

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

**«ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНОЇ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ
ОЧИЩЕННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА»**

Виконав:

здобувач освітнього ступеня «Магістр»
освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності 208
«Агроінженерія» денної форми навчання

КОСТЕНЮК Анатолій Юрійович

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

БОНЧИК Віталій Семенович

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____

Шкала ECTS _____

« _____ » _____ 2025 р.

Допускається до захисту:

« _____ » _____ 2025 р.

Гарант освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія», канд. техн. наук, доцент

ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович

м. Кам'янець-Подільський, 2025

ЗМІСТ

	Стор
Завдання на виконання кваліфікаційної роботи.....	5
Анотація.....	6
Реферат.....	7
Перелік умовних скорочень, термінів, символів, позначень.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРИЧИН ВІДМОВ ТА НЕСТАБІЛЬНОСТІ РОБОТИ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ.....	12
1.1 Загальні відомості про забрудненість дизельного палива.....	12
1.2 Основні несправності паливної системи дизельних двигунів.....	13
1.3 Рівень забрудненості і обводнення дизельного палива, що використовують у сільськогосподарському виробництві.....	20
1.4 Вплив забрудненості і обводнення дизельного палива на працездатність паливної апаратури.....	23
Висновки та завдання досліджень.....	28
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕНОСТІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА НА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МТА.....	30
2.1 Чинники, що впливають на ефективність використання мобільної техніки в умовах сільськогосподарського виробництва.....	30
2.2 Дослідження закономірностей зміни продуктивності і витрати палива МТА при різних рівнях його забрудненості.....	34
2.3 Моделювання процесу зношування плунжерних пар ПНВТ.....	37
Висновки до другого розділу.....	41
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	42
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	42
3.2 Розробка методики прискорених випробувань зношування прецизійних з'єднань паливоподаючої апаратури.....	42
3.3 Розробка ефективного електрочисника дизельного палива.....	50

Висновки до третього розділу.....	53
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ.....	54
4.1 Оцінка достовірності математичної моделі процесу зношування плунжерних пар ПНВТ.....	54
4.2 Оцінка достовірності математичної моделі процесу очищення дизельного палива силами електричного поля з робочою поверхнею.....	60
4.3 Результати лабораторних випробувань макетного зразка електрофільтра.....	61
Висновки до четвертого розділу.....	63
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	64
5.1 Вимоги щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці.....	64
5.2 Нормалізація санітарно-гігієнічних умов праці.....	65
5.3 Протипожежні заходи.....	66
Висновки до п'ятого розділу.....	66
6 ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	67
6.1 Результати стендових випробувань ефективності розробленого електричного фільтру з діелектричним наповнювачем.....	67
6.2 Результати експлуатаційної перевірки ефективності використання попереднього очищення дизельного палива на мобільній сільськогосподарській техніці.....	69
6.3 Техніко - економічна оцінка ефективності використання електрофільтру для очищення дизельного палива перед його заправкою.....	75
Висновки до шостого розділу.....	80
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін
Освітній ступінь «Магістр»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри,
доцент _____ Василь ДУГАНЕЦЬ
« _____ » _____ 2025 р

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Здобувачу КОСТЕНЮКУ Анатолію Юрійовичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки з використанням засобів очищення дизельного палива»

2. Керівник роботи: БОНЧИК Віталій Семенович, доцент

Затверджено наказом по закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від «04» квітня 2025 року, № 355с

Строк подання здобувачем закінченої роботи «24» листопада 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Завдання на кваліфікаційну роботу
2. Науково-технічна література з ремонту дизельних двигунів
3. Авторські свідоцтва і патенти на винаходи
4. Результати наукових досліджень

4. Зміст пояснювальної записки:

Вступ

1. Аналіз причин відмов та нестабільності роботи дизельних двигунів
2. Теоретичні дослідження впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики МТА
3. Програма і методика досліджень
4. Експериментальна оцінка достовірності математичних моделей
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
6. Виробнича перевірка і оцінка ефективності результатів досліджень

Загальні висновки по роботі

Список використаних джерел

Додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Тема кваліфікаційної роботи, прізвище доповідача та керівника, рік захисту
2. Актуальність теми роботи та проблема дослідження
3. Мета, об'єкт, предмет дослідження
4. Завдання роботи
5. Вплив зношування з'єднань паливної апаратури на ефективність використання мобільної сільськогосподарської техніки
6. Залежність гідравлічної щільності плунжерної пари від напрацювання при концентрації абразивних часток в паливі розміром 6...8 мкм
7. Функціональна схема сільськогосподарського агрегату

8. Принципова схема системи живлення двигуна СМД-62
9. Зовнішній вигляд машини тертя СМТ - 1 із спеціальним модулем для випробування
10. Загальний вигляд модуля для випробування пари тертя «кільце - кільце»:
11. Алгоритм створення електроочисника
12. Дослідний зразок електричного фільтру
13. Зовнішній вигляд установки для очищення дизельного палива
14. Конструкція і номінальні значення геометричних параметрів плунжерної пари ПНВТ
15. Техніко - економічна оцінка ефективності використання електрофільтру для очищення дизельного палива.
16. Загальні висновки по роботі.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Консультант з нормоконтролю	ДЕВІН В.В., доцент		

Дата видачі завдання «04» квітня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділів кваліфікаційної роботи	Строк виконання розділів роботи		Підпис керівника
		планово	фактично	
	Вступ	15.04.25	15.04.25	
1	Аналіз причин відмов та нестабільності роботи дизельних двигунів	12.05.25	12.05.25	
2	Теоретичні дослідження впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики МТА	05.06.25	05.06.25	
3	Програма і методика досліджень	30.06.25	30.06.25	
4	Експериментальна оцінка достовірності математичних моделей	18.09.25	18.09.25	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.10.25	15.10.25	
6	Виробнича перевірка і оцінка ефективності результатів досліджень	31.10.25	31.10.25	
	Загальні висновки по роботі	06.11.25	06.11.25	
	Список використаних джерел	18.11.25	18.11.25	
	Додатки	24.11.25	24.11.25	

Здобувач

Анатолій КОСТЕНЮК

Керівник

Віталій БОНЧИК

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі магістра представлено технічне рішення, щодо підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки за рахунок забезпечення її функціональної стабільності. Позитивний результат досягається завдяки удосконаленню засобів очищення дизельного палива.

THE SUMMARY

The master's qualification work presents a technical solution to increase the efficiency of mobile agricultural machinery by ensuring its functional stability. A positive result is achieved through the improvement of diesel fuel purification means.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 86 аркушах формату А4, яка вміщує 6 розділів, 10 таблиць, 16 рисунків, 25 найменувань використаних джерел і презентаційного матеріалу на 16 аркушах.

Метою роботи є підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки за рахунок забезпечення її функціональної стабільності шляхом удосконалення засобів очищення дизельного палива.

У роботі на підставі теоретичних і експериментальних досліджень встановлено закономірності впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики машинно-тракторних агрегатів (на базі трактора Т-150К), дослідження яких дозволило переконатися, що використання очищеного електрофільтром дизельного палива забезпечує зменшення швидкості падіння ефективної потужності двигуна в 2,2 рази, продуктивності на оранці - в 1,92 рази, а швидкості збільшення приведеної питомої і погектарної витрати палива - відповідно до 1,76 і до 6,5 разів в порівнянні з використанням палива в стані постачання.

Запропоновано методикау прискорених випробувань зношування плунжерних пар ПНВТ на модельних зразках сполучень тертя. Особливість зазначеної методики полягає в тому, що розрахунок зношування плунжерних пар виконувався за результатами прискорених випробувань по встановлених залежностях через масштабні коефіцієнти часу і швидкості зношування.

Річна економія від зменшення експлуатаційних витрат при застосуванні запропонованого засобу очищення дизельного палива складає 5 млн. 342 тис грн. на рік. Строк окупності капіталовкладень складає 0,23 року.

Ключові слова: ПЛУНЖЕРНА ПАРА, ДИЗЕЛЬНЕ ПАЛИВО, ОЧИЩЕННЯ, ЗНОШУВАННЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ,
ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ

Скорочення	Розшифровка скорочень
КРМ	Кваліфікаційна робота магістра
ЕК	Екзаменаційна комісія
ПЕОМ	Персональна електронно-обчислювальна машина
ДСТУ	Державний стандарт України
ПНВТ	Паливний насос високого тиску
ПММ	Паливо-мастильні матеріали
МТА	Машинно-тракторний агрегат

ВСТУП

Актуальність роботи. Ефективність сільськогосподарського виробництва в значній мірі залежить від працездатності мобільної сільськогосподарської техніки в різних умовах експлуатації, які характеризуються як екстремальні. Нестабільність функціонування або відмова працездатності сільськогосподарської техніки призводить до її простоїв і, як наслідок, недотримання агростроків, зменшення продуктивності і врожайності. Сучасна мобільна сільськогосподарська техніка являє собою складні енергонасичені комплекси, працездатність яких залежить від надійності їх окремих агрегатів, зокрема двигунів. Працездатність дизельних двигунів, в свою чергу, визначається технічним станом його складових частин, у т.ч. паливної системи, більше 50% відмов якої пов'язані із забрудненням дизельного палива.

Об'єктивно так складається, що забрудненість дизельного палива на шляху від його виробника до паливного баку мобільної машини збільшується більш як у 10 разів, а в умовах постійного дефіциту нафтопродуктів система забезпечення і управління параметрами чистоти паливно-мастильних матеріалів відсутня і у тому числі дизельного палива. Це сприяє прискоренню зносу не тільки сполучень паливної системи, але і деталей дизельного двигуна в цілому.

Одним із напрямків зменшення експлуатаційних витрат є забезпечення умов використання дизельного палива з мінімальною забрудненістю.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки за рахунок забезпечення її функціональної стабільності шляхом удосконалення засобів очищення дизельного палива.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Виявити причини і вивчити закономірності впливу забрудненості дизельного палива на зношення сполучень паливної системи дизельного двигуна та їх вплив на функціональні характеристики машинно-тракторного агрегату;

2. Теоретично обґрунтувати та експериментально перевірити модель процесу зношення прецизійних сполучень паливної системи дизельного двигуна і розробити методику прогнозування їх ресурсу та технічні вимоги щодо чистоти дизельного палива;

3. Розробити засіб для сепарації механічних домішок і води в дизельному паливі;

4. Розробити практичні рекомендації з підвищення надійності та функціональної стабільності мобільної сільськогосподарської техніки за рахунок удосконалення технічного обслуговування;

5. Теоретично та експериментально визначити закономірності впливу забрудненості дизельного палива на надійність та функціональні характеристики машинно-тракторних агрегатів та визначити техніко-економічну доцільність підвищення чистоти дизельного палива запропонованими засобами.

Об'єкт дослідження - процеси зношування прецизійних сполучень паливної апаратури в середовищі дизельного палива, забрудненого механічними домішками.

Предмет дослідження - закономірності впливу забрудненості дизельного палива на надійність та функціональні характеристики машинно-тракторних агрегатів.

Методи дослідження. Проведення дослідів процесу зношування прецизійних сполучень у середовищі дизельного палива, забрудненого механічними домішками, та обґрунтування технічних вимог щодо його чистоти здійснено шляхом моделювання, із застосуванням ПЕОМ на підставі законів механіки, теорії тертя та теорії ймовірностей.

Практичне значення. Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в наступному:

- розроблено програми розрахунків і математичне забезпечення для прогнозування ресурсу прецизійних сполучень паливної апаратури при різних

нормах забрудненості дизельного палива та ефективності очищення його в залежності від конструктивних і технологічних параметрів електрофільтра;

- обґрунтовано технічні вимоги до показників забрудненості дизельного палива, забезпечення яких дозволяє підвищити надійність та функціональну стабільність мобільної сільськогосподарської техніки;

- розроблено методику прискорених зношувальних випробувань прецизійних пар тертя, яка дозволяє за допомогою масштабних коефіцієнтів отримувати величини зносів для натурних сполучень в реальному часі їх використання.

Впровадження результатів дослідження. Результати роботи впроваджені в навчальний процес на кафедрі технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін по дослідженню процесів зношування прецизійних сполучень паливної апаратури в середовищі дизельного палива, а також при проведенні лабораторних робіт з дисципліни «Ремонт машин та обладнання».

Особистий внесок здобувача вищої освіти. Основні результати роботи отримані автором самостійно. Постановка проблеми і задач дослідження та їх аналіз виконаний автором спільно з керівником.

Особисто здобувачем досліджено вплив забрудненості дизельного палива на надійність паливної системи, продуктивність і економічність МТА (з трактором Т-150К) на оранці.

Публікації. За матеріалами роботи опубліковано 2 статті у збірниках матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців ЗВО «ПДУ» і Житомирського агротехнічного фахового коледжу у 2025 році.

1 АНАЛІЗ ПРИЧИН ВІДМОВ ТА НЕСТАБІЛЬНОСТІ РОБОТИ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

1.1 Загальні відомості про забрудненість дизельного палива

Виконано аналіз світового досвіду з питань ефективного використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення її надійності та стабільності функціональних параметрів. Наведені характеристики складного комплексу, яким є мобільна сільськогосподарська техніка, залежать від працездатності її складових частин і, в першу чергу, надійності елементів паливної системи дизельного двигуна.

Аналіз причин відмов та нестабільності характеристик паливної системи дизеля показує, що істотна частка їх (до 50%) викликана забрудненістю механічними домішками і водою дизельного палива, яке використовується для мобільної сільськогосподарської техніки. Забрудненість використовуваного дизельного палива значно перевищує припустимі норми (до 10 разів).

Установлені на сучасні сільськогосподарські енергетичні засоби фільтри при такій забрудненості дизельного палива не забезпечують потрібної якості його очищення, що викликає прискорене зношення сполучень паливної системи і шатунно-поршнєвої групи двигуна і прискорену їх заміну.

Зменшення відмов паливної системи і забезпечення функціональної стабільності мобільного сільськогосподарського комплексу в цілому може здійснюватися шляхом забезпечення використання дизельного палива з припустимим ступенем його забрудненості.

Аналіз наукових праць показав перспективність використання засобів для ефективного забезпечення чистоти дизельного палива на основі використання силових полів, у т.ч. і електричних. Використання таких засобів для очищення дизельного палива і вплив цього фактору на функціональні характеристики мобільних сільськогосподарських комплексів в літературі є маловисвітленим, тому потребує подальшого вивчення.

1.2 Основні несправності паливної системи дизельних двигунів

Під час експлуатації тракторів і автомобілів з дизельними двигунами у системі живлення виникають несправності, які порушують нормальну роботу дизеля і призводять до збільшення витрати палива.

До несправностей належать: підтікання палива, неможливий або утруднений пуск і ненормальна робота двигуна.

Підтікання палива може статись внаслідок нещільного приєднання паливопроводів накидними гайками, штуцерами і порожнистими болтами до приладів системи живлення, внаслідок пошкоджень паливопроводів, ущільнювальних прокладок або паливних баків.

Дизель не можна пустити тоді, коли закритий роздавальний кран або немає палива в баку, забруднені паливні фільтри, зібралось повітря в паливопроводах, фільтрах або головці паливного насоса, нещільно прилягають клапани підкачувального насоса або зламана пружина нагнітального клапана, порушене регулювання насоса, заїдають голки розпилювачів форсунок, зламана пружина форсунки, забруднений повітроочисник.

Утруднення пуску двигуна може статись внаслідок недостатньої швидкості обертання колінчастого вала, а також внаслідок несправності пускового пристрою. Для виявлення причин димного випуску треба звернути увагу на колір диму. Чорний дим свідчить про забруднення повітроочисника, пізні впорскування палива, несправності форсунок, низьку якість палива. Якщо в піддоні повітроочисника буде підвищений рівень масла, воно засмоктуватиметься з повітрям у камеру згоряння. Двигун не розвиватиме нормальної потужності, якщо в циліндри подаватиметься недостатня кількість палива, або буде низька ефективність його згоряння.

Недостатня кількість палива може бути викликана перебоями в роботі приладів системи низького тиску, а також незадовільним станом паливного насоса, неправильним встановленням насоса або порушенням його регулювання.

Нестійка робота двигуна спостерігається головним чином тоді, коли подача палива в циліндри не відповідає навантаженню двигуна, коли паливо подається з перебоями, а також при порушенні регулювання механізму керування подачею палива та при несправному регуляторі. Для забезпечення тривалої безперебійної роботи дизеля треба додержувати правил догляду за кожним приладом системи живлення відповідно до вказівок заводу-виготівника.

Під час догляду за повітроочисником періодично перевіряють його кріплення, герметичність усіх місць з'єднань (від повітрозбірника до впускної труби) і рівень масла в піддоні, а також замінюють масло і промивають фільтруючий елемент і піддон дизельним паливом.

Після зливання масла і промивання піддону, у піддон наливають до мітки на корпусі свіже або відстояне і профільтроване відпрацьоване масло, яке застосовувалось для мащення двигуна. Зимомо масло потрібно розріджувати дизельним паливом, тобто заливати в піддон $2/3$ дизельного масла і $1/3$ дизельного палива (за об'ємом).

Періодичність промивання касет циклонного повітроочисника залежить від ступеня запилення повітря. Касети промивають через 60 год, якщо двигун працює в нормальних умовах, і через 25—30 год, якщо двигун працює в умовах підвищеної запиленості повітря.

Догляд за впускними і випускними трубопроводами полягає в періодичній перевірці їхнього стану та підтягуванні кріплень. Для забезпечення безперебійної роботи турбокомпресора треба стежити за його кріпленням і показами манометра. Якщо тиск масла в системі мащення турбокомпресора менший як $2,5 \text{ кгс/см}^2$ при нормальному числі обертів колінчастого вала двигуна, треба замінити фільтруючий елемент масляного фільтра.

Догляд за паливним баком полягає в періодичному видаленні з нього осадів та в промиванні його. Кришку бака і сітчастий фільтр заливної горловини промивають дизельним паливом. Для цього кришку треба розібрати і вийняти фільтруючу набивку.

Прочистити отвір у кришці, через який порожнина бака сполучається з атмосферою, і промити набивку і деталі кришки. Після цього набивку розпушити, змочити дизельним маслом і скласти кришку. Бак можна промивати безпосередньо на тракторі або після зняття його з трактора. Якщо бак промивають на тракторі, для цього закривають роздавальний кран і зливають паливо через зливний кран. За допомогою заправного насоса промивають дизельним паливом порожнину бака через заливну горловину доти, поки із зливного крана не почне виходити чисте паливо.

Паливний бак рекомендується заправляти паливом в кінці робочого дня. Це зменшує конденсацію водяної пари з повітря всередині бака, а залише паливо трохи відстоїться під час перерви в роботі. В бак можна заливати тільки те паливо, яке відстоювалося не менше як 48 год. Якщо паливний бак доводиться заправляти з відра, на лійку з сіткою треба покласти шовкове полотно, фланель або сукно ворсистого поверхнею в бік нефільтрованого палива. Перед заправленням бака пробку заливної горловини і місце біля неї необхідно очистити від пилу. Заправний інвентар, призначений для заливання палива, забороняється застосовувати для заливання води або масла. Зберігати заправний інвентар треба в чистому пилонепроникному ящику.

Для того щоб у систему живлення не потрапляли грязь, вода і повітря, не рекомендується витрачати з бака все паливо (в баку повинно залишатися завжди не менш як 20% палива). Перед пуском двигуна з паливного бака через зливний кран треба спустити відстій (3—5 л) при закритому роздавальному крані. Відстій зливають у чисту посудину і залишають відстоюватися протягом 48 год. Після цього паливо з верхньої частини посудини можна заливати в паливний бак.

Вода може потрапити в паливо як у процесі заправки баків, так і в процесі конденсації вологи повітря, що є над паливом у баку. При зниженні температури вода замерзає, лід потрапляє у фільтри і може їх повністю забити, коли двигун ще не прогрітий. Крім того, при потраплянні води на третю поверхню прецизійних пар паливного насоса, на них утворюється наліт, який погіршує їх мащення і зменшує величину робочого зазора.

Внаслідок цього опір переміщенню плунжерів збільшується і вони можуть зависнути в гільзах. Якщо в паливі є вода і двигун кілька днів не працюватиме, на поверхнях плунжерних пар паливного насоса, а також на поверхнях нагнітальних клапанів і розпилювачів форсунок може виникнути корозія.

Наявність навіть незначної кількості води в паливі можна визначити, якщо до проби палива додати кристали марганцевокислого калію. Якщо води в паливі немає, колір палива не зміниться, тому що кристали в дизельному паливі не розчиняються. Якщо ж у паливі є вода, його колір зміниться на рожевий. На тракторах С-100, Т-100М, МТЗ-80 та інших встановлені паливні баки з пристроєм для автоматичної заправки паливом.

