

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Заречний Андрій Анатолійович**

**УДК 665.75**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Забезпечення працездатного стану прецизійних пар  
розпилювачів форсунок дизельних двигунів**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело  
\_\_\_\_\_ Заречний А.А.

**Керівник роботи**

Білецький В.Р.

кандидат технічних наук, доцент

**Житомир – 2023**

## АНОТАЦІЯ

**Заречний Андрій Анатолійович. Забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних двигунів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В магістерській роботі на підставі аналізу наукових робіт з тематики роботи як компоненти протизношувальної присадки запропоновано протизносною присадки запропоновано талову та олію з насіння льону.

Обґрунтовано компонентний склад присадки ПТЛМ (талова олія 55%, олія з насіння льону 41%, поліалкілбензол 4%) і необхідна концентрація присадки в дизельному паливі, яка становить 1% залежно від режиму експлуатації розпилювачів форсунок дизельних двигунів. Компонентний склад і концентрація присадки ПТЛМ у паливі обумовлені виходячи з експлуатаційних властивостей дизельного палива.

Таким чином застосування присадки ПТЛМ до дизельного палива в концентрації 1% забезпечує працездатний стан розпилювачів форсунок із гідравлічно керованим запірним клапаном протягом 1902 мото-години. З цього випливає висновок про можливість забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних двигунів застосуванням присадки до дизельного палива.

*Ключові слова: прецизійна пара, зношування, двигун, паливо, присадка.*

## ANNOTATION

**Zarechnyi Andrii Anatoliiovych. Ensuring the serviceable condition of precision pairs of diesel engine injector nozzles.** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.  
– Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the master's thesis, based on the analysis of scientific papers on the subject of the work, tallow and flaxseed oil are proposed as components of an antiwear additive.

The component composition of the PTLM additive (tallow oil 55%, flaxseed oil 41%, polyalkylbenzene 4%) and the required concentration of the additive in diesel fuel, which is 1%, depending on the operating mode of diesel engine injector sprayers, are substantiated. The component composition and concentration of the PTLM additive in the fuel are determined based on the operational properties of diesel fuel.

Thus, the use of the PTLM additive to diesel fuel in a concentration of 1% ensures the operability of injector nozzles with a hydraulically controlled shut-off valve for 1902 engine hours. This leads to the conclusion that it is possible to ensure the operability of precision pairs of diesel engine injector nozzles by using an additive to diesel fuel.

*Keywords: precision pair, wear, engine, fuel, additive.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	19
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	29
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Якісне та своєчасне виконання сільськогосподарських операцій більшою мірою залежить від працездатного стану мобільних енергетичних засобів (МЕЗ).

Працездатний стан – це стан виробу, за якого значення всіх параметрів, що характеризують його здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної та (або) конструкторської (проектної) документації. У зв'язку з цим, до інженерної служби підприємств агропромислового комплексу входять завдання щодо забезпечення функціонування дизельних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) МЕЗ. Дизельні ДВЗ мобільних енергетичних засобів більшою мірою залежать від забезпечення ресурсу вузлів і агрегатів. Вирішення цього завдання дає змогу збільшити ресурс експлуатованої техніки і знизити витрати, пов'язані з її ремонтом. Аналіз наукових досліджень, пов'язаних зі зношуванням прецизійних сполучень паливної апаратури, показує зв'язок зносу з мастильними властивостями палив. Для поліпшення мастильних властивостей палив до їхнього складу вводять присадки, що підвищують їхню мастильну здатність [5]. Нині переважно використовують протизносні присадки іноземного виробництва: Infmeum, BASF, Clariant, Lubrizol та ін., склад яких не відомий і не сертифікований. Відповідно, ці присадки не можуть задовольняти ДСТУ. Впровадження у виробництво вітчизняних присадок, що додаються в паливо на місці споживання, дасть змогу істотно збільшити ресурс ДВЗ паливної та апаратури дизелів.

**Об'єкт дослідження** процес забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних двигунів внутрішнього згоряння застосуванням присадки до дизельного палива.

**Предмет дослідження** – залежності та закономірності процесу забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок

дизельних двигунів від експлуатаційних властивостей дизельного палива з присадкою.

Наукова гіпотеза: забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних двигунів можливе за рахунок формування граничного режиму тертя деталей прецизійних пар застосуванням присадки на основі рослинних олій з додаванням поліалкілбензолу.

**Метою** роботи забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних двигунів застосуванням присадки до дизельного пального, на основі талової та олії з насіння льону з додаванням поліалкілбензолу.

У зв'язку з поставленою метою в цій роботі вирішувалися такі науково-практичні завдання:

Обґрунтувати необхідність вибору компонентного складу та концентрації присадки до дизельного палива для забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок.

Розробити спосіб оцінювання зносостійкості матеріалу прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних двигунів за основним критерієм - гідрощільності прецизійних пар. та провести оцінку гідрощільності розпилювачів форсунок дизельних двигунів з використанням присадки ПТЛМ до дизельного палива.

Провести експлуатаційну перевірку ефективності застосування присадки до дизельного палива.

