A'_i - відповідно базисне і звітне значення параметрів.

Для обсягів перевезень:

$$I_{A_i}^{21-20} = \frac{415.45}{614.84} = 0.68; \quad I_{A_i}^{22-21} = \frac{502.6}{415.45} = 1,21;$$

Для обсягів транспортної роботи:

$$I_{A_i}^{21-20} = \frac{390781.81}{605622.14} = 0,65; I_{A_i}^{22-21} = \frac{409622.6}{390781.81} = 1,05.$$

Аналізуючи виконані розрахунки, можемо прийти до таких висновків:

- за останній час кількість автомобілів на підприємстві залишається постійною;
- час перебування автомобілів в наряді за добу складає 11,4 – 11,9 годин;
- обсяги наданих транспортних послуг за останній рік зросли в середньому на 20%.

Отже, в роботі АТП намічаються тенденції до зростання результируючих показників виробничої діяльності в порівнянні зі спадом, який мав місце в попередній рік.

1.4.5 Дослідження ринку транспортних послуг

Ринком автотранспортних послуг є сукупність існуючих та потенційних споживачів цих послуг. Розбиття ринку на окремі однорідні частини-сегменти на основі відмінностей в потребах, поведінці споживачів або характеристиках послуг називається сегментацією ринку.

Рухомий склад ПП «Беркут-транс» таку номенклатуру вантажів: продукти харчування, товари народного вжитку, безалкогольні напої, будівельні матеріали тощо. Підприємство надає послуги як постійним клієнтам так разовим замовникам. Основними конкурентами є ТОВ «Транс-легіон Україна» та приватні перевізники.

При обстеженні внутрішніх сильних та слабких сторін скористаємось SWOT-аналізом, який дозволяє оцінити внутрішнє та зовнішнє становище підприємства з метою виявлення його стратегічно сильних і слабких сторін.

Перелік значимих факторів для ПП «Беркут-транс» наведено в табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Базова матриця SWOT-аналізу

СИЛЬНІ СТОРОНИ	СЛАБКІ СТОРОНИ
1	2
1. Наявність спеціалізованого рухомого складу (автопоїзди) 2. Достатня забезпеченість виробничими площами та обладнанням 3. Наявність рухомого складу, який відповідає нормам Euro-3 4. Більшість рухомого складу має термін експлуатації менше 10 років 5. Наявність постійних клієнтів 6. Входження АТП до Міжнародної асоціації приватних перевізників 7. Досвід роботи на ринку більше 10 років 8. Наявність підрозділів по продажу запасних частин 9. Наявність певної номенклатури сучасного технологічного обладнання 10. Наявність ліцензії для проведення Державного технічного огляду	1. Недостатня кваліфікація управлінського персоналу, особливо середньої ланки 2. Велика частина застарілого технологічного обладнання та технологій 3. Слабка мотивація персоналу 4. Недостатня розвиненість логістичних технологій 5. Дефіцит високопродуктивного технічного обладнання; 6. Недосконалість структури капіталовкладень в розвиток ВТБ і структури виробничих фондів; 7. Слабкі інвестування в маркетинг та рекламу
МОЖЛИВОСТІ	ЗАГРОЗИ
1. Стабілізація економіки призвела до збільшення промислового виробництва 2. Застосування інформаційних технологій в області логістики 3. Наявність на ринку дрібних автопідприємств та приватних перевізників, які не мають ремонтної бази 4. Наявність попиту на послуги зберігання рухомого складу 5. Наявність попиту на послуги комісійного продажу автомобілів	1. Ріст цін на паливно-мастильні матеріали 2. Залежність певних видів послуг від можливостей клієнтів 3. Низькі бар'єри виходу на ринок для потенційних конкурентів 4. Високі ставки на кредити та обмеженість доступу до них 5. Недосконалість законодавчої бази в області боротьби з нелегальними перевізниками 6. Досить висока конкуренція із дрібними перевізниками на ринку перевезень по Україні 7. Зростання темпів інфляції 8. Соціально-політична нестабільність у суспільстві в законодавчій базі 9. Зростання вимог споживачів щодо якості послуг

На основі даних таблиці 1.8 будується комплексна матриця SWOT-аналізу (табл. 1.9).

На основі SWOT-аналізу можна зробити наступні висновки.

Найбільш пріоритетними напрямками розвитку підприємства є збільшення обсягів перевезень міжміських та міжнародних перевезень і створення високопродуктивної СТОА вантажних автомобілів.

Таблиця 1.9 – Комплексна матриця SWOT-аналізу

	СИЛЬНІ СТОРНИ	СЛАБКІ СТОРНИ
МОЖЛИВОСТІ	1. Збільшення обсягів перевезень за рахунок росту ринку міжміських перевезень по Україні 2. Збільшення обсягів перевезень за рахунок росту ринку міжнародних перевезень 3. Розширення послуг на базі підприємства СТО вантажних автомобілів 4. Створення логістичного відділу та оптимізація роботи з постійними клієнтами	1. Оновлення застарілого обладнання та підвищення кваліфікація персоналу призведуть до підвищення ефективності ремонтно-обслуговуючого виробництва 2. Низька мотивація персоналу не дозволить цілком скористатись з росту ринку 3. Приміщення та території які простоюють можна використати для надання послуг складування та стоянки 4. Впровадження нових технологій при перевезенні вантажів та реклами дозволить покращити конкурентні переваги
ЗАГРОЗИ	1. Зниження обсягів виробництва ряду постійних клієнтів призведе до зниження обсягів перевезень 2. Підвищення якості та розширення номенклатури послуг підвищить конкурентоспроможність 3. Досвід роботи та репутація на ринку дозволить мінімізувати небезпеки при виході на ринок нових гравців	1. Значне підвищення цін на паливно-мастильні матеріали може призвести до втрати рентабельності 2. Падіння життєвого рівня населення, нестабільність у суспільстві і зростання темпів інфляції можуть призвести до зменшення попиту на перевезення. 3. Висока конкуренція на ринку та низькі бар'єри для входу на ринок загрожують зниженню конкурентоспроможності та обсягів перевезень АТП

1.5 Варіантний аналіз і оцінка стану виробничо-технічної бази і ступеня використання виробничої потужності

1.5.1 Огляд існуючої структури виробничо-технічної бази

Виробничо-технічна база (ВТБ) – це сукупність приміщень, споруд, обладнання та інструменту, призначених для зберігання, технічного обслуговування, ремонту та зберігання дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту та забезпечення нормальних умов роботи персоналу.

Стан виробничої бази характеризують наступні показники: фондоозброєність підприємства; забезпеченість виробничими площами для ТО та ПР; придатність приміщень для ТО та ПР; об'ємно-планувальні рішення; придатність споруд та приміщень.

Приватне підприємство "Беркут-транс" займає територію 2,21 га, з них двоповерхова забудова – 0,294га, тимчасова споруда – 0,0173 га, під спорудами

– 0,0470 га, під проїздами, площадками і проходами – 1,61 га, під зеленими насадженнями - 0,234 га.

Виробничий корпус підприємства знаходиться на території підприємства і має загальну площу 1512 м². Габарити споруди 36,4х42,4 м. Виробничий корпус містить 3 пости ТО і 3 пости ПР, також моторний цех, паливну дільницю, зварювальну, токарну, електроцех. Має 2-й поверх у якому знаходяться адміністративні приміщення. Перед ним розташована відкрита стоянка вантажних автомобілів.

Автотранспортний підрозділ складається зі стоянки автомобілів та ремонтно-обслуговуючої бази, що розташовані на території підприємства. Він має зручне географічне розташування і заїзд з вулиці Тарногородського яка знаходиться на околиці міста Вінниці.

Для визначення стану ВТБ використовуємо дані, представлені в статистичній звітності підприємства, які дозволяють визначити: середньооблікову чисельність рухомого складу на АТП; загальний пробіг; вартість ВТБ і транспортних засобів; витрати на ТО та ПР автомобілів; чисельність ремонтних та допоміжних працівників і фонд заробітної платні; середню вантажопідйомність автомобілів та ін.

Сучасний стан ВТБ приватного підприємства "Беркут-транс" характеризують наступні основні ознаки:

1) досконалість структури рухомого складу; достатнє оснащення зон ТО і ремонту виробничими площами; відповідність структури ВТБ об'єму виконання робіт з ТО і ремонту;

2) недосконалість структури капіталовкладень в розвиток ВТБ і структури виробничих фондів; велике зношування виробничих фондів; дефіцит високопродуктивного технічного обладнання.

3) мала різноманітність і різнотипність рухомого складу в межах одного підприємства.

Таким чином, рішення проблеми технічного забезпечення рухомого складу пов'язано з вдосконаленням структури ВТБ, яка повинна здійснюватися в процесі розвитку існуючих та створених нових об'єктів.

1.5.2 Експрес-діагностування виробничо-технічної бази

Метод експрес-діагностування ВТБ ПАТ базується на визначенні техніко-економічних показників, які оцінюють стан ВТБ.

Техніко-економічні показники – це нормативи чисельності виробничих робітників, робочих постів, площ виробничо-складських, адміністративно-побутових приміщень, стоянки для зберігання РС і території підприємства, які призначені для укрупнених розрахунків при розробці схем розвитку і розташування ВТБ підприємств АТ, а також при виконанні на їх основі техніко-економічного обґрунтування нового будівництва і реконструкції підприємств галузі.

Рівень ТЕП залежить від призначення підприємства, типу і структури РС; умов експлуатації автомобілів; форм організації технологічних процесів і праці виконавців робіт; способів зберігання і розстановки автомобілів, розміру земельної ділянки, рельєфу місцевості, способу забудови ділянки, використаних будівельних матеріалів та ін.

Умови експлуатації ПП «Беркут-транс» відрізняються від еталонних, тому для знаходження нормативних значень показників використовуємо коефіцієнти приведення:

- число виробничих робітників на 1 автомобіль:

$$P = P^{et} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7, \quad (1.5)$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує облікову кількість технологічно сумісних груп РС;

K_2 – коефіцієнт, що враховує тип РС;

K_3 – коефіцієнт, що враховує причіпний склад;

K_4 – коефіцієнт, що враховує середньодобовий пробіг;

K_5 – коефіцієнт, що враховує умови зберігання;

K_6 – коефіцієнт, що враховує умови експлуатації;

K_7 – коефіцієнт, що враховує природнокліматичні умови.

Результати розрахунку нормативних значення ТЕПів для автомобілів КамАЗ та DAF показники занесемо в таблиці 1.10 та 1.11 відповідно.

Техніко – економічні показники по підприємству визначаються за формулою:

$$N_H = \sum N_{H_i} / A_{к.зр.}; \quad (1.6)$$

де N_H – нормативний показник і – го ТЕПа для всього підприємства;

$A_{к.зр.}$ – кількість технологічно – сумісних автомобілів.

Таблиця 1.10 – ТЕПи для автомобілів КамАЗ

Назва ТЕПу	Еталон- ний показник Π_i^e	Коефіцієнти корегування							Нормативний показник Π_i^n
		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	
1.Чисельність виробничих робітників	0,32	1,66	1,12	1,4	0,85	1,32	1,08	0,95	0,96
2.Кількість робочих постів	0,10	2,3	1,08	1,45	0,95	1,32	1,07	0,97	0,47
3.Площа виробничо-складських приміщень, м ²	19,0	2,05	0,96	1,44	0,88	1,32	1,07	0,82	54,88
4.Площа допоміжних приміщень, м ²	8,70	1,85	1,05	1,12	0,94	1,32	1,04	0,98	23,94
5.Площа стоянки, м ²	37,2	-	0,85	1,64	-	1,32	-	-	68,45
6.Площа території, м ²	120	1,9	0,88	1,6	0,96	1,32	1,03	0,93	389,68

Таблиця 1.11 – ТЕПи для автомобілів DAF

Назва ТЕПу	Еталон- ний показник Π_i^e	Коефіцієнти корегування							Нормативний показник Π_i^n
		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.Чисельність виробничих робітників	0,32	1,66	1,12	1,4	0,85	1,32	1,08	0,95	0,96
2.Кількість робочих постів	0,10	2,3	1,08	1,45	0,95	1,32	1,07	0,97	0,47
3.Площа виробничо-складських приміщень, м ²	19,0	2,05	0,96	1,44	0,88	1,32	1,07	0,82	54,88
4.Площа допоміжних приміщень, м ²	8,70	1,85	1,05	1,12	0,94	1,32	1,04	0,98	23,94
5.Площа стоянки, м ²	37,2	-	0,85	1,64	-	1,32	-	-	68,45
6.Площа території, м ²	120	1,9	0,88	1,6	0,96	1,32	1,03	0,93	389,68

Відхилення значень фактичних показників від нормативних визначаються за формулою:

$$\Delta = (N_{\Phi} - N_H) / N_H \cdot 100; \quad (1.7)$$

де Δ - відхилення фактичних показників від нормативних.

Результати розрахунків занесено в таблицю 1.12.

Таблиця 1.12 – Порівняння ТЕПів

Назва показника	N_E	N_H	N_{Φ}	$\Delta, \%$
1. Чисельність виробничих робітників	0,32	0,96	0,75	-22
2. Кількість робочих постів	0,1	0,47	0,63	33
3. Площа виробничо-складських приміщень	19	54,88	76,28	39
4. Площа допоміжних приміщень	8,7	23,94	35,43	48
5. Площа стоянки	37,	68,45	75,30	10
6. Площа території	120	389,68	487,10	25

Аналіз техніко-експлуатаційних показників АТП показує:

а) чисельність виробничих робітників менше нормативного значення, що пов'язано з плінністю кадрів, обумовлених низьким рівнем заробітної плати;

б) число постів зони ТО і ПР транспортного підрозділу більше нормативних показників, що говорить про низький рівень використання робочого часу постів;

в) площі виробничо-складських і допоміжних приміщень перевищують нормативні значення;

г) площі стоянки автомобілів і площі території АТП дозволяють розмістити і в перспективі експлуатувати більше автомобілів. Крім того це дає можливість додатково надавати послуги по зберіганню орендованих автомобілів, а також автомобілів юридичних і фізичних осіб.

1.5.3 Комплексна оцінка стану ВТБ

Комплексну оцінку стану ВТБ виконуємо у відповідності з рекомендаціями [1] за такими напрямками: характеристика виробничих приміщень, стан технологічного устаткування, характеристика рівня технології ТО і ПР, рівень організації та управління виробництвом.

В цій роботі розглядаються показники стосовно роботи і використання технологічного обладнання, яке використовується при ТО і поточному ремонті автотранспортних засобів.

Перелік наявного у виробничому корпусі технологічного обладнання наведено в таблиці 1.13.

Таблиця 1.13 - Обладнання по обслуговуванню та ремонту автомобілів

Найменування обладнання	Кількість
1	2
Компресор 1136-B2	1
Наждачний верстат	1
Вулканізатор для ремонту шин і камер 6140	1
Верстак слюсарний	1
Стенд для монтажу і демонтажу шин і коліс вантажних автомобілів Ш513	1
Візок для заміни агрегатів	1
Установка змащувально-заправна	1
Гайковерт для гайок коліс:	
- Пересувний електромеханічний, ударної дії	1
- Ручний пневматичний АТ 5040	1

Продовження таблиці 1.13

1	2
Установка для мийки вантажних автомобілів	1
Домкрат гідравлічний ПЗ10	2
Набір інструменту для шиноремонтника 6209	1
Набір інструментів слюсаря-ремонтника:	
- И131	1
- И132	1
- И133	1

Розрахуємо основні показники використання обладнання.

Коефіцієнт змінності устаткування:

$$K_3 = G_{\text{во}} / G_{\text{ко}}, \quad (1.8)$$

де $G_{\text{во}}$ – кількість обладнання, що відпрацювало зміну, одиниць;

$G_{\text{ко}}$ – кількість встановленого обладнання, одиниць.

$$K_3 = 8 / 8 = 1.$$

Коефіцієнт використання устаткування:

$$K_B = T_{\text{ф}} / T_{\text{д}}, \quad (1.9)$$

де $T_{\text{ф}}$ – фактичний час роботи устаткування, год.;

$T_{\text{д}}$ – дійсний фонд часу роботи устаткування, год.

$$K_B = 8 / 12 = 0,75.$$

Аналіз стану ВТБ показує, що:

- підприємство має недостатній рівень фондооснащеності, який становить 66% від нормативних значень;

- зони і ділянки укомплектовані устаткуванням на 54–62 % від нормативу.

Частина устаткування є спрацьованим і морально застарілим та підлягає оновленню;

- більшість робіт по підтримці рухомого складу в технічно справному стані на підприємстві виконується без належного рівня механізації.

Таким чином, на підприємстві доцільно провести модернізацію ВТБ.

1.6 Висновки до першого розділу

1. Короткий огляд і аналіз стану проблеми показав, що до теперішнього часу створені певні наукова і технічна основи забезпечення надійності і оцінки якості роботи паливної апаратури в процесі експлуатації. Разом з тим, існуючі технології і методи діагностування, контролю і оцінки технічного стану електрокерованих елементів сучасних ППС не враховують повною мірою особливостей їх функціонування.

2. Застосування електронного керування та необхідність роботи з високими тисками впорскування ускладнює обслуговування і ремонт насос-форсунок. На даний момент в нашій країні відсутні будь-які стандарти, що регламентують методи перевірки насос-форсунок з електронним управлінням. Тому розробка технології діагностування та ремонту систем паливоподаючі з насос-форсунками є актуальним завданням.

3. В результаті проведення аналізу функціонування ПП «Беркут-транс» встановлено, що структура парку рухомого складу однотипна, що відповідає виконуваним послугам, хоча чисельність РС недостатня. Підприємство має достатньо виробничих і складських площ для обслуговування наявного парку рухомого складу, але через застарілість та недостатність технологічного обладнання на проведення ТО та ПР витрачається багато часу.

РОЗДІЛ 2 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ І РЕМОНТУ НАСОС-ФОРСУНОК

2.1 Обґрунтування об'єкта дослідження

Паливоподаючі системи з насос-форсунками випускають різні фірми: Bosch, Delphi, Detroit Diesel Allison, Lucas, Cummins та ін., і переважна більшість з них містять електронно-керовані пристрої для регулювання моменту початку і кількості палива, що впорскується. Аналіз основних конструкцій насос-форсунок показав, що принцип роботи більшості з них практично однаковий, в зв'язку з чим для досліджень була обрана насос-форсунка виробництва фірми Bosch 0414701019, найбільш поширена в автомобільних дизельних двигунах об'ємом від 10,6 до 16 л.

Оцінка параметрів роботи даної насос-форсунки, виконувана шляхом діагностування ППС, повинна містити кількісні характеристики, що дозволяють оцінити параметри її функціоналу в межах допускових значень, встановлених заводом виробником. В якості оціночних характеристик насос-форсунки будемо розглядати її діагностичні показники, тобто ті, які можливо визначити і зафіксувати без розбирання насос-форсунок, наприклад, якість розпилу (оцінюється при перевірці на стенді), циклова подача (оцінюється витратоміром стенду) та ін.

В якості структурних параметрів необхідно прийняти ті параметри, які в процесі експлуатації насос-форсунки мимовільно змінюються або коректуються при її технічному обслуговуванні або ремонті шляхом регулювання або заміни деталей. Наприклад, в процесі експлуатації, через порушення теплового зазору між коромислом і штовхачем відбувається знос штовхача і змінюється зусилля натягу пружини плунжера; через забруднення палива змінюється ефективний прохідний переріз сітчастого фільтра, відбувається знос прецизійних елементів, таких як плунжерна пара, клапанний вузол і розпилювач, має місце заклинювання плунжерної пари, втрата герметичності запірного конуса клапана,

направляючої частини клапана, запірного конуса голки розпилювача; порушується герметичність направляючої частини голки розпилювача; змінюється ефективний прохідний перетин отворів розпилювача. Також в процесі експлуатації відбувається зміна зазору між якорем і електромагнітом і змінюється зусилля натягу пружини клапана, змінюється хід клапана, порушується щільність посадки заглушок технологічних отворів і інші.

Поелементний аналіз конструкції насос-форсунки 0414701019 фірми Bosch дозволив описати для неї 5 діагностичних і 24 структурних параметри.

З метою виявлення всіх експлуатаційних і конструктивних факторів, що впливають на процес роботи насос-форсунки, було проведене її повне розбирання і проаналізовано функціонал кожної її деталі - призначення, принцип роботи та роль в робочому процесі. Наприклад, керуючий електромагнітний клапан управляє безпосередньо процесом закриття і відкриття голки розпилювача. В процесі роботи насос-форсунки, коли запірний клапан закритий, тиск палива в підгольковій порожнині розпилювача зростає, внаслідок чого відбувається підйом голки розпилювача і, відповідно, впорскування палива.