В процесі експлуатації тракторів треба оглядати паливопроводи і, якщо буде виявлене підтікання палива в місцях з'єднань, підтягувати накидні гайки, штуцери, порожнисті болти і замінювати непридатні ущільнювальні прокладки. Для забезпечення нормальної роботи пластмасових паливопроводів необхідно стежити за тим, щоб вони не стикалися з іншими деталями трактора. Під час монтажу й демонтажу трубок не можна допускати різких перегинів.

Під час затягування порожнистого болта потрібно притримувати кільцевий наконечник за сталю втулку. Трубки під час експлуатації двигуна в холодну пору року треба прогрівати тільки ганчірками, змоченими гарячою водою. Пластмасові трубки при низькій температурі стають крихкими, а тому не дозволяється ударяти по них, а також різко перегинати.

Догляд за фільтрами грубої очистки палива полягає в тому, щоб періодично зливати відстій і промивати фільтруючий елемент і деталі фільтрів.

Перед зливанням відстою необхідно очистити від бруду й пилу зовнішні поверхні фільтра, закрити роздавальний кран паливного бака, відкрити пробку для випускання повітря і нижню пробку зливного отвору. Відстій зливати доти, поки через зливний отвір почне витікати чисте паливо. Після видалення відстою треба закрутити пробку, відкрити роздавальний кран і заповнити фільтр паливом. Після того як стакан фільтра буде заповнений паливом, потрібно закрутити пробку отвору для випускання повітря.

Зменшення або повне припинення подачі палива насосом можна виявити за інтенсивністю витікання палива при короткочасному ослабленні кріплення трубки, по якій паливо надходить до фільтра тонкої очистки. Недостатня інтенсивність витікання палива вказує на несправність насоса. Основними причинами можуть бути: поломка пружини поршня, нещільність прилягання впускного і нагнітального клапанів.

Для усунення несправностей насос потрібно розібрати. Зламану пружину слід замінити новою, а клапани промити в чистому дизельному паливі.

Догляд за фільтрами тонкої очистки палива полягає в тому, щоб періодично спускати відстій з їхніх корпусів, промивати і замінювати фільтруючі елементи. Перед спусканням відстою необхідно очистити фільтр від пилу і бруду, відкрити продувні вентиля, закрити роздавальний кран паливного бака, відкрити пробку зливного отвору. Відстій треба зливати доти, поки почне витікати чисте паливо. Після зливання відстою треба закрити пробку зливного отвору, відкрити роздавальний кран і заповнити фільтри паливом.

В процесі роботи двигуна фільтруючий елемент засмічується, внаслідок чого зменшується його пропускна спроможність, а отже, й подача палива, що призводить до зниження потужності дизеля. Для збільшення пропускної спроможності фільтруючих елементів їх промивають або замінюють новими.

Строк служби фільтруючого елемента значною мірою залежить не тільки від своєчасного промивання, а й від чистоти палива.

Якщо в системі живлення є манометр, фільтруючі елементи слід замінювати тоді, коли стрілка поступово переміщується з робочого діапазону в неробочу зону, яка має позначку червоного кольору. Якщо фільтруючий елемент виготовлений з бавовняної пряжі, після першого його засмічення змотують з кожного елемента один шар нитки і знімають верхній шар паперу під ним, після цього фільтруючий елемент можна знову використати для роботи. При повторному засміченні фільтруючий елемент замінюють новим.

Слід мати на увазі, що таким способом відновлення можна користуватися тільки тоді, коли немає запасних фільтруючих елементів.

Догляд за паливним насосом. Деталі паливного насоса виготовлені з великою точністю. Оскільки між деталями дуже малі зазори, насос потребує старанного догляду. Під час експлуатації тракторів треба стежити за рівнем масла в картері насоса, періодично замінювати масло, стежити за кріпленням насоса на двигуні, а також періодично перевіряти регулювання і регулювати насос.

Для перевірки рівня масла в корпусі насоса необхідно очистити від пилу і грязі пробку заливного отвору, відкрутити її і перевірити рівень. Якщо рівень нижче кромки заливного отвору, потрібно долити масло. Якщо ж у корпусі насоса масла більше норми (так може статись внаслідок просочування палива через нещільності плунжерних пар), необхідно злити надлишок масла, а при значному розрідженні його замінити свіжим. Замінювати масло в корпусі насоса треба відразу після зупинки двигуна, коли механічні частинки, що є в маслі, ще не осіли, а масло має знижену в'язкість. Для спускання масла необхідно відкрутити пробку зливного і заливного отворів.

Для повного видалення відпрацьованого масла з поверхонь деталей, а також для видалення відкладів внутрішню порожнину корпусу після спускання масла періодично промивають. Для цього в корпус заливають до нормального рівня дизельне паливо і прокручують колінчастий вал за допомогою пускового двигуна, або стартера, або за допомогою пускової рукоятки протягом 2— 3 хв при виключеній подачі палива.

Після цього дизельне паливо зливають і в корпус насоса заливають масло до нормального рівня. Так само промивають і корпус регулятора обертів колінчастого вала двигуна. Якщо під час роботи двигуна спостерігається димний випуск з одночасним зниженням потужності, необхідно перевірити роботу секцій паливного насоса і форсунок. Для виявлення несправної форсунки або секції насоса по черзі відключають циліндри на працюючому двигуні. Для цього важіль керування подачею палива встановлюють в таке положення, при якому спостерігається найбільш ненормальна робота двигуна.

Після цього послідовно ослабляють накидні гайки паливопроводів високого тиску на штуцерах секцій до виходу струмин палива.

При відключенні циліндра, який працює погано, або не працює зовсім, характер роботи двигуна майже не змінюється, а при відключенні справного циліндра перебої в роботі збільшуються. Якщо спостерігається димний випуск, при відключенні циліндра, який працює погано, кількість диму у вихлопних газах зменшується. Несправну форсунку знімають з двигуна, перевіряють і, якщо треба, промивають прецизійні деталі в дизельному паливі, регулюють, або замінюють новою.

Якщо після встановлення на двигун справної форсунки робота його не поліпилася, необхідно перевірити секцію паливного насоса. Однією з причин, яка може призвести до погіршення роботи паливної секції, є пропуск палива нагнітальним клапаном. Цю несправність можна орієнтовно виявити на працюючому двигуні, беручи в руку по черзі паливопроводи високого тиску біля нагнітальних штуцерів паливного насоса. У паливопроводі, який відходить від насосної секції з несправним нагнітальним клапаном, під час нагнітання відчуватиметься менший поштовх палива.

Для перевірки щільності прилягання нагнітального клапана до сідла необхідно очистити паливний насос і деталі біля нього від пилу і бруду, від'єднати паливопровід високого тиску від штуцера паливної секції і перемістити рейку паливного насоса в бік виключення подачі палива. Після цього здмухнути паливо, що є у виточці штуцера, призначеній для трубки високого тиску, і за допомогою пускової рукоятки або пусковим двигуном прокрутити колінчастий вал дизеля, стежачи за рівнем палива в отворі штуцера. Якщо нагнітальний клапан нещільно прилягає до сідла, паливо витікатиме з штуцера безперервним струменем. Якщо після перевірки буде виявлено, що нагнітальний клапан щільно прилягає до сідла, причиною ненормальної роботи паливної секції може бути збільшення зазора між плунжером і гільзою внаслідок спрацювання їх, а отже, і зниження тиску палива в процесі нагнітання.

Технічний стан плунжерних пар перевіряють максиметром або манометром, а якщо їх немає, використовують контрольну форсунку, відрегульовану на певний тиск початку впорскування.

Перед вимірюванням тиску максиметром треба очистити паливний насос і деталі біля нього від пилу і грязі, включити декомпресійний механізм, від'єднати паливопровід високого тиску від насосної секції і замість нього приєднати максиметр. Від'єднаний паливопровід закрити захисною пробкою. Накідні гайки, що з'єднують паливопроводи високого тиску з штуцерами інших паливних секцій, відкрутити на 1,5- 2 оберти. Штуцер максиметра щільно закрити гайкою-заглушкою, а його регулювальний ковпак встановити на тиск, який перевищує нормальний тиск впорскування палива форсункою на 50-60 кгс/см².

Рейку паливного насоса встановити на максимальну подачу палива і пусковим двигуном на прямій передачі редуктора прокрутити колінчастий вал двигуна. При цьому паливо повинно впорскуватися максиметром. Якщо паливо через максиметр не впорскується, плунжерна пара для роботи непридатна.

Якщо максимальний тиск вимірюють контрольною форсункою, її приєднують паливопроводом до штуцера секції, яку перевіряють. Під час прокручування колінчастого вала двигуна стежать за впорскуванням палива форсункою. Якщо впорскування немає, це свідчить про те, що максимальний тиск, який розвиває плунжерна пара, менший від тиску, на який відрегульована форсунка. Після цього вирішують питання про ремонт паливного насоса.

Зовнішніми ознаками несправної форсунки може бути димний випуск відпрацьованих газів, перебої в роботі двигуна і зниження його потужності. Найчастіше причинами незадовільної роботи форсунок може бути засмічення розпилюючих отворів та потрапляння під голку розпилювача сторонніх частинок, які порушують щільність закривання розпилюючих отворів.

1.3 Рівень забрудненості і обводнення дизельного палива, що використовують у сільськогосподарському виробництві

Дизельне паливо до використання в машині проходить ряд технологічних операцій: перекачування по трубопроводах, транспортування, зберігання, заправку та ін.

При цьому, як показує досвід і спеціально проведені в роботі дослідження, в умовах рядової експлуатації, неминуче його обводнення і забруднення механічними домішками.

У дизельному паливі, що випускається виготовляючими підприємствами, механічні домішки і вода, згідно із стандартами і за результатами досліджень, відсутні.

Головні причини забруднення і обводнення дизельного палива: попадання домішок і води з атмосфери через негерметичної люків, поглинання води з атмосферного повітря через коливання температури на протязі доби, особливо при зберіганні палива в неповністю заповнених місткостях, перекачування палива по забруднених трубопроводах, накопичення забруднень і води на дні резервуарів, а також незадовільний стан заправних засобів і рукавів, заправка відкритим способом, порушення ущільнення складальних одиниць. Особливо слід зазначити недостатню міру очищення палива від механічних домішок і води в сучасних засобах зберігання і заправки. Як відомо, з приведених даних, в паливні баки машин нерідко потрапляє паливо, що містить 0,03...0,05% по масі механічних домішок.

Після заправки в паливні баки мобільної техніки дизельне паливо на шляху до циліндрів двигуна продовжує інтенсивно забруднюватися, головним чином через запиленої повітря не рідко агресивними мелкодисперсними частками як ґрунтового пилу, так і компонентами технологічного середовища, наприклад, мінеральними добривами, гербіцидами та ін.

У ґрунтовому пилі міститься до 70% кварцу і корунду, які мають високу твердість і викликають абразивне зношування деталей, що труться [2, 16]. Концентрація пилу в повітрі непостійна, вона залежить від погоди, напряму і сили вітру, пори року, від особливостей промислового виробництва і багатьох інших чинників.

Основні властивості технологічних середовищ, в яких експлуатується мобільна сільськогосподарська техніка приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад забруднень в дизельному паливі

Склад	Зміст, %	Мікротвердість, Н/мм
Кварц	68	10500...12250
Оксид алюмінію	14	20900...22900
Оксид заліза	4	23000...25000
Оксид кальцію	2	-
Оксид магнію	2	-
Польовий шпат та ін.	-	10200

Високі температури і дуже мала кількість опадів впродовж довгого періоду сприяють процесу пиленакочичення, який збільшується рухом транспорту там, де підстилаюча поверхня складається з руйнівного порошку, що піднімається вгору.

У дизельному паливі середнім вмістом забруднюючих домішок прийнято вважати 100 г на 1 т палива (0,01%). Проте у разі роботи дизеля при запиленості повітря 1,0...2,5 г/м³ концентрація механічних домішок у баку подвоюється і навіть потроюється в порівнянні з початковою. Пил, що міститься в повітрі, порівняно легко проникає в паливні баки через дренаж.

Кількість води, що знаходиться в паливі в розчиненому стані, зазвичай невелика. У великих кількостях вода може знаходитися у вигляді емульсії, кількість якої залежить від температури і умов зберігання. Вода, реагуючи з сірчистими з'єднаннями, які на сучасному рівні нафтопереробки неминуче є присутніми в дизельних паливах, утворює хімічно активні з'єднання, що викликають корозію деталей паливної апаратури і паливопроводів. Присутність води позначається на надійності роботи фільтруючих елементів систем очищення палива дизелів - при негативних температурах вода утворює кристали льоду, що забивають елементи систем живлення, що фільтрують. Крім того, що особливо важливо, порушується робота фільтруючих пристроїв заправних засобів, і у бак машини потрапляє нефільтроване паливо.

Таким чином, аналіз літературних джерел і власних спостережень свідчить про високий рівень забрудненості і обводнення дизельного палива, використовується в сільськогосподарському виробництві, який є об'єктивно неминучим фактом. При цьому на шляху від заводу-виготівника до паливного

бака сільськогосподарської техніки концентрація механічних домішок збільшується майже в 100 разів, а на шляху від паливного бака до циліндрів двигуна в 2...3 рази. Виходячи з приведених даних, можна зробити висновок про доцільність очищення палива перед його заправкою.

1.4 Вплив забрудненості і обводнення дизельного палива на працездатність паливної апаратури

Для нормальної роботи паливної апаратури дизелів потрібно обмежувати не лише міру забрудненості палива, але і розміри часток, які істотно впливають на знос плунжерних пар. Величина цих часток не має бути більше проміжків між прецизійними парами, тобто не повинна перевищувати 1,5...2,5 мкм [15].

Як показує досвід експлуатації автотракторної техніки, більшою мірою у паливоподаючій апаратурі зношуються такі прецизійні деталі, як гільзи і плунжера насоса високого тиску, нагнітальні клапани і розпилювачі форсунок. Від стану поверхонь цих деталей залежать процеси паливоутворення і згорання в циліндрах двигуна, визначальні економічні, динамічні і експлуатаційні показники усієї машини.

Як показано в роботі [20], при недостатньому очищенні палива фільтрами тверді частки проходять разом з паливом через малі проміжки (0,4...3,0 мкм) прецизійних з'єднань під високим тиском (13...80 МПа) і з великою швидкістю (100...250 м/с). Абразивні частки, потрапляючи в проміжки прецизійних пар, зношують їх, в результаті збільшуються первинні проміжки і змінюються параметри вприскування палива (тривалість, тиск та ін.).

Це знижує якість роботи паливоподаючої апаратури і відповідно зменшує надійність і економічність двигуна (двигун не розвиває необхідної потужності через погіршення процесів згорання).

Узагальнена характеристика впливу зносу з'єднань паливної апаратури на ефективність використання МТА приведена в таблиці 1.2.

Ресурс дизельної паливоподаючої апаратури обмежується зносостійкістю прецизійних пар. Незважаючи на велику важливість питань, пов'язаних з надійністю роботи цих дизелів, природа процесу їх зношування в умовах запиленої повітря практично не вивчена.

Як показано в роботі [20], при зменшенні гідравлічної щільності плунжерних пар до 3,5 зі значних змін параметрів уприскування палива не відбувається. При щільності нижче 3,5 с тиск в нагнітальному паливопроводі і форсунці різко знижується, а тривалість і кут випередження вприскування набагато зменшуються. При подальшому зниженні щільності плунжерних пар зростають нерівномірність і нестабільність параметрів вприскування і подачі палива [21].

Діаметральний проміжок плунжерної пари щільністю 3,5 с рівний в середньому 0,006...0,008 мм в золотниковій частині і 0,004 мм в компресійній. По технічним умовам гідравлічна щільність має бути не менше 20с, а проміжок 0,0015...0,0030 мм. Низька гідравлічна щільність зношених при роботі пар різко погіршує параметри вприскування палива, особливо при малих подачах і частотах обертання валу.

Аналіз зношених прецизійних пар в процесі експлуатації дизелів свідчить, що вони піддаються головним чином абразивному зношуванню проникаючими частками абразиву через елементи, що фільтрують.

Вперше була зроблена спроба досліджувати вплив показників чистоти дизельного палива на функціональну стабільність паливоподаючої апаратури в роботі [20].

Таблиця 1.2 – Вплив зношування з'єднань паливної апаратури на ефективність використання мобільної сільськогосподарської техніки

	З'єднання	Характер зношування	Характер впливу на працездатність паливної апаратури	Характер впливу на функціональні параметри МТА
Плунжерні пари	Зношування циліндричної поверхні плунжерної пари	Втрати палива через зазори плунжерної пари	<ul style="list-style-type: none"> - зменшення циклової подачі; - збільшення нерівномірності подачі по циліндрах; - зменшення кута початку подачі; - зменшення продуктивності; - перевитрата палива. 	
Нагнітаючі клапани	Зношування циліндричного пояска Зношування конусної поверхні	Погіршення всмоктуючої дії у кінці подачі Зниження тиску в паливопроводі високого тиску перед початком подачі палива	<ul style="list-style-type: none"> - нечіткість відсікання вприску; - перевитрата палива; - зменшення циклової подачі; - зменшення продуктивності; - зменшення кута подачі палива. 	
Форсунки	Зношування поверхні затвора	Підтікання палива після закінчення вприску	<ul style="list-style-type: none"> - загоряння палива на форсунках; - перевитрата палива. 	
Фільтр тонкого очищення	Забивання пористих перегородок Пошкодження фільтруючих елементів	Зниження тиску на вході в ПНВТ Попадання забруднень в ПНВТ	<ul style="list-style-type: none"> - зменшення циклової подачі; - збільшення нерівномірності подачі по циліндрах; - підвищене зношування з'єднань; - перевитрата палива; - зменшення продуктивності. 	

Результати досліджень, приведені у вказаній роботі (рис. 1.1 і рис. 1.2), свідчать про те, що при роботі прецизійних з'єднань на чистому паливі, що не містять механічних домішок, паливо виступає в ролі змащуючого середовища і забезпечує мінімальний коефіцієнт тертя і захист робочих поверхонь від руйнування.

Наявність в паливі абразивних часток, розмір яких дещо більше, ніж проміжок в плунжерній парі, викликає абразивне зношування цих пар. Абразивні частки, розмір яких менший, ніж проміжок, не чинять істотного впливу на процес зношування і відповідно на параметри подачі палива. Для плунжерної пари найбільш небезпечними є абразивні частки розміром 6...8 мкм; опинившись в проміжку, збільшеному за рахунок пружних деформацій втулки, вони затискаються і починають зношувати прецизійні деталі, особливо рухливі (плунжери). Найбільше зношування спостерігається проти впускного отвору втулки.