**Методи наукового дослідження.** Загальною методологічною основою дослідження був системний підхід, що забезпечує аналіз процесу забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних двигунів, застосуванням присадки до дизельного палива, з урахуванням експлуатаційних властивостей палива. У процесі дослідження використовувалися положення теорії: працездатності зношування, опору матеріалів, методи чисельного та статистичного моделювання стану

трибомеханічної системи прецизійних пар розпилювачів форсунок у програмних математичних пакетах. Експериментальні дослідження базувалися на методах лабораторних та експлуатаційних випробуваннях прецизійних пар розпилювачів форсунок. Дослідження виконано із застосуванням стандартних методик, спеціально розробленого та серійного обладнання.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Заречний А.А.** Аналіз зміни умов роботи паливної апаратури двз з урахуванням технічного стану розпилювачів форсунок. *Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*, 5 квітня 2023 року. Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 183-186.

2. Білецький В.Р., **Заречний А.А.** Результати дослідження трибологічних характеристик дизельного пального з присадкою ПТЛМ. *Збірник тез доповідей ХХІV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2023.С. 277-279.

3. **Заречний А.А.** Оцінка ресурсу матеріалів прецизійних пар розпилювачів. *Студентські читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 76-88.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичний інтерес для виробництва представляє запропонована рецептура і компонентний склад з концентрацією присадки на основі мінеральних олив, що дозволяють забезпечити необхідний міжремонтний ресурс прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних ДВЗ.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 22 найменувань.

Загальний обсяг роботи становить 43 сторінки комп'ютерного тексту, містить 12 рисунків і 5 таблиць.



## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Зміна структури матеріалів поверхонь деталей розпилювача форсунки, що сполучаються, відбувається за трьома стадіями: припрацювання, нормальна експлуатація, аварійний знос [22].

Перша стадія – у процесі виготовлення прецизійних пар, поверхні запірної пристрою (голки) і сідла корпусу розпилювача мають мікронерівності (шорсткість). Під час комплектації прецизійних пар розпилювача, виступи і западини мікронерівностей конусних поверхонь голки і сідла стикаються між собою, утворюючи посадковий зазор, величина якого від 2.0 до 4 мкм (рис. 1.1) [22].

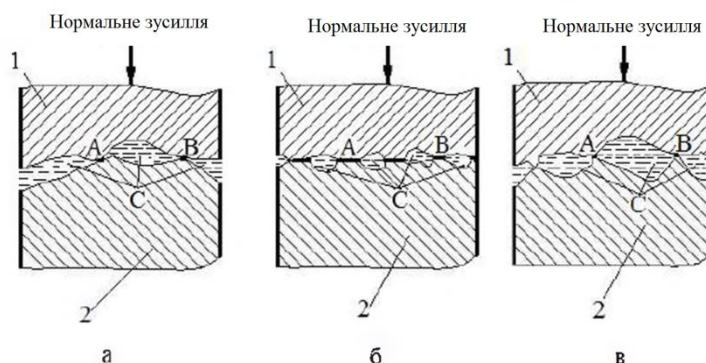


Рис. 1.1. Схема контакту в сполученні "голка - корпус розпилювача" форсунки: "А, В" – точки контакту голки і сідла корпусу розпилювача; "С" – шар палива; "а" – початковий період експлуатації сполучення; "б" – період нормальної експлуатації сполучення; "в" – період аварійного зношування сполучення [22].

Інтенсивність зношування визначається числом дискретних, випадково розташованих майданчиків на поверхні фактичного контакту [22].

Фактична поверхня контакту між голкою і корпусом розпилювача, в умовах припрацювання, становить соті частки від розміру геометричної поверхні контакту. При цьому, в процесі контакту голки виникають напруження, що перевищують межу пластичності матеріалу, що призводить до пластичного

деформування мікронерівностей у точках контакту. Таким чином, основна частина енергії удару витрачається на пластичну деформацію мікронерівностей. Крім того, частина енергії контакту витрачається на витіснення із зазору палива і на подолання пружності поверхневих шарів палива. Частина енергії удару, що підводиться, накопичується в поверхневому шарі, що призводить до утворення і розвитку дефектів кристалічної решітки. Знос мікронерівностей голки і посадкового місця призводить до зменшення зазору між сполученими деталями, збільшення фактичної площі контакту і порушення герметичності ущільнювального спряження розпилювача [22].

Друга стадія – етап нормальної експлуатації розпилювача форсунки на припрацьованому сполученні. У цьому разі прохідний перетин між запірним пристроєм і сідлом мінімальний, а фактична площа контакту і гідроцільність запірного конуса розпилювача максимальна. У точках контакту під час удару голки, поряд із пластичними напруженнями виникають і пружні. Величина пластичних деформацій істотно нижча, ніж на етапі припрацювання, а енергія удару, в основному, йде на пружні деформації. Зазор у сполученні та фактична площа контакту змінюються не значно, а гідроцільність сполучення досягає максимального значення [22].

На другій стадії триває накопичення енергії в поверхневому шарі, кількість дефектів кристалічної решітки збільшується, утворюються мікротріщини, які не виходять на поверхню і не викликають істотної зміни мікрогеометрії поверхонь, а отже, прохідний переріз між деталями запірного сполучення, які зіштовхуються, змінюється незначно. Гідроцільність розпилювача на припрацьованому сполученні максимальна. Унаслідок накопичення енергії під час одиночного удару голки об сідло в точках контакту в тонкому шарі  $H_y = 20...60$  мкм виникають контактні напруги (рис. 1.2) [22].

Третя стадія – аварійне спрацьовування, характеризується накопиченням у поверхневому шарі енергії до критичного значення, яке дорівнює енергії активації спрацьовування, що призводить до значного збільшення контактних

напружень, це супроводжується збільшенням розмірів тріщин, при цьому тріщини виходять на поверхню. Відбувається відшарування значної частини поверхневого шару, з утворенням заглиблень (місцевих зносів). Наслідком цього є зміна мікрогеометрії поверхні, а також збільшення прохідного перерізу та зниження гідросцільності розпилювачів форсунок [22].