Встановлено [6], що можна виділити 4 основних робочих елемента насос-форсунки: нагнітаючий (плунжерна пара), керуючий (електромагнітний клапан), розпилюючий (розпилювач) і несучий (корпус).

Вплив на робочий процес нагнітаючої частини надають такі параметри, як: знос штовхача, зусилля пружини плунжера, рухливість плунжера, герметичність плунжерної пари; керуючої частини - герметичність електромагнітного клапана, опір обмотки електромагніту, зазор між якорем і електромагнітом, зусилля пружини електромагніта, герметичність направляючої частини клапана, герметичність запірного конуса клапана, хід клапана; розпилюючої частини - зусилля пружини розпилювача, хід голки розпилювача, рухливість голки, герметичність направляючої частини голки, герметичність запірного конуса голки, ефективний прохідний перетин розпилюючих отворів розпилювача; несучої частини - технічний стан торцевого ущільнення між корпусом і проставкою і між проставкою і розпилювачем, герметичність кілець

ущільнювачів і заглушок технологічних отворів, ефективний прохідний перетин сітчастого фільтра. В якості основних діагностичних параметрів визначені: циклова подача, якість розпилення, тривалість впорскування, сила струму керуючого клапана, затримка впорскування.

Робочий процес насос-форсунки можна представити у вигляді інформаційної моделі [3], де вона функціонує як багатопараметрична система (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 - Інформаційна модель функціонування насос-форсунки

Робочий процес S насос-форсунки визначається сукупністю її структурних параметрів X . Складові вектора X є кориговані та в процесі роботи змінюються. Сюди входить: герметичність прецизійних деталей, хід голки розпилювача, зусилля пружини і хід якоря, герметичність запірнього конуса клапана, ефективний прохідний перетин розпилюючих отворів розпилювача і т. п. У даній системі некерованим є вхід Y , складовими якого є: якість палива, природно-кліматичні умови, добові та сезонні коливання температур і ін.

Складові вектора Z виступають управляючими факторами в цій моделі. До них можна віднести частоту і тривалість керуючих електромагнітом імпульсів, силу струму керуючого імпульсу, тиск підкачки в ЛНТ, форма кулачка і ін. Значення вихідного діагностичного параметра вектора W безпосередньо залежить від стану вхідних параметрів:

$$W = S\{X, Y, Z\}, \quad (2.1)$$

де S - оператор перетворення вхідних параметрів, що визначає критерій оптимальності системи в цілому або узагальнений показник її якості, заданий в аналітичній формі.

Для оцінки роботи насос-форсунок шляхом діагностування її параметрів, повинні містити кількісні характеристики, це дозволяє оцінити їх в межах допустимих значень. Критерії функціонування системи визначаються як:

$$w_i^{\phi} \leq [w_{idon}], W^{\phi} \leq [W_{don}], \quad (2.2)$$

де W^{ϕ} і w_i^{ϕ} – відповідно, фактичний стан насос-форсунки і сукупність оціночних показників насос-форсунки.

Якщо фактичне значення W^{ϕ} і w_i^{ϕ} менше або дорівнюють її значенням допустимим W_{don} і w_{idon} , то насос-форсунка в справному стані. При виході будь-якого діагностичного параметра з допустимої межі, необхідно впливати на систему шляхом зміни будь-якого керованого параметра насос-форсунки для приведення показників роботи її в штатний стан. Якщо цього не відбувається, то потрібно змінити конкретний структурний параметр шляхом його регулювання, відновлення або заміни деталі.

Далі були встановлені види впливу на кожен із структурних параметрів - вони можуть бути зроблені безпосередньо на двигуні (D), на безмоторних стендах (C) або вимагають повного розбирання вузла (R). Відповідно вказується, чи потрібно при цьому виконання демонтажно-монтажних робіт (M) або можна обійтися без демонтажно-монтажних операцій (O). Вплинути на показники структурних параметрів можна: (З) - шляхом заміни деталей, наприклад, при порушенні рухливості плунжера або голки розпилювача, герметичності кілець ущільнювачів, заглушок, електромагніту, опору обмотки електромагніту, герметичності розпилювача, ефективного прохідного перетину розпилювача,

при зносі направляючої частини клапана або штовхача; (В) - шляхом відновлення, наприклад, рухливості плунжера, герметичності запірного конуса клапана, запірного конуса голки розпилювача, шліфування торцевих ущільнень, очищення щілинних фільтрів; (Р) - шляхом регулювання, наприклад, зміни натягу пружини плунжера клапана, пружини голки розпилювача, ходу якоря, повітряного зазору, ходу клапана і регулювання тиску палива на вході в насос-форсунку. Для оцінки значущості структурних параметрів по їх впливу на діагностичні параметри конкретної насос-форсунки були проаналізовані всі виявлені зв'язки структурних параметрів.

Аналіз отриманої схеми показав, що впливати на діагностичні параметри насос-форсунки найлегше через зміну структурних параметрів електромагнітного запірного клапана, так як, параметри роботи електромагнітного запірного клапана в значній мірі визначають циклову подачу, тривалість впорскування, затримку впорскування (ВІР- сигнал) і силу струму керуючого Сигналу, які перевіряються при дефектації насос-форсунки за заводською технологією. Важливо відзначити, що рекомендований процес регулювання запірного клапана найбільш трудомісткий, вимагає складного обладнання та висококваліфікованих фахівців.

З метою підтвердження теоретичних висновків впливу зміни структурних параметрів на діагностичні параметри, нами був проведений статистичний аналіз відмов і несправностей ППС з насос-форсунками в спеціалізованому підприємстві по сервісу системи подачі палива за період з 2015 по 2019 р. Аналізу піддавалися вузли та деталі насос-форсунок з електронним управлінням виробництва Bosch. Слід зазначити, що розглядалися насос-форсунки з порушенням працездатності, які при цьому забезпечували хоча б яку-небудь подачу палива. Повністю відмовили насос-форсунки з дослідження виключалися.

Аналіз несправностей насос-форсунок дозволив сформулювати такі статистичні дані по найбільш поширених причинах виходу з ладу насос-форсунок фірми Bosch (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Статистика відмов насос-форсунок фірми Bosch

№ п/п	Найменування	Характеристика	Процентне співвідношення
1	Клапан	Порушення герметичності запірного конуса	40%
2		Збільшення зазору між клапаном і електромагнітом	15%
3		Знос направляючої частини (втрата герметичності)	20%
4	Плунжер	Механічний знос (втрата герметичності)	5%
5		Заклинювання	1%
6	Електромагніт	Порушення герметичності ущільнюючих кілець	0,5%
7		Дефект обмотки (замикання, розрив)	1,5%
8	Розпилювач	Механічна поломка пружини голки	9%
9		Порушення герметичності запірного конуса	30%
10		Механічне пошкодження торцевих ущільнень	2%
11		Знос направляючої частини голки (втрата герметичності)	30%
12		Закоксування отворів розпилювача	4%
13		Зниження тиску впрыскування	20%
14	Штовхач	Механічний знос	1%
15	Сітчастий фільтр	Забруднення	1,6%
16	Корпус	Механічний знос	7%
17		Ржавчина	3%

Те, що сумарне відсоткове співвідношення по всьому відмов перевищує 100%, пояснюється тим, що на деяких насос-форсунках зустрічаються відмови відразу декількох елементів. Як і слід було очікувати, працездатність насос-форсунок в значній мірі (до 95% можливих відмов) визначається станом її прецизійних вузлів. Також, якщо подивитися на сукупність відмов, то найбільший відсоток відмов припадає на розпилювач - до 95%, при цьому сам процес заміни розпилювача не вимагає трудомістких операцій і складних технологій. На другій позиції, до 75% відмов, знаходиться запірний клапан. Серед окремих позицій ремонту найбільш частою відмовою є порушення герметичності запірного конуса клапана.

В цілому, основні дефекти по насос-форсунках зводяться до зносу золотникової частини клапана і корпусу, заклинювання і задирам прецизійних поверхонь, кавітаційним і ерозійним руйнуванням розподільних крайок клапана і корпусу, корозійних руйнувань напрямних поверхонь і дефектів плунжерних пар. Знос прецизійних елементів і посилений витік палива через нещільність знижують корисну продуктивність насос-форсуки. Для оцінки останньої можна

використати напрацювання насос-форсунки (годинну подачу або середню циклову подачу палива).

Так як процес заміни клапанного вузла або його ремонту вимагає трудомістких операцій і складних технологій, то становить інтерес більш докладне вивчення процесів, що відбуваються з запірним клапаном. Зокрема, необхідно дослідити та обґрунтувати величину допустимих відхилень технічного стану запірного клапана від номінального значення, при яких не відбувається помітного порушення діагностичних показників.

2.2 Удосконалення математичної моделі робочого процесу насос-форсунки

Наведений в першому розділі аналіз програмного забезпечення, призначеного для моделювання процесів в системі подачі палива дизельного двигуна, показав, що в даний час розрахункові методи мають високу точність і достовірність підсумкових розрахунків, що дозволяє застосовувати їх, в тому числі, і для моделювання процесів, що відбуваються в гідромеханічних системах паливної апаратури дизелів. Перевірка адекватності математичної моделі може здійснюватися порівнянням характеристик впорскування отриманих розрахунковим шляхом і в ході експериментального дослідження.

У той же час необхідно відзначити, що всі розглянуті математичні моделі розроблені для розрахунку і оптимізації ППС не враховують зміни технічного стану насос-форсунки які неминуче виникають в процесі їх експлуатації. Оскільки метою даної роботи є вдосконалення діагностування ППС, то для розрахунково-чисельного дослідження необхідно внести деякі доповнення в існуючі методики, що враховують виток в прецизійних з'єднаннях і зміни ходу рухомих елементів.

Для розрахунку процесів в системах подачі палива в даній роботі використані моделі запропоновані Л. Н. Голубковим, І. В. Астаховим, і розвинені

далі Л. В. Греховим з використанням рівнянь руху і нерозривності потоку стискаючої рідини в трубопроводі [7].

При математичному моделюванні процесів, що відбуваються в лінії високого тиску ППС ми розглядали як сукупність характерних елементів: акустично довгих гідравлічних зв'язків, порожнин, клапанів, регулюючих елементів типу жиклера, золотників, і т. д. Це дозволяє в значній мірі спрощувати розрахунки: поліпшити стійкість розрахунку, знизити час розрахунку, спростити підготовку та алгоритм вихідних даних.

У математичній моделі насос-форсунки були деякі припущення, що є загальноприйнятими. Так при розгляді процесів в трубопроводах нехтували тривимірністю течії, зниженням швидкості звуку під дією гідродинамічного тертя при використанні рішення Д'аламбера - непостійністю швидкості звуку при зміні тиску.

При моделюванні процесів, що відбуваються в насос-форсунці нехтували динамічним напором, і кілька порожнин об'єднували. Золотники, клапани, і т. п. розглядали як місцеві опори. Тертя в напрямних клапанах не враховували, а емпіричними залежностями описували властивості палив.

Конструктивно ППС з насос-форсункою містить акустичні елементи, наприклад, канал підведення палива до розпилюючого апарату, тому нехтування збурень хвиль і кінцевою швидкістю поширення інтерференції в них і призвело б до спотворення швидкого процесу подачі палива.

Дослідження зміни цих параметрів у відомих методиках не передбачене, внаслідок цього вони були введені як константи. Розробку математичної моделі насос-форсунки краще починати з запірного електромагнітного клапана в силу того, що характеристика впорскування палива в значній мірі визначається саме характером його роботи, що було доведено в розділі 2.1 даної роботи.

Для теоретичного дослідження робочого процесу клапана необхідно розглянути конструкцію гідравлічно-розвантаженого запірного клапана насос-форсунки фірми Bosch з оцінкою ряду його параметрів, таких як: діаметри каналів, кут запірного конуса сідла і клапана, зусилля пружини якоря, хід якоря і ін.

Складемо робочу схему функціонування клапана для двох робочих положень клапана: відкрите і закрите. Одним з важливих і необхідних умов роботи електромагнітного клапана є максимально швидке його закриття з забезпеченням повної герметичності, а також відсутність протитиску від палива, що проходить через нього на злив при його переміщенні. З огляду на те, що в багатьох програмах розрахунку паливоподаючої апаратури широко використовують рівняння балансів і витрат в граничних умовах, запишемо рівняння об'ємного балансу для кожної порожнини насос-форсунки.

Для надплунжерної порожнини насос-форсунки з електронним управлінням впрыску палива рівняння об'ємного балансу з врахуванням руху плунжера $\frac{dh_{nl}}{dt}$, руху клапана $\frac{dh_{кл}}{dt}$, витрат через плунжер $Q_{nl}^{ст}$, через клапан $Q_{вих}$, через направляючу клапана $Q_{напкл}^{ст}$ має наступний вигляд[28]:

$$\frac{dP_{nl}}{dt} = \frac{1}{V_{nl} \cdot \beta_{nl}^{ef}} \left[S_{nl} \cdot \frac{dh_{nl}}{dt} - S_{кл} \cdot \frac{dh_{кл}}{dt} - Q_{вих} - Q_{nl}^{ст} - Q_{напкл}^{ст} - Q_{роз}^{ст} \right], \quad (2.3)$$

З рівняння Бернуллі, неперервність потоку рідини через різні перерізи слідує, що в відкритому положенні клапана витрата палива Q_{nl} , що витікає з надплунжерної порожнини в підклапанну рівний витраті палива $Q_{вит}$, витікаючому з підклапанної порожнини на злив[26]:

$$Q_{вих} = \mu \cdot S_{кл} \sqrt{\frac{2 \cdot P_{nl} - P_{нід}}{\rho}}, \quad (2.4)$$

де: $S_{кл}$ – площа перерізу клапанної щілини запірного клапана, м²;

$P_{nl}, P_{нід}$ – тиск палива в надплунжерній порожнині і підкачки, МПа;

ρ – густина палива, кг/м³.

Площа перерізу клапанної щілини запірного клапана:

$$S_{\kappa\lambda} = \pi \cdot h_{\kappa\lambda} \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{\kappa\lambda}}{2}\right) \left[2 \cdot r_2 - h_{\kappa\lambda} \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{\kappa\lambda}}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\alpha_{\kappa\lambda}}{2}\right) \right], \quad (2.5)$$

де: r_2 - радіус конуса, м.

$\alpha_{\kappa\lambda}$ - півкут конуса сідла клапана.

Таким чином, підставивши вираз 2.3 в 2.2 отримаємо:

$$Q_{вих} = \mu \cdot \pi \cdot h_{\kappa\lambda} \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{\kappa\lambda}}{2}\right) \cdot \left[2 \cdot r_2 - h_{\kappa\lambda} \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{\kappa\lambda}}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\alpha_{\kappa\lambda}}{2}\right) \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{nl} - P_{nid}}{\rho}}, \quad (2.6)$$

Цей вираз дозволяє описати витрати палива в різних перетинах паливних порожнин. При цьому в даному виразі не враховується ряд показників, таких як витікання палива через радіальні зазори в напрямних частинах плунжера, клапана і розпилювача.

Як було вказано раніше для випадків, коли проводиться гідродинамічний розрахунок нових насос-форсунок, даними витоками можна знехтувати внаслідок їх незначної кількості. Однак, коли ми розраховуємо робочі процеси в насос-форсунках які вже були в експлуатації, мають певний знос деталей і знижену щільність прецизійних з'єднань, або насос-форсунки після поточного ремонту без заміни прецизійних деталей, то нехтувати існуючими витоками можна. У зв'язку з цим представлена математична модель гідродинамічного розрахунку була доповнена відповідними виразами.

Перш за все, досліджуємо вплив витоків через радіальний зазор в прецизійних з'єднаннях. В насос-форсунці є три прецизійних елементи: плунжерна пара, розпилювач, запірний клапан. Враховуючи зміну в'язкості палива від тиску за допомогою формулою Д.Н. Вирубова, втрати через радіальний зазор в плунжерній парі знайдемо за формулою [11]:

$$Q_{nl}^{em} = \frac{\pi \cdot \delta_{nl}^3 \cdot P_0 \cdot d_{nl}}{12 \cdot \eta_0 \cdot L_{nl} \cdot \ln c} \cdot \left(1 - \frac{1}{c^{P_{nl}/P_0}} \right), \quad (2.7)$$

де: $\delta_{пл}$ – радіальний зазор в плунжерній парі, м.

P_o – атмосферний тиск, МПа.

$d_{пл}$ – діаметр направляючої плунжера, м.

$L_{пл}$ – довжина направляючої частини плунжера, м.

η_0 – в'язкість при дійсній температурі в зазорі, Па·с.

Витрати через направляючу голку розпилювача знайдемо по формулі[11]:

$$Q_{роз}^{вт} = \frac{\pi \cdot \delta_z^3 \cdot P_o \cdot d_z}{12 \cdot \eta_0 \cdot L_z \cdot \ln c} \cdot \left(\frac{1}{c^{P_{нід}/P_o}} - \frac{1}{c^{P_{пл}/P_o}} \right) + 0,5 \cdot \pi \cdot U_z \cdot \delta_z \cdot d_z, \quad (2.8)$$

де: δ_z – радіальний зазор в направляючій частині голки, м.

d_z – діаметр направляючої голки, м.

L_z – довжина направляючої частини голки, м.

U_z – швидкість циліндричного тіла голки, м/с.

Втрати через радіальний зазор в направляючій частині клапана знайдемо по формулі:

$$Q_{нап.кл}^{вт} = \frac{\pi \cdot \delta_{кл}^3 \cdot P_{зл} \cdot d_{кл}}{12 \cdot \eta_0 \cdot L_{кл} \cdot \ln c} \cdot \left(\frac{1}{c^{P_{пл}/P_{нід}}} \right); \quad (2.9)$$

де: $\delta_{кл}$ – радіальний зазор в направляючій частині клапана, мкм.

$d_{кл}$ – діаметр направляючої клапана, мм.

$L_{кл}$ – довжина направляючої частини клапана, мм.

Незважаючи на те, що ці рівняння досить відомі, їх вплив на показники насос-форсунки вельми значні при збільшенні радіальних зазорів з напрацюванням насос-форсунки.

На тиск в надплунжерній порожнині насос-форсунки в значній мірі впливає хід клапана, тривалість імпульсу, внаслідок цього необхідно визначити переміщення клапана, для цього скористуємося виразом [26]:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \sum F \quad (2.10)$$

де: m – маса рухомого елемента, кг

$\sum F$ – сума сил, діючих на рухомий елемент, Н.

Підставивши всі сили, діючі на запірний клапан, отримаємо вираз для визначення переміщення клапана:

$$\frac{d^2 h_i}{dt^2} = \frac{1}{m_{\text{клап}}} \left[\sigma_{\text{пр}} \cdot F_{\text{елек.маг}} - P_{\text{пл}} - P_{\text{під}} \cdot F_{\text{кл}} + F_{\text{пр.якор}} + c_{\text{пр.якор}} \cdot h_{\text{кл}} - F_{\text{тре}} - G_{\text{кл}} \right] \quad (2.11)$$

де: $m_{\text{клап}}$ – сумарна маса клапана, якоря, гвинта, шайби і пружини, кг;

$F_{\text{кл}}$ – площа клапанної щілини, м²;

$\sigma_{\text{пр}}$ – ступінчата функція ($\sigma_{\text{пр}} = 1$ при $h = h$, $\sigma_{\text{пр}} = 0$ при $h = 0$, $h = h_{\text{мах}}$);

$F_{\text{елек.маг}}$ – зусилля електромагніта, Н;

$F_{\text{пр.якор}}$ – попередня натяжка пружини якоря, Н;

$G_{\text{кл}}$ – вага клапана, кгм/с²;

$c_{\text{пр.якор}}$ – жорсткість пружини якоря, Н/м.

Змінюючою силою в даному виразі являється сила електромагніта $F_{\text{елек.маг}}$, яка змінюється в процесі переміщення якоря. Для її визначення запишемо диференціальний вираз [19]:

$$F_{\text{елек.маг}} = \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot \frac{dL}{d\delta}, \quad (2.12)$$

де i – струм, протікаючий в контурі $i = \text{const}$, А;

L -індуктивність контура, Гн;

δ - зазор між електромагнітом і клапаном, м;

Індуктивність катушки електромагніта знаходиться по формулі:

$$L = w^2 \cdot \frac{\mu \cdot S}{\delta}, \quad (2.13)$$

де: w -число витків в обмотці електромагніта;

μ -магнітна проникність палива в зазорі між якорем і електромагнітом;

S – площа якоря електромагніта, м²;

$$F_{\text{елек.маг}} = \frac{i^2 \cdot w^2 \cdot \mu \cdot S}{2 \cdot \delta}, \quad (2.14)$$

де: $\delta = \delta_{\text{max}} - h_{\text{кл}}$ це різниця максимального повітряного зазору відносно переміщення клапана - максимальний повітряний зазор залежить від напрацювання насос-форсунки.