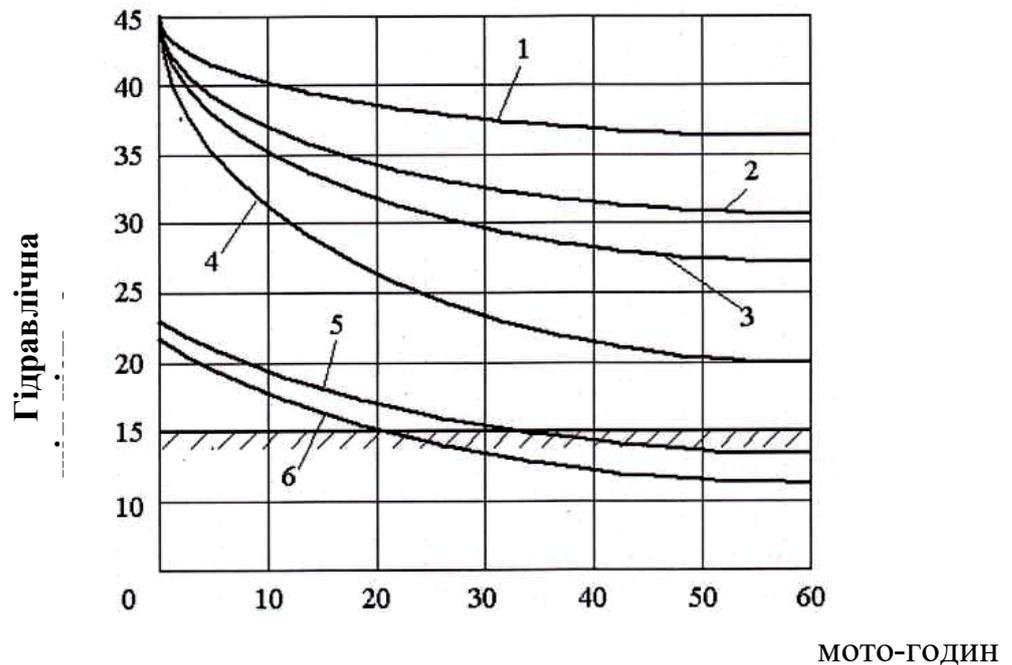
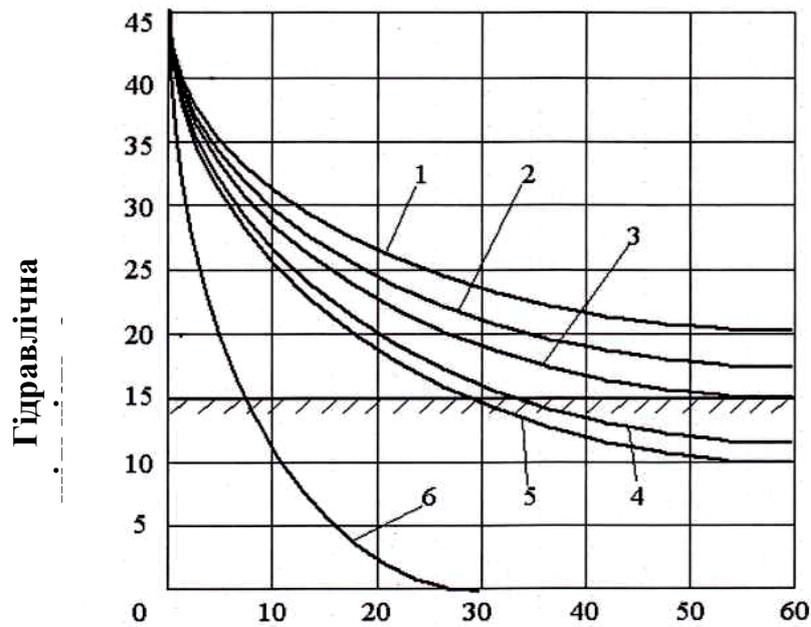


Рисунок 1.1 - Залежність гідравлічної щільності плунжерної пари від напрацювання при штучному введенні в паливо абразивних часток різних розмірів при початковій концентрації механічних домішок 15 г/т і початковій гідравлічній щільності 45с :

1) 4...6 мкм; 2) 6...8 мкм; 3) 8...10 мкм; 4) 10 мкм і більше; 5) 6...8 мкм; 6) 8...10 мкм - при початковій гідравлічній щільності 20...25с.



МОТО-ГОДИН

Рисунок 1.2 - Залежність гідравлічної щільності плунжерної пари від напрацювання при концентрації абразивних часток в паливі розміром 6...8 мкм: 1) 15 г/т; 2) 25 г/т; 3) 50 г/т; 4) 75 г/т; 5) 100 г/т; 6) 150г/т.

За даними [20] не можна допускати наявності в паливі абразивних часток при концентрації більше 50 г/т. Це приведе до посиленого абразивного зносу, в першу чергу нагнітального клапана і голки, а потім плунжерної пари. При перевищенні концентрації абразиву в паливі більше 100 г/т. починається посилене абразивне зношування плунжерної пари, причому плунжер зношується в 3...4 рази швидше, ніж втулка.

Таким чином одним з шляхів підвищення ресурсу паливоподаючої апаратури є розробка ефективної системи фільтрації палива, що забезпечує відсіювання часток розміром 4...6 мкм, і меншу забрудненість.

Разом з очевидністю ряду пропозицій, що випливають з робіт [20], вказані вимоги до показників частоти дизельного палива вимагають уточнення додатковими дослідженнями, оскільки конструкція сучасних паливоподаючих агрегатів і пристроїв, що фільтрують, а також умови експлуатації істотно змінилися.

Висновки та завдання досліджень

Вивчення літературних джерел і аналіз їх даних дозволяє зробити наступні висновки:

1. Ефективність експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки, рівень надійності якої на даний час недостатній певною мірою залежить від стабільності функціональних параметрів паливної системи дизелів.

2. Відсутність стабільності функціональних параметрів паливної апаратури обумовлена, головним чином, забрудненням дизельного палива пов'язано з нерівномірністю подачі палива, відхиленням кута випередження, зниженням пускових якостей, а в результаті зниженням тягових характеристик і перевитрати палива.

3. Через вказані несправності виникає 90...95% відмов паливної системи, що безумовно знижує коефіцієнти готовності K_g і технічного використання K_{mi} мобільного сільськогосподарського агрегату в цілому.

4. Використання сучасних методів і засобів очищення нафтопродуктів без чіткого обґрунтування і технічних вимог до чистоти дизельного палива і місця в технологічному ланцюзі операцій не представляється можливим оскільки відомі технічні рішення призначені для вузьконаправленого використання.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення наступних завдань:

1. Виявити причини і вивчити закономірності впливу забрудненості дизельного палива на зношення сполучень паливної системи дизельного двигуна та їх вплив на функціональні характеристики машинно-тракторного агрегату;

2. Теоретично обґрунтувати та експериментально перевірити модель процесу зношення прецизійних сполучень паливної системи дизельного двигуна і розробити методику прогнозування їх ресурсу та технічні вимоги щодо чистоти дизельного палива;

3. Розробити засіб для сепарації механічних домішок і води в дизельному паливі;

4. Розробити практичні рекомендації з підвищення надійності та функціональної стабільності мобільної сільськогосподарської техніки за рахунок удосконалення технічного обслуговування;

5. Теоретично та експериментально визначити закономірності впливу забрудненості дизельного палива на надійність та функціональні характеристики машинно-тракторних агрегатів та визначити техніко-економічну доцільність підвищення чистоти дизельного палива запропонованими засобами.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕНOSTІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА НА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МТА

2.1 Чинники, що впливають на ефективність використання мобільної техніки в умовах сільськогосподарського виробництва

На даний час через недостатню потужність виробничо-технічного потенціалу АПК спостерігаються значні порушення технології, і в першу чергу, термінів початку робіт, їх тривалості і якості. Наприклад, посів зернових, кормових і інших культур проводиться впродовж 10...15 днів замість 4...5 за агротехнічними умовами. Тривалість збирання цих культур, як правило, в 2,0...2,5 разу більше допустимих термінів. Основна обробка ґрунту у багатьох випадках починається пізніше на місяць і більше, що негативно впливає на врожайність сільськогосподарських культур наступного року. Значна частина технологічних операцій взагалі не проводиться. Такий стан пояснюється спрацюванням машинно-тракторного парку, численність якого за останні 10 років скоротилася більш ніж в два рази, і низька надійність не дозволяє мати рівня технічної готовності вище 0,72 (при нормативі 0,95...0,97) [15].

Технічний рівень сільськогосподарської техніки характеризується, передусім, їх продуктивністю, якістю і надійністю. Чим вище надійність машин, менше трудомісткість етапів їх технологічної підготовки до роботи, технічного обслуговування і ремонту, тим менше вимагається техніки, механізаторів і ремонтно-обслуговуючого персоналу для виконання робіт і тим вище продуктивність праці.

Технічний рівень вітчизняної сільськогосподарської техніки (на відміну від зарубіжної техніки) мало сприяє підвищенню продуктивності праці працівників, зайнятих їх експлуатацією. Наприклад, через низьку надійність напрацювання на відмову зерно- і кормозбиральних комбайнів не перевищує 6...8 годин, велику тривалість і високу вартість усунення наслідків відмов і технологічної підготовки машин до роботи.

Так, трудомісткість технологічного налаштування зернозбиральних комбайнів "Дон-1500" вища, ніж у зарубіжних аналогів, в 1,5...2,0 рази. Нестабільність регулювань не лише ускладнює якість робіт і веде до недоотримання продукції і погіршення її якості, але і на 15...20% знижує продуктивність машинно-тракторних агрегатів (МТА) через збільшення тягових опорів машин, на 20...25% збільшує витрату палива [21].

Для типових варіантів комплектації машинно-тракторних агрегатів, параметри роботи яких вивчені і підтверджені досвідом експлуатації приведені дані про їх продуктивність за різних умов експлуатації [3, 23].

Аналіз цих джерел дозволяє стверджувати, що змінна норма напрацювання машинно-тракторного агрегату залежить від його технічної надійності.

Розрахунок продуктивності МТА проводили по наступній формулі [11, 13]:

$$W = 0,36 \cdot \frac{N_{ен}}{K_a} \cdot \eta_{ту} \cdot T_{зм} \cdot \tau, \quad (2.1)$$

де $N_{ен}$ - номінальна потужність на валу двигуна, кВт;

$T_{зм}$ - час зміни, год;

$\eta_{ту}$ - умовний коефіцієнт корисної дії трактора (для випадку тягового агрегату

K_a - питомий опір агрегату, Н/м.

τ - коефіцієнт ефективності використання часу зміни (при розрахунках задається в межах 0,50...0,95).

Формула (2.1) є загальним виразом, що дозволяє комплексно оцінити один з важливих показників ефективності використання сільськогосподарського агрегату. Проте глибший аналіз вказаної формули дозволяє вважати, що продуктивність сільськогосподарського агрегату є імовірнісною характеристикою, оскільки величини, що входять в неї ($N_{ен}$, K_a і τ) є випадковими величинами зі своїми статистичними характеристиками і залежними від безлічі конструктивних і експлуатаційних чинників. Функціональна схема типового сільськогосподарського агрегату представлена на рис. 2.1.

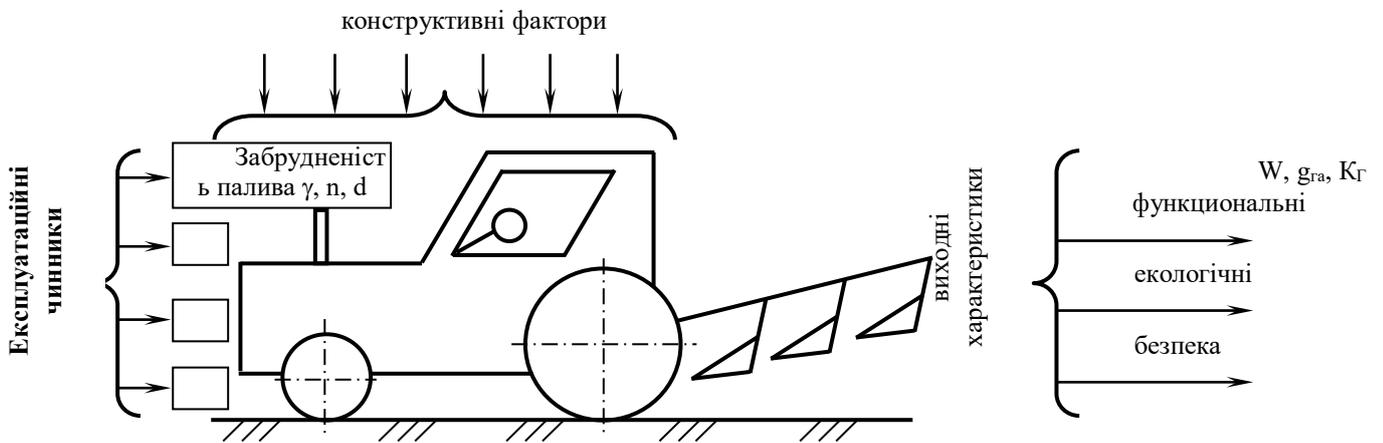


Рисунок 2.1 - Функціональна схема сільськогосподарського агрегату

З приведеної схеми виходить, що кожен з конструктивних і експлуатаційних чинників і їх сукупність роблять вплив на статистичні характеристики вихідних параметрів агрегату, найважливіші з яких є: функціональні, екологічні і параметри безпеки.

Найбільшим раціональним шляхом збільшення продуктивності МТА, в умовах експлуатації є збільшення коефіцієнта ефективності використання часу зміни.

Швидкість руху агрегату безпосередньо залежить від характеристик потужності двигуна, його технічного стану і рівня надійності. Досвід експлуатації тракторів зерно- і кормозбиральної техніки показав [14, 21], що на двигун припадає близько 60 %, а за даними досліджень більше 70% відмов, де більше половини (до 70%) складають відмови паливної системи [18]. Більшість відмов паливної апаратури відбувається внаслідок виходу з ладу прецизійних з'єднань. При цьому порушується кут випередження впорскування палива, рівномірність подачі палива по циліндрах, якість розпилування.

В результаті обробки даних досліджень були отримані залежності, що характеризують долю впливу проміжку в плунжерній парі на показники роботи дизеля з урахуванням роботи паливного насоса в динаміці: нерівномірності подачі палива по циліндрах; характеристика вприскування палива і відхилення кута випередження вприскування палива через спотворення «закону паливоподачі»; величина некомпенсованих витоків палива в картер насоса; зниження пускових якостей; величина витрат на усунення наслідків відмов плунжерних пар[8].

Сумарна роль несправності подачі палива і зміни «закону паливоподачі» складає 90...95 % в загальному балансі впливу розглянутих несправностей. Інші несправності складають 5...10 %. Усе це призводить до зниження потужності двигуна, перевитрати палива, а отже і до зниження годинної продуктивності МТА за рахунок зниження швидкості руху.

Так, наприклад, за даними [13] через зношування плунжерних пар ПНВТ двигуна СМД-62 в рядовій експлуатації МТА втрати палива через 100, 250, 500 мото-годин відповідно складають 0,13; 0,32; 0,65т, а через закоксованості розпилювачів форсунок за період ці втрати складають 0,04; 0,10; 0,19т.

Збільшення коефіцієнта ефективності використання часу зміни безпосередньо пов'язане з надійністю МТА і його складових частин, тобто з надійністю трактора, двигуна, систем двигуна і т. д.

Питання про способи визначення надійності в системах з різним видом їх включення розглядається у багатьох джерелах [1, 22]. При цьому, як правило, приводяться широко відомі формули оцінки надійності для послідовного і паралельного з'єднання елементів. Для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи при послідовному з'єднанні застосовується залежність:

Широко відомі також методи розрахунку надійності систем з різними видами резервування. Для цього пропонується використовувати формулу розрахунку надійності паралельного з'єднання, яка при резервуванні n однакових систем набуває вигляду:

$$P_k = 1 - (1 - P)^n, \quad (2.2)$$

де P - вірогідність безвідмовної роботи однієї системи.

З аналізу формули (2.2) виходить, що вірогідність безвідмовної роботи МТА в цілому можна підвищити за рахунок резервування систем, що входять в комплекс. Наприклад, вірогідність безвідмовної роботи паливної системи двигуна можна підвищити за рахунок резервування, тобто за рахунок застосування системи попереднього очищення дизельного палива від механічних домішок і води, яка резервує штатну систему очищення палива, яка встановлена на двигуні.

Апріорі, таке рішення дозволить підвищити надійність МТА, а отже, збільшити коефіцієнт ефективності використання часу зміни t , см

Основним показником надійності сільськогосподарського МТА є коефіцієнт готовності, що характеризує середню долю часу знаходження МТА в робочому стані. У загальному випадку сільськогосподарський мобільний комплекс включає ряд машин, а машини включають ряд систем. Отже, розглядаючи надійність МТА, як чинник забезпечення його ефективності, необхідно враховувати час перебування систем в працездатному стані.

Таким чином з приведеного вище аналізу виходить, що резервування систем двигуна, що мають низьку надійність, приведе до збільшення коефіцієнта готовності машино-тракторного агрегату в цілому, а наявність інженерних методів розрахунку показників надійності складних систем дозволить оперативно керувати цими показниками.

2.2 Дослідження закономірностей зміни продуктивності і витрати палива МТА при різних рівнях його забрудненості

Метою цих досліджень є розробка математичної моделі для побудови залежностей основних функціональних характеристик (продуктивність і витрата палива) від напрацювання МТА при різних рівнях забрудненості дизельного палива.

Найбільшою перешкодою при рішенні поставленої задачі є відсутність інформації про динаміку зміни в процесі експлуатації функціональних характеристик енергетичного засобу сільськогосподарського агрегату. Зокрема,

маючи в розпорядженні дані про зміну номінальної потужності двигуна і питомої витрати палива, залежно від напруцювання трактора представляється можливим зробити енергетичну оцінку тракторного агрегату, наприклад на оранці.

Враховуючи, що агрофоном машино-тракторного агрегату є стерня і скориставшись даними [16] можна побудувати тягову характеристику для трактора Т-150К, яка приведена на рис. 2.2.

Питомий тяговий опір плуга $K_{пл}$ у можна визначити по формулі [16]

$$K_{пл} = K_o \left[\frac{1 + (V_p^1 - V_o) \cdot \Delta C}{100} \right], \quad (2.3)$$

де K_o - питомий тяговий опір плуга, що відповідає швидкості $V_p = 5$ км/год;

h - глибина оранки, м;

V_p - робоча швидкість машино-тракторного агрегату, км/год;

ΔC - темп наростання питомого тягового опору залежно від швидкості агрегату, $\Delta C = 3\%$ [16].

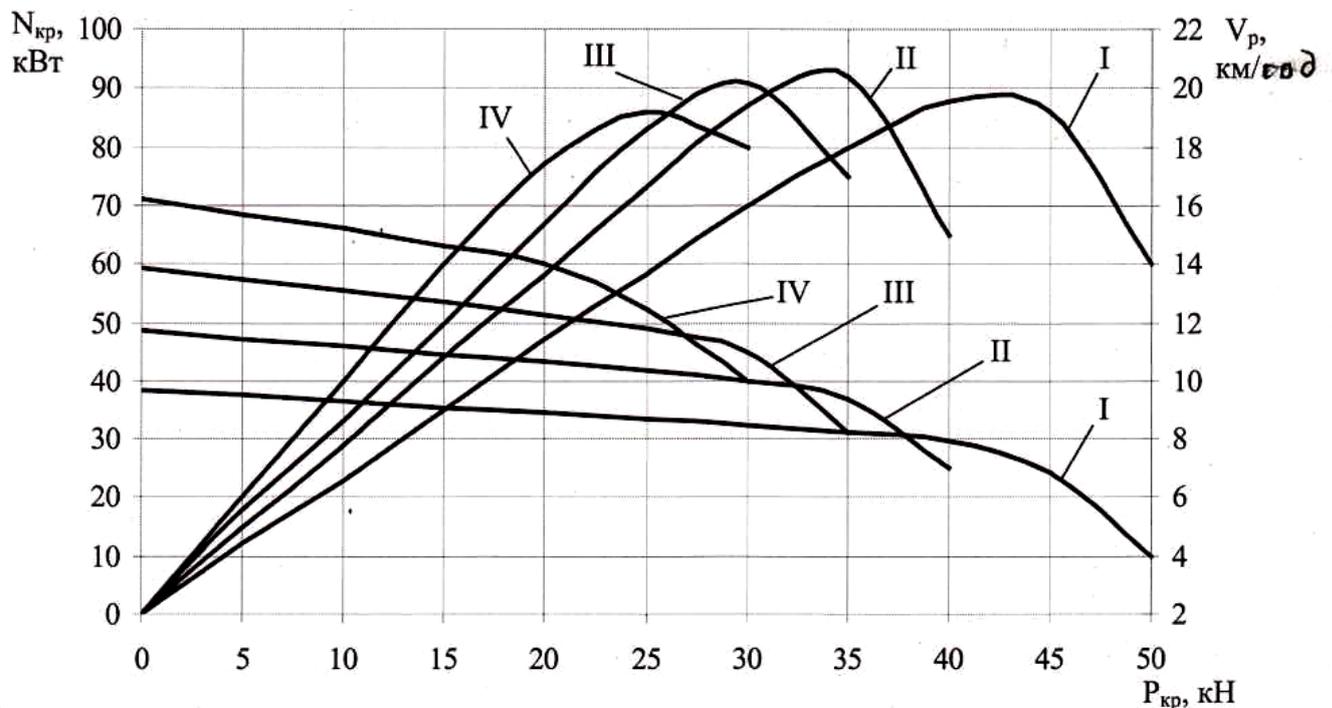


Рисунок 2.2 - Тяговий опір трактора Т-150К

При сталому русі орного агрегату на місцевості з нахилом $i = 0$ тяговий опір можна визначити по формулі:

$$R_a = K_{nl} \cdot b_k \cdot n_k \cdot \beta, \quad (2.4)$$

де b_k - ширина лемеша, м;

n_k - кількість лемешів;

β - коефіцієнт використання конструктивної ширини лемеша,

$\beta = 1,04 \dots 1,06$ [16].