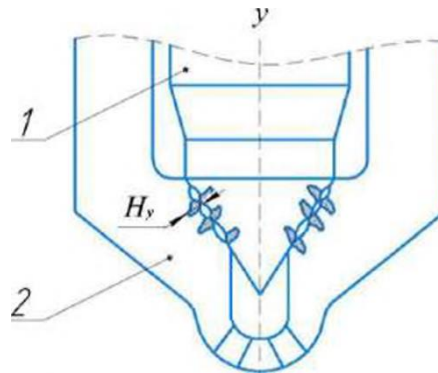


Рис. 1.2. Епюра контактних напружень конусної поверхні сполучення "голка - корпус розпилювача форсунки": 1 – голка; 2 – сідло корпусу розпилювача;  $H_y$  – товщина поверхневого шару, що накопичує напруження удару [22].

У разі збільшення циклічного навантаження в цих самих точках під впливом контактних напружень виникають мікротріщини, які не виходять на поверхню деталей (рис. 1.3) [22].

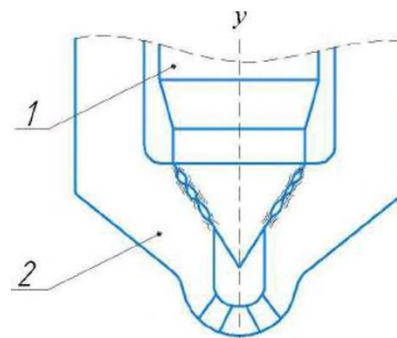


Рис. 1.3. Схема процесу формування мікротріщин у поверхневому шарі сполучення "голка – корпус розпилювача форсунки": 1 – голка; 2 – сідло корпусу розпилювача форсунки [22].

Аналіз досліджень показав, забезпечення працездатного стану розпилювачів форсунок забезпечується конструкційними, технологічними та експлуатаційними способами, класифікацію яких наведено нижче (рис.1.4.).



Рис. 1.4 Способи забезпечення працездатного стану прецизійних сполучень розпилювачів форсунок

Спосіб спрямований на зміну конструкції розпилювачів форсунок для компенсації динамічних навантажень. Під час розроблення конструкції особливу увагу приділяють вибору матеріалу сполучення, при цьому враховують, що працездатний стан деталей розпилювача визначається твердістю матеріалу.

Для виготовлення деталей розпилювача форсунок ФД-22 використовують сталі таких марок:

- корпус розпилювача сталь марки 18Х2Н4ВА за ДСТУ;
- "голка" сталь марки Р-18 за ДСТУ.

Твердість поверхні корпусу розпилювача - HRC57, твердість "голки" - HRC 60 [5].

Нижче наведено основні конструктивні схеми форсунок із багатоструменевими розпилювачем і гідравлічно керованою голкою автотракторних ДВЗ [8].

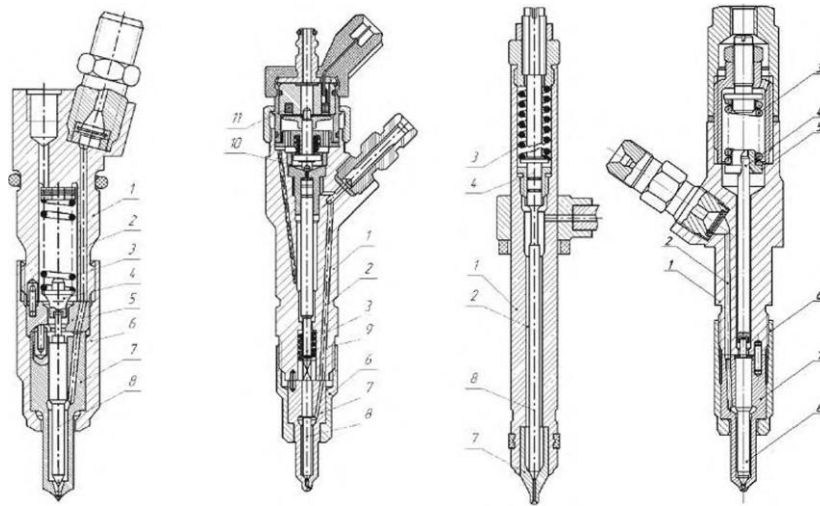


Рис. 1.5. Конструкції форсунок закритого типу автотракторних дизелів: а - форсунка ЯЗДА: б – форсунка фірми R. Bosch: в – форсунка фірми Rikardo: г - форсунка ФД-22 тракторів МТЗ: 1 – корпус форсунки: 2 – канал для підведення палива: 3 – пружина замикання голки розпилювача форсунки; 4 – штанга: 5 – проставка: 6 – гайка розпилювача форсунки: 7 – корпус розпилювача форсунки; 8 - голка розпилювача форсунки: 9 – мультиплікатор замикання; 10 – кульковий керуючий клапан: 11 – електромагніт.

У форсунці закритого типу з багатоструменевим розпилювачем і гідравлічно керованою голкою (рис. 1.75 а), використовуваною на двигунах типу ЯМЗ, довжину штанги зменшено до розміру, який дає змогу зменшити масу рухомих деталей форсунки, це знижує динамічні та кінематичні навантаження на розпилювач.