Ми отримали систему рівнянь, що описують процеси, що відбуваються в насос-форсунці з урахуванням витоків в радіальних зазорах в направляючій частині клапана, через направляючу голки розпилювача, через радіальні зазори в направляючих частинах плунжера:

$$\begin{aligned} \frac{dP_{\text{нл}}}{dt} &= \frac{1}{V_{\text{нл}} \cdot \beta_{\text{нл}}^{\text{ef}}} \left[S_{\text{нл}} \cdot \frac{dh_{\text{нл}}}{dt} - S_{\text{кл}} \cdot \frac{dh_{\text{кл}}}{dt} - Q_{\text{вих}} - Q_{\text{нл}}^{\text{вт}} - Q_{\text{нап.кл}}^{\text{вт}} - Q_{\text{роз}}^{\text{вт}} \right] \\ \frac{d^2 h_{\text{кл}}}{dt^2} &= \frac{1}{m_{\text{клап}}} \left[\sigma_{\text{пр}} \cdot \frac{i^2 \cdot w^2 \cdot \mu \cdot S}{2 \cdot \delta_{\text{max}} - 2 \cdot h_{\text{кл}}} - F_{\text{пр.якор}} + c_{\text{пр.якор}} \cdot h_{\text{кл}} - P_{\text{нл}} - P_{\text{під}} \cdot S_{\text{кл}} - F_{\text{тре}} - G_{\text{кл}} \right] \end{aligned} \quad (2.15)$$

Таким чином, отримані рівняння дозволяють стверджувати, що на зміну характеристик насос-форсунки в процесі експлуатації буде впливати зміна радіальних зазорів в прецизійних з'єднаннях і повітряний зазор між якорем і

електромагнітом. Залежності зміни радіальних зазорів в прецизійних з'єднаннях в процесі напрацювання насос-форсунки відомі і мають лінійний характер без урахування періодів обкатки і граничних зносів. Для насос-форсунок з електронним управлінням основними дефектами, що лімітують їх ресурс, є знос прецизійних поверхонь золотникової частини запірного клапана. Зношування пов'язане з динамічною дією абразивних частинок, які рухаються з відносно високою швидкістю і механічною дією абразивних частинок, затискаються в зазорі при пружноциклічній деформації прецизійних поверхонь. Ресурс клапанного вузла лімітується, в більшості випадків, заклинюванням і задираками клапана, втратами щільності через знос напрямних поверхонь. В середньому близько 80% клапанних вузлів бракуються через знос вказаних поверхонь і втрати гідравлічної щільності нижче допустимих меж.

Для вирішення отриманої системи рівнянь також необхідно встановити залежність повітряного зазору між електромагнітом і якорем від напрацювання, так як зазвичай в процесі експлуатації насос-форсунки зазор δ між електромагнітом і якорем змінюється, що пов'язано з механічним зносом замикаючого конуса клапана. Це, в свою чергу, призводить також і до зміни жорсткості пружини клапана.

З метою визначення залежності зміни повітряного зазору між електромагнітом і якорем, нами був проведений статистичний аналіз зазорів між електромагнітом і якорем більш ніж 240 насос-форсунок які мали різне напрацювання. Слід зазначити, що розглядалися насос-форсунки як без, так і з порушенням працездатності, і повністю непрацюючі.

У підсумку, знаючи фактичне напрацювання насос-форсунки, ми з великою ймовірністю можемо говорити про величину зазору між електромагнітом і якорем. Встановлений зв'язок між напрацюванням насос-форсунки і її радіальними зазорами в прецизійних елементах в залежності від повітряного зазору між електромагнітом і якорем дозволяє реалізувати отримані зв'язки в ПК «Уприскування» і надалі вдосконалити обчислювальний процес, так як замість фіксованих раніше радіальних і повітряних зазорів в систему

розрахункових рівнянь додається значення напрацювання насос-форсунки. У нашому випадку отриманими нами виразами була доповнена математична модель, реалізована в програмному комплексі «Уприскування», і на цій основі проведено розрахунково-чисельні дослідження насос-форсунки.

2.3 Ідентифікація розробленої математичної моделі стосовно насос-форсунки з напрацюванням

Розрахунок робочого процесу насос-форсунки 0414701019 фірми Bosch проводився з використанням спеціального програмного комплексу «Упорскування», доповненого запропонованими залежностями з обліку змін витоків в прецизійних з'єднаннях і повітряного зазору. Будь-яка математична модель робочого процесу в системі подачі палива містить у своєму складі емпіричні коефіцієнти, від вибору яких залежить точність отриманих результатів. Тому етапові проведення розрахункових досліджень повинен передувати етап перевірки адекватності математичної моделі шляхом порівняння розрахункових даних з результатами експериментів.

Результати розрахунку процесу паливоподачі з насос-форсункою Bosch 0414701019 приведені на рисунку.2.2.

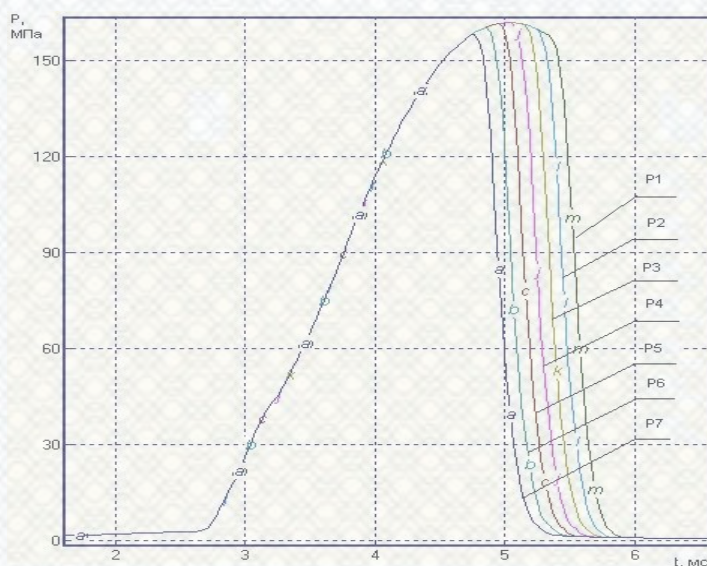


Рисунок 2.2 - Характеристика тиску палива в надплунжерній порожнині при вимірюванні тривалості впорскування при номінальній частоті обертання кулачкового валу

З отриманих розрахунковим шляхом характеристик тиску палива (рисунок 2.2) видно, що доповнений нашими виразами, які враховують знос та напрацювання насос-форсунки, ПК «Уприскування» працездатний і в подальшому можна працювати з цією моделлю. Аналіз зміни характеристик тиску в надплунжерній порожнині показує, що максимальний тиск в надплунжерній порожнині адекватно відображає залежність від тривалості керуючого імпульсу.

Після розрахунку діагностичних параметрів, зокрема, характеристики впорскування були проведені експериментальні дослідження для ідентифікації математичної моделі стосовно досліджуваної ППС. Для ідентифікації отримані експериментальні криві усереднювалися. Математична модель є детермінованою, тому не враховує реальні відхилення параметрів паливної системи, від прийнятих а також особливості використовуваного палива. Разом з тим математична модель була уточнена з урахуванням експлуатаційних факторів, таких як зростання витоків палива в зазорах прецизійних елементів, в процесі експлуатації зміна швидкості переміщення керуючого клапана, зміни затримки початку упорскування після подачі сигналу.

Перевірка адекватності математичної моделі проводилася за критерієм Фішера. Дисперсійне співвідношення в цьому випадку має вигляд:

$$F_p = S_{ao}^2 / S_{eid}^2 \quad (2.16)$$

Дисперсія адекватності визначається із співвідношення:

$$S_{ao}^2 = \left[\sum (Y_p - Y_e)^2 \right] / (N - n), \quad (2.17)$$

Дисперсія відтворюваності визначається із співвідношення:

$$S_{eid}^2 = \left[\sum (Y_t - Y_{cp})^2 \right] / (m - 1), \quad (2.18)$$

Розрахункове значення критерію Фішера порівнюють з табличним значенням при вибраному рівні значимості і числі ступенів вільності:

$$f_1 = N - n, f_2 = m - 1, \quad (2.19)$$

У випадку співвідношення $F_p \leq F_{табл}$ рівняння адекватне і може бути використане для моделювання вивченого процесу.

В нашому випадку в якості Y_t – поточного, Y_{cp} – середнього і Y_e – експериментального значення функції відгуку являються значення поточної, середньої і експериментальної циклової подачі (g_u).

$N=5$ так як число дослідів при кожному повітряному зазорі рівне п'яти;

$n=1$ так як значущою величиною в моделі являється повітряний зазор δ ;

$m=25$ так як загальне число дослідів рівне 25.

Таблиця 2.2 - Дані розрахунку дисперсії адекватності $S^2_{ад}$

δ , повітряний зазор, мм	$(Y_p - Y_e)^2$	$\Sigma(Y_t - Y_{cp})^2$
0,29	125,44	285,84
0,27	33,64	
0,25	12,96	
0,23	29,16	
0,21	84,64	

$$S^2_{ад} = 285,84 / (5-1) = 71,46$$

Таблиця 2.3 - Дані розрахунку дисперсії відтворюваності.

δ , мм	$(Y_t - Y_{cp})^2$	δ , мм	$(Y_t - Y_{cp})^2$	δ , мм	$(Y_t - Y_{cp})^2$	δ , мм	$(Y_t - Y_{cp})^2$	δ , мм	$(Y_t - Y_{cp})^2$
0,29	14,44	0,27	27,04	0,25	31,36	0,23	5,76	0,21	27,04
0,29	77,44	0,27	38,44	0,25	5,76	0,23	92,16	0,21	23,04
0,29	3,24	0,27	51,84	0,25	73,96	0,23	31,36	0,21	3,24
0,29	38,44	0,27	46,24	0,25	40,96	0,23	54,76	0,21	14,44
0,29	67,24	0,27	139,24	0,25	29,16	0,23	29,16	0,21	27,04

$$S^2_{від} = 992,8 / (25-1) = 41,36$$

$$F_p = 71,46 / 41,36 = 1,72$$

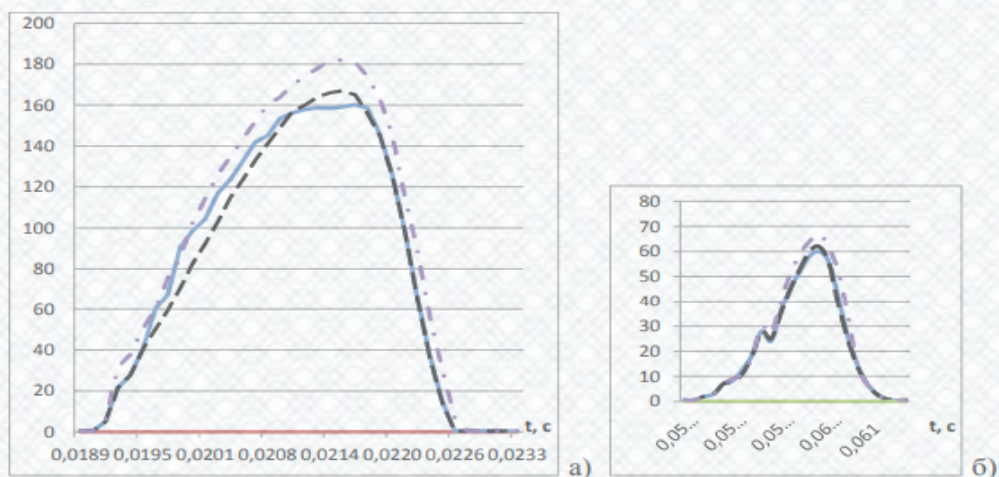
Для $f_1 = N - n = 4$ і $f_2 = m - 1 = 24$ $F_{табл} = 2,78$

Так як $F_p < F_{табл}$, то модель адекватна з рівнем значимості 0,95. При аналогічному порівнянні адекватність експериментальних даних з базовим розрахунком, без урахування напрацювання, рівень значущості був менше 0,95.

Експериментально отриману характеристику насос-форсунки з напрацюванням 4000 мото-годин порівнювали з розрахунковими даними, отриманими розрахунками в ПК «Уприскування» в базовому варіанті і з урахуванням отриманих виразів.

Перевірка адекватності моделі по Критерію Фішера показала, що теоретичні і експериментальні дані дають позитивну збіжність при рівні значущості 95%. Таким чином, виявлені теоретичні залежності для розрахунку характеристики впорскування з урахуванням витоків палива через прецизійне з'єднання насос-форсунки і зміна повітряного зазору дозволяють розрахувати ймовірні показники її роботи довірчою ймовірністю 95%.

На рисунку 2.3 видно результати порівняння розрахункових характеристик впорскування з експериментальними, отримані в номінальному режимі і в режимі холостого ходу.



— · — · — базовий розрахунок (без врахування напрацювання);
 — — — скоректований розрахунок (з врахуванням напрацювання).

Рисунок 2.3. - Характеристики тиску палива в надплунжерній порожнині в номінальному режимі роботи (а) і в режимі холостого ходу (б) - експериментальні дані

2.4 Результати розрахункових досліджень

В якості критерію роботоздатності ППС були встановлені допустимі значення діагностичних параметрів насос-форсунки, закладені заводом виготівником.

Таблиця 2.4 - Допустимі значення діагностичних параметрів насос-форсунки фірми Bosch 0414701019

Шифр	Діагностичні параметри	Допуск
D1	Циклова подача на номінальному режимі	208.4...235 мм ³ /цикл
D12	Циклова подача в режимі холостого ходу	23,9...49,6 мм ³ /цикл
D2	Якість розпилювання	2 група «дребезга»
D3	Тривалість впорскування на номінальному режимі	2,6 мкс
D32	Тривалість впорскування в режимі холостого ходу	3,2 мкс
D4	Сила струму керуючого імпульсу	125 А
D5	Затримка впорскування точка B&D	± 0,2 мкс

Мета численних досліджень полягає у визначенні взаємозв'язків між структурними і діагностичними параметрами і визначенні їх допустимих значень. Результати розрахункових досліджень в роботі представлені у вигляді ізоліній (рис. 2.4-2.6), за рахунок чого трапляється нагода визначити допустимі відхилення всіх структурних параметрів за тієї умови, що всі діагностичні параметри при цьому знаходяться в межі допустимих значень.

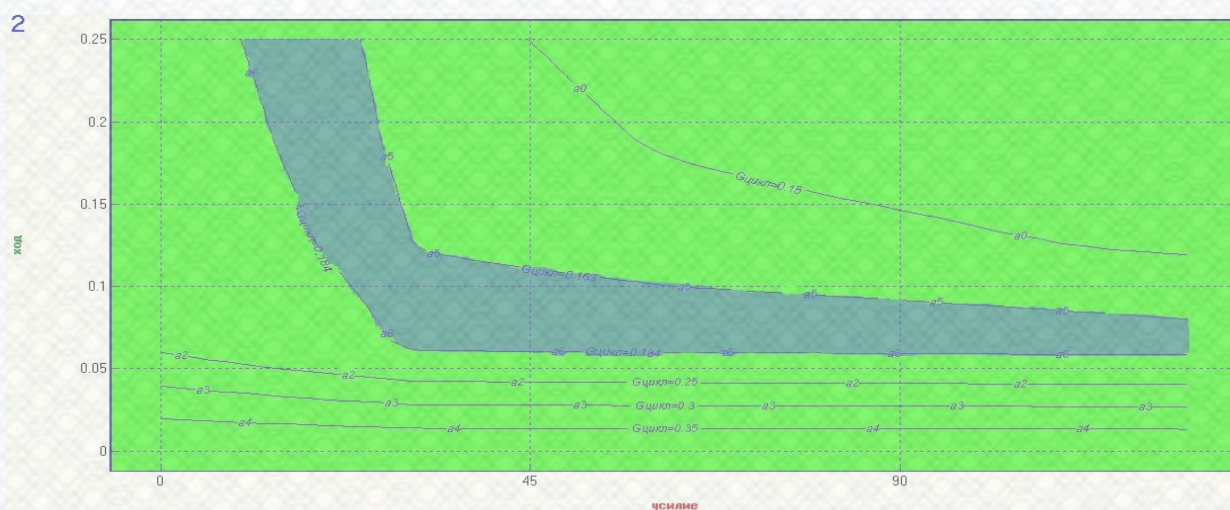


Рисунок 2.4 - Ізолінії залежності циклової подачі $g_{ц}$, мм³/ц від ходу клапана і зусилля електромагніту в номінальному режимі (на темній ділянці показники роботи насос-форсунки знаходяться в допуску).

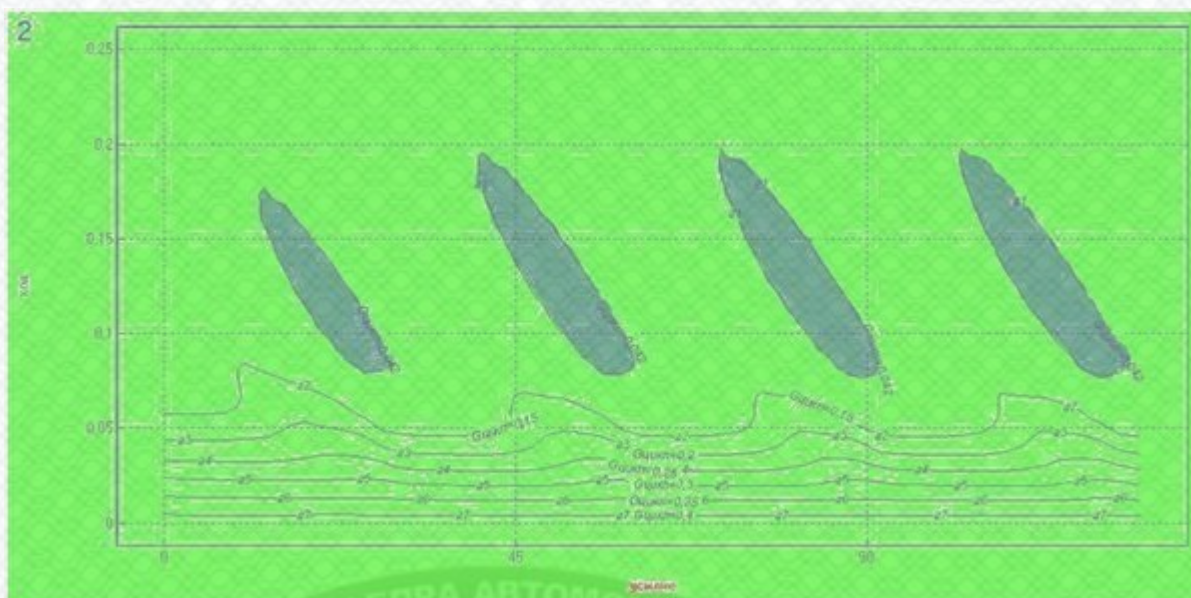


Рисунок 2.5 - Ізолінії залежності циклової подачі g_u , мм³/ц від ходу клапана і зусилля електромагніту в режимі холостого ходу (на темній ділянці показники роботи насос-форсунки знаходяться в допуску).

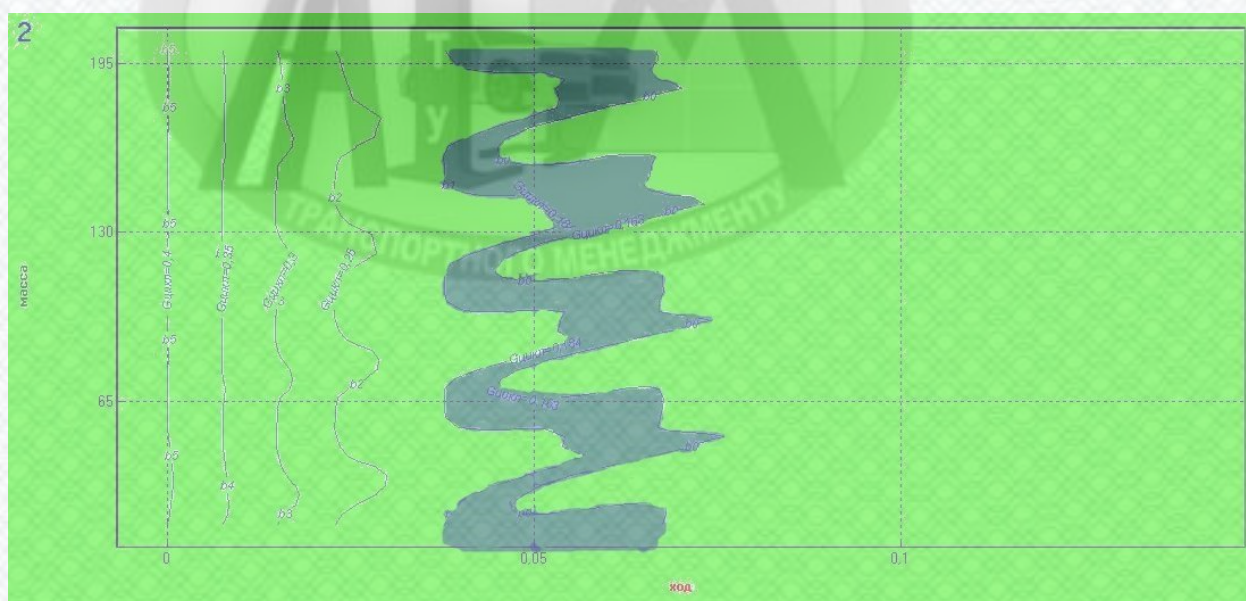


Рисунок 2.6 - Ізолінії залежності циклової подачі g_u , мм³/ц від ходу клапана і маси рухомих деталей в режимі холостого ходу (на темній ділянці показники роботи насос-форсунки які знаходяться в допуску).