Використовуючи основні положення динаміки трактора для розрахунку продуктивності МТА на оранці отримано наступну залежність:

$$W = \frac{0,36 N'_{кр} \beta}{0,5 K_o h \left(1 - \frac{V_o \Delta C}{100}\right) + \sqrt{0,25 K_o^2 h^2 \left(1 - \frac{V_o \Delta C}{100}\right) + \frac{3,6 N'_{кр} \xi_{Ркр} \Delta C}{100 b_k n_k \beta}}}, \quad (2.5)$$

де W - продуктивність МТА, га/год

$N'_{кр}$ - поточна крюкова потужність трактора, кВт; $N'_{кр} = N_{кр \max} N'_e / N_{e \max}$,

$N_{кр \max}$ і $N_{e \max}$ - паспортні дані максимальних значень відповідно потужності на крюку і ефективної потужності двигуна;

N'_e - поточне значення ефективної потужності двигуна, стабільність якого залежить від стану шатунно-поршневої групи і прецизійних сполучень паливної апаратури.

K_o - поточний тяговий опір плуга при швидкості $V_o = 5$ км/год; кПа (кН/м²);

h - глибина оранки, м;

ΔC - темп нарощування питомого тягового опору плуга в залежності від робочої швидкості МТА, % год/км;

$\xi_{Ркр}$ - коефіцієнт використання тягового зусилля;

b_k - ширина лемешу, м;

n_k - кількість лемешів, шт.;

β - коефіцієнт використання конструктивної ширини плуга;

Якщо припустити, що поточне значення ефективної потужності двигуна N'_e

буде залежати тільки від величини зношування сполучень паливної системи, особливо від зношування плунжерних пар ПНВТ, то буде справедлива залежність:

$$N'_e = f(I, \tau), \quad (2.6)$$

де I – сумарний знос прецизійних пар ПНВТ;

τ - час роботи МТА.

Аналіз отриманих залежностей (1), (2) показує, можливість їх використання для дослідження впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики МТА при умові, що залежність (3) є відома.

2.3 Моделювання процесу зношування плунжерних пар ПНВТ

Метою цих досліджень стало створення математичної моделі процесу зношування плунжерних пар ПНВТ дизелів з урахуванням забрудненості дизельного палива, використовуючи яку можливо: по-перше, прогнозувати ресурс рухливих сполучень паливоподаючої апаратури; по-друге, керувати процесом зношування цих сполучень шляхом забезпечення тієї або іншої міри чистоти дизельного палива, і нарешті, обґрунтувати технічні вимоги до чистоти дизельного палива, дотримання яких гарантувало б забезпечення заданого ресурсу ПНВТ.

Відомо, що безвідмовність і ресурс паливної апаратури головним чином залежить від забрудненості палива механічними домішками і водою.

Найбільш чутливими елементами паливної апаратури до забруднення палива є плунжерна пара паливного насоса високого тиску і клапан розпилювача форсунки.

Умови експлуатації дизелів на мобільній сільськогосподарській техніці характеризуються великим спектром забрудненості дизельного палива. Тому важливо ще на стадії проектування мати такий інструментарій, який би дозволяв здійснювати прогнозування ресурсу найбільш чутливої до забруднення паливної апаратури.

Методологія створення такого інструментарію, включаючи і програмне забезпечення, полягає в наступному: на підставі теорії зношування з урахуванням особливостей конструкції паливної системи дизеля розробляється математична модель процесу зношування; здійснюється експериментальна перевірка адекватності математичної моделі і розробляється програмне забезпечення для розрахунку на ЕОМ величини зношування залежно від часу експлуатації паливної апаратури; використовуючи відомості про граничний зазор рухомих з'єднань елементів паливної апаратури, визначається їх ресурс залежно від наявності в паливі механічних домішок.

Реалізація вказаної методології здійснена нами на прикладі плунжерної пари паливного насоса дизельного двигуна СМД-62 [9].

Якщо припустити, що швидкість зношення прецизійних сполучень, через зазори яких витікає рідина з домішками абразивних частинок, буде тим більша, чим більша кількість цих частинок пройде через них, то елементарний знос ΔI_x при проходженні маси Δg_x частинок розміром x разом з дизельним паливом через зазор сполучення, наприклад, плунжерної пари паливного насоса високого тиску (ПНВТ), буде дорівнювати:

$$\Delta I_x = J \cdot \Delta g_x, \text{ мкм} \quad (2.7)$$

де J - питома швидкість зношення, обумовлена ймовірністю P_x проникнення в зазор плунжерної пари величиною, a , мкм частинок абразиву розміром x , мкм.

В свою чергу:

$$J = k \left(\frac{x-a}{\bar{x}} \right)^\gamma P_x, \quad (2.8)$$

$$P_x = \exp \left\{ - \frac{(x-a)^2}{2\sigma^2} \right\}, \quad (2.9)$$

де γ - коефіцієнт, що характеризує конструктивні особливості плунжерної пари;

\bar{x} і σ - середньоарифметичне і середньоквадратичне значення розмірів механічних домішок у дизельному паливі;

k - коефіцієнт, який враховує властивості матеріалів деталей плунжерної пари і механічних домішок у дизельному паливі.

Для побудови математичної моделі зношування плунжерної пари використовувалася схема циркуляції абразиву разом з паливом в дизельному двигуні СМД-62 (рис 2.3).

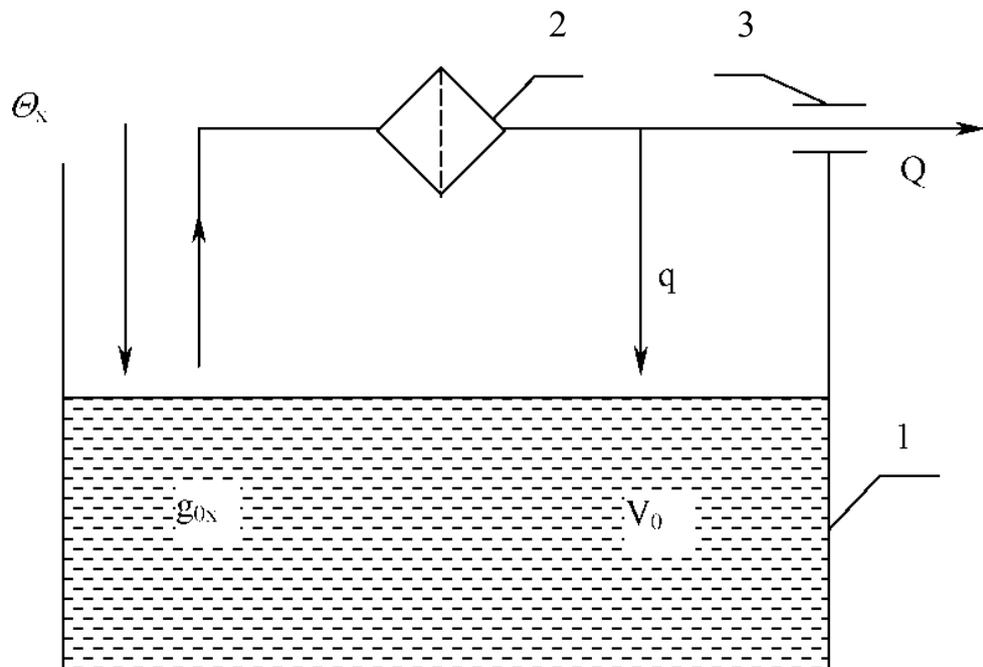


Рисунок 2.3 - Принципова схема системи живлення двигуна СМД-62:

1 - паливний бак; 2 - фільтр; 3 - плунжерна пара

На схемі рис. 2.3 використані наступні позначення:

Q - витрата палива, що проходить через ПНВТ в камери згорання.

Для паливної системи СМД-62 $Q = 25,7$ л/годину;

q - витрата палива, що повертається у бак після проходження через фільтр і має інший дисперсний склад мехдомішок, $q = 25,7$ л/годину;

θ_x - швидкість вступу нових порцій мехдомішок з розміром частинок x в паливний бак (г/л)/годину;

g_{0x} - початкова концентрація мехдомішок з розміром частинок x , г/л;

V_a - місткість паливного бака, л.

Крім того, передбачається, що зазор в плунжерній парі рівний a мкм і в процесі роботи збільшується до заданого граничного значення a_{max} . По даних [16] a_{max} - 12,19 мкм.

В процесі експлуатації дизеля разом з паливом викидаються мехдомішки і, проходячи через фільтр, змінюють свій дисперсний склад. Частина палива q повертається у бак, інша частина Q потрапляє в ПНВТ і бере участь в процесі зношування поверхонь, що труться.

Одночасно з цим в процесі роботи з різних причин в паливний бак з навколишнього простору поступає повітря, що містить абразивні домішки. Швидкість вступу їх в масовій долі складає Θ_x для розміру частинок x , а дисперсний склад може бути будь-яким. Таким чином, концентрація і дисперсний склад домішки в паливному баку в процесі роботи безперервно змінюється.

Запропонована математична модель зношування плунжерних пар в залежності від забрудненості дизельного палива стала початковим матеріалом для вирішення ряду прикладних завдань. Зокрема, маючи в розпорядженні таку модель, можна теоретично обґрунтувати технічні вимоги до чистоти дизельного палива, а також розробити методику прогнозування ресурсу плунжерних з'єднань паливоподаючої апаратури.

Висновки до другого розділу

1. За допомогою математичного моделювання процесу зношування прицевійних з'єднань паливоподаючої апаратури, обґрунтовані технічні вимоги до чистоти дизельного палива, використовуваного в мобільній сільськогосподарській техніці і розроблена методика прогнозування ресурсу плунжерних пар ПНВТ.

2. Допустима масова доля механічних частинок в дизельному паливі розмірами 4...6 мкм не повинна перевищувати 25 г/т, для розмірів 8...10 мкм - 62 г/т, а для розмірів більше 15 мкм - 100 г/т.

3. Розрахунок ресурсу плунжерних пар за допомогою запропонованої методики на прикладі ПНВТ двигуна СМД - 62 дозволив встановити, що при використанні дизельного палива в стані постачання плунжерні пари до капітального ремонту забезпечують нормальну працездатність протягом 960 мотогодин.

4. За умови попереднього очищення дизельного палива фільтром з тонкістю очищення 10 мкм і коефіцієнтом фільтрації близьким до одиниці, ресурс плунжерних пар складає 2370 мотогодин.

5. Необхідно передбачити в регламенті технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки операцію попередньої підготовки дизельного палива перед заправкою в паливні баки, що забезпечує технічні вимоги, що пред'являються до параметрів його чистоти.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Програма експериментальних досліджень передбачає наступні роботи:

- вивчення впливу чистоти дизельного палива на функціональну стабільність мобільних сільськогосподарських агрегатів;
- статистична оцінка рівня забрудненості дизельного палива, що використовується для сільськогосподарської мобільної техніки;
- перевірка достовірності математичних моделей процесів зношування прецизійних з'єднань паливоподаючої апаратури і очищення дизельного палива силами електричного поля, в якому є наповнювач у вигляді сфери з діелектрика з високою діелектричною проникністю;
- розробка конструкції електроочисника попереднього очищення дизельного палива, вибір матеріалу діелектрика і способу його регенерації;
- оптимізація технологічних режимів очищення дизельного палива і конструктивних параметрів розробленого електроочисника;
- експлуатаційна оцінка ефективності застосування електроочисника на етапі підготовки до використання дизельного палива.

Реалізація викладеної програми вимагає використання разом з відомими методами експериментальних досліджень і розробку оригінальних методик і лабораторного устаткування, що забезпечили з достатньою точністю і достовірністю отримати нові знання в межах, передбачених темою дипломної роботи.

3.2 Розробка методики прискорених випробувань зношування прецизійних з'єднань паливоподаючої апаратури

Метою цих досліджень є вивчення впливу забрудненості дизельного палива на процес зношування прецизійних з'єднань паливоподаючої апаратури і оцінка

адекватності математичної моделі на прикладі плунжерних пар ПНВТ двигуна СМД - 62.

Розробка цієї методики базувалася на виконаних роботах, пов'язаних з класичними методами експериментальних досліджень тертя.

Згідно робіт [14,17] при випробуваннях на зносостійкість використовувався системний підхід до рішення поставлених завдань. Для вирішення таких завдань з використанням системного підходу треба врахувати чотири основні групи параметрів системи і їх взаємозв'язку. Цими групами є:

- Технічна функція системи (вузла тертя);
- Робітники змінні;
- Структура вузла тертя;
- Робочі характеристики (зношування).

Під технічною функцією плунжерної пари, як трибосистеми, розуміють забезпечення руху з мінімальним зношуванням і механічними втратами, зберігаючи геометрію сполучення.

Робітниками змінними є: навантаження і швидкість ковзання; робочі площі тертя рухливого і нерухомого елементів вузла тертя; об'єми, що лежать під робочими площами; матеріали рухливого і нерухомого елементів (плунжера і втулки); змащуючі властивості робочого середовища (дизельне паливо).

У цих дослідженнях чинник мастильного середовища (дизельне паливо) є основним і варіюється. Пов'язано це з тим, що різні типи фільтрів забезпечують різну якість очищення дизельного палива, а отже, будуть і різні міри впливу на зношування плунжерних пар.

В якості об'єктів дослідження при розгляді завдань роботи були вибрані матеріали, з яких виготовляють плунжерні пари паливних насосів високого тиску. Плунжерні пари таких насосів (як втулка, так і плунжер) виготовляють із загартованих сталей ШХ15 (HRC 62-64).

При виборі експериментальної установки і засобів реєстрації параметрів тертя модельних зразків плунжерної пари виходили з важливості використання

при випробуваннях серійних машин тертя [5,12] і типових зразків, що дозволяє зіставляти без перерахунків результати, отримані різними дослідниками.

Результати випробувань, отримані на різних випробувальних установках, значно розрізняються, що утрудняє їх аналіз і порівняння. Чинниками, що відповідають за результати, є коефіцієнт взаємного перекриття, рівень вібрації самої випробувальної установки і ряд інших причин [5].

Як вже відзначалося, при проведенні досліджень використовувалася кінематична схема «кільце - кільце». Установа для випробування була зібрана на базі машини тертя СМТ - 1 [23] (рис. 3.1). На машину тертя СМТ - 1 встановлювали додатковий модуль, загальний вигляд якого представлений на рис. 3.2.

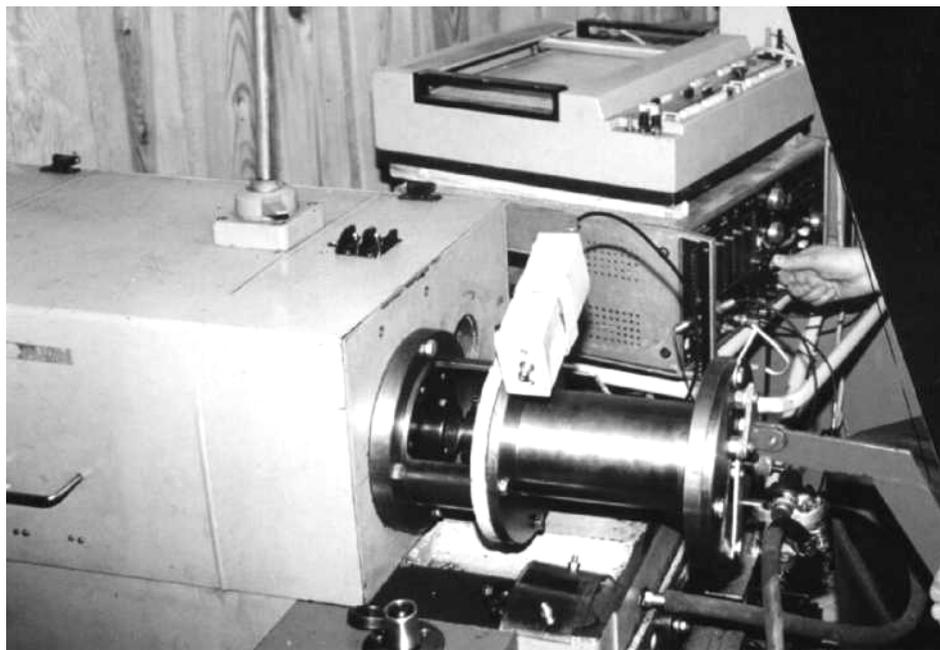


Рисунок 3.1 - Зовнішній вигляд машини тертя СМТ - 1 із спеціальним модулем для випробування

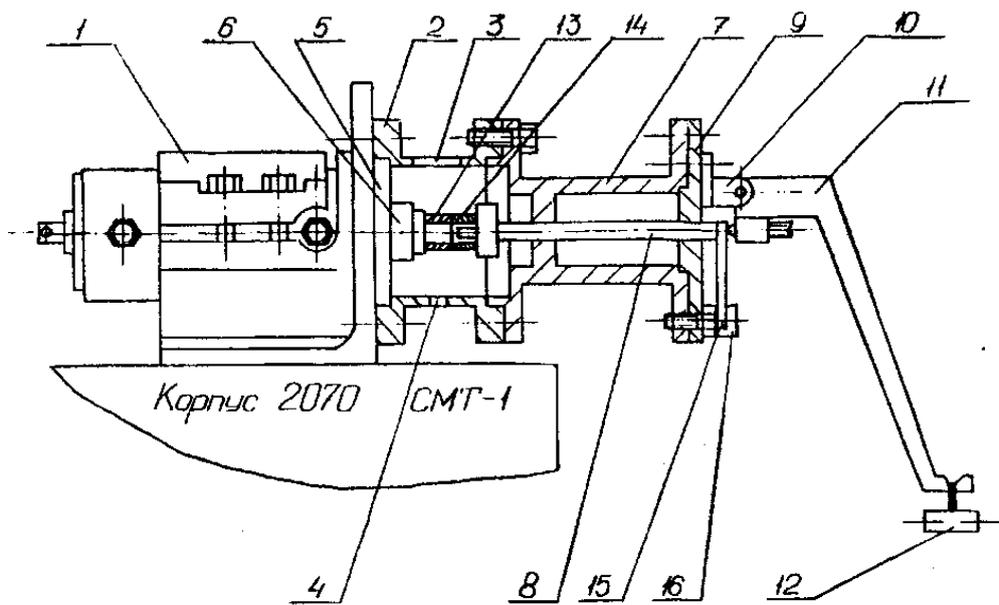


Рисунок 3.2 - Загальний вигляд модуля для випробування пари тертя «кільце - кільце» 1 - бабка нижнього зразка; 2 - випробувальна камера; 3 - технологічне вікно; 4 - отвір для зливу мастильного середовища; 5 - центруючий поясок шпинделя; 6 - перехідник; 7 - центруючий корпус; 8 - вал; 9 - кришка; 10 - кронштейн; 11 - важіль; 12 - вантаж; 13 - рухливий зразок - кільце; 14 - нерухомий зразок - кільце; 15 - важіль; 16 - упор.

Пара тертя виготовлялася із сталі ШХ15. Робоча площа тертя нерухомого кільця складала $3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, робоча площа рухливого кільця зменшена за рахунок вирізів на 80% від повної площі. Якщо з цих елементів скласти пару тертя, то коефіцієнт взаємного перекриття пари складе 0,2. За допомогою такої пари моделюється робота вузла тертя "плунжер - втулка". Методика випробувань для такої кінематичної схеми стандартизована.

Для підвищення відтворюваності результатів застосовували попереднє припрацювання зразків, яке мало мету забезпечити сполучення поверхонь тертя, що характеризуються слідами тертя, на площі не менше 90 % робочої поверхні тертя кожного зразка.

Подача дизельного палива в зону тертя здійснювалася самопливно з витратної місткості з годинною витратою 2 кг/год; після проходження зони тертя дизельне паливо зливалося і більше в зону тертя не поверталось (щоб виключити вплив накопичення часток зношування у випробовуваному паливі).