У закритій форсунці фірми R.Bosch (рис. 1.5 б) гідравлічне управління підйомом голки замінено електромагнітним. Це дає змогу збільшити тиск перед розпилювачем до 160 МПа і забезпечити якість розпилювання палива.

Прецизійна частина голки форсунки фірми Rikardo (рис. 1.7 в), винесена і розташована вище рівня точки підведення палива до форсунки, що дає змогу зменшити: діаметр прецизійної частини до 4 мм; діаметр замикаючого конуса до 2 мм.

Основною форсункою, що використовується на ДВЗ вітчизняного виробництва, є закрита форсунка типу ФД-22 (рис. 1.7 г). Корпус і голка

розпилювача форсунки ФД-22 виготовлені з легованої сталі і є прецизійною парою. Розукомплектування пари не передбачено.

У роботах [8] запропоновано конструкцію безпрецизійного клапанного механізму. У цій конструкції знижено інерційну масу деталей завдяки використанню потоку дизельного палива, що відкривається.

Однак удосконалення конструкції форсунки не дозволило змінити умови, що сприяють забезпеченню необхідного ресурсу розпилювачів. Крім того, ці способи можна здійснювати тільки під час проектування та виготовлення деталей розпилювача.

У практиці експлуатації форсунок автотракторних ДВЗ для забезпечення працездатного стану використовують способи зміни структури матеріалу пар деталей, що контактують, а саме цементацію та азотування.

Цементація - обробка металів із насиченням вуглецем поверхневого шару. Глибина цементації деталей 1-1,5 мм. Процес цементації полягає в нагріванні матеріалу до температури 850-950°C при цьому атомарний вуглець насичує поверхневий шар, що призводить до зміцнення. До недоліків процесу цементування слід віднести тривалість процесу цементації (15 год), і його швидкість (0,1 мм/год).

Азотування - процес насичення азотом поверхневого шару сталевих деталей. Азотування проводять за температур 500-600°C у середовищі з високим вмістом аміаку. Азотуванню піддають деталі з легованих сталей. Глибина азотування 0,02...0.05 мм. Азотування підвищує зносостійкість деталей у 1,5 - 2 порівняно з цементацією.

Недоліком процесу азотування є підвищена крихкість матеріалу деталей.

Процеси цементації та азотування в умовах ремонтної служби АПК виробляти складно внаслідок відсутності спеціалізованого технологічного обладнання.

Одним із напрямів забезпечення працездатного стану прецизійних сполучень розпилувачів форсунок є експлуатаційні методи.

Ресурс прецизійних сполучень залежить від експлуатаційних властивостей дизельного палива.

Нині виробляються літні та зимові дизельні палива, згідно з ДСТУ. Забезпечення експлуатаційних властивостей дизельного палива є низький вміст (до 0,3%) протизносних присадок.

У роботах, для підвищення зносостійкості прецизійних сполучень паливного насоса високого тиску (ПНВТ) пропонується використовувати дизельні палива з присадками, що складаються з ефірів жирних кислот рослинних олій. Присутність у дизельному паливі гетерогенних структур у вигляді органічних речовин сприяє зміні контактуючих навантажень під час взаємодії поверхонь, що є передумовами до збільшення ресурсу прецизійних деталей [10].

Дослідження, проведені [4,6], показують, що для забезпечення працездатного стану, в дизельне паливо додавали присадки на основі жирних кислот рослинних олій (у концентрації 50% від об'єму дизельного палива).

У результаті їх застосування ресурс прецизійних деталей розпилувачів збільшився з 1300 до 1600 мотогодин. Основа жирних кислот рослинних олій сприяє утворенню оксидів на поверхнях прецизійних деталей, що спричиняє руйнування їхнього поверхневого шару і збільшення зносу деталей. До того ж, застосування жирних кислот рослинних олій сприяє збільшенню кінематичної в'язкості дизельного пального, що призводить до погіршення якості розпилу та необхідності підігріву пального.

Крім того, за великої концентрації рослинних олій у дизельному паливі на поверхнях деталей прецизійних сполучень утворюється нестійкий поверхневий шар, схильний до розкладання.

Стандарт Євро 5, Євро 6 істотно змінив вимоги щодо екологічного класу палива. Зменшення концентрації сірки з 300 до 30 мг/л посилює процес тертя деталей паливної апаратури дизельних двигунів.

Для забезпечення працездатного стану та підвищення зносостійкості поверхонь прецизійних сполучень, у паливо вводять присадки, що містять карбонові кислоти.

З літературних джерел відомо, що ресурс деталей можна підвищити шляхом додавання компонентів рослинних олій у концентрації від 0,01 до 2,9%. Джерелом карбонових кислот є рослинні олії (переважно ріпакова олія).

Прикладом використання карбонових кислот є застосуванням у дизельному паливі присадки "Р".

Таблиця 1.1 – Трибологічні дослідження присадки "Р".

Пальне	Діаметр плями зносу, мкм за ДСТУ
Паливо, що містить 0.2% сірки	0.3
Паливо, що містить 0,05% сірки	0,45
ДП+0,01% присадки "Р"	0,4
ДП+0,1% присадки "Р"	0,39

З результатів у таблиці 1 випливає, що протизносні властивості дизельного пального з присадкою "Р" істотно змінюються, так діаметр плями зносу (ДП) під час дослідження пального в концентрації присадки "Р" 0.1% зменшився з 0.45 до 0.2 мм.

Умови введення присадок у дизельне паливо.