Подібним чином виявлено значний вплив на процес подачі палива таких структурних параметрів, як: хід і кут запірного конуса клапана, тиск зливу і зусилля пружини якоря, і визначені вирази для математичного опису процесу роботи запірного клапана насос-форсунки. Визначено та обґрунтовано чисельні значення допустимих меж зміни структурних параметрів.

2.5 Обґрунтування допустимих відхилень структурних параметрів насос-форсунки в різних режимах роботи

Аналіз отриманих залежностей дозволив вперше отримати таблицю допустимих відхилень структурних параметрів (табл.2.5) насос-форсунки фірми Bosch 0414701019. В даній таблиці простежуються всі допустимі значення структурних параметрів насос-форсунки. Для кожного структурного параметра визначено режим випробування, на якому найбільш простежується його вплив.

Таблиця 2.5 - Допустимі відхилення структурних параметрів насос-форсунки фірми Bosch 0414701019

Шифр	Структурний параметр	Допуск	Режими
1	2	3	4
S1	<u>Плунжерна пара</u> Щільність плунжерної пари (радіальний зазор)	1,4...4,5 мкм	XX
S2	Заклинювання плунжера	не допускається	-
S3	Зусилля пружини плунжера	250 Н	-
S4	Знос штовхача	до 9 мкм	-
S5	<u>Електромагнітний клапан</u> Повітряний зазор	0,2...0,27 мм	--
S6	Герметичність запірного конуса клапана	0,1...0,2 мм ³ /с	Н
S7	Хід якоря	0,13...0,17мм	-
S8	Щільність направляючої частини клапана (радіал. зазор)	1,8...4,0 мкм	-
S9	Заїдання клапана	не допускається	XX
S10	Зусилля пружини клапана	110...170 Н	XX
S11	Герметичність заглушки каналу	витікання не допускаються	-
S12	Герметичність корпусу електромагніту	витікання не допускаються	Н
S13	Опір обмотки електромагніта	0,9...1,2 Ом	Н
S14	<u>Розпилювач</u> Тиск початку вприскування	28...30 МПа	XX
S15	Негерметичність по запираючому конусу	не допускається	-
S16	Ефективний прохідний переріз сопел розпилювача (f)	0,222...0,262мм ²	Н
S17	Щільність направляючої частини (радіальний зазор)	1,3...3,7 мкм	XX
S18	Хід голки розпилювача	0,2...0,45 мм	Н
S19	Рух голки (поломка пружини)	не допускається	-

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4
	<u>Корпус</u>		
S20	Герметичність ущільнюючих з'єднань	втрати не допускаються	-
S21	Ефективне проходження перерізу сітчатого фільтру	0,35...0,45 мм ²	
S22	Герметичність торцевих ущільнень м/у корпусом і проставкою	втрати не допускаються	Н -
S23	Герметичність торцевих ущільнень м/у проставкою і розпилювачем	втрати не допускаються	-
S24	Тиск підкачки	0,4...0,75 МПа	Н

В якості прикладу в табл. 2.5 приведені допустимі відхилення структурних параметрів насос-форсунки дизеля DC11.03 з насос-форсункою. Із 24 структурних параметрів були вибрані 12, так як деякі визначаються візуально і не можуть мати конкретних допусків.

2.6 Висновки до другого розділу

1. В результаті поелементного аналізу конструкції і робочого процесу насос-форсунки дизеля DC11.03 для нього виявлено 24 структурних і 5 діагностичних параметрів. Шляхом аналізу науково-технічної літератури, конструкторської документації, розрахункових і експериментальних досліджень визначені найбільш значущі структурні параметри і їх допустимі відхилення, що забезпечують належний рівень якості роботи насос-форсунки.

2. В ході дослідження розглянуто і теоретично описано робочий процес запірного клапана насос-форсунки з урахуванням витоків в прецизійних з'єднаннях і зміна повітряного зазору між якорем і електромагнітом які виникають, в результаті зносів деталей в експлуатації, на основі чого уточнено класичний гідродинамічний розрахунок процесу подачі палива. Отримана математична модель робочого процесу насос-форсунки дозволила розрахувати допустимі відхилення конкретних структурних параметрів насос-форсунки і визначити режими її випробування, при яких цей вплив найбільш виражений.

3. На основі аналізу отриманих залежностей вперше складена таблиця допустимих відхилень структурних параметрів для насос-форсунки фірми Bosch 0414701019, де простежуються всі допустимі відхилення показників структурних параметрів насос-форсунки і для кожного з них визначені режими роботи, на яких залежності виражені найбільш явно.



РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ НАСОС-ФОРСУНКИ

Метою проведення експериментальних досліджень є перевірка результатів теоретичних досліджень, практичне вивчення закономірностей процесів, що відбуваються в насос-форсунках, встановлення факторів, які найбільш істотно впливають на його роботу.

3.1 Експериментальне дослідження насос-форсунок по визначенню характеристики впорскування

Для безмоторних випробувань експериментальної системи подачі палива з насос-форсункою була прийнята установка (рис.3.1), зібрана на базі одноканального стенду для регулювання дизельної паливної апаратури КІ-354.



1 – комп'ютер, 2 – стенд для випробування паливної апаратури КІ-354, 3 – блок приймання, 4 – насос-форсунка, 5 – блок живлення з гальванічною розв'язкою, 6 – аналогово-цифровий перетворювач, 7 – пристрій для визначення характеристики впорскування, 8 – Cam-Vox, 9 – блок управління насос-форсункою.

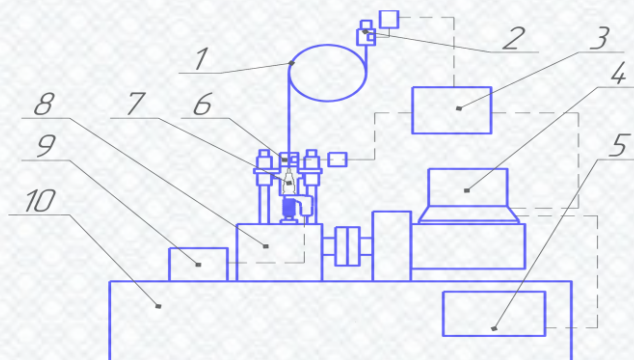
Рисунок 3.1 - Загальний вигляд експериментальної установки

Стенд оснащений програмним забезпеченням «TNVD», який дозволяє проводити електронні вимірювання, що показують числові значення частоти обертання валу приводу насос-форсунки і числа циклів подачі палива випробуваної насос-форсунки.

Для підтримки робочої температури палива в заданих межах 20 ... 40°C в стенді передбачена система термостабілізації. Температура палива, що надходить до насос-форсунки, фіксувалася стендовим термометром ТПЖ-4 ГОСТ 8.305-78.

В процесі тарування використовувався аналого-цифровий перетворювач на основі ZET Lab [23], підключений в інтерфейс персонального комп'ютера типу IBM 386 PC з тактовою частотою 62 МГц і оперативною пам'яттю 1 Мбайт.

Схема експериментальної системи з вимірювальним комплексом представлена на рисунку 3.2. Вимірювальний комплекс працює наступним чином. Випробовувана насос-форсунка 7 встановлена в Sam-box 8, на розпилювач герметично закріплений приймальний штуцер 6. Електричний паливо-підкачуючий насос з бака стенду 10 подає тестову рідину через фільтр в насос-форсунку 7. При випробуванні насос-форсунок з електронним управлінням використовується універсальний імітатор сигналів. Впорснуте насос-форсункою 7 в трубопровід 1 паливо викликає появу хвиль тиску, які перетворюються датчиками тиску і подаються на вхід аналого-цифрового перетворювача 3, де сигнал оцифровується і відправляється в пам'ять електронного блоку управління для подальшої обробки. Для загасання виниклих під час уприскування хвиль тиску на кінці трубопроводу 1 встановлений електромагнітний клапан з ефективним прохідним перетином, що змінюється згідно з фактичним режиму роботи. Для створення протитиску вприскуванню в регулюючий блок 2 вмонтований редуктор тиску, тиск відкриття якого приблизно дорівнює тиску в кінці стиснення в циліндрі двигуна.



1 –трубопровід; 2– блок регулювання; 3– АЦП ZET Lab; 4 – персональний комп'ютер; 5 – панель управління стендом; 6 – приєднувальний штуцер; 7– насос-форсунка; 8 – Cam-box; 9 – універсальний імітатор сигналів; 10– стенд КІ354.

Рисунок 3.2 - Схема експериментальної установки

Далі програма робить обробку отриманих даних і виводить результати процесу вимірювання на монітор. Застосування даної методики дозволяє істотно скоротити час на оцінку діагностичних параметрів при випробуванні насос-форсунки.

Управління електромагнітом насос-форсунки здійснюється універсальним імітатором сигналів, сила струму керуючих імпульсів вимірюється індуктивним датчиком, встановленим на проводі. Вимірювання тиску в лінії високого тиску насос-форсунки проводиться за допомогою датчика тиску, встановленого в каналі корпусу насос-форсунки між плунжером і запірним клапаном, а результат вимірювання передається через АЦП на ПК.

Для проведення експериментальних досліджень використовувалася насос-форсунка (позначення 0 414 701 019) виробництва фірми BOSCH.

Сигнал управління на насос-форсунку подавався від багатофункціонального імітатора сигналів. Цей імітатор повністю повторює форму керуючих електромагнітом сигналів провідних виробників насос-форсунок, а також форсунок паливоподаючі систем типу Common Rail і може генерувати ШІМ сигнал для управління регулятором тиску. Основні технічні характеристики імітатора представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики імітатора сигналів.

Параметр	Значення
Форма сигналу для насос-форсунок	Bosch, Denso, Delphi
Тривалість імпульсу, мс	0,15...2,5
Крок задання тривалості імпульсу, мс	0,01
Частота проходження імпульсів, хв^{-1}	100...1000
Частота ШІМ, Гц	1000
Крок задання скважності ШІМ, %	0,1

Випробування проводилися на калібрувальній рідині Shell Calibration Fluid S.9365 DIN ISO 4113 (таблиця 3.2), призначений для калібрування дизельної паливної апаратури. Калібрувальна рідина являє собою суміш маловязких мінеральних масел і спеціальних присадок, що забезпечують поліпшення окислювальної стабільності, захисту від корозії і провідності, що сприяє зниженню зносу випробовуваних агрегатів.

Таблиця 3.2 - Основні параметри рідини Shell Calibration Fluid S.9365 DIN ISO 4113

Параметр	Значення
Кінематична в'язкість, при 40°C, $\text{мм}^2/\text{с}$	2,6
Густина, при 15°C, $\text{кг}/\text{м}^3$	820
Температура спалахування у відкритому тиглі, °C	80
Температура застигання, °C	-27
Специфікації/допуски: гідравлічні рідини:	ISO 4113, SAE, Robert Bosch - VS 15665-OL, Lucas - CAV

Реєстрація миттєвих значень тиску палива в ЛВТ проводилася тензометричними перетворювачами МД-200. Порожнини датчиків, що сприймають тиск палива, виготовлені зі сплаву з вмістом титану 87%.

Тензоперетворювач працює наступним чином. Під дією тиску вимірюваного середовища сапфірово-титанова мембрана прогинається, тензорезистори змінюють свій опір, що призводить до розбалансу моста Уїтстона, який пропорційний вимірюваному тиску.

Тарувальні значення використовуваних тензоперетворювачів наведені нижче:

- початкове значення вихідного сигналу, яке відповідає нульовому значенню вимірюваного параметра при температурі $20 \pm 5^\circ\text{C}$ - 10,25 мВ;
- кінцеве значення вихідного сигналу, відповідне номінальному значенню вимірюваного параметра при температурі $20 \pm 5^\circ\text{C}$ - 137 мВ.

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики тензоперетворювача МД-200 V

Параметр	Значення
Нелінійність U_d , %	$\pm 0,2$
Варіація U_d , %	$\pm 0,05$
Діапазон вихідного сигналу U_d при $+20^\circ\text{C}$, мВ	100...200
Початкове значення вихідного сигналу при $+20^\circ\text{C}$, мВ	± 10
Зміна початкового значення вихідного сигналу від температури, % на 1°C	$\pm 0,05$
Зміна діапазону вихідного сигналу від температури, % на 1°C	$\pm 0,05$
Діапазон робочих температур, $^\circ\text{C}$	-50...+125
Діапазон вимірюваних тисків, МПа	10...200
Номінальне значення тиску, МПа	200
Граничне значення тиску, МПа	235
Опір моста при температурі $+20^\circ\text{C}$, кОм	$4,0 \pm 0,6$
Напруга живлення, В	5

Дані тензоперетворювачі відповідають ТУ 25-7301.061-89.

Параметри подачі палива при дослідженні оцінювалися з використанням комп'ютера, аналого-цифрових перетворювачів і програмних засобів реєстрації.

Для посилення сигналу з тензодатчика використовувався інструментальний підсилювач AD623 фірми Analog Devices. Devices.

Коефіцієнт посилення підсилювача задається резистором R_G номінал, якого розраховується за формулою:

$$R_G = \frac{100}{G - 1}, \quad (3.1)$$

де R_G – опір резистора, кОм;

G – необхідний коефіцієнт підсилення.

Основні технічні характеристики підсилювача представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Основні технічні характеристики підсилювача AD623ARZ

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	5
Максимальний споживчий струм, мА	575
Діапазон вибору G	1...1000
Смуга пропускання при $G > 10$, кГц	100
Точність при $G > 1$, %	0,35

Для зменшення впливу фонового шуму на знімаємі криві тиску підсилювач сигналу встановлено в безпосередній близькості від датчиків тиску. Сигнальні дроти датчиків і кабель управління роботою форсунки екрановані, екран заземлений.

Вимірювання сили струму проводилось датчиком струму (позначення 1 687 224 969) виробництва фірми BOSCH, який дозволяє виміряти силу струму до 30 ампер.

Для дослідження систем паливоподачі був зібраний інформаційно-вимірювальний комплекс. Комплекс складається із ПК Hewlett-Packard, аналогово-цифрового перетворювача ZET 210 і ряду перетворювачів.

Модуль АЦП ZET 210 [23] призначений для вимірювань параметрів сигналів в широкому частотному діапазоні (з частотою дискретизації до 500 кГц), що надходять з різних первинних перетворювачів. Підключення до ПЕОМ та живлення модуля здійснюється по шині USB 2.0. Управління та збір інформації проводиться безпосередньо по командам з комп'ютера.

3.2 Обробка експериментальних даних, оцінка похибок вимірювань

Статистична обробка експериментальних даних проводилась на персональному комп'ютері за допомогою стандартних програм спеціалізованого

програмного пакета обробки сигналів ResultViewer науково-виробничого підприємства «ZetLab».

Відносна похибка вимірювання циклової подачі палива розраховувалася за формулою:

$$\Delta = \Delta g_i / g_i = \sqrt{(\Delta T / T)^2 + (\Delta R / R)^2 + (\Delta M / M)^2} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

де $\Delta T / T$ – відносна похибка, зв'язана з таруванням вимірювальної апаратури;

$\Delta R / R$ – відносна похибка, викликана самою апаратурою;

$\Delta M / M$ – відносна похибка, зв'язана з обробкою отриманих результатів.

Похибки обробки результатів обумовлені особливостями цього процесу:

$$\Delta M / M = (0,01 / 2 \cdot 0,05) \cdot 100\% = 1\%, \quad (3.3)$$

Загальна максимальна похибка складе:

$$\Delta = \sqrt{2,55^2 + 0,7^2 + 1^2} \cdot 100\% = 2,8\%, \quad (3.4)$$

Середньоквадратична похибка приймається рівною 1/3 максимальної:

$$\sigma = 2,8 / 3 = 0,93\%. \quad (3.5)$$

Аналогічним чином були визначені величини абсолютних і відносних помилок визначення інших величин. Результати розрахунків приведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Ймовірнісна, абсолютна і відносна похибки вимірювань

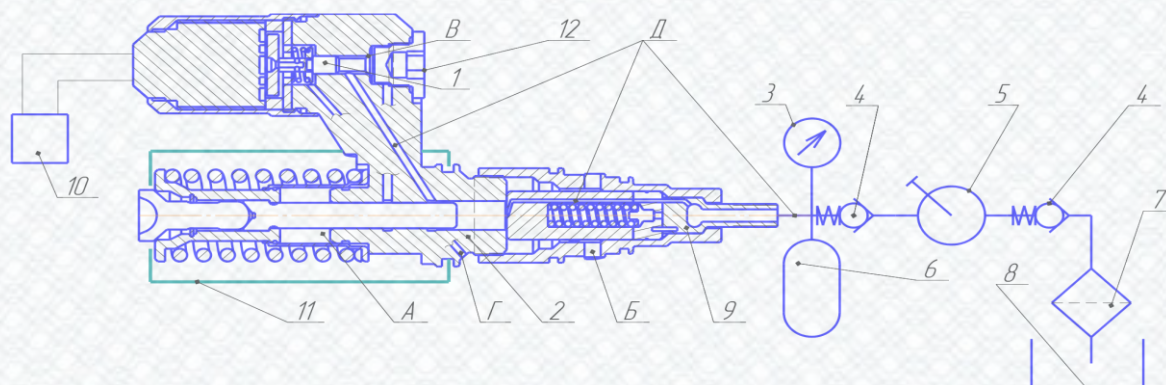
Найменування визначаємої величини	Розмірність	Абсолютна похибка (max)	Відносна похибка, %
Циклова подача палива	грам	3,48	±2,8
Тривалість вприскування Тиск: палива (до 200 МПа)	мілісекунд	0,29	±1,1
палива (до 5 МПа)	МПа	0,01	±0,5
Струм керування	МПа	0,001	±1,5
	А	0,05	±0,5

3.3 Метод експериментального дослідження технічного стану прецизійних елементів насос-форсунок

У зв'язку з тим, що основною причиною виходу з ладу насос-форсунок є знос прецизійних елементів насос-форсунок, нами запропоновано і апробовано спосіб поелементної перевірки насос-форсунок з електронним управлінням, який не вимагає спеціального устаткування і відрізняється простотою, малою трудомісткістю і точністю діагнозу [4].

Перед перевіркою насос-форсунок її плунжер жорстко фіксується, опорна пробка клапана насос-форсунок демонтується. Замість розпилювача вставляється перехідник, що сполучається зі стендом для перевірки форсунок. Випробувальний клапан насос-форсунок підключається до модулятора, який шляхом зміни скважності сигналу дозволяє управляти положенням запірного елемента.

Спосіб перевірки полягає в наступному: від широтноімпульсного модулятора 10 (рисунок 3.3) на електромагніт клапана 1 подається сигнал, при цьому клапан 1 закривається, роз'єднуючи порожнину високого тиску Д і зливний канал В.



1 - запірний клапан; 2 - насос-форсунка; 3 - манометр; 4 - клапан; 5 - ручний нагнітаючий насос; 6 - компенсаційний об'єм; 7 - паливний фільтр; 8 - паливний бак; 9 - перехідник; 10 - блок управління; 11 - фіксатор плунжера; 12 - опорна пробка. А – контроль плунжерної пари; Б – контроль розпилювача і торцевих ущільнень проставки; В – контроль герметичності запірного конуса клапана; Г – контроль направляючої запірного клапана; Д – лінія високого тиску.

Рисунок 3.3 - Схема підключення насос-форсунки до стенду

Паливо від стенду під високим тиском (до 35 МПа) через перехідник 9 надходить до випробувального електромагнітного клапану 1.