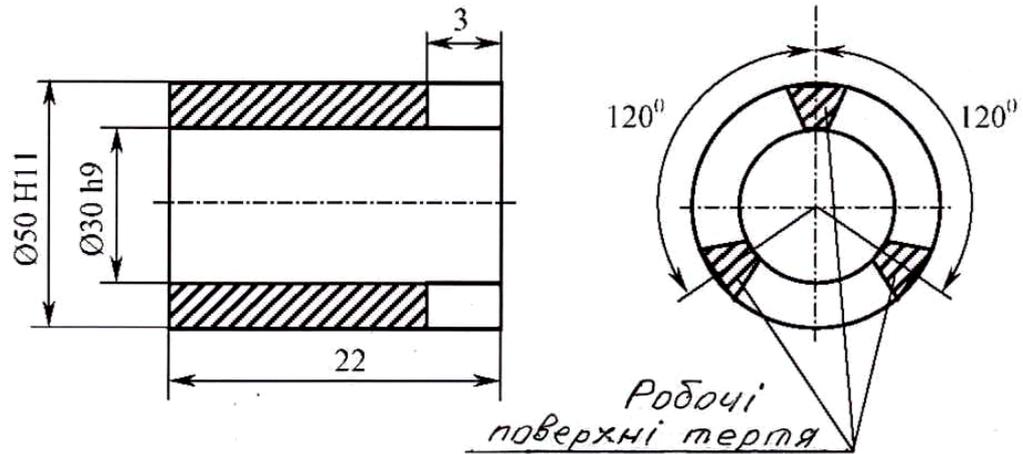


Рисунок 3.3 - Ескіз рухливого кільця модельної пари тертя

У роботі [13] приведений аналіз існуючих методів визначення зношування. Найбільш прийнятним для вирішення поставленого нами завдання є метод штучних баз, що дозволяє визначати лінійне зношування кожного із зразків пари тертя. Використання цього методу викладено в [12]. Відмінністю використаної нами методики від викладеної там є застосування замість квадратної алмазної піраміди з кутом при вершині між протилежними гранями 136° алмазного конуса з кутом при вершині 120° . Якщо за допомогою конуса виконати відбиток на плоскій поверхні матеріалу (рис. 3.4 а), то величина лінійного зношування Δb може бути визначена по формулі:

$$\Delta b = b_1 - b_2 = \frac{C_1 - C_2}{z}, \quad (3.1)$$

де b - глибина відбитку,

C - діаметр проекції відбитку на випробовуваній поверхні (індекси 1 і 2 відповідають вимірам діаметру до і після випробування);

z - коефіцієнт пропорційності, залежний від кута при вершині конуса.

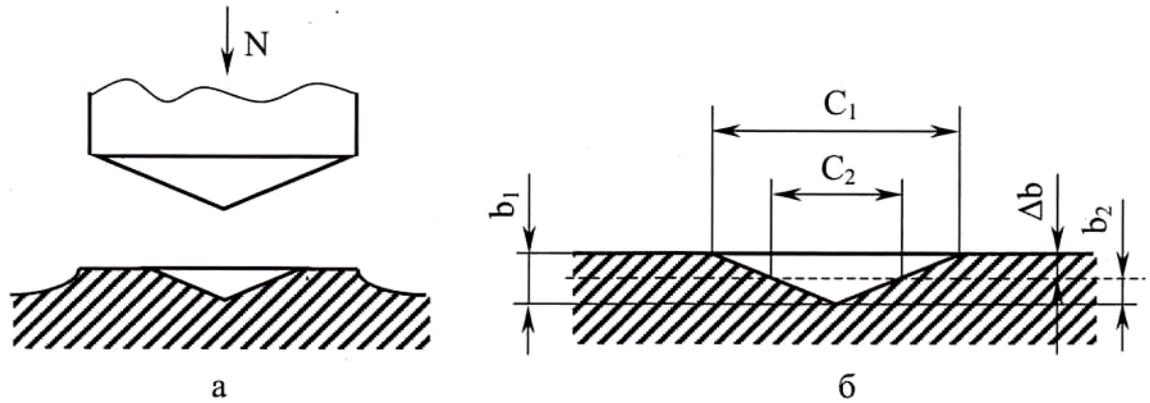


Рисунок 3.4 - Схема виміру зношування методом штучних баз:

а - відбиток після втискування індентора; б - відбиток перед початком випробувань і після випробувань.

Для кута 120° $z = 3,464$. Тоді:

$$\Delta b = \frac{C_1 - C_2}{3,464}, \quad (3.2)$$

Оскільки при втискуванні конуса утворюється спучення матеріалу (рис. 3.4 а), що спотворює вимір діаметру, вимір здійснювався після видалення спучення наждачним папером з наступною обробкою.

Сумарне лінійне зношування обох зразків в мікрометрах визначалась після випробування протягом 1, 2, 3, 4, 5 і 6 годин. Ця шкала, часу складала точки по осі абсцис на графіках зношування. У кожній точці експеримент повторювався три рази, а відтворюваність результатів оцінювалась за критерієм Кохрена [18, 19] при довірчій вірогідності 0,90. По осі ординат відкладалися середні значення сумарного зношування рухливого і нерухомого зразків кожної точки. За результатами експериментів будувалася крива сумарного лінійного зношування обох зразків за часом для початкового і очищеного палива.

Відповідно до мети дослідження в якості варійованого чинника при випробуванні пари тертя на зношування вибрана концентрація в мастильному середовищі абразивних часток і розподілу їх по розмірах. В якості абразивного середовища був вибраний кварцевий пісок напівкруглої форми, який за допомогою сит був розділений на групи по дисперсності.

В результаті просіювання піску через сито отримані наступні розмірні групи:

$d_{cp} = 1...2$ мкм; $d_{cp} = 4...6$ мкм; $d_{cp} = 8...10$ мкм; d_{cp} більше 15 мкм.

Вимір середнього діаметру часток проводився на оптичному мікроскопі МІМ - 8 з точністю відліку 1 мкм.

Після класифікації за дисперсністю абразив додавався в дизельне паливо в наступних концентраціях (для кожної з розмірних груп) :

$C_1 = 25$ г/т; $C_2 = 50$ г/т; $C_3 = 75$ г/т; $C_4 = 100$ г/т; $C_5 = 125$ г/т; $C_6 = 150$ г/т.

Перед додаванням абразиву в паливо воно проходило наступну підготовку. Паливо відстоювалося протягом 10 діб, потім фільтрувалося через мембранний фільтр з тонкістю фільтрації 0,9 мкм.

Випробування, проведені на такому паливі (очищене, але без додавання абразивних часток), вважаються еталонними, з якими надалі порівнюються отримані експериментальні дані по зношуванню.

Для експериментальної перевірки адекватності математичної моделі процесу зношування прецизійних з'єднань були приведені дослідження, методика яких передбачала ряд спеціальних прийомів.

Один з методичних прийомів полягав в тому, що на основі результатів прискорених триботехнічних випробувань, використовуючи теорію подібності, був встановлений часовий масштаб, що дозволяє зіставляти результати експериментальних досліджень з розрахунковими на будь-якому тимчасовому відрізку, що відповідає реальним умовам експлуатації.

Для визначення ресурсу плунжерних пар ПНВТ за результатами лабораторних прискорених випробувань їх моделей були використані положення теорії подібності і моделювання [6]. Згідно [6] для розрахунку часу натурних випробувань в межах ресурсу t_n , коли зношування плунжерної пари досягає величини зношування, отриманого на моделі, використовується наступна формула:

$$t_n = t_m \left(\frac{N_m}{N_n} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{V_m}{V_n} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{K_{\phi n}}{K_{\phi m}} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\alpha_{ВТН}}{\alpha_{ВТМ}} \right)^{\frac{7}{3}} \left(\frac{A_{урc_n}}{A_{урc_m}} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{Q_n}{Q_m} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (3.3)$$

де t_n і t_m - відповідно ресурс натурної пари тертя і модельної при однаковому зношуванні, год.;

N_n і N_m - навантаження на натурну і модельну пари тертя, Н

V_n і V_m - швидкість ковзання натурної і модельної пар тертя, м/с

Q_n і Q_m - витрата дизельного пального (змащуючого середовища) через вузол тертя натурної і моделі відповідно.

$K_{\phi n}$ і $K_{\phi m}$ - коефіцієнти форми натурної і модельної пар тертя.

$$K_{\phi} = \frac{S_n}{V_n + \frac{V_n \cdot S_n}{S_n}}, \quad (3.4)$$

де S_n і S_m - площі рухомого і нерухомого кілець, м²

V_n і V_m - об'єми між площами тертя відповідно рухомого і нерухомого кілець, м³

$\alpha_{ВТН}$ і $\alpha_{ВТМ}$ - коефіцієнти загасання ультразвукових коливань в матеріалах натурної і модельної пар, які характеризують внутрішнє тертя матеріалів;

$A_{урc_n}$ і $A_{урc_m}$ - критерії оцінки змащуючих властивостей дизельного палива, вживаного при випробуванні натурної і моделі, Дж/м³:

$$A_{урc} = \frac{\mu N L_{тр}}{V_{зн}}, \quad (3.5)$$

де N - нормальне навантаження;

$L_{тр}$ - шлях тертя;

μ - коефіцієнт тертя;

$V_{зн}$ - об'єм зношеного матеріалу;

3.3 Розробка ефективного електроочисника дизельного палива

Метою цієї розробки є створення, на основі математичного моделювання, пристрій здатний забезпечити задану чистоту дизельного палива передбачену програмою і методикою досліджень. Алгоритм створення електроочисника приведений на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 - Алгоритм створення електроочисника

Теорія електростатичних фільтрів, призначених для очищення органічних рідин від механічних домішок і води, покликана встановити загальні закономірності, яким підкоряються їх кількісні і якісні показники. Велика різноманітність конструкцій електрофільтрів не дозволяє зробити це в загальному випадку, а вимагає конкретизації хоч би деяких, найбільш типових елементів схеми фільтру або конкретизації принципу його дій. У роботах [12, 13] досліджена математична модель фільтру з робочим осередком з коаксіальних циліндрів, в якому частинки домішок, переміщуючись разом з рідиною вздовж її осі, осідають на поверхні внутрішнього циліндра.

Разом із згаданою конструкцією електрофільтру існують і інші, теорія яких не розроблена. Серед них фільтри, робочою поверхнею яких є поверхня діелектрика, поміщеного в поле коаксіальних електродів [17]. У наслідку поляризації діелектрика в зовнішньому полі на поверхні його з'являється пов'язаний поляризаційний заряд, а сама ця поверхня починає відігравати роль тієї, що облягає. Теорія електричних фільтрів такого роду з наповнювачем, повинна враховувати спотворення спочатку існуючого аксіального електричного поля поблизу діелектрика і динаміку в'язкої рідини, оточуючої його поверхня. У загальному випадку це завдання може бути вирішене тільки чисельними методами.

Оптимізація конструктивних параметрів електростатичного фільтру зводиться до забезпечення максимізації критерію його функціонування тобто $K_{\text{еф}} \rightarrow \max$, і $S_{\text{еф}} \rightarrow \max$. Розрахунок вказаних характеристик фільтру здійснювався за розробленою програмою \rightarrow для ПК. Чисельні розрахунки приведені для дизельного палива з домішками кварцу і води. Фізичні характеристики цих речовин приведені в [14].

Для моделювання використана коаксіальна система електродів, між якими на відстані D від осі розташовувалася сфера з діелектрика (рис. 3.6). При цьому радіус внутрішнього електроду був вибраний рівним $R_1 = 1$ мм, зовнішнього $R_2 = 20$ мм, а $D = (R_2 - R_1)/2$. Ці параметри при усіх розрахунках залишалися незмінними.

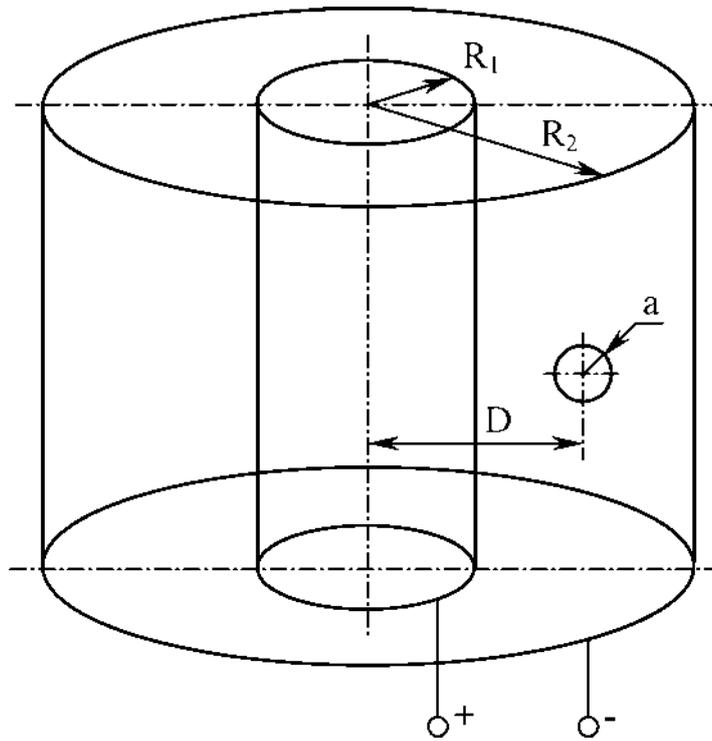


Рисунок 3.6 - Схема пристрою осередку фільтру «з наповнювачем»

Напруга між електродами U приймалося рівним 5 і 10 кВ.

Радіус сфери a варіювався в межах від 0,5 до 4 мм. Діелектрична проникність сфери ϵ_1 змінювалася в межах від 4 до 32 одиниць. У цьому діапазоні прив'язані діелектричні проникності багатьох речовин [18], які можуть бути використані в якості робочого елемента (сфери) розглядаючого тут фільтру. Розрахунки виконувались при чотирьох значеннях ϵ_1 , рівних 4, 8, 16 і 32, щоб визначити, в скільки разів змінюється $S_{\text{еф}}$ при подвоєнні діелектричної проникності. В якості домішки вибрані частинки кварцу розміром до 200 мкм.

Швидкість течії рідини V , що оточує сферу, приймалася на великій відстані від сфери рівної 3, 5 і 8 мм/с.

Проектування електростатичних фільтрів, робочими елементами яких служить поверхня діелектрика, поляризованого в електричному полі, можливо тільки у тому випадку, коли вдається знайти закономірності, яким підкоряються їх кількісні і якісні показники - продуктивність і тонкість очищення. Характер цих залежностей можна з'ясувати тільки за допомогою моделювання.

Висновки до третього розділу

1. Відповідно до програми експериментальних досліджень разом з використанням відомих методик і стандартного метрологічного обладнання для виконання поставлених в дипломній роботі завдань були розроблені нові методики, вдосконалені лабораторні зразки випробувальних стендів і створені зразки нового обладнання. Зокрема, для моделювання процесу зношування прецизійних з'єднань паливоподаючої апаратури розроблена методика прискорених випробувань зношування на основі моделювання

2. Розроблена математична модель процесу очищення дизельного палива силами електричного поля, в якому розташована поляризована одинична сфера з діелектрика, що дозволила створити методику розрахунку основного критерію ефективності очищення електричного фільтру коефіцієнта ефективності K_{ef} і ефективній площі S_{ef} осадження механічних домішок і води.

3. Досліджені основні закономірності і отримані залежності для інженерного розрахунку конструктивних параметрів і технологічних режимів електричного фільтру з наповнювачем з діелектрика.

4. Аналіз результатів математичного моделювання процесу осадження частинок домішок в дизельному паливі дозволив встановити що найбільш ефективним параметром, збільшення якого не вимагає ускладнення конструкції електрофільтру і чинить дуже істотний вплив на підвищення його ефективності, є діелектрична проникність матеріалу зерен «наповнювача». В якості таких матеріалів може бути використаний титанат барію, або титанат стронцію, діелектрична проникність яких рівна в межах 1200...2000 одиниць. Для порівняння, діелектрична проникність інших широко відомих матеріалів знаходиться в межах 2...32 одиниці.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

4.1 Оцінка достовірності математичної моделі процесу зношування плунжерних пар ПНВТ

Розроблена в розділі 2.2 математична модель процесу зношування плунжерних пар може бути використана для вирішення прикладних задач, пов'язаних з прогнозуванням ресурсу, обґрунтуванням технічних вимог до чистоти дизельного палива та ін., тільки у тому випадку, якщо її основні положення знайдуть експериментальне підтвердження.

При експериментальних дослідженнях процесу зношування прецизійних з'єднань паливної апаратури дизелів виникає ряд труднощів, які полягають в тому, що практично не представляється можливість такі дослідження проводити на натурних зразках, оскільки це пов'язано із складністю конструкції об'єкту дослідження і великою кількістю чинників, які впливають на зношування прецизійних з'єднань, у тому числі плунжерних пар ПНВТ, наприклад, геометрія з'єднань, температура, забруднення доквілля, палива і так далі.

Тому проміжною перехідною ланкою між натурою і математичною моделлю часто виступає фізична модель об'єкту.

Фізичне моделювання містить модельний лабораторний експеримент, результати якого в наступному переносять на натуру.

Досліджуванним об'єктом виступає фізична модель. Фізична модель - це матеріальна функціональна модель, яка подібна оригіналу.

Конструкція і номінальні значення геометричних параметрів оригіналу, тобто натурної плунжерної пари ПНВТ, представлені на рис. 4.1.

Конструкція і геометричні параметри моделі, яка застосовувалася для лабораторних випробувань, були представлені на рис. 3.3.

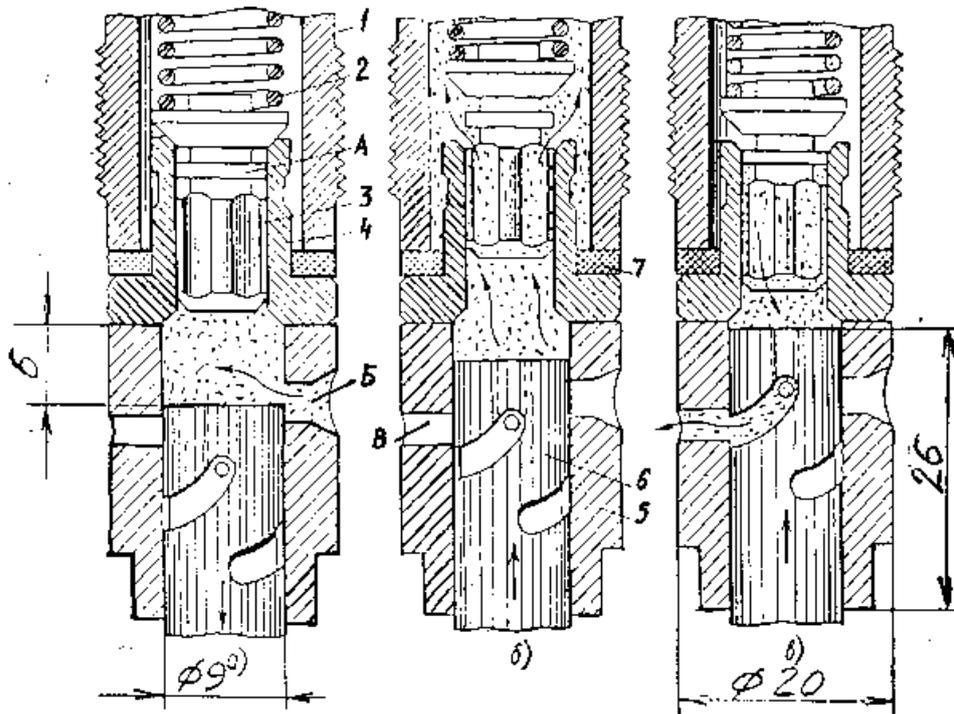


Рисунок 4.1 - Конструкція і номінальні значення геометричних параметрів плунжерної пари ПНВТ: а - подача палива в надплунжерний простір; б - подача палива у форсунку нагнітання; в - кінець подачі палива (відсічення); А - розвантажувальний пояс; Б - впускний отвір; В - відсічний отвір; 1 - нажимний штуцер; 2 - пружина нагнітального клапана; 3 - нагнітальний клапан; 4 - сідло нагнітального клапана; 5 - втулка плунжера; 6 - плунжер; 7 - прокладка.

Отримані раніше вирази дозволяють отримати масштабні коефіцієнти для перерахунку даних за швидкістю зношування і ресурсу, отриманих в лабораторних умовах на модельних зразках (див. рис. 3.3) на натурне трибосполучення, тобто плунжерну пару ПНВТ. При цьому враховане максимально можлива кількість чинників, таких як: навантаження, швидкість ковзання, геометричні розміри трибосполучень, структура зв'язаних матеріалів, змащуюча здатність дизельного палива і наявність в ньому забруднень, а також витрата дизельного палива через трибосполучення.

Така фізична модель дасть можливість в лабораторних умовах дослідити вплив забруднень, що знаходяться в дизельному паливі, на ресурс натурних плунжерних пар.

Отримані дані дозволяють розробити і адаптувати до реальних умов експлуатації математичну модель зношування плунжерних пар паливного насоса високого тиску, яка є вихідною для вирішення перерахованих раніше прикладних завдань, що включають прогнозування ресурсу прецизійних з'єднань паливоподаючої апаратури і обґрунтування технічних вимог до чистоти дизельного палива.