При введенні присадок у дизельне паливо мають виконуватися такі умови [6]:

- температура присадки має бути в межах +20... ,+40°C;
- температура палива на 10-15°C вища за його температуру помутніння;
- відсутність вмісту води в дизельному паливі.

Концентрація присадки в дизельному паливі рекомендована її виробником і варіюється в межах від 0.3 до 3%. Водночас перевищення концентрації



присадок, щодо рекомендованих значень, призводить до підвищеного зносу деталей прецизійних пар.

Колоїдна стабільність дизельного палива з присадками забезпечується за допомогою перемішування з використанням промислових або мобільних змішувачів і насосів. Колоїдна стабільність дизельного палива з присадками досягається після 2-3 циклів перекачування палива з постійним об'ємом паливного резервуара. Спосіб компаудування палива присадками полягає в змішуванні в паливній ємності штатними насосами під тиском  $P = 5$  МПа. і температурою  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  [6]. У конструктивному виконанні змішувачі підрозділяють на пасивні й активні, які зазвичай вбудовують у систему трубопроводів перегонки палива.

Дослідження показує, що при виборі рослинних олій необхідно враховувати довжину вуглеводневого ланцюга і ступінь ненасиченості. При цьому вони підкреслюють, що зі збільшенням ступеня ненасиченості, протизносні властивості збільшуються сильніше, ніж при збільшенні вуглеводневого ланцюга. Ляна і талова олії містять у своєму складі від 75 до 86% ненасичених кислот.

### **Висновки по розділу**

Аналіз способів підвищення ресурсу прецизійних сполучень розпилювачів форсунки показує, що використання конструкційних, технологічних і експлуатаційних методів не дає змоги повною мірою розв'язати завдання.

Є й інші матеріали, що мають властивості, але ці матеріали маловивчені. Тому дослідження, спрямовані на забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних двигунів застосуванням присадки до дизельного палива, є актуальними.

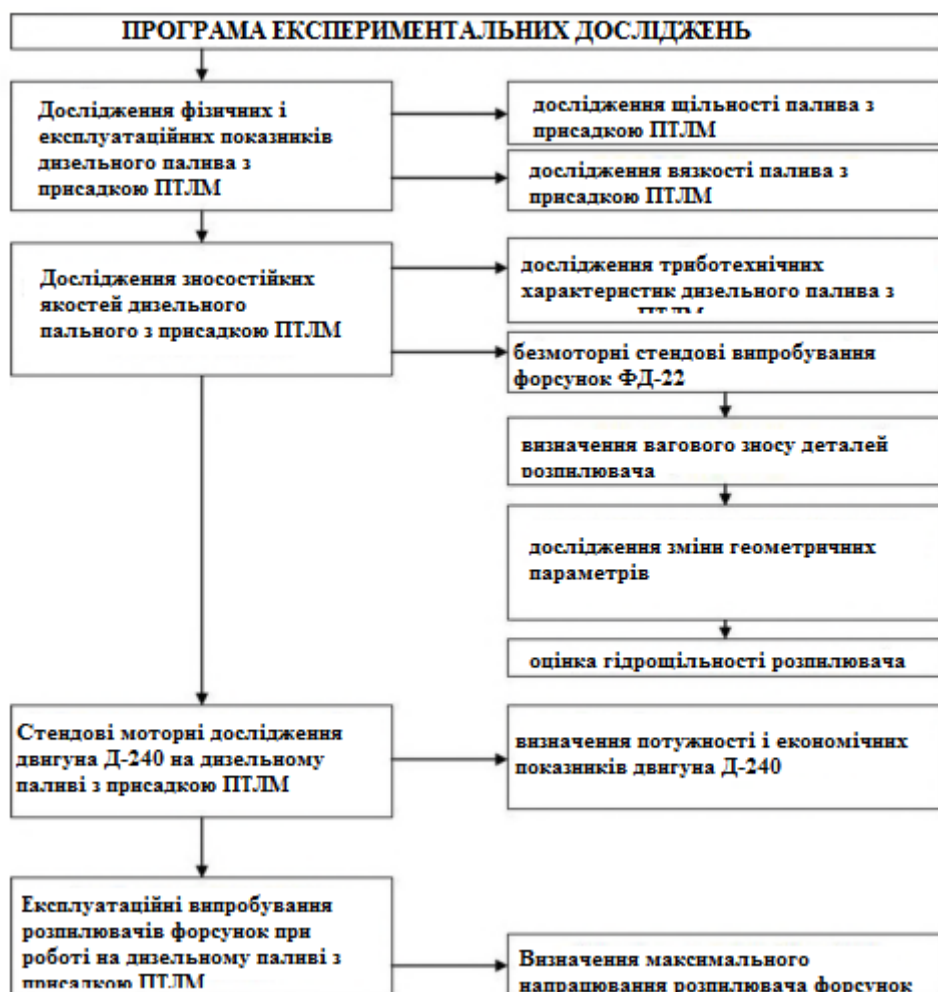
У цій роботі передбачається дослідити можливість використання дизельного пального, легованого присадками, на основі талової та ляної олій,

для підвищення зносостійкості прецизійних сполучень розпилювачів форсунок закритого типу з гідравлічно керованим замикаючим клапаном (голкою) автотракторних ДВЗ.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою експериментальних досліджень є отримання закономірностей зміни стану прецизійних пар розпилювачів форсунок (на прикладі форсунки ФД-22), із застосуванням присадки ПТЛМ (присадка на основі рослинних олій з додаванням поліалкілбензолу) у дизельному паливі ДСТУ. Програма досліджень включає загальні та приватні методики досліджень. Нижче наведено схему програми досліджень.