Якщо технічний стан клапана, плунжера і торцевих поверхонь в нормі, то тиск залишається постійним, в іншому випадку тиск знижується. Якщо паливо просочується через порожнину А плунжера, значить зношений плунжер, якщо витік палива йде через входні отвори Б, то негерметичні торцеві поверхні розпилювача і корпусу. Якщо через порожнину запірного конуса клапана В - то порушена герметичність запірного конуса клапана. Щільність направляючої частини клапана визначається за швидкістю падіння тиску в манометрі при просочуванні палива через канал зворотного зливу Г. Таким чином, на підставі швидкості падіння тиску і місця просочування палива можна зробити висновок про технічний стан прецизійних сполучень елементів випробуваної насос-форсунки і прийняти рішення про їх заміну або відновлення. Дана методика використовувалася для визначення впливу напрацювання насос-форсунки на технічний стан прецизійних елементів насос-форсунки.

При уявній простоті даний метод дозволяє знизити трудомісткість перевірки, не вимагає спеціального устаткування, але вельми ефективний.

3.4 Вплив змін структурних параметрів насос-форсунки на їх діагностичні параметри

Експериментальні дослідження робочого процесу насос-форсунки дизеля DC11.03 були проведені з метою уточнення і перевірки результатів розрахунково-чисельних досліджень і оцінки його отриманих математичних виразів, що описують процес роботи електромагнітного запірного клапана насос-форсунки. Для виключення впливу перешкод і випадкових відхилень експериментальні криві усереднювалися по п'яти послідовних упорскувань.

Стендові випробування насос-форсунки проводилися з метою перевірки і уточнення меж допустимих відхилень, отриманих розрахунково-чисельним моделюванням. В ході експериментів досліджувалися процеси, що відбуваються у всіх діагностичних параметрах насос-форсунки при послідовній зміні кожного структурного параметра і проводилося їх порівняння з даними, отриманими розрахунковим шляхом. Для розкриття взаємозв'язків між діагностичними і структурними параметрами, як приклад нижче представлені деякі з численних файлограм, отриманих експериментально в різних режимах роботи.

Розглянемо експериментальні осцилограми, отримані в номінальному режимі. На рисунку 3.4 представлені криві тиску в надплунжерній порожнині при зміні повітряного зазору між електромагнітом і якорем.

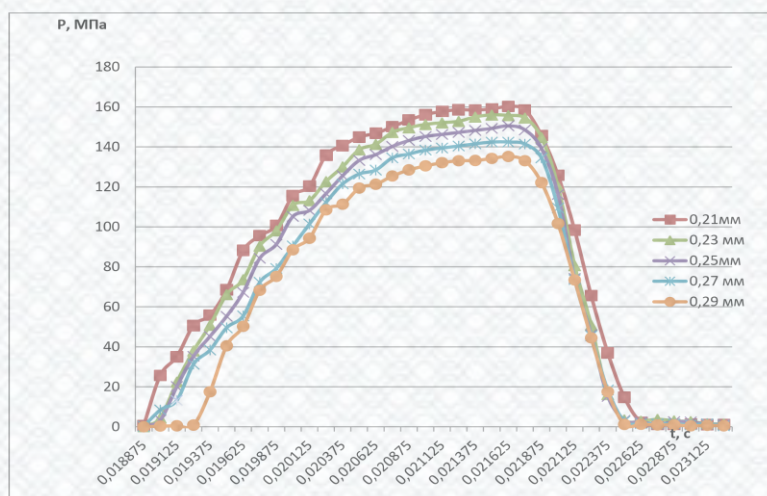


Рисунок 3.4 - Зміна тиску в надплунжерній порожнині в процесі впорскування палива при зміні повітряного зазору між електромагнітом і якорем в номінальному режимі роботи

З рисунка 3.4 видно, що збільшення повітряного зазору між якорем і електромагнітом коливається від 0,21 до 0,29 мм, призводить до запізнювання закриття клапана, внаслідок чого тиск в надплунжерній порожнині теж знижується, так як через відкритий клапан відводиться додаткова кількість палива.

Аналогічним способом були проаналізовані графіки тиску в надплунжерній порожнині для інших режимів роботи насос-форсунки (рисунки представлені нижче).

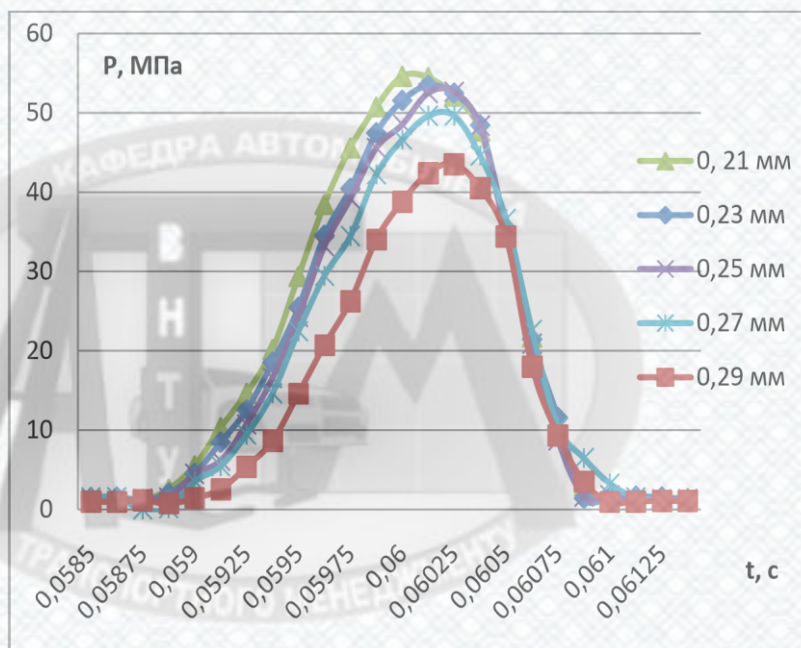


Рисунок 3.5 - Зміна тиску в надплунжерній порожнині в процесі впорску палива при зміні повітряного зазору між електромагнітом і якорем в режимі холостого ходу

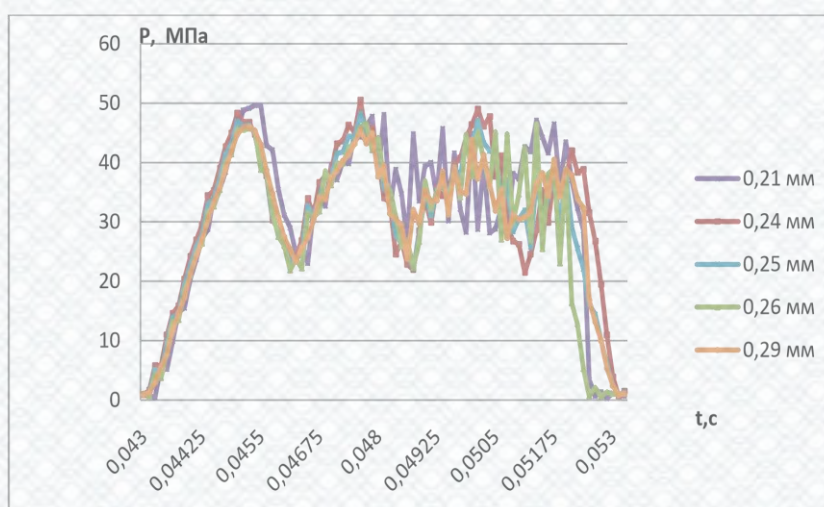


Рисунок 3.6 – Зміна тиску в надплунжерній порожнині в процесі впорску палива при зміні повітряного зазору між електромагнітом і якорем в режимі пуску

Для визначення впливу повітряного зазору між електромагнітом і якорем насос-форсунки на циклову подачу були проведені експерименти в двох режимах керуючого сигналу електромагніту при різних частоті обертання приводу насос-форсунки. Отримані результати представлені в таблиці 3.6

Таблиця 3.6 - Дані отримані при перевірці насос-форсунки зі зміною повітряного зазору

№ п/п	Повітряний зазор δ , мм	n, хв ⁻¹	Тривалість управляючого сигналу t, мкс	Циклова подача $g_{ц}$, мм ³ /ц (по тест-плану)
1	0,29	300	3,2	20,3
2		500	2,6	105,8
3		1000	2,6	176,8
4	0,27	300	3,2	24,1
5		500	2,6	112,5
6		1000	2,6	209,8
7	0,25	300	3,2	30,0 (23,9 - 49,6)
8		500	2,6	130,6 (111,3-141,6)
9		1000	2,6	220,3 (208,4-235)
10	0,23	300	3,2	49,1
11		500	2,6	136,7
12		1000	2,6	234,2
13	0,21	300	3,2	40,7
14		500	2,6	142,1
15		1000	2,6	244,8

а побудовані на їх основі залежності між величиною повітряного зазору і цикловою подачею приведені на рисунку 3.7.

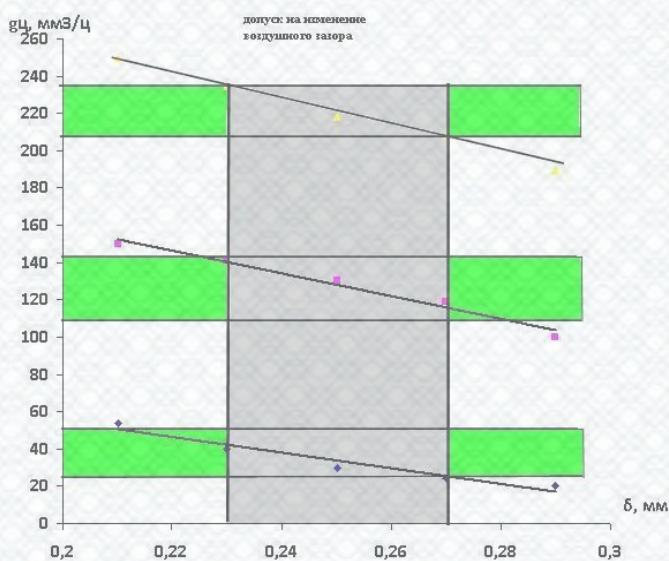


Рисунок 3.7 - Графік залежності між повітряним зазором і цикловою подачею в різних режимах роботи

Характер встановленого взаємозв'язку величини циклової подачі з величиною ходу якоря запірного клапана показані на рисунку 3.8.

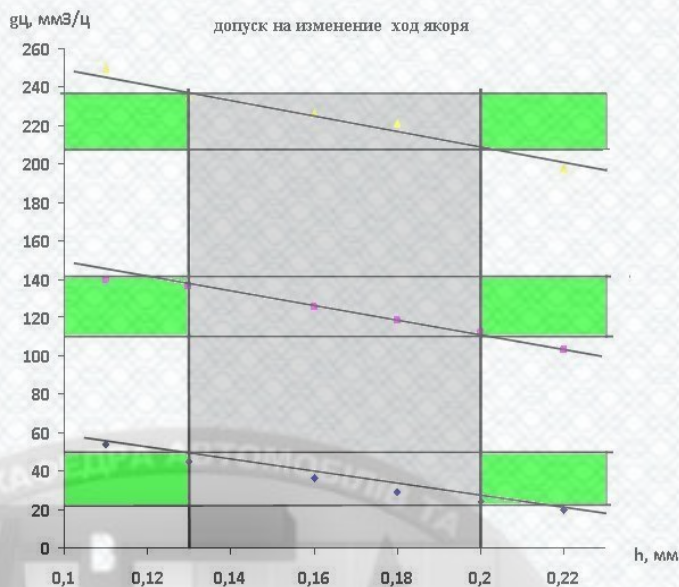
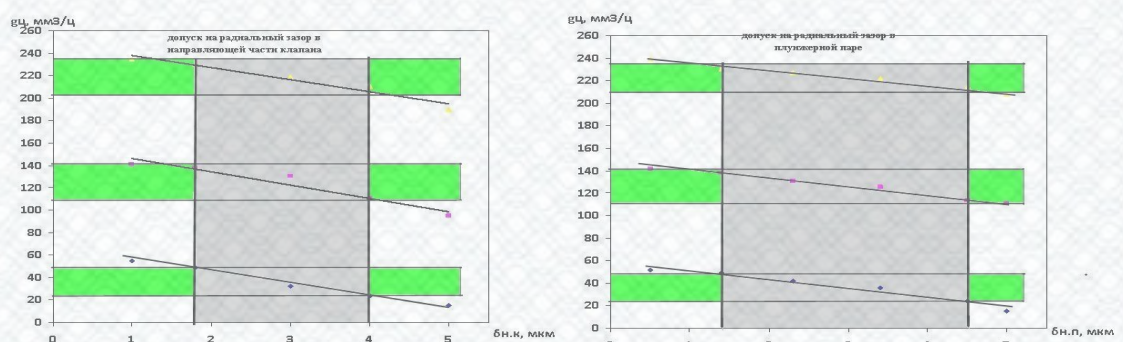


Рисунок 3.8 - Графік залежності циклової подачі палива g_c від ходу якоря h в різних режимах роботи

За графіком видно, що зменшення ходу якоря викликає збільшення циклової подачі палива, що обумовлено збільшенням тривалості впорскування при високому тиску палива в паливоподаючій системі. Допустиме відхилення циклової подачі, наприклад, в номінальному режимі роботи, нормоване заводом виробником, становить від 208,4 до 235 мм³ на рисунку показано зеленим кольором. Даній межі на графіку відповідає зміна ходу якоря в межах 0,14 (+ 0,006- 0,004 мм) на рисунку показаний сірим кольором. Видно, що найбільш інформативними режимами роботи для циклової подачі палива по структурному параметру «хід якоря» є номінальний. Аналіз даного графіка експериментально підтверджує отримані розрахунковим шляхом значення допустимих відхилень ходу якоря.

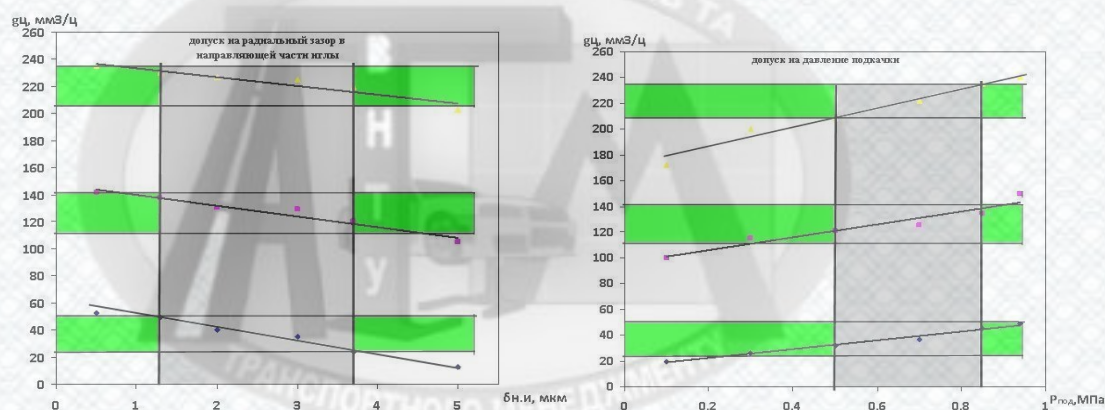
Так як в технологічному описі процесу ремонту насос-форсунок не наводиться обґрунтованих даних по допустимих відхиленнях повітряного зазору при складанні насос-форсунки, то дані залежності дозволяють з достатньою точністю визначити і аргументовано стверджувати, що при зазначених в тест-плані допустимих циклових подачах (табл. 3.7) можливі відхилення величини повітряного зазору лежать в межах $0,25 \pm 0,02$ мм.

Аналогічним способом були проаналізовані файлограми характеристик впорскування (рисунок 3.9) і складені графіки для інших 12-ти найбільш значущих структурних параметрів насос-форсунки.



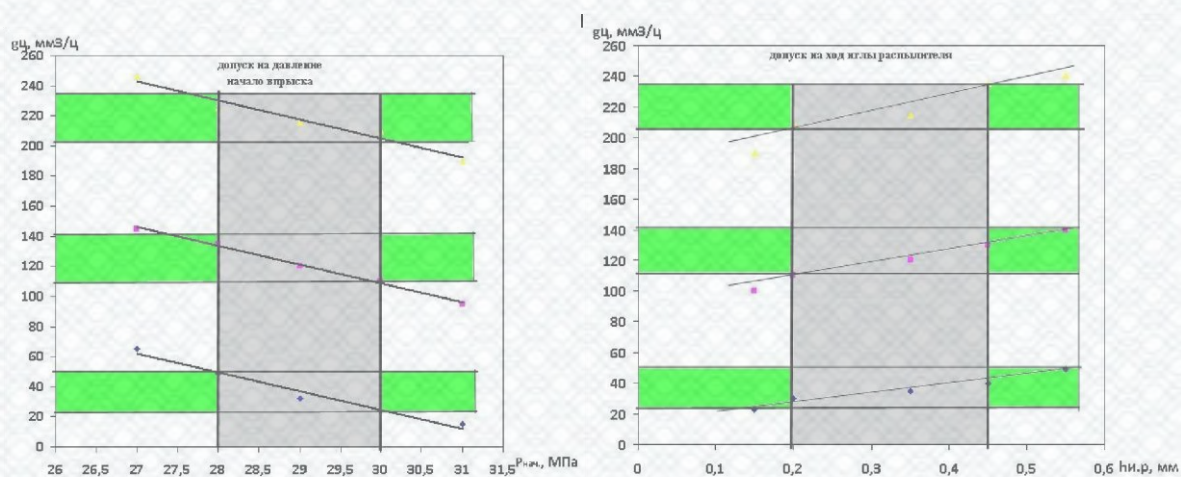
а)

б)



в)

г)



д)

е)

а) радіального зазору в направляючій частині клапана; б) радіального зазору в плунжерній парі; в) радіального зазору в направляючій частині голки розпилювача; г) тиску підкачки; д) початку впорскування; е) ходу голки розпилювача

Рисунок 3.9 - Графік залежності циклової подачі палива $g_{ц}$ в різних режимах роботи

Таким чином, в ході проведених експериментальних досліджень підтверджено достовірність отриманої розрахунковим шляхом таблиці обґрунтованих допусків структурних параметрів, що забезпечують задані показники роботи насос-форсунки і визначені режими для їх діагностування (таблиця 3.7). Доведено, що вимоги до контролю даних показників при складанні і регулюванню насос-форсунки можуть бути істотно розширені в порівнянні із заводськими вимогами, наприклад, хід якоря може досягати 0,17 мм, замість встановленого значення 0,14, тобто збільшуватися на 21,5% без помітного впливу на показники роботи насос-форсунки в цілому.

Таблиця 3.7 - Допустимі відхилення структурних параметрів насос-форсунки

Шифр	Структурний параметр	Режими	Заводські значення	Рекомендуємий допуск
S1	<u>Плунжерна пара</u> Щільність плунжерної пари (радіальний зазор)	XX	3 мкм	1,4...4,5 мкм
S4	Спрацювання штовхача	-	відсутнє	0,2...9 мкм
S5	<u>Електромагнітний клапан</u> Повітряний зазор	-	0,25 мм	0,2...0,27 мм до 0,2
S6	Герметичність запірного конуса клапана	Н	повна	мм ³ /с
S7	Хід якоря	-	0,14 мм	0,13...0,17 мм
S8	Щільність направляючої частини клапана (радіальний зазор)	XX	2,5 мкм	1,8...4,0 мкм
S14	<u>Розпилювач</u> Тиск початку впрыскування	XX	28,0 МПа	28...30 МПа
S16	Закоксування або знос сопел розпилювача (f всіх груп)	XX	0,222мм ²	0,215...0,262мм ²
S17	Щільність направляючої частини (радіальний зазор)	Н	2,5 мкм	1,3...3,7 мкм
S18	Хід голки розпилювача	Н	0,3 мм	0,2...0,45 мм
S21	<u>Корпус</u> Ефективний прохідний переріз сітчастого фільтра	Н	відсутні	0,35...0,45 мм ²
S24	Тиск підкачки	Н	0,75 МПа	0,5...0,85 МПа

Аналітична робота, виконана в ході дослідження, дозволила виявити закономірності зміни діагностичних параметрів при порушенні роботи будь-якого структурного параметра насос-форсунки. На цій основі була розроблена

методика її поелементного діагностування з можливістю визначення конкретної несправної деталі насос-форсунки за даними безрозбірного діагнозу.

Маючи отримані розрахунковим шляхом дані можна легко скласти таблиці, що показують вплив несправності кожного зі структурних параметрів на діагностичні, і за допомогою експрес-діагностики визначити який конкретно елемент підлягає ремонту або заміні.

3.5 Розробка методики поелементного діагностування насос-форсунок

Наступним етапом роботи є розробка методики поелементного діагностування, шляхом аналізу стану кожного діагностичного параметра при виході з допуску структурного параметра на різних режимах роботи дизеля (номінальний та холостий хід). Якщо при зміні конкретного структурного параметра, відхилення будь-якого з діагностичних параметрів не виходить за межі допустимих значень, то даний діагностичний параметр по відношенню до даного структурного параметру на даному режимі не інформативний «-». Якщо відхилення виходить за допустимі межі, причому так, що збільшення значення структурного параметра призводить до збільшення значення діагностичного параметра, то в таблиці записується - "↑", якщо залежність зворотна, то - "↓".