Коефіцієнти $K_{фн}$ форми натурної плунжерної пари, геометричні розміри якої представлені на рис. 4.1, і моделі $K_{фм}$ (див. рис. 3.3), розраховані по формулі (3.4), мають наступні чисельні значення:

$$K_{фн} = 90 \text{ м}^{-1}; K_{фм} = 1,8 \text{ м}^{-1}$$

З урахуванням приведених чисельних значень величин, що входять у формулу (3.4), отримуємо коефіцієнт перерахунку часу t_m випробування на зношування моделі до часу t_n натурних випробувань, за яке досягається величина зношування, дорівнює зношуванню, отриманому на моделі:

$$K = 80,1, \text{ а } t_n = 80,1 t_m, \quad (4.1)$$

Швидкість лінійного зношування плунжерної пари ПНВТ I_n пов'язана із швидкістю лінійного зношування модельного трибосполучення I_m для схеми, що розглядається тут, з приведеними вище числовими значеннями параметрів представляються у вигляді:

$$I_n = 0,0892 \cdot I_m, \quad (4.2)$$

а величину лінійного зношування плунжерної пари при відомому значенні зношування модельного з'єднання можна визначити по формулі:

$$I_n = 0,0892 \cdot 80,1 \cdot I_m, \quad (4.3)$$

Формули (4.1), (4.2) і (4.3) служать для перерахунку часу і величини зношування з модельного трибосполучення на натурне (плунжерна пара ПНВТ двигуна СМД-62).

Результати прискорених випробувань зношування представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати прискорених випробувань зношування
 модельних пар тертя

№ п/п	Використане дизельне паливо	Вал, втулка	Середньоарифметичне значення зношування, мкм за час випробування, год							
			1	2	3	4	5	6	18	27
1	В змозі постачання	Вал	5	9	12	20	22,5	24,5	24,6	46
		Втулка	4	7	9	15	16,5	18	33	35
		Сумарне зношування	9	16	21	35	39	42,6	79	84
2	Очищене серійним фільтром, тонкість фільтрації 20 мкм	Вал	4,5	7	10	13	17,5	20,5	40	44,5
		Втулка	3,5	5	7	9	12,5	14,5	29	32,5
		Сумарне зношування	8	12	17	22	30	35	69	77
3	Очищене електро- фільтром, тонкість фільтрації 10 мкм	Вал	2	3	7	8,5	10	13	28,5	36,5
		Втулка	1	2	5	5,5	6,5	9	20,5	26,5
		Сумарне зношування	3	5	12	14	16,5	22	49	63
4	Очищене серійним фільтром, тонкість очищення 20 мкм, і електро- фільтром, тонкість очищення 10 мкм	Вал	2	2,5	6,5	8,5	9,5	12	25	32,5
		Втулка	1	2	4,5	5,5	6,5	9	18	23,5
		Сумарне зношування	3	4,5	11	14	16	21	43	56

Аналіз даних випробувань зношування модельних пар тертя, приведених в табл. 4.1, свідчить про істотний вплив міри очищення дизельного палива на величину лінійного зношування деталей випробовуваних модельних пар тертя. Протягом перших трьох годин випробувань відбувається зміцнення поверхневих шарів за рахунок пластичних деформацій і формування захисних поверхневих плівок, які є продуктами реакції активних елементів, що містяться в паливі, наприклад, кисню і сірки, з матеріалом поверхні тертя, тобто із залізом.

Причому наявність ділянок припрацювання спостерігається для усіх умов досліджень. З підвищенням чистоти палива ділянка припрацювання стає менш вираженою, а залежність $I_M = f(t)$ наближається до прямої. Окрім цього, можна однозначно стверджувати, що ступінь чистоти дизельного палива істотно впливає на зношування пар тертя.

Приведені дані дозволяють зробити висновок про доцільність введення в регламент технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки операцію по підготовці дизельного палива перед його заправкою, використовуючи для цієї мети електрофільтри.

Далі, використовуючи модельні коефіцієнти перерахунку результатів прискорених випробувань модельних пар тертя (4.1) і (4.3), були отримані аналогічні залежності для натурних зразків плунжерних пар ПНВТ. При цьому, представляючи подвоєне значення сумарного зношування, як проміжок в плунжерній парі, і зіставляючи експериментальні залежності з розрахунковими (рис. 2.2), було встановлено, що максимальна розбіжність експериментальних даних від розрахункових не перевищує 9,6 %. Цей факт є важливим аргументом, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі процесу зношування прецизійних з'єднань паливоподаючої апаратури і обґрунтування методики прискорених випробувань зношування модельних трибосполучень.

Для визначення міри і характеру впливу параметрів (концентрація і дисперсний склад) чистоти дизельного палива на процес зношування прецизійних з'єднань паливоподаючої апаратури були проведені прискорені випробування зношування зразків модельних пар тертя, результати яких приведені в табл. 4.2.

Використовуючи дані табл. 4.2. і перерахувавши їх за допомогою формули (4.2), отримані апроксимовані залежності швидкості зношування натурної пари тертя, тобто плунжерної пари, залежно від параметрів чистоти дизельного палива.

Характерним для такого роду експериментів є лінійна залежність швидкості зношування від концентрації абразиву в паливі.

Ця лінійна залежність свідчить про те, що абразивні частки не дозволяють розвиватися процесам припрацювання поверхонь тертя, про які відзначалося раніше. Захисні поверхневі плівки не встигають утворюватися, а зношування з форми окислювального зношування переходить у форму зношування абразивного.

Таблиця 4.2 - Результати досліджень впливу параметрів чистоти дизельного палива на швидкість зношування модельних пар тертя

№ п/п	Розмір часток механічних домішок, мкм	Назва деталей з'єднання	Швидкість зношування модельної пари тертя, мкм/год при різній концентрації механічних домішок в дизельному паливі, г/т					
			25	50	75	100	125	150
1	1...4	Вал	0,26	0,28	0,3	0,315	0,33	0,35
		Втулка	0,19	0,2	0,21	0,225	0,24	0,25
		Сумарна швидкість	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,6
2	4...6	Вал	0,45	0,71	0,95	1,22	1,45	1,68
		Втулка	0,32	0,52	0,71	0,88	1,5	1,22
		Сумарна швидкість	0,77	1,23	1,64	2,1	2,5	2,9
3	8...10	Вал	0,33	0,42	0,52	0,61	0,71	0,81
		Втулка	0,23	0,31	0,38	0,45	0,52	0,59
		Сумарна швидкість	0,56	0,73	0,9	1,06	1,23	1,4
4	>15	Вал	0,2	0,29	0,36	0,44	0,52	0,6
		Втулка	0,15	0,21	0,26	0,32	0,38	0,44
		Сумарна швидкість	0,35	0,5	0,62	0,76	0,9	1,04

Дані таблиці 4.2 за допомогою модельних коефіцієнтів можна також представити у вигляді серії апроксимованих залежностей сумарного зношування або проміжку в плунжерній парі від часу експлуатації при різній концентрації і різних розмірах механічних домішок в дизельному паливі (див. рис. 2.4). Графічна інтерпретація результатів прискорених випробувань зношування модельних трибосполучень, представлених на рис. 2.4, дозволила вперше розробити методику обґрунтування технічних вимог до параметрів чистоти (концентрація і гранулометричний склад) дизельного палива, використовуваного для сучасної мобільної сільськогосподарської техніки.

На основі цієї методики встановлено, що для забезпечення нормованого ресурсу прецизійних з'єднань паливоподаючої апаратури СМД - 62 в дизельному паливі не мають бути присутніми механічні домішки більше 6 мкм, а концентрація не повинна перевищувати 25 г/т.

Виходячи з цього, можна стверджувати, що сукупність конструкторських і експлуатаційних заходів, що включають серійну систему очищення, встановлену на двигуні, попереднє очищення палива перед заправкою, захист від проникнення частинок технологічного середовища в паливо та ін. з метою забезпечення функціональної стабільності мобільного сільськогосподарського агрегату повинні забезпечувати вказані вимоги.

Таким чином, експериментальні дослідження процесу зношування модельних з'єднань тертя підтверджують достовірність математичної моделі процесу зношування плунжерних пар ПНВТ двигуна СМД - 62. Максимальна розбіжність експериментальних даних від розрахункових не перевищує 9,6 %. Це дає основу стверджувати, що розроблені з допомогою математичної моделі технічні вимоги до чистоти дизельного палива, використаного для мобільної сільськогосподарської техніки зі встановленими на ній двигунами СМД - 62, є обґрунтованими. На підставі викладеного, доцільно передбачити в інструкції по технічному обслуговуванню мобільних сільськогосподарських агрегатів операцію попереднього очищення дизельного палива перед його заправкою очистителями, що забезпечують тонкість фільтрації не менше 4...6 мкм, масову долю механічних домішок не більше 25 г/т і відсутність нерозчиненої води.

4.2 Оцінка достовірності математичної моделі процесу очищення дизельного палива силами електричного поля з робочою поверхнею

Аналіз результатів математичного моделювання, проведеного в третьому розділі, показав, що якщо в електричне поле між двома електродами помістити тверді тіла з діелектричною проникністю набагато більшою, ніж у забрудника, то ці тіла стануть центрами осадження забруднень. Це дає значне підвищення коефіцієнта фільтрації електроочищення.

Експериментальна перевірка робочої гіпотези, висуненої в третьому розділі, про можливість підвищення ефективності використання неоднорідного електричного поля для очищення дизельного палива за рахунок розміщення в міжелектродному просторі діелектриків здійснювалася шляхом дослідження ефективності осадження механічних домішок на наповнювачах з різною діелектричною проникністю.

Результати цих досліджень представлені на фотографіях, що відображають процес осадження механічних домішок на кристалах з різною діелектричною проникністю, розташованих в міжелектродному просторі, заповненому дизельним паливом і прикладеною напругою.

Проведені лабораторні дослідження дозволили зробити висновок про те, що висунена в третьому розділі цієї роботи гіпотеза підтверджується: тобто наповнювач з матеріалу з високою діелектричною проникністю викликає посилення осадження механічних домішок в полі різнойменно заряджених електродів, при цьому зерна діелектриків з малою діелектричною проникністю цього ефекту не викликають. Одночасно слід врахувати, що гострі кути і кромки кристалів сегнетоелектрика приводять до виникнення вихорів в рідині, що очищається, за рахунок великих градієнтів напруженості електричного поля. Таким чином, отримані результати якісно підтверджують достовірність розробленої математичної моделі процесу осадження механічних домішок в дизельному паливі силами електричного поля.

4.3 Результати лабораторних випробувань макетного зразка електрофільтра

Метою цих досліджень стала кількісна оцінка ефективності процесу очищення дизельного палива за допомогою макету осередку електрофільтра.

Результати експериментів приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Результати випробувань макетного зразка електрофільтра

Умови експерименту		Кількість і розмір часток механічних домішок, мкм					
		5-10	10-25	25-50	50-100	100-200	>200
Кількість частинок в початковому паливі		4221	1920	120	49	24	29
1. Електрофільтр без наповнювача, 7 кВ	N	3883	1728	99,6	36,8	10,8	9,28
	K _ф	0,08	0,10	0,17	0,25	0,55	0,68
2. Електрофільтр з сегнетоелектриком (наповнювачем), 7 кВ	N	2533	1594	106,8	40,2	9,8	0,6
	K _ф	0,40	0,17	0,11	0,18	0,59	0,67
3. Електрофільтр з наповнювачем і стабілізатором потоку на вході, 7 кВ	N	2153	1267	94,8	34,3	8,4	7
	K _ф	0,49	0,34	0,21	0,30	0,65	0,76
4. Електрофільтр з наповнювачем і механічним фільтром на виході, 7 кВ	N	2153	1267	77	27	3	1
	K _ф	0,49	0,34	0,36	0,54	0,87	0,96
5. Електрофільтр з наповнювачем, механічним фільтром і напругою до 14 кВ	N	1519	557	31	8	3	1
	K _ф	0,64	0,71	0,74	0,83	0,89	0,96

На підставі проведених випробувань дослідного зразка електричного фільтру з наповнювачем можна зробити наступні висновки:

- розміщення зерен сегнетоелектриків з високим значенням діелектричної проникності в полі суміжних електродів приводить до істотного збільшення осадження частинок великого і середнього розміру забрудника за рахунок агрегування частинок малого розміру, що знаходяться в дизельному паливі.

- характер осадження домішок такий, що в зоні розміщення зерен сегнетоелектрика домішки осідають на зерно, а не на поверхню електродів.

- для істотного підвищення коефіцієнта фільтрації в області середніх частинок забруднення потрібне послідовне розміщення наповнювача із зернами сегнетоелектрика між коаксіальними електродами фільтру.

- для підвищення коефіцієнта фільтрації в області великих частинок і захисту від прориву частинок через короткочасне зниження напруги на електродах потрібна установка механічного фільтру грубого очищення на виході з фільтру.

Висновки до четвертого розділу

1. Проведеними експериментальними дослідженнями підтверджена достовірність математичної моделі процесу зношування прецизійних з'єднань паливоподаючої апаратури. Максимальна розбіжність експериментальних даних з розрахунковими не перевищує 9,6%. Це дозволяє стверджувати, що розроблені технічні вимоги до чистоти дизельного палива, що використовують для мобільної сільськогосподарської техніки зі встановленими на ній двигунами СМД - 62, є обґрунтованими і складають не більше 25 г/т по масі 4...6 мкм по розмірах механічних домішок і повна відсутність нерозчиненої води.

2. Експериментальними дослідженнями якісно підтверджені основні положення математичної моделі процесу осадження механічних домішок, що знаходяться в дизельному паливі, силами електричного поля з діелектричним наповнювачем.

3. Виходячи зі встановлених основних закономірностей процесу очищення дизельного палива силами електричного поля з діелектричним наповнювачем дозволили розробити принципово нову конструкцію і створити дослідні зразки електричних фільтрів і установок для попереднього очищення дизельного палива з функціональними характеристиками, близькими до розроблених технічних вимог до чистоти дизельного палива.

4. Аналіз отриманих закономірностей дозволив висунути гіпотезу про можливість істотного підвищення ефективності електроочисників за рахунок використання в якості наповнювача матеріалів з високими значеннями діелектричної проникності.

5. Використовуючи отримані закономірності процесу очищення дизельного палива силами електричного поля і висунену наукову гіпотезу підвищення його ефективності, розроблена принципово нова конструкція і створені дослідні зразки електричних фільтрів і установок для попереднього очищення дизельного палива з функціональними характеристиками, близькими до розроблених технічних вимог на чистоту дизельного палива.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Вимоги щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці

Проектування виробничих об'єктів, розробка нових технологій, засобів виробництва, засобів колективного та індивідуального захисту працюючих повинні проводитись з урахуванням вимог нормативних актів з охорони праці.

При розробці проектів мають бути передбачені заходи, що забезпечують безпеку ведення всіх технологічних процесів, які визначені в робочій документації: паспортах робіт, вентиляції, кріплення та схемах спорудження установок, відпрацювання площ, доставки людей на об'єкти робіт, трас пересування установок і негабаритних блоків, типових проектах робочих місць, регламентах і графіках виконання робіт, складів ПММ, складів вибухових матеріалів.

Відповідальність за повноту проробки і врахування вимог безпеки і створення здорових умов праці та нормального відпочинку в проектах несуть проектні підрозділи, а контроль покладається на керівників підприємств, які затвердили проект.

Під охороною праці розуміють систему законодавчих актів і відповідних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності робітників. Система організаційних і технічних заходів і засобів, що надають запобігання виробничий травматизм, носить назву техніки безпеки.

Виробнича санітарія передбачає заходи по правильному змісту ремонтних підприємств та обладнання (належне освітлення, правильне розташування устаткування і т.д.) створення найбільш здорових і сприятливих умов праці, що запобігають професійні захворювання робітників.

Техніка безпеки на ділянці з ремонту дизельної паливної апаратури:

- при знятті агрегатів і деталей, пов'язаних з великою фізичною напругою, а також при незручності у роботі слід застосовувати пристосування і знімачі, що забезпечують безпеку виконання даної роботи;

- при розбиранні знімати, транспортувати і встановлювати великовагові вузли слід за допомогою підйомно-транспортних механізмів, обладнаних пристосуваннями, захопленнями, що гарантують повну безпеку робіт;

- забороняється користуватися електроінструментом з несправною ізоляцією, або відсутністю заземлення.

Крім вивчення інструкцій передбачається вступний інструктаж при надходженні на роботу, інструктаж на робочому місці, додаткові інструктажі та навчання за спеціальною програмою.

5.2 Нормалізація санітарно-гігієнічних умов праці

Нормалізація санітарно-гігієнічних умов праці має відповідати вимогам стандартів, будівельних норм і правил, санітарних норм і забезпечується за рахунок:

- організації періодичного контролю за санітарно-гігієнічними умовами праці;

- атестації робочих місць з метою нормалізації санітарно-гігієнічних умов праці, а також реалізації заходів по мінімізації шкідливих, несприятливих та небезпечних виробничих факторів;

- створення служби та організації постійного радіаційного контролю на виробництвах, де використовуються радіаційні речовини та джерела іонізуючого випромінювання;

- виконання комплексних заходів щодо поліпшення безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, що передбачають нормалізацію санітарно-гігієнічних умов праці;

- ліквідації виробництв, технологічних процесів, робочих місць та виведення з експлуатації обладнання, що не відповідають вимогам стандартів по санітарно-гігієнічних показниках;

- застосування засобів колективного захисту (звукопоглинаючих облицювань, шумоізолюючих перегородок та амортизаторів) на робочих місцях з підвищеними рівнями шуму і вібрації;

- забезпечення об'єктів робіт системами теплопостачання (опалювальними пристроями) для створення на робочих місцях нормальних показників мікроклімату (за винятком бурових установок відкритого типу);

- обліку працюючих у шкідливих умовах праці, на тяжких роботах в т.ч. жінок, встановлення пільг і компенсацій за шкідливі умови.

5.3 Протипожежні заходи

Для приміщень підприємства і ремонтних служб характерна висока пожежна небезпека. Щоб не створити умов пожежі на підприємстві забороняється:

- допускати потрапляння на двигун і робоче місце паливо і масло;
- залишати в кабіні (салоні), на двигуні та робочих місцях обтиральні матеріали;
- допускати текти в паливопроводах, баках і приладах системи харчування;
- тримати відкритими горловини паливних баків і судин із займистими рідинами;
- мити або протирати бензином кузов, деталі й агрегати, мити руки й одяг бензином;
- користуватися відкритим вогнем при усуненні несправності;
- підігрівати двигун відкритим вогнем.

Своєчасне виявлення загоряння і швидке повідомлення пожежної команди є головною умовою успішної боротьби з пожежею.

Пожежний щит і ящик повинні бути встановлені перед входом до дільниці.

Висновки до п'ятого розділу

1. Розроблено вимоги щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці
2. Розроблені санітарно-гігієнічні умови праці
3. Розроблені протипожежні заходи.

6 ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

6.1 Результати стендових випробувань ефективності розробленого електричного фільтру з діелектричним наповнювачем

Ефективність розробленого електрофільтру з діелектричним наповнювачем перевірялася через стендові випробування згідно стандартів, який поширюється на фільтри тонкого очищення палива та їх фільтруючі елементи, що встановлюються в паливних системах низького тиску дизелів і призначені для остаточного очищення палива [8]. Схема стенду представлена в додатках на рис. Б.2.

Середовищем для випробування служило дизельне паливо по ДСТУ 3868-98. В якості домішок (штучного забрудника) застосовували кварцевий пил.

Результати аналізу мембранних фільтрів №5 на паливах, взятих до і після електричного фільтру, дозволили визначити повноту відсіювання, середнє значення якої склало $\varphi = 97 \%$. Згідно стандартів повнота відсіювання для фільтрів, що встановлюються на автотракторних дизелях, має бути в межах 80...85 %.

Аналіз проб, узятих до фільтру і після фільтру, дозволив встановити тонкість і коефіцієнт повноти відсіювання електрофільтром. Результати аналізу представлені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Результати стендових випробувань електричного фільтру

Кількість часток в пробі палива в об'ємі 10 мл	Розмірна група забрудника, мкм.				
	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 - 10	10 – 12 і більше
1. Перед електроочисником	4300	1820	470	180	70
2. Після електроочисника	419	92	6	-	-
3. Коефіцієнт повноти відсіювання $\varphi=(1-x_2/x_1) \times 100\%$	90	95	99	100	100

Аналіз результатів, представлених в таблиці. 6.1 дозволяє оцінити ефективність роботи електрофільтру.

У дизельному паливі повністю відсутні частинки більше 8 мкм. Кількість частинок розмірної групи 6...8 мкм зменшилося в 78 разів, розмірної групи 4...6 мкм - в 19 разів; і розмірної групи 2...4 мкм - в 10 разів.

Приведені дані свідчать про ефективне функціонування електричного фільтру при видаленні механічних домішок з дизельного палива.

Повнота відділення води оцінювалася на тому ж стенді (див. рис. Б.2) і розраховували по формулі (3.7). Результати випробувань надані в табл. 6.2.

Результати випробувань і наступний розрахунок коефіцієнта ϕ повноти відокремлення води показали, що уся вода, що знаходиться в паливі, відокремлюється електричним фільтром ($\phi=0,99...1,00$).