Метою зносних стендових випробувань форсунки ФД-22 є:

- визначення вагового зносу деталей розпилювача (голки та корпусу):
- дослідження геометричних параметрів ущільнювальної кромки

сполучення "голка - корпус розпилювача" форсунки при концентрації присадки ПТЛМ 1-3% у дизельному паливі.

Проведення стендових випробувань розпилювачів форсунок ФД-22 здійснювалося таким чином:

Перед випробуваннями на стенді КГІ-921М були проведені контрольні випробування агрегатів паливної апаратури, що охоплювали перевірку і регулювання паливного насоса УТН-5 з комплектами робочих форсунок ФД-22 і паливопроводів високого тиску на відповідність вимогам випробувань.

Параметри паливного насоса перевіряли згідно з ДСТУ, параметри паливопідкачувальних насосів згідно з ДСТУ.

Контрольні випробування та регулювання форсунок проводили на приладі також. В відповідно до методики випробування, форсунки були відрегульовані на тиск уприскування 17.5 МПа

Дослідження динаміки зносу деталей розпилювача форсунки ФД-22 проводили на паливному стенді КІ-921М (Рис. 2.1) вдосконаленому відповідно до методичних особливостей експериментальних досліджень. Стенд КІ-921М містить у собі бак для палива, паливний насос високого тиску (ПНВТ), сполучну арматуру і форсунки марки ФД-22. Встановлений на стенді насос приводився в обертання від електродвигуна з частотою обертання ротора  $1250 \text{ хв}^{-1}$ .

Визначення вагового зносу деталей розпилювачів.

У процесі стендових безмоторних випробувань на зношування деталей розпилювачів форсунок ФД-22 контролювали зміну ваги деталей прецизійних пар і зміну геометричних параметрів ущільнювального пояса голки розпилювача [8].

Перед встановленням форсунок, деталі розпилювача (голку і корпус) зважували. Випробування проводили протягом 2500 мото-годин. Визначення зносу деталей розпилювачів форсунок проводили в трикратній повторності, що забезпечує довірчу ймовірність  $q = 0,8$  за відносної помилки  $\epsilon = 0,1$ .

Вимірювання ваги деталей проводили перед початком випробувань, і через 100, 500, 1000, 1500, 2000 і 2500 мотогодин.

Перед зважуванням, деталі розпилювачів форсунок (голка і корпус розпилювача) промивали в бензині марки Б-70, і просушували в сушильній шафі за температури 120-130°C.

Зважування деталей проводили на електронних лабораторних вагах ВЛТЕ-150.

Дослідження зміни геометричних параметрів ущільнювальної кромки сполучення "голка-корпус розпилювача" форсунки.

Під час дослідження параметрів зносу ущільнювальної кромки запірного конуса голки розпилювача вимірювали довжину твірної  $L_i$  (відстань від кінцевої точки голки до ущільнювальної крайки), мм, і ширину ущільнювального паска  $b$  (рис. 2.1).

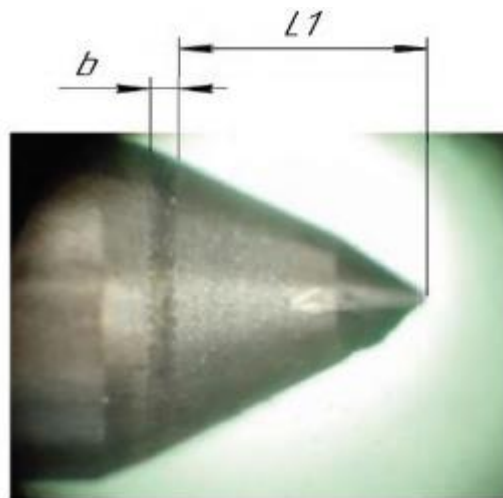


Рис. 2.1. Схема по якій проводять вимірювання параметрів ущільнювальної кромки.

Для отримання достовірних даних про технічний стан розпилювачів форсунок під час дослідження, визначалася мінімально необхідна кількість розпилювачів за формулою:

$$n = \frac{t_a^2 \cdot g^2}{\epsilon^2}, \quad (2.1)$$

де  $t_{\beta}$ - нормоване відхилення, що залежить від довірчої ймовірності  $\alpha$ ;

$\vartheta$  - коефіцієнт варіації:

$\epsilon$  - відносна помилка.

За прийнятих у розрахунках відповідно до рекомендацій значень довірчої ймовірності  $P = 0.8$ , відносної помилки  $\epsilon = 0,20$  і коефіцієнта варіації  $\vartheta = 0,30$  мінімально необхідна кількість деталей  $N$  становила 28 шт.

Метою стендових моторних випробувань двигуна Д-240 є підтвердження працездатності та дослідження робочого процесу двигуна під час роботи на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації! 1%.

Випробування проводили на електрогальмівному стенді RAPIDO для випробування та обкатки двигунів внутрішнього згорання, обладнаному необхідними вимірювальними приладами, пристроями і пультом управління. Усі розрахунки при обробці експериментів виконувалися відповідно до вимог ДСТУ. Під час випробувань знімалися зовнішні регуляторні характеристики і порівнювалися з паспортними.

Ефективна потужність двигуна (кВт):

$$N_e = \frac{0.001 \cdot P_t \cdot n_{cp}}{\eta_p \cdot 1,36}, \quad (2.2)$$

де  $P_t$  – показання вагового механізму, кгс;

$n_{cp}$  – середня частота обертання вала двигуна, хв<sup>-1</sup>;

$\eta_p$  – К.К.Д. редуктора, (приймаємо 0,96 - 0.98).