В результаті вперше була складена таблиця несправностей з відкоригованими в ході проведених експериментальних досліджень структурними параметрами. Результати відображені в таблицях 3.8, 3.9.

Діагностування насос-форсунки проводиться в двох основних режимах роботи, при яких визначаються значення всіх діагностичних показників насос-форсунки. Визначення значення всіх діагностичних показників може бути реалізовано в безмоторних і моторних умовах. В ході проведених експериментальних досліджень видно, що використання повного обсягу експериментів для діагностики деяких дефектів є надлишковим, тому в ході обробки експериментальних значень після отримання гарантованого висновку про стан насос-форсунки, діагностування може бути достроково припинено.

Таблиця 3.8 - Вплив виходу з допуску структурних параметрів насос-форсунки на її діагностичні показники (номінальний режим роботи)

Діагностичний параметр	Структурний параметр											
	Щільність направляючої плунжера	Зношення штовхача плунжера	Повітряний зазор	Герметичність запірного конуса	Хід якоря	Щільність направляючої клапана	Тиск початку впорскування	Ефективний прохідний переріз розпилювача	Щільність голки розпилювача	Хід голки розпилювача	Ефективний прохідний переріз щілинного фільтра	Тиск підкачки
$g_{ц}$	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑
$I_{см}$	-	-	↑	-	↓	-	-	-	-	-	-	-
Δt	↑	-	↑	↑	↓	↑	↓	-	↑	-	-	-
$\tau_{впр}$	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	-	↓	↑	↑	↑

Таблиця 3.9 - Вплив виходу з допуску структурних параметрів насос-форсунки на її діагностичні показники (режим холостого ходу)

Діагностичний параметр	Структурний параметр													
	Зусилля пружини клапана	Щільність клапана	Ефективний прохідний переріз розпилювача	Герметичність запірного конуса	Хід якоря	Повітряний зазор	Ефективний прохідний переріз щілинного фільтра	Щільність по торцевій поверхні розпилювача	Хід голки розпилювача	Тиск зливання	Стан електронних елементів	Зусилля пружини якоря	Втрати по ущільнюючій шайбі	Об'єм наплунжерного простору
$g_{ц}$	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑
$I_{см}$	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-
Δt	↑	↓	↓	-	-	↑	-	↓	-	-	-	↑	↑	-
$\tau_{впр}$	↓	↑	↑	↑	↑	-	↑	↓	↑	↓	-	↓	↓	↓

Наприклад (таблиця 3.8), при випробуванні насос-форсунки встановлено, що циклова подача вище нормативної, сила електромагніту і тривалість впорскування збільшилися, при цьому затримка початку впорскування зменшилася, інші показники в нормі. По тому, де більшість ознак збігаються, видно, що з достатньою часткою ймовірності причиною є порушення ходу клапана. Використання даної методики дозволяє істотно знизити трудомісткість дефектації деталей насос-форсунки, уникнути необґрунтованої заміни працездатних деталей і суттєво зменшити вартість її ремонту.

Аналогічним способом було проаналізовано вплив виходу з допуску структурних параметрів насос-форсунки на її діагностичні показники в режимі холостого ходу. Результати представлені в таблиці 3.9

За результатами таблиць можна простежити конкретну несправність насос-форсунки, тобто при виході з допуску діагностичного параметра в ту чи іншу сторону можна виявити, який структурний параметр вийшов з допустимої межі відхилення від заданого значення і вимагає коректування шляхом регулювання або заміни.

3.6 Висновки до третього розділу

1. Експериментальними дослідженнями були підтверджені отримані розрахунковим шляхом значення допустимих відхилень структурних параметрів і їх взаємозв'язок з діагностичними параметрами.

2. Вперше отримана таблиця несправностей для різних режимів роботи дизеля (номінального і холостого ходу). Використання отриманої таблиці несправностей дозволяє на основі даних, отриманих в ході безрозбірного діагностування насос-форсунки виявити її конкретний несправний елемент.

3. Підтверджено достовірність отриманої таблиці з науково-обґрунтованими допусками структурних параметрів, що забезпечують задані показники роботи насос-форсунки і визначені режими для їх діагностування. Доведено, що вимоги до контролю даних показників при складанні та

регулювання насос-форсунки можуть бути істотно розширені в порівнянні із заводськими вимогами, наприклад, хід якоря може досягати 0,17 мм, замість встановленого значення 0,14, тобто збільшуватися на 21, 5% без помітного впливу на показники роботи насос-форсунки в цілому. Необхідно відзначити, що згідно з офіційною технології фірми Bosch при будь-якому відхиленні даного параметра від 0,14 форсунка не підлягає ремонту і утилізується.



РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ТА ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ В ВИРОБНИЦТВО

У даній роботі пропонується стенд для діагностування різних типів насос-форсунок. Також діагностичний модуль для діагностики електромагнітних клапанів насос-форсунок. Економічний ефект від використання розроблених пристроїв досягається за рахунок зниження трудомісткості діагностичних і ремонтних робіт при випробуванні насос-форсунок.

4.1 Розробка стенду для випробування насос-форсунок з безступінчастим регулюванням ходу плунжера

В даний час для підвищення техніко-економічних показників дизелів застосовують різні типи насос-форсунок. Для випробування насос-форсунок використовують спеціальне обладнання, яке включає в себе пристрій САМ-ВОХ. Цей пристрій являє собою окремий блок, який встановлюється на стенд при випробуванні насос-форсунок, основною функцією якого є кріплення насос-форсунок, привід в рух плунжера і подача палива до насос-форсунки [5].

Привід кулачкового вала САМ-ВОХ здійснюється від силового приводу стенду. Для вимірювання циклової подачі використовується система збору палива самого стенду. Подача і злив палива також здійснюється від базового стенду.

Існують різні конструкції САМ-ВОХ, що відрізняються в основному способом приводу плунжера насос-форсунки в рух і конструкцією установочних адаптерів. Основна складність полягає в тому, щоб забезпечити заданий (для кожної насос-форсунки індивідуальний) хід плунжера. Далеко не будь-яке обладнання може забезпечити шляхом регулювання заданий заводом-виготовлювачем хід плунжера.

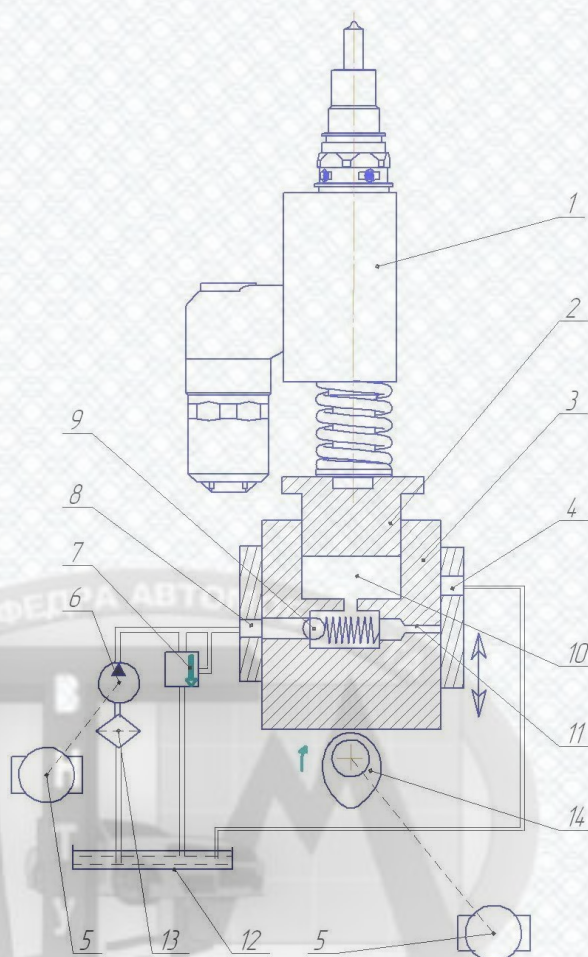
Пропонований стенд для випробування насос-форсунок забезпечує новий технічний ефект - можливість безрозбірного регулювання величини ходу рухомого штовхача плунжера насос-форсунки в залежності від моделі, яку випробовують насос-форсунки, який досягається тим, що рухомий штовхач, який діє на плунжер випробовуваної насос-форсунки за допомогою поршня і підтримуючий пружиною і тиском мастила, забезпечує можливість регулювання величини ходу плунжера, шляхом переміщення рухомої втулки, яка містить два отвори, розташованих на різних рівнях.

За рахунок реалізації безступінчастої зміни величини ходу рухомого штовхача плунжера в стенді для випробування насос-форсунок з'являється можливість випробування різних моделей насос-форсунок, які конструктивно мають різний робочий хід на одному стенді, що дозволяє скоротити трудомісткість випробування насос-форсунок, підвищити продуктивність і зменшити собівартість виконуваних робіт.

Стенд для випробувань насос-форсунок з гідромеханічним приводом включає в себе рухомий в корпусі штовхач 3 (рисунок 5.1), з жиклером 11, зворотним клапаном 9 і поршнем 2, встановленим співвісно з ним рухливий сектор 4, а також масляний насос 6, що приводиться в рух електродвигуном 5, запобіжний клапан 7, фільтр 13, масляний бак 12, привідний вал 14.

Стенд працює наступним чином. Привідний вал 15 за допомогою кулачка переміщує штовхач 3 в осьовому напрямку. У нижньому положенні канал зворотного клапана 9 поєднується з порожниною 8 дозарядки і мастило під тиском, створюваним насосом, 6 надходить в порожнину 10 високого тиску. Поршень 2 переміщується до упору в плунжер насос-форсунки 1 вибираючи вільний зазор. При набіганні кулачка привідного вала 14 на штовхач, останній переміщується вгору.

Порожнина 10 високого тиску закривається зворотним клапаном 9 і за рахунок нестискання мастила, що знаходиться в порожнині 10 високого тиску, зусилля передається на поршень насос-форсунки 1.



1-насос-форсунка, 2- упорний поршень, 3- штовхач, 4- рухомий сектор, 5- електродвигун, 6- масляний насос, 7- запобіжний клапан, 8- порожнина дозарядки, 9- зворотній клапан, 10- порожнина високого тиску, 11- жиклер, 12- масляний бак, 13- фільтр, 14- привідний вал.

Рисунок 4.1 - Стенд для дослідження насос-форсунок з безступінчастим регулюванням ходу плунжера

Переміщення плунжера триває до моменту суміщення каналу жиклера 11 із зливним каналом рухомого сектора 4. В цей момент мастило зливається з порожнини 10 високого тиску, таким чином, поршень 2 припиняє свій рух, незважаючи на те, що штовхач 3 ще рухається вгору. При опусканні штовхача 3 цикл повторюється.

Таким чином, шляхом переміщення рухомого сектора 4 регулювальним гвинтом забезпечується можливість безступінчастого регулювання ходу рухомого штовхача плунжера випробовуваної насос-форсунки в залежності від

її моделі, що дозволяє випробовувати на одному стенді насос-форсунки з різною величиною ходу плунжера.

4.2 Діагностичний модуль з програмним забезпеченням

В процесі експлуатації сідло запірного клапана зношується, в результаті чого хід клапана збільшується і, відповідно, змінюється повітряний зазор, що призводить до зміни початку подачі і кількості палива, що впорскується. Внаслідок збільшення зазору циклова подача знижується і початок впорскування палива стає більш пізнім [21].

Згідно тест-плану заводу виробника насос-форсунки, зміна періоду часу з моменту подачі керуючого імпульсу до закриття клапана (VIP сигнал) не повинна бути більшою 500 мкс. При проведенні експериментальних досліджень з оцінки взаємозв'язку між значеннями VIP сигналу і скважністю широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) було встановлено, що для насос-форсунки допускові граничні умови VIP сигналу відповідають 2% відхилення по скважності Шиман.

Для визначення залежності повітряного зазору від величини шпаруватості електромагніту були проведені експерименти, в ході яких змінювався повітряний зазор і оцінювалася шпаруватість відкриття і закриття клапана.

Результати експерименту представлені на рисунку 4.2.

В ході проведення експериментальних досліджень з перевірки повітряного зазору електромагнітного клапана насос-форсунки ми отримали графік залежності скважності керуючого сигналу від повітряного зазору (рисунок 4.2). З отриманих графіків видно, як повітряний зазор впливає на шпаруватість електромагніту. Для визначення впливу повітряного зазору на циклову подачу були проведені стендові випробування насос-форсунки. При вимірі скважності еталонної насос-форсунки ми отримали скважність моменту закриття клапана рівну 34% і скважність моменту відкриття клапана 20%.

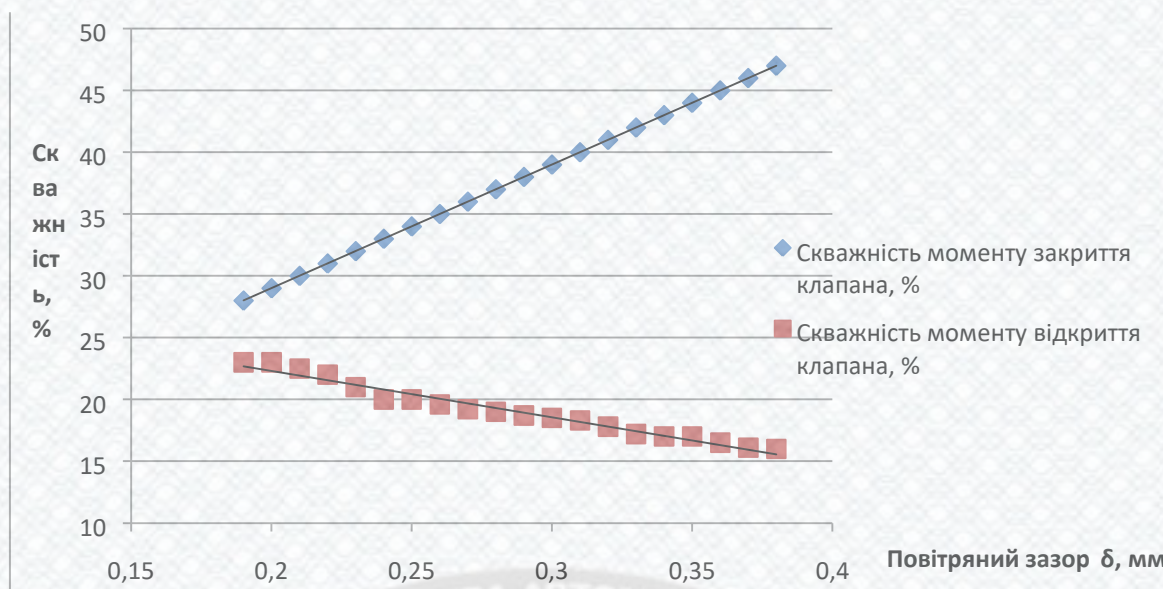


Рисунок 4.2 - Графік залежності скважності управляючого сигналу від повітряного зазору

З першого експерименту, ми знаємо, що допустимі межі відхилення сигналу по скважності становлять 2%, таким чином $34\% \pm 2\%$ і $20\% \pm 2\%$. Для виявлення залежностей експеримент проводили в двох режимах керуючого сигналу електромагніту при різних режимах частоти обертання приводу насос-форсунки. Отримані значення заносилися в журнал стендових випробувань (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Журнал стендових досліджень

№ п/п	Виміряні параметри			Вимірювальні параметри				gц, мм ³ /ц еталонний насос-форсунки
	n, хв ⁻¹	δ, мм	t, мкс	t, °C	Скважність моменту закриття клапана, %	Скважність моменту відкриття клапана, %	gц, мм ³ /ц	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	300	0,27	3400	40	36	19,2	24,3	-
2	500		2800	40			118,8	-
3	800		2800	40			169,1	-
4	1000		2800	40			193,2	-
5	1200		2800	40			208,7	-

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	300	0,25	3400	40	34	20	32,3	23,9÷49,6
7	500		2800	40			135,6	116÷147,6
8	800		2800	40			177,0	167,6÷189
9	1000		2800	40			205,3	192,4÷216,9
10	1200		2800	40			215,9	208,4÷235
11	300	0,23	3400	40	32	21,0	45,7	-
12	500		2800	40			145,7	-
13	800		2800	40			189	-
14	1000		2800	40			216,2	-
15	1200		2800	40			234,8	-

Згідно тест-плану заводу виробника відхилення циклової подачі в експлуатації не повинно виходити за допустимий діапазон, в нашому випадку він знаходиться в межах допустимих значень. Це підтверджує, що прийнятий допусковий діапазон в 2% відповідає вимозі граничного відхилення за величиною циклової подачі.

Аналіз отриманих даних дозволив розробити діагностичний модуль з програмним забезпеченням, що дозволяє діагностувати насос-форсунки на двигуні без їх демонтажу. Модуль включає в себе: персональний комп'ютер, блок управління, роз'єми для підключення до блоку управління різних автомобілів. Для роботи діагностичного модуля розроблена програма, яка дозволяє виміряти скважність сигналу.

Вікно програми представлено на рисунку 4.3.

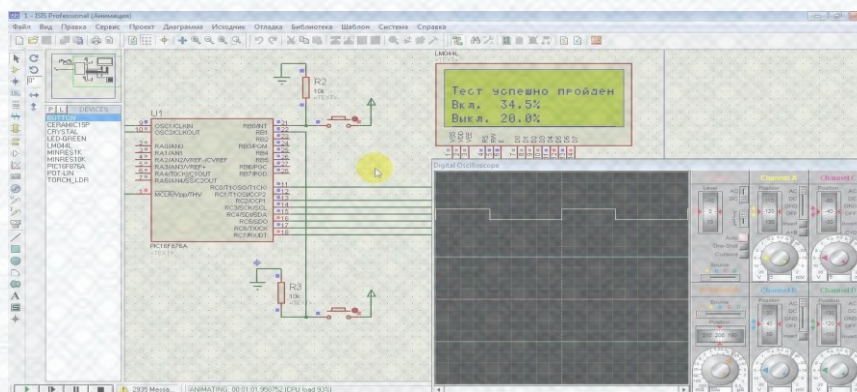


Рисунок 4.3 - Вид робочого стола програми при діагностуванні насос-форсунок



Рисунок 4.4 – Загальний вигляд діагностичного модуля

На основі проведених досліджень була розроблена методика практичного використання розробленого діагностичного модуля насос-форсунок дизелів.

Діагностичний комплекс дозволяє безрозбірним методом оцінити технічний стан електромагнітного клапана насос-форсунки.

Застосування даної методики дозволяє істотно скоротити час на пошук несправної насос-форсунки і знизити вартість ремонту шляхом демонтажу з двигуна автомобіля тільки несправної насос-форсунки. Для практичного використання розробленого діагностичного модуля для оцінки працездатності насос-форсунок дизелів на основі аналізу експериментальних досліджень, була розроблена відповідна методика.

Запропонований метод діагностування насос-форсунок реалізується безпосередньо на двигуні, це дозволяє виявляти несправні насос-форсунки швидко і точно, крім того, з використанням даної методики можна говорити про залишковий ресурс роботи клапанного вузла насос-форсунки що призводить до скорочення простою в ремонті. Скорочення тривалості і зниження собівартості ремонтно-обслуговуючих робіт є ефективними напрямками підвищення працездатності автомобільного парку.

Запропоновано алгоритм управління діагностуванням насос-форсунок. Електрична схема забезпечення роботи клапана може розроблятися з використанням серійно випускаємих елементів електроніки.

Переваги запропонованого методу:

- не вимагає застосування складного лабораторного обладнання і завдяки цьому може застосовуватися в польових умовах для оцінки доремонтного технічного стану насос-форсунки і в невеликих ремонтних підприємствах для оцінки якості ремонту насос-форсунки;

- технічний стан насос-форсунки визначається по відношенню до ВІР сигналу - це створює реальні передумови для високої точності визначення технічного стану клапанного вузла насос-форсунки на двигуні.

4.3 Визначення економічного ефекту запропонованих міроприємств

Економічна ефективність впровадження результатів складається з зниження вартості технічного сервісу за рахунок скорочення часу на діагностування насос-форсунок, поліпшення експлуатаційних і екологічних параметрів роботи дизеля, зниження витрат, дотриманні екологічних показників.

У таблиці 4.1 наведено порівняння кількості діагностованих параметрів розробленого стенду з наявними стендами для діагностування насос-форсунок.