Таблиця 6.2 - Результати стендових випробувань електричного фільтра на ефективність відокремлення води

Кількість проб палива	Об'єм води в паливі, см ³	Об'єм відстою у фільтрі, см ³	Коефіцієнт повноти відділення води, ϕ
Проба № 1	100	99	0,99
Проба № 2	100	100	1,00
Проба № 3	100	100	1,00

Ефективність очищення палива від води за допомогою електрофільтру додатково оцінювали тестом на забарвлення при додаванні в нього кристалів марганцевокислого калію [19]. Тест на забарвлення показав повну відсутність води в паливі, яке знаходилося у баку 10.

Проведені стендові випробування підтверджують ефективність використання розробленого електричного фільтру для очищення дизельного палива від механічних домішок і води.

Так, кількість механічних частинок забрудника зменшується від 10 до 78 разів для розмірних груп 2...8 мкм, повним виключенням частинок розміром більше 8 мкм і повним відділенням води з дизельного палива.

6.2 Результати експлуатаційної перевірки ефективності використання попереднього очищення дизельного палива на мобільній сільськогосподарській техніці

Експлуатаційні випробування мобільних сільськогосподарських агрегатів мали на меті оцінити стабільність функціональних характеристик паливоподаючої апаратури дизелів і машинно-тракторних агрегатів в цілому з застосуванням і без застосування очищення дизельного палива при заправці в паливні баки. Очищення палива виконувалось за допомогою розробленого електричного фільтру.

У випробуваннях брали участь 9 мобільних сільськогосподарських комплексів, на яких був встановлений один і той же тип базового двигуна СМД - 62 з серійним фільтром тонкого очищення 2ТФ - 3.

Вимір початкового перепаду тиску на нових фільтрах, до їх встановлення на двигун, дозволив встановити їх середню величину $\Delta P = 3,5$ кПа, що відображено на рис. 6.2.

Результати випробувань представлені на рис. 6.2 сімейством кривих, з аналізу яких виходить:

- при використанні палива в змозі постачання (заправка проводилась з паливозаправника в польових умовах) після напрацювання 750 мото-годин перепад тиску складав 30 кПа (рис. 6.2, крива 1). Граничним перепадом є $\Delta P = 35$ кПа. Досягши такого перепаду двигун важко запускається і не розвиває потужність. На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що при використанні дизельного палива в стані постачання ресурс фільтрів тонкого очищення складе 915...920 мото-годин.

За технічними умовами і стандартами на фільтри такого типу ресурс має бути не менше 1000 мото-годин.

- при використанні палива з попереднім відстоюванням і фільтрацією через паперові фільтри (заправка через роздавальну колонку) перепад тиску, дорівнював 35 кПа, був досягнутий після напрацювання 1500 мото-годин.

- крива 3 на рис. 6.1 відповідає застосуванню системи попереднього очищення палива за допомогою розробленого електростатичного фільтра. Паливо використовувалося в стані постачання і перед заправкою у баки прокачувалося через розроблений електростатичний фільтр. При використанні такої системи підготовки дизельного палива, перепад тиску, рівний 35 кПа, був досягнутий при напрацюванні 3000 мото-годин.

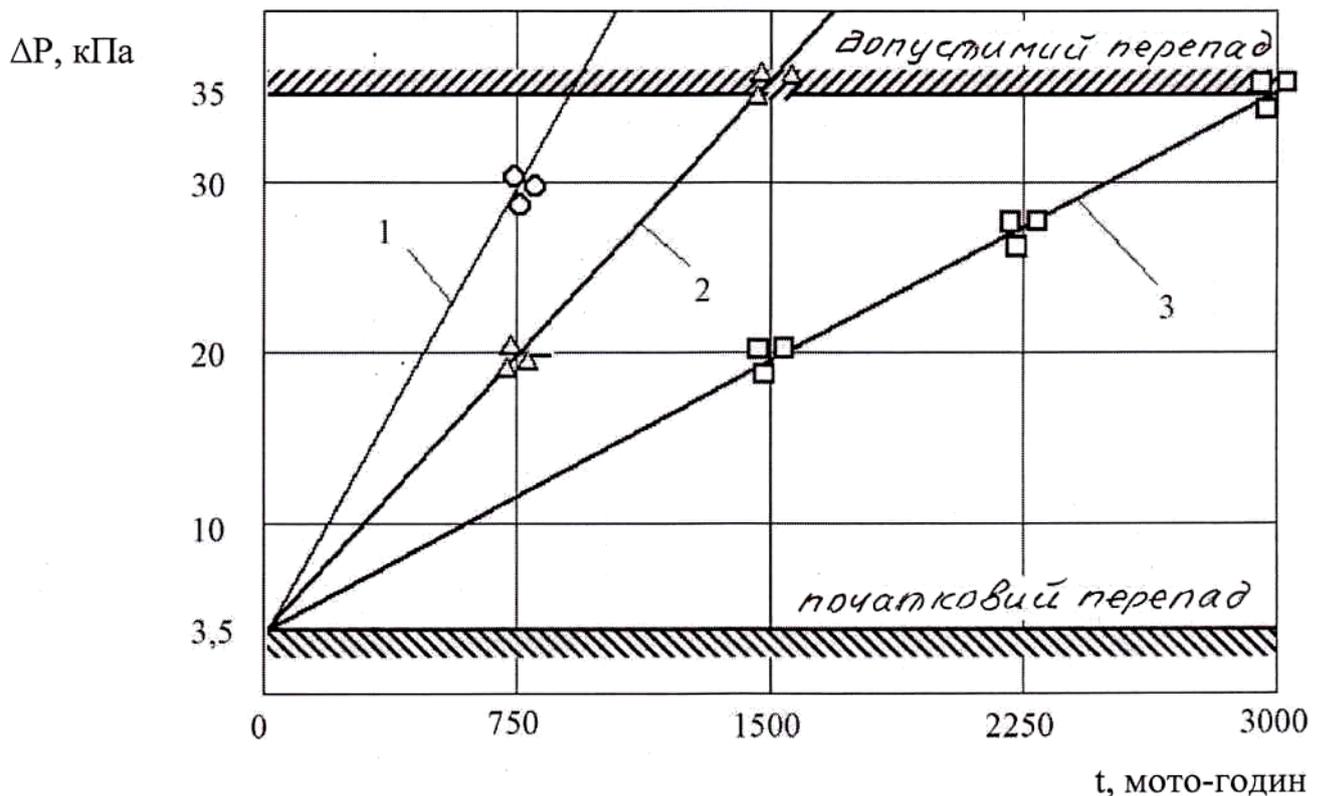


Рисунок 6.1 - Залежність перепаду тиску на серійних фільтрах тонкого очищення від часу експлуатації: 1 - при використанні палива в стані постачання; 2 - при використанні палива з попереднім відстоюванням і фільтрацією паперовим фільтром; 3 - при використанні палива, очищеного електричним фільтром перед заправкою його у бак.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що застосування розробленого електричного фільтра для очищення і обезводнення дизельного палива перед заправкою у баки сільськогосподарської техніки дозволить

збільшити ресурс серійних фільтрів тонкого очищення з 917 мото-годин до 3000 мото-годин, що в 3 рази більше технічних вимог і в 3,27 рази перевищує ресурс фільтрів, що працюють на неочищеному паливі. Це дозволить підвищити надійність і ефективність мобільної сільськогосподарської техніки при виконанні польових робіт, оскільки частота заміни фільтру значно зменшується.

Одночасно з експлуатаційними випробуваннями фільтрів тонкої очистки випробування проходили 9 паливних насосів високого тиску 221.1111.004- 40, встановлених на двигунах СМД - 62.

Перед установкою на двигуни усі ПНВТ проходили випробування і регулювання на стенді «Моторпал» Нц - 108. Початкові параметри насосів відповідали технічним вимогам на вироби.

Аналіз отриманої інформації, свідчить про те, що ступінь чистоти дизельного палива істотно впливає на зношування з'єднань і функціональні характеристики паливної апаратури, динаміка, зміни яких залежно від напрацювання зрештою не може не відбиватися на показниках ефективності використання мобільного сільськогосподарського машинно-тракторного агрегату в цілому.

Деякі кількісні характеристики цих показників можна отримати при аналізі результатів теплового розрахунку двигуна, в якому використані дані експлуатаційних досліджень.

Аналіз залежностей приведених на рис.6.2 і рис.6.3 дозволяє зробити наступні висновки:

- при експлуатації мобільних сільськогосподарських комплексів на паливі в стані постачання (тобто без попереднього очищення) номінальна подача і питома витрата палива зі збільшенням напрацювання (мото-годин) зменшується. Так, через 750 мото-годин на 15,4% і 1,5% через 1500 мото-годин на 27,2% і 2,2%, через 2250 мото-годин на 38% і 2,3% відповідно. Через це із збільшенням напрацювання відбувається зниження ефективної потужності двигуна на 14,2%, 25,7%, 36,7% відповідно;

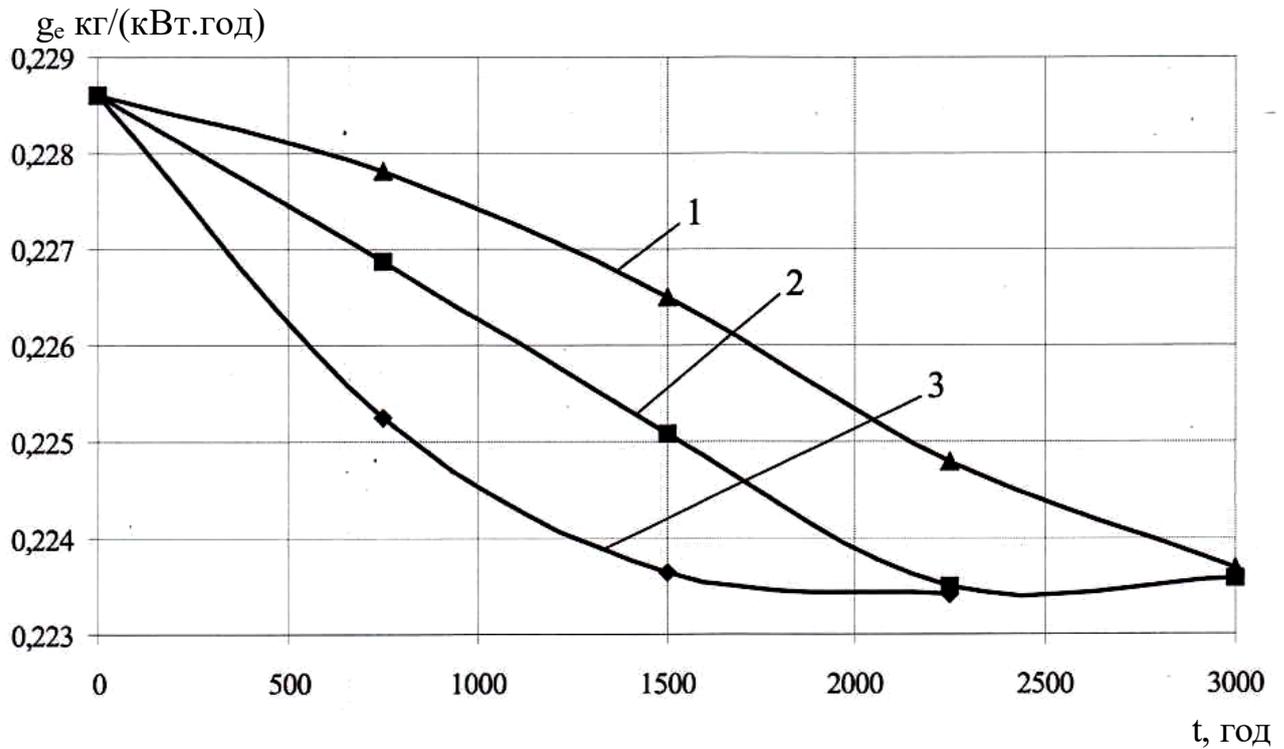


Рисунок 6.2 - Залежності $g_e = f(t)$ при різних варіантах очищення дизельного палива: 1 - очищення електрофільтром; 2 - відстояне паливо; 3 - паливо в стані постачання.

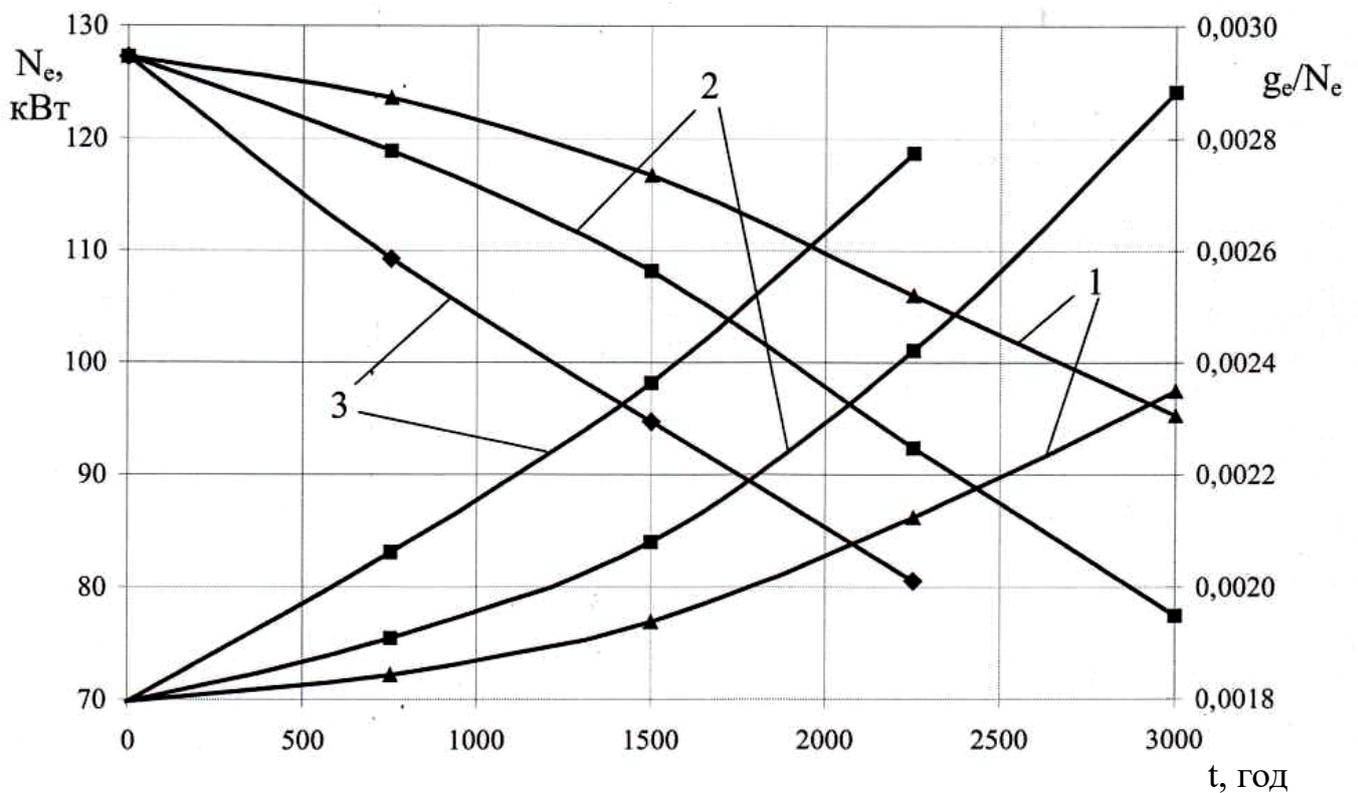


Рисунок 6.3 - Залежності $N_e = f(t)$ і $g_e/N_e = f(t)$ при різних варіантах очищення дизельного палива: 1 - очищення електрофільтром; 2 - відстояне паливо; 3 - паливо в стані постачання.

- зниження ефективної потужності двигуна не може не позначитися на тягових характеристиках МТА в цілому. Чисельні значення $N_{кр}$, $P_{кр}$ і $[R_a]$ МТА з трактором Т-150К на оранці що відповідають отриманим значенням ефективної потужності N двигуна для різних варіантів використання дизельного палива приведені в табл. 6.3. $N_{кр}$, $P_{кр}$ - поточні значення потужності і тягового зусилля на кріюку трактора, $[R_a]$ - допустиме тягове зусилля плуга.

Таблиця 6.3 - Тягові характеристики МТА з трактором Т-150К на оранці

№ п/п	Варіант I			Варіант II			Варіант III		
	Перша передача								
	$N_{кр}$	$P_{кр}$	$[R_a]$	$N_{кр}$	$P_{кр}$	$[R_a]$	$N_{кр}$	$P_{кр}$	$[R_a]$
1	94,1	43,7	39,3	94,1	43,7	39,3	94,1	43,7	39,3
2	89,6	41,6	37,4	87,8	40,0	36,0	80,6	38,5	34,7
3	84,2	37,0	33,3	79,7	35,0	31,5	69,0	29,5	26,6
4	77,9	34,0	30,6	68,1	29,2	26,3	60,0	26,0	23,4
5	69,9	30,0	27,0	57,3	24,6	22,1	-	-	-
	Друга передача								
1	97,4	37,3	33,6	97,1	37,3	33,6	97,1	37,3	33,6
2	92,5	35,8	32,6	90,7	34,4	31,0	83,3	30,0	27,0
3	88,8	33,0	29,7	82,3	29,4	26,5	71,2	29,4	26,6
4	80,5	28,6	25,7	70,3	24,2	21,8	62,0	21,0	18,9
5	72,2	25,0	22,5	59,2	20,2	18,2	-	-	-

Комплектуючи орний агрегат виходячи з умов максимального використання тягового зусилля трактора так, щоб дотримувалася умова $R_{a\text{пл}} < [R_a]$ був проведений розрахунок фактичної продуктивності і погектарної витрати палива машино-тракторного агрегату на оранці при роботі його на різних передачах і різних варіантах використання дизельного палива (табл. 6.4).

При цьому використовувалися марки плугів ПЛН-4-35, ПЛН-5-35 і ПЛН-6-35. Розрахунок тягового зусилля плуга здійснювався при $\Delta C = 5\%$, $h = 0,3$ м, $K_0 = 50$ кПа, значення нахилу $i = 0$.

За даними табл.6.4 отримані графіки залежності продуктивності МТА і користування палива, рис 6.4.

Таблиця 6.4 - Техніко-економічні показники МТА(на базі трактора Т-150К)
на оранці

№ п/п	Варіант I					Варіант II					Варіант III				
	Техніко-економічні показники орного агрегата														
	Пер.	n _к	Ra	W	g _{га}	Пер.	n _к	Ra	W	g _{га}	Пер.	n _к	Ra	W	g _{га}
1	II	6	32,6	2,43	8,71	II	6	32,6	2,43	8,71	II	6	32,6	2,43	8,71
2	II	5	28,3	2,31	8,76	II	5	28,3	2,27	9,07	II	4	22,8	2,07	9,05
3	II	5	28,3	2,24	8,96	II	4	22,8	2,05	9,03	II	4	22,7	1,78	8,96
4	I	5	28,2	1,95	8,99	I	4	22,6	1,70	8,97	II	4	22,6	1,51	10,51
5	I	4	22,7	1,75	8,95	I	4	22,5	1,35	11,3	-	-	-	-	-

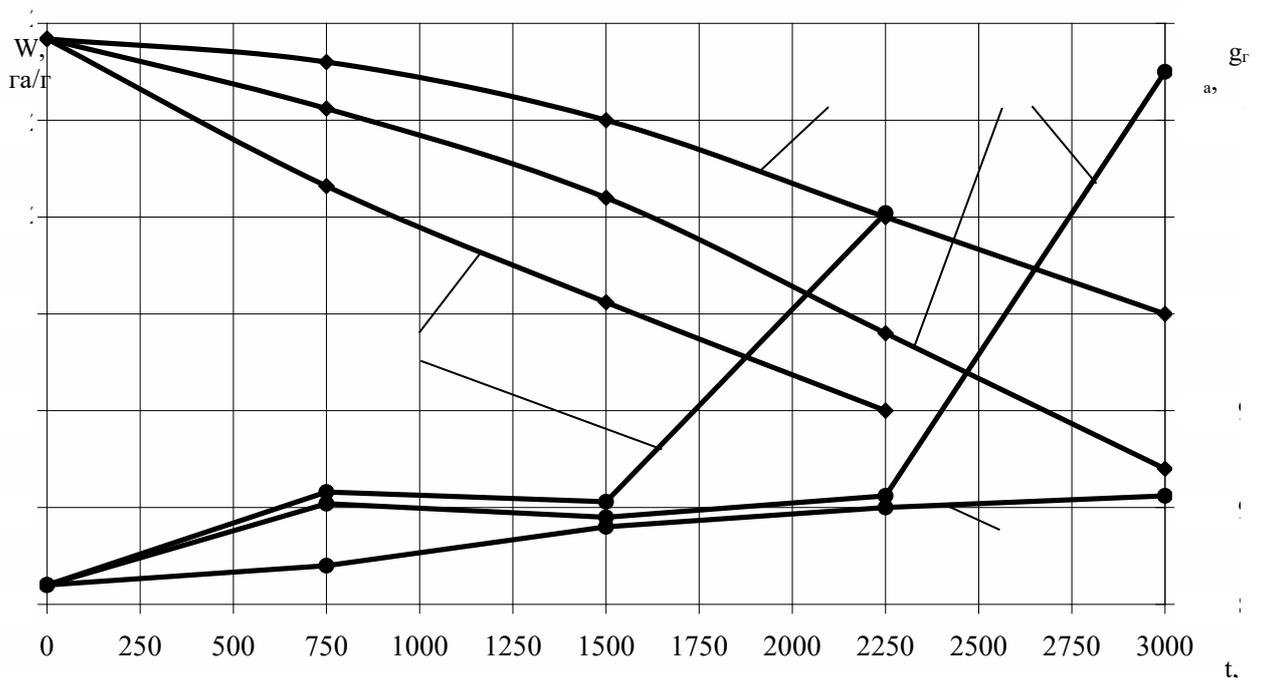


Рисунок 6.4 - Залежність продуктивності і погектарної витрати палива від часу роботи МТА на оранці при різних варіантах очищення дизельного палива: 1 – очищення палива електрофільтром; 2 – відстояне паливо; 3 – паливо в стані постачання.