Крутний момент двигуна (Нм):

$$M\theta = \frac{9550 \cdot N_e}{n_e}, \quad (2.3)$$

де  $N_e$  – потужність електродвигуна, кВт;

$n_e$  – ефективна частота обертання вала електродвигуна хв<sup>-1</sup>.

Крім цього крутний момент (кгс м):

$$M\theta = \frac{P_m \cdot L_T \cdot i_p}{\eta_p}, \quad (2.4)$$

де  $P_m$  – показання вагового механізму, кгс м;

$L_T$  – довжина плеча вагового механізму електротормоза, мм ( $L_T = 716.2$  мм);

$i_p$  – передавальне число редуктора, (приймаємо 1);

$\eta_p$  – К.К.Д. редуктора, (приймаємо 0.96 - 0.98).

Середній ефективний тиск (Н/см<sup>2</sup>):

$$P_e = \frac{900 \cdot N_e \cdot 9.81}{V_h \cdot n_{cp}}, \quad (2.5)$$

де  $N_e$  – потужність електродвигуна (кВт);

$V_h$  – робочий об'єм двигуна, л;

$n_{cp}$  – середня частота обертання вала двигуна, хв<sup>-1</sup>;

Годинна витрата палива (кг/год):

$$G_m = \frac{3.6 \cdot \Delta G_T}{t_{on}}, \quad (2.6)$$

де  $\Delta G_T$  – витрата палива за дослід, г;

$t_{on}$  – час досліду, год.

Питома ефективна витрата палива (г/кВт год) визначалася за формулою:

$$g_e = \frac{1000 \cdot G_T}{N_e}, \quad (2.7)$$

де  $G_T$  – витрата палива за дослід, г;

$N_e$  – потужність електродвигуна (кВт).

Ефективний ККД визначали за формулою:

$$\eta_e = \frac{632.3 \cdot 1.36 \cdot N_e}{g_e \cdot H_U}, \quad (2.8)$$

де  $N_e$  – потужність двигуна. (кВт);

$g_e$  – питома витрата палива. г/кВт год;

$H_U$  – нижча теплотворна здатність дизельного палива, ккал/кг.

Достовірність експериментальних досліджень залежить від точності і надійності отриманих результатів. Наявність випадкових помилок вимірювань

робить необхідним проводити досліди з кількома повторностями. Для визначення кількості повторностей дослідів попередньо приймали величину відносної помилки вимірювань взяту в частках середнього квадратичного відхилення ( $\Delta=3$ ) і задавалися надійністю отриманого результату, що дорівнює 0,95. За відносною помилкою вимірювань і прийнятої надійності, визначали кількість повторностей вимірювань ( $n = 3$ ).

Перевірка нульової гіпотези, для вибракування значень даних, що різко відхиляються, проводиться обчисленням довірчого інтервалу для всієї сукупності та визначенням імовірності знаходження сумнівного значення  $x$  у межах  $x \pm 3\sigma$ .  $\sigma$  - середнє квадратичне відхилення, підраховане без урахування сумнівного числа. Якщо  $x$  виходить за межі  $x \pm 3\sigma$ , то нульова гіпотеза відкидається на 5% рівні [7].

Під час обробки дослідних даних визначалися такі показники:

- середнє арифметичне паралельних дослідів:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{r} \sum_{u=1}^r y_{iu}, \quad (2.9)$$

де  $r$ - кількість паралельних дослідів:

$y$ - значення функції відгуку:

$i$  - номер дослідів:

$u$  - повторність дослідів.

Дисперсію паралельних дослідів визначали за формулою Кохрена:

$$S_i^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{u=1}^r (y_{iu} - \bar{y}_i)^2, \quad (2.10)$$

Для оцінки однорідності дисперсій паралельних дослідів використовували критерій Кохрена. розрахункове значення якого визначали за формулою:

$$G_p = \frac{S_{i_{max}}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (2.11)$$

де  $S_{i_{max}}^2$  ~ максимальне значення дисперсії в досліді:

$i$  - номер дослідів;



$N$ -число незалежних дослідів.

Отримане розрахункове значення критерію Кохрена порівнювали з табличним значенням для ступенів свободи: чисельника  $f_1=r-1$ ; знаменника  $f_2=N$ ; за обраного рівня значущості  $\alpha =0.05$ .

У разі, якщо розрахункове значення критерію Кохрена  $G_p$  не перевершувало табличного значення  $G_T$ , гіпотезу про однорідність паралельних дослідів приймалася.

Після перевірки однорідності паралельних дослідів визначали дисперсію відтворюваності за формулою:

$$S(y) = +\sqrt{S^2(y)}. \quad (2.12)$$

де  $S_{imax}^2$ - максимальне значення дисперсії в досліді:

$i$ - номер дослідів;

$N$ -число незалежних дослідів.

Середньоквадратична помилка експерименту:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_0 \bar{y}_u}{N}, \quad (2.13)$$

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_i \bar{y}_u}{N}. \quad (2.14)$$

Коефіцієнти рівняння регресії розраховували за формулами для повного факторного експерименту:

$$S_i^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{u=1}^r (y_{iu} - \bar{y}_i)^2, \quad (2.15)$$

де  $u$  - повторність дослідів;

$i$ - номер дослідів;

$N$ - число незалежних дослідів.