Таблиця 4.2 - Порівняння стендів для діагностування насос-форсунок

Параметри	Стенди		
	Bosch EPS 815	Nova Ditex	Розробка
Струм управління форсункою	+	-	+
Період затримки вприскування	+	-	+
Тривалість вприскування	+	-	+
Величина циклової подачі	+	+	+
Витрати на управління	+	+	-
Крутизна переднього і заднього фронту характеристики	-	-	+
Максимальна витрата через сопла розпилювача	-	-	+
Регістрація мультивприску	-	-	+

Як видно з таблиці 4.1 жоден з наявних стендів не дозволяє реєструвати мультивприск і визначити крутизну переднього і заднього фронту характеристики впорскування.

Таким чином, розроблений стенд за кількістю діагностованих параметрів перебиває стенди Bosch EPS 815 і Nova Ditex.

Для розрахунку економічної ефективності впровадження результатів досліджень в ПП «Беркут транс» був проведений хронометраж процесу діагностування насос-форсунки Bosch 0 414701019 на розробленому стенді (таблиця 4.3).

Хронометраж діагностування однієї насос-форсунки за допомогою стенду за розробленою технологією діагностування показав, що весь процес визначення працездатності і виявлення конкретної несправності насос-форсунки скорочується до 15 хвилин.

Таблиця 4.3 - Технологія діагностування насос-форсунки на стенді

№	Контрольно-діагностична операція	Трудо-місткість, люд.-год.	Інструмент, пристрої	Вказівки і технічні вимоги
1	2	3	4	5
1	Опитування водія на предмет роботи ППС	0,015	-	Попередньо скласти уявлення про наявність несправностей і оцінити технічний стан насос-форсунки на основі отриманої інформації
2*	Перевірка комплектності	-	-	
3*	Підготовка насос-форсунки до діагностування	-	Миючий засіб, щітка, чиста ганчірка	Прибрати грубі відкладення, помити насос-форсунку і провести її зовнішній огляд на предмети корозії і механічних пошкоджень
4	Встановити насос-форсунку на стенд для досліджень насос-форсунок	0,015	Ключ гайковий 17-19	Встановити насос-форсунку в приймальний штуцер стенду і зафіксувати кронштейном
5	Приєднати паливопровід низького тиску до насос-форсунки	0,007	Ключ гайковий 17-19,	Недопустимі підтікання палива.

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5
6	Приєднати трубку вимірювання витрати палива	0,007	Плоскогубці, викрутка	Недопустимі підтікання палива.
7	Запустити програму і провести попередню перевірку	0,015	-	Огляд витікання палива і роботи системи. При необхідності ліквідувати помилки
8	Перевірка на герметичність	0,015	-	Тиск в системі 160 МПа
9	Перевірка насос-форсунки в режимі холостого ходу	0,03	-	Встановити параметри (тиск, частота і тривалість імпульсів), що відповідають режиму холостого ходу.
10	Перевірка насос-форсунки в номінальному режимі	0,03	-	Встановити параметри (тиск, частота і тривалість імпульсів), що відповідають номінальному режиму.
11	Перевірка насос-форсунки в пусковому режимі	0,03	-	Встановити параметри (тиск, частота і тривалість імпульсів), що відповідають пусковому режиму.
12	Перевірка насос-форсунки в режимі попереднього впорску	0,03	-	Встановити параметри (тиск, частота і тривалість імпульсів), що відповідають режиму попереднього впорскування.
13	Проаналізувати отримані дані і заповнити контрольно-діагностичну карту	0,03	-	Аналіз і діагноз стану насос - форсунки проводиться за допомогою даних таблиць несправностей. Діагноз зберігається в базі даних ПК і відправляється на друк.
14	Виключити стенд. Демонтувати насос-форсунку	0,03	-	Операції проводити в зворотному порядку пунктів 6, 5, 4.
Разом		0,254		

* Робота не являється діагностичною, а відноситься до числа операцій підготовки

У порівнянні з технологією Bosch і Nova Diteх загальна трудомісткість ремонту електрокерованих насос-форсунок скорочується до 1,5 люд.-год. (таблиця 4.4). тобто 1,9 рази на діагностичні роботи і на 24% скорочується загальна трудомісткість ремонтних робіт.

Таблиця 4.4 - Обсяг ремонту і трудомісткість діагностування

Параметр	Стенди		
	Bosch EPS 815	Nova Ditex	Разработка
Трудомісткість, люд.-год.:			
діагностування	0,5	0,43	0,254
ремонт	1	1	1
післяремонтне діагностування	0,5	0,43	0,254
загальна	2	1,86	1,508
Об'єм ремонту, шт. в рік	598	654	755

4.4 Висновки до четвертого розділу

1. Завдяки зниженню трудомісткості процесу діагностування з'явилася можливість відремонтувати протягом року додатково 157 насос-форсунок, які можуть принести підприємству додаткові доходи в розмірі 120000 грн.

2. Впровадження розроблених методів і засобів діагностування насос-форсунок в ПП «Беркут транс» дозволило збільшити обсяг виконаних робіт та отримати додатковий дохід в розмірі 120 тис. грн. на рік.

ВИСНОВКИ

1. Поелементний аналіз основних конструкцій насос-форсунок з електронним управлінням дозволив описати для них 24 структурних параметри, що найбільш істотно впливають на показники роботи насос-форсунки і встановити види впливу на кожен з них для повернення насос-форсунки в справний стан. Встановлено, що коригувати показники роботи насос-форсунки найбільш ефективно шляхом впливу на запірний клапан.

2. Встановлено, що при розрахунку робочих процесів насос-форсунок з напрацюванням необхідно враховувати природній знос деталей і витік в прецизійних з'єднаннях. Отримано аналітичні вирази для визначення витоків в прецизійних сполученнях і зміни повітряного зазору електромагніту, якими доповнена класична модель гідродинамічного розрахунку паливоподаючої апаратури. Доведено, що при розрахунку процесу подачі палива насос-форсунками з урахуванням отриманих залежностей достовірність розрахунків підвищується паралельно зі збільшенням напрацювання насос-форсунки.

3. Розрахунково-чисельними дослідженнями обґрунтовані допустимі відхилення структурних параметрів насос-форсунок з напрацюванням від значень, рекомендованих виробниками, і режими, на яких вони найбільш сильно проявляються. Експериментально підтверджені результати чисельних досліджень і встановлені допустимі відхилення 12-ти найбільш значущих структурних параметрів насос-форсунок за умови, що всі діагностичні показники відповідають показникам справної насос-форсунки.

Доведено, що вимоги до контролю даних показників при складанні та регулюванні насос-форсунки можуть бути істотно розширені в порівнянні із заводськими вимогами, наприклад, хід якоря може досягати 0,17 мм, замість встановленого значення 0,14мм., тобто збільшуватися на 21,5% без помітного впливу на показники роботи насос-форсунки в цілому. Наявність таких даних робить можливим відмовитися від тест-планів виробників і виробити незалежні рекомендації по ремонту насос-форсунок.

4. Розроблено та впроваджено у виробничий процес такі нові методи і засоби технічного обслуговування насос-форсунок дизелів:

- методика поелементного безрозбірного діагностування насос-форсунок з електронним управлінням з можливістю визначення конкретної несправної деталі насос-форсунки за даними безрозбірного діагнозу;

- діагностичний модуль для перевірки електромагнітних клапанів насос-форсунок, що дозволяє безрозбірним методом, прямо на двигуні, визначити повітряний зазор між електромагнітом і якорем;

- стенд для випробування насос-форсунок, що дозволяє проводити безступінчасте регулювання ходу плунжера залежно від моделі випробовуваної насос-форсунки, що істотно знижує трудомісткість налаштування обладнання при випробуванні насос-форсунок.

5. Визначено економічну ефективність застосування розроблених методів і засобів безрозбірного діагностування насос-форсунок з виявленням конкретного несправного елемента. Так, витрати часу на випробування насос-форсунки Bosch 0414701019 на стенді EPS 815 оцінюються нормою трудомісткості 0,5 люд. годин, а на розробленому стенді за методикою автора вони складають всього 0,254 люд. годин, тобто трудомісткість ремонту знижується в 1,9 рази.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Виробничо-технічна база підприємств автомобільного транспорту. Навчальний посібник / [В.В. Біліченко, В.Л. Крещенецький, С.О. Романюк, Є.В. Смирнов]. – Вінниця, ВНТУ, 2013. – режим доступу : <http://posibnyky.vntu.edu.ua/newauto/5/index.html>.
2. Волков В. П., Грицук І. В., Волков Ю. В. та ін. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. Харків, 2018.
3. Казак В.М. Надійність та діагностика електрообладнання. Навч. посібник під грифом МОН /Казак В.М., Доценко Б.І., Шепелєв Ю.І., Шевчук Д.О. – К.: Видавництво НАУ, 2013. – 275 с.
4. Канарчук В. Є., Курніков І. П. Виробничі системи на транспорті. Київ : Вища школа, 1997. 359 с.
5. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ : Літера ЛТД, 2017. 224 с.
6. Кукурудзяк Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія ТО і ПР. Вінниця : ВНТУ, 2022. 225 с.
7. Кукурудзяк Ю.Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія обслуговування. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 227 с.
8. Кукурудзяк Ю.Ю., Біліченко В.В. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР.: Навчальний посібник. –Вінниця: ВНТУ, 2010. – 198 с.
9. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів : технологія : підручник / Лудченко О. А. – К. : Вища шк., 2007. – 527 с
10. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. К.: "Знання-Прес", 2003 р. 388с.
11. Методи оцінювання якості технологічних процесів у системах автосервісу: Монографія / [Л.А. Тарандушка, В.П. Матейчик, І.В. Грицук, Н.Л. Костьян, О.Д. Марков, І.П. Тарандушка] - Черкаси. : ЧДТУ, 2021. – 212 с

12. Огневий В.О., Мурга Б.О. Аналіз методів діагностування насос-форсунок дизельних двигунів // XVII міжнародна науково-технічна конференція “Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту”, Житомир 2024 р.

13. Технічна експлуатація автомобілів: Навчальний посібник / В.М. Дембіцький, В.І. Павлюк, В.М. Придюк – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – 473 с

14. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: Навчальний посібник / [Форнальчик Є.Ю., Оліскевич і ін.]. Л., Афіша, 2004. – 492с.

15. Bosch Dianostics Soft. ESI [tronic] Automotive. Diagnosis and Technics: A, C, D, E, F, K, M, P, W. – Robert Bosch GmbH. Bosch Automotive Aftermarket. D-76225 Karlsrushe, 2005/1.

16. Denso. Electronical Technical Service Information, 2002.

17. Fuel injection pump model Covec-F. Pub. № EE14E-11190. Service Manual: Adjustment and Inspection. Printing: July 2003. Published by: Bosch K.K.: Sales Automotive Aftermarket Division. Printed in Japan.

18. Fuel injection pump model Covec-T (for Nissan Diesel). Pub. № EE14E11200. Service Manual: Repair Service and Maintenance. Printing: March 2003. Published by: Bosch Automotive Systems Corporation: Service Department. Printed in Japan.

19. Fuel injection pump model Covec-T (for Nissan Diesel). Pub. № EE14E11210. Service Manual: Construction and Operation. Printing: June 2003. Published by: Bosch Automotive Systems Corporation: Service Department. Printed in Japan.

20. Fuel injection pump model VRZ. Pub. № EE14E-11161. Service Manual: Repair Service and Maintenance. Printing: July 2003. Published by: Bosch K.K.: Sales Automotive Aftermarket Division. Printed in Japan.

21. Kamimoto T., Yokota H., Kobayashi H. Effect of High Pressure Injection Soot Formation in a Rapid Compression Machine to Stimulate Diesel Flames / SAE Technical Paper Series. – 1987. - №871610. – P. 9.

22. Lindgren M. Multiplexed vehicle electronics tutorial/M. Lindgren. -Mecel. 1995. -123 pp.
23. Needham J.R., Doyle D.M., Nicol A.J. The Low NO_x in the Truck Engine // SAE Technical Paper Series. - 1991. - №910731. - P.1-10.
24. Operating Instructions. Injection pump test bench EPS 807/815. Robert Bosch GmbH. Automotive Aftermarket. Test Equipment. 1 689 979 672 UBF 851/1 De,En,Fr,Sp,It (03.12.2003). Printed in Germany.
25. Operating Instructions. KMA 802/822. Description of unit. Robert Bosch GmbH. Automotive Aftermarket. Test Equipment. 1 689 979 674 UBF 851/3 De,En,Fr,Sp,It,Sv (2005-02-28). Printed in Germany.
26. Patent №162,664, G01M 19/00. Cam Box assembly.- Berman, Aisenberg & Platt. - Filed. 24.06.1980. Pub. 01.06.1982.
27. Ronald K. Jurgен Automotive electronics handbook/K. Jurgен Ronald. -In: McGraw-Hill. -1999. -364 pp.



ДОДАТКИ



Додаток А

Ілюстративна частина

Підвищення ефективності визначення технічного стану насос-форсунок
двигунів автомобілів приватного підприємства «Беркут транс» місто Вінниця

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Підвищення ефективності визначення технічного стану насос-форсунок двигунів автомобілів приватного підприємства «Беркут транс» місто Вінниця

Ілюстративна частина

до магістерської кваліфікаційної роботи
зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт
08-29.МКР.011.00.000

Керівник роботи к.е.н., доцент

Огневий В.О.

Розробив студент гр. ІАТ-23м

Мурга Б.О.

Вінниця ВНТУ 2024

2

Метою роботи є підвищення ефективності діагностування та ремонту насос-форсунок шляхом розробки методу та засобів поелементного їх діагностування з обґрунтуванням допустимих відхилень структурних параметрів насос-форсунок від контрольних значень з урахуванням їх напрацювання.

Для досягнення зазначеної мети в роботі були поставлені наступні завдання:

1. провести комплексний аналіз показників якості роботи насос-форсунок з електронним управлінням, існуючих методів і засобів їх діагностування;
2. уточнити математичну модель гідродинамічного розрахунку робочого процесу насос-форсунки з урахуванням природних зносів її структурних елементів в процесі експлуатації;
3. обґрунтувати допустимі відхилення структурних параметрів насос-форсунки від значень, рекомендованих виробниками з урахуванням її напрацювання;
4. удосконалити методику поелементного діагностування технічного стану насос-форсунок і діагностичні засоби для оцінки параметрів їх роботи;
5. провести економічну оцінку запропонованих заходів.

Об'єктом дослідження є процес діагностування насос-форсунок автомобільних дизелів.

Предметом дослідження є закономірності впливу відхилень структурних параметрів насос-форсунок на їх вихідні діагностичні параметри з урахуванням напрацювання.

Наукова новизна.

- на основі аналізу конструктивних схем насос-форсунок з електронним управлінням виявлені найбільш значущі структурні параметри і встановлено взаємозв'язки між ними і показниками роботи насос-форсунок в цілому;
- отримано аналітичні вирази для визначення витоків в прецизійних сполученнях і змін зусилля електромагніта при порушенні повітряного зазору, що дозволяють підвищити достовірність гідродинамічного розрахунку процесу подачі палива насос-форсункою шляхом обліку зносів її елементів в процесі експлуатації;
- встановлені функціональні залежності діагностичних параметрів насос-форсунок від фактичного стану її конструктивних елементів;
- удосконалена методика поелементного безрозбірної діагностування насос-форсунок з електронним управлінням з можливістю визначення конкретної несправної деталі насос-форсунок за даними безрозбірної діагнозу.

Практичне значення отриманих результатів

Удосконалений стенд для випробування насос-форсунок, який дозволяє проводити безступінчасте регулювання величини ходу плунжера для різних моделей випробовуваних насос-форсунок.

Класифікація засобів діагностики паливної апаратури

4

Класифікаційні ознаки	Засоби діагностування
Ступінь автоматизації	Механізовані; автоматизовані; автоматичні
Призначення і підлаштування до діагностування елементів ПА	Пристрої і прилади для вимірювання окремих параметрів або вузлів; стенди для дослідження ППС; діагностичні системи і мотортестери;
Виконання	Переносні; пересувні; стаціонарні; бортові; частина загальної системи управління роботою дизеля
Стан об'єкта діагностування	Використані при: нефункціонуючому об'єкті; функціонуючому об'єкті; тестових дій на об'єкті; будь-яких станів об'єкта
Характеристика інформації по діагностованому об'єкту	Кількісна оцінка; якісна оцінка; кількісна і (або) якісна оцінка з прогнозуванням стану
Адаптивність	Всі операції діагностування проводяться за участі оператора (майстра-наладчика); налаштування параметрів і режимів діагностування проводиться оператором; самоналаштовувані
Спектр вирішених задач	Інформація про стан, прогнозування і рекомендації, формування бази даних для автоматичного налаштування і управління роботою ДВЗ

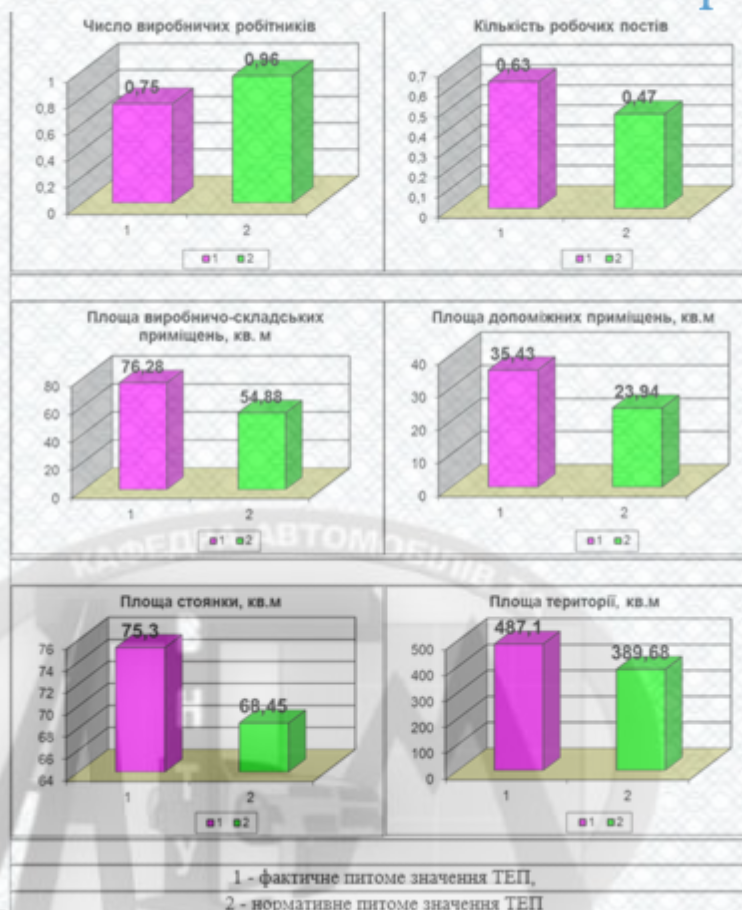
Класифікація методів діагностування систем подачі палива

Класифікаційні ознаки	Методи діагностування
Задачі діагностування	Перевірка працездатності; перевірка правильності функціонування; пошук дефектів
Застосування діагностичних засобів	Органолептичні; інструментальні
Характер вимірюваних параметрів	Прямий; опосередкований
Періодичність діагностування	Регламентний; заявочний; безперервний
Умови проведення діагностування	Польові; станція ТО; безмоторні;
По ступені розборки об'єкта діагностування	Розбірна; нерозбірна
Режим роботи об'єкта	При встановленому режимі; при невстановленому режимі; при статодинамічному режимі
Діагностичні параметри	Параметри робочого процесу; параметри супутніх процесів; структурні параметри
Використаний фізичний процес	<u>Віброакустичний</u> ; <u>магнітоелектричний</u> ; <u>спектрографічний</u> ; тепловий; гідравлічний; <u>газоаналітичний</u> ; кінематичний; інші