Аналіз залежностей приведених на рисунку 6.5 показав, що швидкість зниження продуктивності МТА на оранці протікає в 1,92 рази швидше (рис. 4, криві 1 і 3), а швидкість збільшення погектарної витрати палива - у 6,5 разів повільніше. Продуктивність МТА за 2250 мото-годин при використанні палива в стані постачання знизилася з 2,43 га/год до 1,51 га/год, а при попередньому очищенні електрофільтром - до 1,95 га/год.

- використання палива з попереднім відстоюванням і фільтрацією його через паперові фільтри, встановлених на роздавальних колонках, дозволяє понизити градієнт зміни залежностей функціональних параметрів МТА від його напрацювання. Це забезпечує без додаткових капітальних вкладень збільшення ресурсу паливної апаратури, наприклад ПНВТ на більш ніж 700 мото-годин.

- встановлено, що серед випробуваних варіантів найвищу стабільність функціональних параметрів МТА забезпечує варіант, що передбачає попереднє очищення дизельного палива знову створеним електрофільтром. Так, зниження ефективної потужності двигуна відбувається в 2 рази повільніше, а приведена питома витрата палива в 2 рази швидше у порівнянні з варіантом використання палива в стані постачання.

Таким чином, отримані результати підтверджують висунену гіпотезу про вплив чистоти дизельного палива на стабільність функціональних параметрів мобільної сільськогосподарської техніки і дозволяють підтверджувати доцільність попереднього очищення дизельного палива розробленим електрофільтром, оскільки попереднє відстоювання і фільтрація через паперові фільтри, що практикуються на даний час, не дозволяють повністю відокремити механічні домішки і воду від палива.

6.3 Техніко - економічна оцінка ефективності використання електрофільтру для очищення дизельного палива перед його заправкою

Розрахунок економічної ефективності від використання електроочищення для підготовки дизельного палива перед його використанням проводився на прикладі сільськогосподарських підприємств Хмельницької області. За статистичними даними на 01.01.2025 року кількість сільськогосподарських підприємств різних організаційно-правових форм господарювання складає 406 господарств, тракторний парк цих підприємств складає 9980 одиниць, який споживає орієнтовно 162200 т дизельного палива в рік і 563,1 т в добу відповідно.

Виходячи з досвіду виготовлення експериментальних зразків установок електроочищення дизельного палива, ціна однієї установки складає 3000 грн. Якщо припустити, що усі господарства будуть оснащені вказаними установками, то капітальні вкладення на організацію системи попереднього очищення дизельного палива в масштабах області складе:

$$K_{уст} = C_{уст} \cdot N_{тр}, \quad (6.1)$$

де $C_{уст}$ - ціна експериментальної установки, грн

$N_{тр}$ - кількість тракторів в області, шт

$$K_{уст} = 3000 \cdot 406 = 1218 \text{ тис. грн.}$$

Економічний ефект від використання установок для електроочищення дизельного палива досягатиметься за рахунок збільшення терміну заміни паливних фільтрів тонкого очищення і за рахунок підвищення ресурсу ПНВТ. Інші статті, наприклад, зниження швидкості втрати продуктивності тракторного агрегату, збільшення коефіцієнта готовності, зниження витрати дизельного палива та ін., через складності розрахунком не враховувалися.

За даними експериментальних досліджень доведено, що впровадження електрофільтру для очищення дизельного палива перед його заправкою дозволяє збільшити терміни заміни паливних фільтрів тонкого очищення з 917 мото-годин до 3000 мото-годин, (у 3,27 рази), а ресурс ПНВТ - з 1920 мото-годин (за умови одного капітального ремонту) до 3840...4800 мото-годин (у 2,0...2.5 рази) (у розрахунках приймаємо 4000 мото-годин).

Потребу області в ПНВТ і паливних фільтрах тонкого очищення визначали наступним чином. Тракторний парк включає 9980 тракторів, нормативний термін служби трактора 8...10 років, середньорічне напрацювання складає в середньому 1000 мото-годин. Тобто за термін експлуатації трактор повинен напрацювати 8000...10000 мото-годин. У розрахунках приймаємо 10000 мото-годин.

Тоді потреба в ПНВТ складе по області:

$$n = \frac{Q \cdot b}{q}, \quad (6.2)$$

де Q - ресурс роботи трактора, мото-годин;

q - ресурс роботи ПНВТ, мото-годин

b - кількість тракторів в області, шт.

$$n_1 = \frac{10000 \cdot 9980}{1920} = 51979 \text{шт}$$

$$n_2 = \frac{10000 \cdot 9980}{4000} = 24950 \text{шт}$$

Потребу в паливних фільтрах тонкого очищення визначаємо по формулі

$$m = \frac{Q \cdot b}{q^1}, \quad (6.3)$$

де q^1 - ресурс роботи паливного фільтру тонкого очищення, мото-годин

$$m_1 = \frac{10000 \cdot 9980}{917} = 108833 \text{шт}$$

$$m_2 = \frac{10000 \cdot 9980}{3000} = 33267 \text{шт}$$

Витрати на придбання ПНВТ складуть:

$$C_n = n \cdot C_n, \quad (6.4)$$

де n - кількість ПНВТ, шт

C_n - ціна одного ПНВТ, грн.

$$C_{n1} = 51979 \cdot 1160 = 60295,6 \text{тис.грн}$$

$$C_{n2} = 24950 \cdot 1160 = 28942,0 \text{тис.грн}$$

Витрати на придбання паливних фільтрів тонкого очищення складуть

$$C_\phi = n \cdot C_\phi, \quad (6.5)$$

де C_ϕ - витрати на придбання фільтрів тонкого очищення, тис. грн.;

C_ϕ - вартість одного паливного фільтру тонкого очищення, грн.

$$C_{\phi1} = 10883 - 120 = 13060 \text{ тис.грн.}$$

$$C_{\phi2} = 33267 - 120 = 3992 \text{ тис.грн.}$$

В процесі експлуатації допускається один капітальний ремонт ПНВТ. Витрати на ремонти за аналізований період складуть

$$Z_p = n \cdot C_p, \quad (6.6)$$

де Z_p - витрати на ремонти ПНВТ, тис. грн.;

n - кількість ремонтів ПНВТ, шт.;

C_p - вартість одного ремонту ПНВТ, грн. ($C_p = 580$ грн.).

$$Z_{p1} = 51979 \cdot 580 = 30147,8 \text{ тис. грн.}$$

$$Z_{p2} = 24950 \cdot 580 = 14471 \text{ тис. грн.}$$

Середньорічні витрати на придбання ПНВТ по варіантах відповідно складають:

$$C'_{n1} = 6029,56 \text{ тис. грн.};$$

$$C'_{n2} = 2894,2 \text{ тис. грн.}$$

Середньорічні витрати на придбання паливних фільтрів тонкого очищення відповідно складають:

$$C_{\phi 1} = 1306 \text{ тис. грн.};$$

$$C_{\phi 2} = 399,2 \text{ тис. грн.}$$

Середньорічні витрати на ремонти ПНВТ відповідно складають:

$$Z_{p1} = 3014,78 \text{ тис. грн.};$$

$$Z_{p2} = 1447,1 \text{ тис. грн.}$$

Для розрахунку експлуатаційних витрат використовується формула

$$И = З + А + Р + E_{\text{л}}, \quad (6.7)$$

де $З$ - заробітна плата обслуговуючого персоналу, тис. грн.;

$А$ - амортизація основних засобів, тис. грн.;

$Р$ - витрати на ремонт, тис. грн.;

$E_{\text{л}}$ - плата за спожиту електроенергію, тис. грн.

У зв'язку з тим, що витрати праці залишаються незмінними (додаткового персоналу для обслуговування електрофільтру не потрібно) і споживання електроенергії залишається тим самим (встановлюється електрофільтр замість бензоколонки, споживана потужність яких $P = 0,5$ кВт і режими роботи однакові) для спрощення розрахунків ці показники опускаємо.

Річні амортизаційні відрахування на електрофільтр розраховували за формулою:

$$A_{\text{ел.ф}} = \frac{B \cdot a}{100} \cdot K, \quad (6.8)$$

де B - балансова вартість електрофільтра, грн.

a - норма амортизаційних відрахувань, % ($a = 15\%$)

k - кількість електрофільтрів, шт.

$$A_{ел.ф} = \frac{3000 \cdot 15}{100} \cdot 406 = 182,7 \text{ тис.грн}$$

Річні відрахування на ремонт електрофільтрів складають:

$$P_{ел.ф} = \frac{B \cdot r}{100} \cdot k, \quad (6.9)$$

де r - норма відрахувань на поточні ремонти і ТО, % ($r = 7\%$)

$$P_{ел.ф} = \frac{3000 \cdot 7}{100} \cdot 406 = 85,26 \text{ тис.грн}$$

Річні експлуатаційні витрати складають:

$$H_1 = C_{н1} + C_{ф1} + Z_{p1}, \quad (6.10)$$

$$H_1 = 6029,56 + 1306 + 3014,78 = 10350,34 \text{ тис.грн}$$

$$H_2 = C_{н2} + C_{ф2} + Z_{p2} + P_{ел.ф} + A_{ел.ф}, \quad (6.11)$$

$$H_2 = 2894,2 + 399,2 + 1447,1 + 85,26 + 182,7 = 5008,46 \text{ тис.грн}$$

Річна економія експлуатаційних витрат дорівнює :

$$\Delta H = H_1 - H_2, \quad (6.12)$$

$$\Delta H = 10350,34 - 5008,46 = 5341,88 \text{ тис.грн}$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень складає:

$$T = \frac{K_{уст}}{\Delta H}, \quad (6.13)$$

$$T = \frac{1218}{5341,88} = 0,23 \text{ року}$$

Техніко - економічна оцінка ефективності використання електрофільтру для очищення дизельного палива приведена в табл.6.5

Таблиця 6.5 - Техніко - економічна оцінка ефективності використання електрофільтра для очищення дизельного палива

Показники	Од. виміру	Варіанти	
		Паливна апаратура без електрофільтра	Паливна апаратура з електрофільтром
1. Ресурс роботи трактора	МОТО- ГОД	10000	10000
2. Ресурс роботи ПНВТ	МОТО- ГОД	1920	4000
3. Потреба в ПНВТ	шт	51979	24950
4. Потреба в паливних фільтрах тонкого очищення	шт	108833	33267
5. Витрати на придбання ПНВТ	тис.грн	60295,6	28942,0
6. Витрати на придбання паливних фільтрів тонкого очищення	тис.грн	13060	3992
7. Витрати на ремонти ПНВТ	тис.грн	30147,8	14471
8. Середньорічні витрати на придбання ПНВТ	тис.грн	6029,56	2894,2
9. Середньорічні витрати на придбання паливних фільтрів тонкого очищення	тис.грн	1306,0	399,2
10. Середньорічні витрати на ремонти ПНВТ	тис.грн	3014,78	1447,1
11. Річні експлуатаційні витрати	тис.грн	10350,34	5008,46
12. Річна економія експлуатаційних витрат	тис.грн	-	5341,88
13. Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	-	0,23

Висновки до шостого розділу

1. Експериментальними дослідженнями в умовах експлуатації доведено, що використання заздалегідь очищеного електрофільтром палива в тракторах Т-150 дозволяє збільшити терміни заміни паливних фільтрів тонкого очищення з 917 мото-годин до 3000 мото-годин, що в 3 рази більше, ніж передбачено технічними умовами, і в 3,27 рази перевищує ресурс фільтрів, працюючих на неочищеному паливі.

2. Стендові випробування дослідних зразків створених електрофільтрів підтверджують його працездатність при високих функціональних характеристиках. Отримані характеристики електрофільтру значно перевершують аналогічні показники штатних фільтрів тонкої очистки для яких коефіцієнт відсівання не перевершує 80 % для частинок не менше 20 мкм.

3. Встановлено, що серед випробуваних в експлуатаційних умовах варіантів використання дизельного палива найвищу стабільність функціональних параметрів мобільних сільськогосподарських комплексів (на базі трактора Т-150К) забезпечує варіант що передбачає попереднє його очищення знову створеним електрофільтром.

4. Річна економія за рахунок зниження експлуатаційних витрат на тракторний парк сільгоспвиробників Хмельницької області, шляхом використання попередньо очищеного дизельного палива, електроочисником передбачуваної конструкції, складе 5 млн. 342 тис. грн. З урахуванням наявності в господарствах області імпортої зерно- і кормозбиральної техніки, економічний ефект буде значно перевищувати вказану суму.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. На основі узагальнення досвіду експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки і виконаних досліджень встановлено, що ефективність її використання головним чином залежить від функціональної стабільності і надійності складових її систем і агрегатів, у т.ч. паливної системи, 50 % відмов якої обумовлені забрудненням дизельного палива. Витрата палива за останні роки через погіршення технічного стану паливної системи збільшилося у середньому на 15...20%.

2. Встановлено закономірності впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики машинно-тракторних агрегатів (на базі трактора Т-150К), дослідження яких дозволило переконатися, що використання очищеного електрофільтром дизельного палива забезпечує зменшення швидкості падіння ефективної потужності двигуна в 2,2 рази, продуктивності на оранці - в 1,92 рази, а швидкості збільшення приведеної питомої і погектарної витрати палива - відповідно до 1,76 і до 6,5 рази в порівнянні з використанням палива в стані постачання.

3. Розроблено і експериментально перевірено математичну модель процесу зношення прецизійних сполучень паливної апаратури, з використанням якої обґрунтовано технічні вимоги до забрудненості дизельного палива використаного для мобільної сільськогосподарської техніки і розроблено методику прогнозування ресурсу плунжерних пар ПНВТ. Для забезпечення заданого ресурсу плунжерних пар гранична норма забруднення не повинна перевищувати 25 г/т для часток механічних домішок розміром 4...6 мкм, 62 г/т – для часток 8...10 мкм і 100 г/т – для часток більше 15 мкм.

4. Запропоновано методику прискорених випробувань зношування плунжерних пар ПНВТ на модельних зразках сполучень тертя. Особливість зазначеної методики полягає в тому, що розрахунок зношування плунжерних пар виконувався за результатами прискорених випробувань по встановлених залежностях через масштабні коефіцієнти часу і швидкості зношування.

5. Установлено основні закономірності коефіцієнта ефективності сепарації механічних домішок із дизельного палива силами електричного поля, у якому розташована поляризована одинична куля із діелектрика від технологічних режимів і конструктивних параметрів коаксіальних електродів. Використовуючи ці закономірності, розроблено конструкцію електрофільтра, який забезпечує сепарацію механічних часток не менше 8 мкм і води з коефіцієнтом повноти відділення $\varphi = 100 \%$, що перевищує вимоги державних стандартів на фільтри тонкого очищення.

6. Експериментально доведено, що використання очищеного дизельного палива до рівня технічних вимог забезпечує збільшення терміну заміни паливних фільтрів тонкого очищення двигуна СМД-62 з 917 мотогодин до 3000 мотогодин. Ресурс плунжерних пар ПНВТ за цих умов збільшується з 960 мотогодин до 2370 мотогодин. Отримані результати забезпечують підвищення надійності паливної системи. Коефіцієнт готовності K_T збільшився на 7,6 %.

7. Економічні розрахунки довели доцільність використання для мобільної сільськогосподарської техніки додатково очищеного дизельного палива. Річна економія від зменшення експлуатаційних витрат на тракторний парк сільгоспвиробників Хмельницької області, без обліку наявності імпортової техніки, при застосуванні запропонованого засобу очищення дизельного палива складає 5 млн. 342 тис грн. на рік. Строк окупності капіталовкладень складає 0,23 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проектування сервісних підприємств. Посібник-практикум / Г.І. Дашивець, В.А. Дідур, А.М. Бондар. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. 144 с.
2. Ремонт машин: навч. посібник / за ред. О.І. Сідашенка та А.Я. Поліського, Київ: Урожай, 1994. 400 с.
3. Організація охорони праці у сільському господарстві / Д.А.Бутко, В.Л.Луценков, М.М.Воїнов. Сімферополь: Бізнес-Інформ, 2008. 324 с.
4. Цивільний захист: навч. посібн. / М.А.Касьянов, В.П. Гуляєв, О.О. Колібабчук, В.І. Сало, В.О. Медяник, О.М. Друзь, Ю.А. Тищенко. Луганськ: Вид-во Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2008. 291с.
5. Труханська О. О. Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця, 2018. № 3 (102) С. 52-61.
6. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни. Київ: Арістей, 2004. 476 с.
7. Робота дизелів на нетрадиційних паливах: навч. Посібник // В.А. Марков, А.И. Гайворонський, Л.В. Гріхів. Київ: Урожай, 2008. 464 с.
8. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.
9. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. Київ: Знання. 2013. 511 с.
10. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. Кам'янське : ДДТУ, 2017. 369 с.
11. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В. Вамболь, С. О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ; за ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. Харків: ТОВ "ПромАрг", 2021. 202 с.

12. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І. П., Хом'як В. В. - 2-ге вид., стер. Суми : Університетська книга, 2015. 374 с.
13. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. Київ: Знання, 2003. 511 с.
14. Головчук А.Ф. Експлуатація і ремонт сільськогосподарської техніки. Київ. Урожай, 2012. 112 с.
15. Аулін, Д.О. Удосконалення технології технічного обслуговування паливної апаратури тепловозних дизелів // Сучасні технології у промисловому виробництві: Матеріали та програма III Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції, м. Суми, 22-25 квітня 2014.
16. Калганков Є. В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу / Є. В. Калганков. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. Дніпропетровск. - 2017. №133. С. 66-74.
17. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин / Є.В. Калганков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. 2013. №108. С. 133-142.
18. Ремонт машин і обладнання: підручник / Сідашенко О. І., Науменко О. А., Скобло Т. С. та ін. Київ: Аграр Медіа Груп, 2014. 632 с.
19. Єрмолова Л.С. Ремонт дизельних двигунів: довідник / Л.С. Єрмолова. Київ. Урожай, 2001. 402 с
20. Дорошенко О. В. Обґрунтування методів та параметрів діагностування паливних систем мобільних сільськогосподарських машин / О. В. Дорошенко, Є. В. Калганков. / Київ. Урожай, 1998. 212 с
21. Анісімов В. Ф. Шляхи і методи підвищення довговічності і надійності роботи паливної апаратури автотракторних двигунів / Анісімов В. Ф., Музичук В. І., П'ясецький А. А., Рябошапка В. Б. Вінниця: ВНАУ, 2012. 142 с.

22. Лехман С. Д. Довідник з охорони праці в сільському господарстві / Лехман С. Д. Київ: Урожай, 1990. 286 с.

23. Кищук А.С. и др. Практикум по технічному обслуговуванню тракторів. Глеваха: ІМЕГС, 2002. 109 с.

24. Коваленко В.П., Турчанинов В.Е. Очищення нафтопродуктів від забруднення. Київ: Техніка, 2010. 160 с.

25. Методичні рекомендації для виконання та оформлення дипломної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності Н7 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, Комарніцький С.П. За ред. В.І. Дуганця. – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. - 52 с.