Структурні елементи системи подачі палива з насос-форсункою



Техніко-економічні показники ПП «Беркут-транс»⁷



Активация

8

Інформаційна модель функціонування насос-форсунки



Статистика відмов насос-форсунок фірми Bosch

9

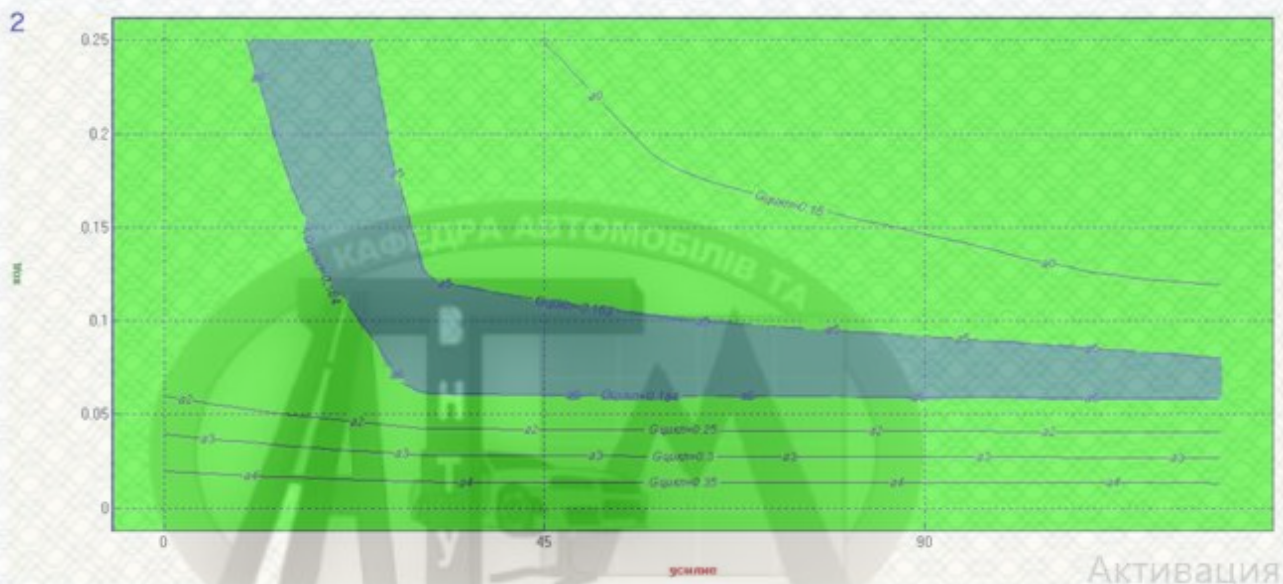
№ п/п	Найменування	Характеристика	Процентне співвідношення
1	Клапан	Порушення герметичності запірного конуса	40%
2		Збільшення зазору між клапаном і електромагнітом	15%
3		Зношення направляючої частини (втрата герметичності)	20%
4	Плунжер	Механічне зношення (втрата герметичності)	5%
5		Заклинювання	1%
6	Електромагніт	Порушення герметичності ущільнюючих кілець	0,5%
7		Дефект обмотки (замикання, розрив)	1,5%
8	Розпилювач	Механічна поломка пружини голки	9%
9		Порушення герметичності запірного конуса	30%
10		Механічне пошкодження торцевих ущільнень	2%
11		Знос направляючої частини голки (втрата герметичності)	30%
12		<u>Закоксування отворів розпилювача</u>	4%
13		<u>Зниження тиску вприскування</u>	20%
14	Штовхач	Механічне зношення	1%
15	Сітчастий фільтр	Забруднення	1,6%
16	Корпус	Механічне зношення	7%
17		<u>Ржавчина</u>	3%

10

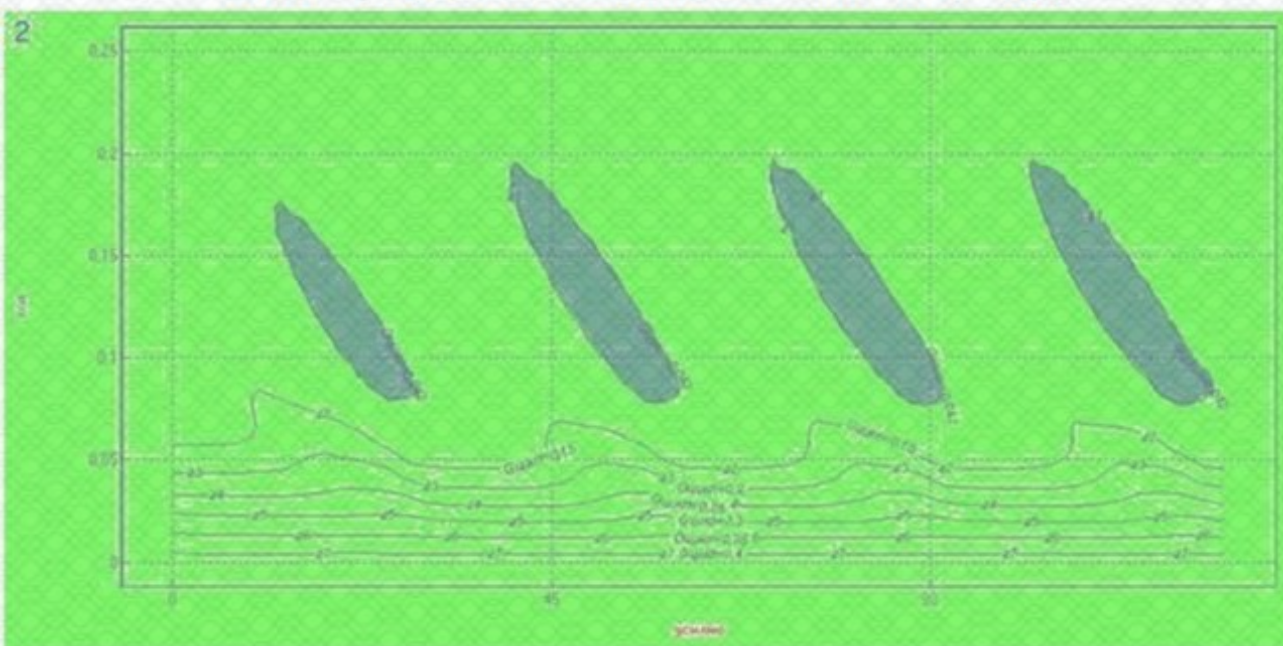
Допустимі значення діагностичних параметрів насос-форсунок фірми Bosch 0414701019

Шифр	Діагностичні параметри	Допуск
D1	Циклова подача на номінальному режимі	208,4...235 мм ³ /цикл
D12	Циклова подача в режимі холостого ходу	23,9...49,6 мм ³ /цикл
D2	Якість розпилювання	2 група «дребезга»
D3	Тривалість вприскування на номінальному режимі	2,6 мкс
D32	Тривалість вприскування в режимі холостого ходу	3,2 мкс
D4	Сила струму керуючого імпульсу	125 А
D5	Затримка вприскування точка B&D	± 0,2 мкс

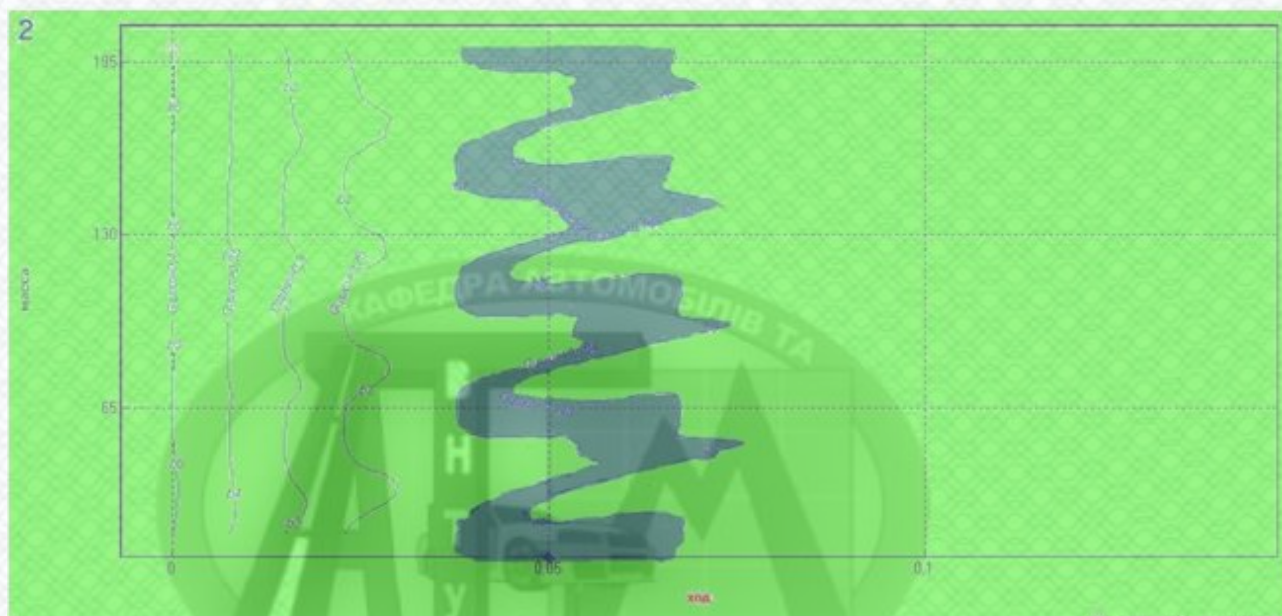
Ізолінії залежності циклової подачі g_u , мм³/ц від ходу клапана і зусилля електромагніту в номінальному режимі (на темній ділянці показники роботи насос-форсунки знаходяться в допуску).



Ізолінії залежності циклової подачі g_u , мм³/ц від ходу клапана і зусилля електромагніту в режимі холостого ходу (на темній ділянці показники роботи насос-форсунки знаходяться в допуску).



Ізолінії залежності циклової подачі g_u , мм³/ц від ходу клапана і маси рухомих деталей в режимі холостого ходу (на темній ділянці показники роботи насос-форсунки які знаходяться в допуску).



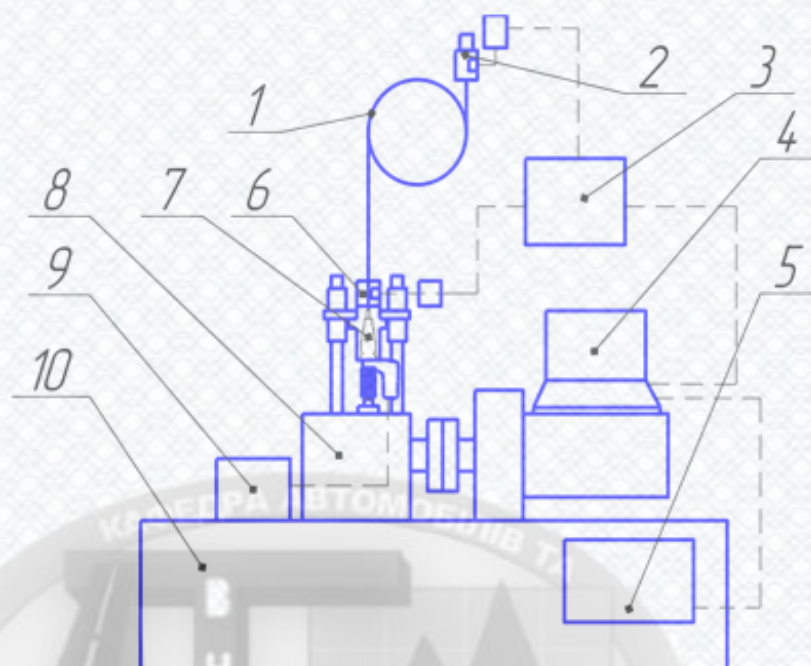
Загальний вигляд експериментальної установки 14



1 – комп'ютер, 2 – стенд для випробування паливної апаратури KI-354, 3 – блок приймання, 4 – насос-форсунка, 5 – блок живлення з гальванічною розв'язкою, 6 – аналогово-цифровий перетворювач, 7 – пристрій для визначення характеристики впорскування, 8 – Cam-Box, 9 – блок управління насос-форсункою.

Схема експериментальної установки

15

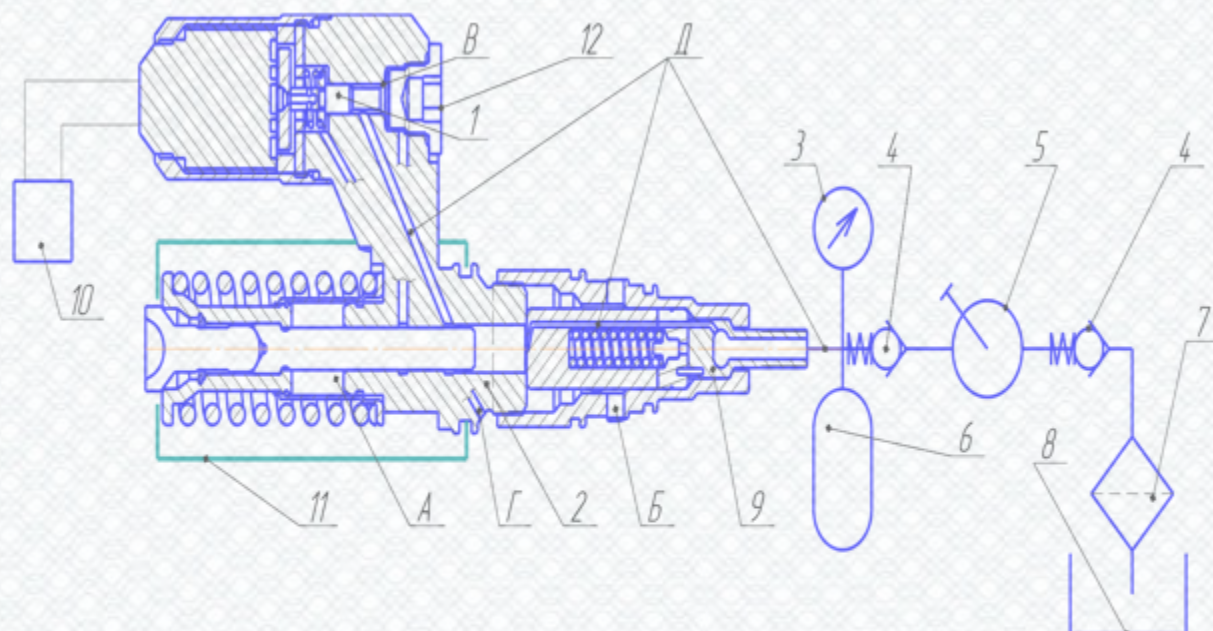


1 – трубопровід; 2 – блок регулювання; 3 – АЦП ZET Lab; 4 – персональний комп'ютер;
5 – панель управління стендом; 6 – приєднувальний штуцер; 7 – насос-форсунка; 8 – Cam-box;
9 – універсальний імітатор сигналів; 10 – стенд KI354.

Активация

Схема підключення насос-форсунки до стенду

16



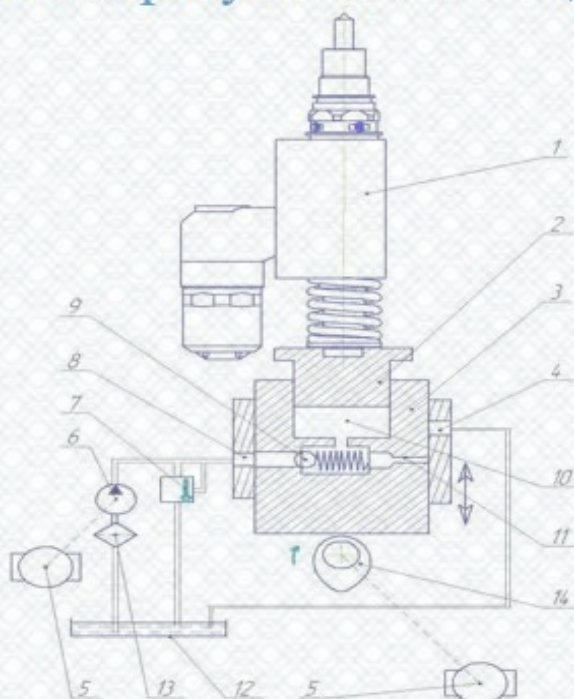
1 – запірний клапан; 2 – насос-форсунка; 3 – манометр; 4 – клапан; 5 – ручний нагнітаючий насос; 6 – компенсаційний об'єм; 7 – паливний фільтр; 8 – паливний бак; 9 – перехідник; 10 – блок управління; 11 – фіксатор плунжера; 12 – опорна пробка. А – контроль плунжерної пари; Б – контроль розпилювача і торцевих ущільнень проставки; В – контроль герметичності запірною конуса клапана; Г – контроль направляючої запірною клапана; Д – лінія високого тиску.

Активация

Допустимі відхилення структурних параметрів 17 насос-форсунки

Шифр	Структурний параметр	Режи ми	Заводські значення	Рекомендуємий допуск
S1	<u>Плунжерна пара</u> Щільність плунжерної пари (радіальний зазор)	XX -	3 мкм відсутнє	1,4...4,5 мкм 0,2...9 мкм
S4	<u>Спрацювання штовхача</u>			
S5	<u>Електромагнітний клапан</u> Повітряний зазор	-	0,25 мм повна	0,2...0,27 мм до 0,2
S6	Герметичність запірного конуса клапана	H	0,14 мм	мм ³ /с
S7	Хід якоря	-	2,5 мкм	0,13...0,17 мм
S8	Щільність направляючої частини клапана (радіальний зазор)	XX		1,8...4,0 мкм
S14	<u>Розпилювач</u> Тиск початку впорскування	XX	28,0 МПа	28...30 МПа
S16	Закоксування або знос сопел розпилювача (f всіх груп)	XX H	0,222мм ² 2,5 мкм	0,215...0,262мм ² 1,3...3,7 мкм
S17	Щільність направляючої частини (радіальний зазор)	H	0,3 мм	0,2...0,45 мм
S18	Хід голки розпилювача			
S21	<u>Корпус</u> Ефективний прохідний переріз сітчастого фільтра	H	відсутні	0,35...0,45 мм ²
S24	Тиск підкачки	H	0,75 МПа	0,5...0,85 МПа

Стенд для дослідження насос-форсунок з безступінчастим регулюванням ходу плунжера 18



1-насос-форсунка, 2- упорний поршень, 3- штовхач, 4- рухомий сектор, 5- електродвигун, 6- масляний насос, 7- запобіжний клапан, 8- порожнина дозарядки, 9- зворотній клапан, 10- порожнина високого тиску, 11- жиклер, 12- масляний бак, 13- фільтр, 14- привідний вал.

Технологія діагностування насос-форсунки на стенді

№	Контрольно-діагностична операція	Трудо місткість, люд.-год.	Інструмент, пристрої	Вказівки і технічні вимоги
1	2	3	4	5
1	Опитування водія на предмет роботи ППС	0,015	-	Попередньо скласти уявлення про наявність несправностей і оцінити технічний стан насос-форсунки на основі отриманої інформації
2*	Перевірка комплектності	-	-	
3*	Підготовка насос-форсунки до діагностування	-	Мийочий засіб, щітка, чиста ганчірка	Прибрати грубі відкладення, помити насос-форсунку і провести її зовнішній огляд на предмет корозії і механічних пошкоджень
4	Встановити насос-форсунку на стенд для досліджень насос-форсунок	0,015	Ключ гайковий 17-19	Встановити насос-форсунку в приймальний штупер стенду і зафіксувати кронштейном
5	Приєднати паливопровід низького тиску до насос-форсунки	0,007	Ключ гайковий 17-19	Недопустимі підтікання палива.
6	Приєднати трубку вимірювання витрати палива	0,007	Плоскогубці, викрутка	Недопустимі підтікання палива.
7	Запустити програму і провести попередню перевірку	0,015	-	Огляд витікання палива і роботи системи. При необхідності ліквідувати помилки
8	Перевірка на герметичність	0,015	-	Тиск в системі 160 МПа
9	Перевірка насос-форсунки в режимі холостого ходу	0,03	-	Встановити параметри (тиск, частота і тривалість імпульсів), що відповідають режиму холостого ходу.
10	Перевірка насос-форсунки в номінальному режимі	0,03	-	Встановити параметри (тиск, частота і тривалість імпульсів), що відповідають номінальному режиму.
11	Перевірка насос-форсунки в пусковому режимі	0,03	-	Встановити параметри (тиск, частота і тривалість імпульсів), що відповідають пусковому режиму.
12	Перевірка насос-форсунки в режимі попереднього вприску	0,03	-	Встановити параметри (тиск, частота і тривалість імпульсів), що відповідають режиму попереднього вприскування.
13	Проаналізувати отримані дані і заповнити контрольно-діагностичну карту	0,03	-	Аналіз і діагноз стану насос-форсунки проводиться за допомогою даних таблиць несправностей. Діагноз зберігається в базі даних ПК і відправляється на друк.
14	Визлучити стенд. Демонтувати насос-форсунку	0,03	-	Операції проводити в зворотному порядку пунктів 6, 5, 4.
	Разом	0,254		

Активация

Додаток Б

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення ефективності визначення технічного стану насос-форсунок двигунів автомобілів приватного підприємства «Беркут транс» місто Вінниця

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 72 % Схожість 28 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

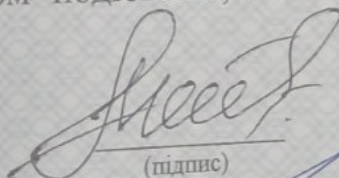
- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Цимбал О.В.
(прізвище, ініціали)

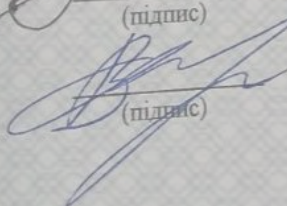
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Мурга Б.О.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Огневий В.О.
(прізвище, ініціали)