Перевірку статистичної значущості коефіцієнтів проводили за допомогою  $t$ -критерій Стьюдента:

$$t_0 = \frac{|b_0|}{S(b_0)}, \quad (2.16)$$

$$t_i = \frac{|b_i|}{S(b_i)}. \quad (2.17)$$

Коефіцієнт рівняння регресії вважають статистично значущим за умови  $t_p > t_{табл}$  для числа ступенів свободи  $N(r-1)$  і рівня значущості  $\alpha = 0,05$ .

Після виключення статистично незначущих коефіцієнтів рівняння перевіряли на адекватність за критерієм Фішера:

$$S_{ад}^2 = \frac{r}{N - \lambda} \sum_{u=1}^N (\bar{v}_u - \hat{y}_u)^2, \quad (2.18)$$

де  $S_{ад}^2$  - дисперсія адекватності;

$S^2 (v)$  - дисперсія відтворюваності.

Дисперсію адекватності обчислювали за формулою:

$$X_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\Delta x}, \quad (2.19)$$

де  $\lambda$  - число значущих коефіцієнтів моделі;

$r$  - число паралельних дослідів;

$i$  - повторність дослідів;

$N$  - число незалежних дослідів.

Якщо  $F_m > F_p$  то гіпотезу про адекватність моделі приймали, для ступенів свободи чисельника  $f_{ад} = N - \lambda$ ,  $f_E = N(r-1)$  і прийнятого рівня значущості  $\alpha = 0,05$ .

Моторні випробування проводилися за методикою ДСТУ.

Було знято мошностні та економічні показники дизеля Д-240 під час роботи на дизельному паливі, і на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 1 і 3%. За отриманими результатами було побудовано зовнішні регуляторні характеристики залежно від потужності.

Для проведення експлуатаційних випробувань розпилювачів форсунок ФД-22 під час роботи ДВЗ на дизельному паливі ДСТУ 305 з присадкою ПТЛМ у концентрації 1% в умовах АПК обрано підприємства Житомирської області.

Експлуатаційні випробування проводилися на тракторах марки МТЗ-80/82.

Вибір підприємств здійснювався виходячи з необхідної кількості тракторів одного року випуску, які виконують аналогічні виробничі роботи.

Мінімально необхідну кількість розпилювачів для отримання достовірних даних про технічний стан розпилювачів форсунок визначалася за формулою:

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot g^2}{\varepsilon^2}, \quad (2.20)$$

де  $t_{\alpha}$  - нормоване відхилення, що залежить від довірчої імовірності  $\alpha$ ;

$g$  - коефіцієнт варіації;

$\varepsilon$  - відносна помилка.

Згідно з (2.20) загальна кількість розпилювачів становила 28 шт.

У кожному з господарств один трактор працював на товарному дизельному паливі ДСТУ, три трактори працювали на дизельному паливі ДСТУ з присадкою ПТЛМ у концентрації 1%. Трактори експлуатувалися в період з 2022р. по 2023 р. Напрацювання кожного трактора за період експлуатації в межах 2500 мото-годин.

Для ПНВТ було підібрано нові плунжерні пари одного заводу-виробника. Перед встановленням форсунок було виконано попередні випробування розпилювачів на гідросільність. Кожен ПНВТ відрегульовано на безмоторному стенді КІ-921М за показниками дизеля Д-240 (44 11/12,5). Номінальна об'ємна циклова подача палива становила  $72,5 \pm 1 \text{ см}^3$  за 1000 циклів за частоти обертання кулачкового вала  $1100 \text{ хв}^{-1}$ , після чого було знято швидкісні характеристики ПНВТ на товарному дизельному паливі.

Трактори були обладнані витратомірами "DFM 100В".

Присадку ПТЛМ готували на території нафтобази АПК.

Компоненти присадки (талова і лляна олії, поліалкілбензол) заливали в ємність, на яку встановлювали насос для перекачування дизельного палива. Готове дизельне паливо з присадкою ПТЛМ заливали у бак трактора в міру його витрачання.

У процесі експлуатаційних випробувань контролювали:

- витрату палива кожного трактора витратоміром;
- гідрощільність розпилювачів форсунок кожного трактора з інтервалом

250 мотогодин.

За результатами експлуатаційних випробувань встановлювали граничне напрацювання розпилювачів форсунок і сумарну витрату палива кожного трактора.

### РОЗДІЛ 3

#### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У табл. 3.1. представлено результати дослідження трибологічних характеристик дизельного пального ДСТУ 305 і дизельного пального з присадкою ПТЛМ у концентрації 1...3% на автоматичному апараті для визначення змащувальної здатності дизельного пального за методом HFRR (High Frequency Reciprocating Rig – HFRR). Оцінку змащувальної здатності досліджуваних зразків палива проводили за діаметром плями зносу. За результатами проведених досліджень зразків пального встановлено, середній діаметр плями зносу [21]:

- при дизельному паливі ГОСТ 305. діаметр плями зносу – 534 мкм;
- за концентрації присадки ПТЛМ 1%, діаметр плями зносу – 440 мкм;
- за концентрації присадки ПТЛМ 3%, діаметр плями зносу – 452 мкм.

Найменший середній діаметр плями зносу 440 мкм, за концентрації присадки ПТЛМ у дизельному паливі 1% [21]/

Таблиця 3.1 – Результати визначення плями зносу на машині HFRJR [21].

Зразок	D <sub>зм</sub> , мкм			D <sub>ср</sub> , мкм	S, мкм
	1	2	3		
ДТ	542	538	529	536	6,351
1	439	445	442	442	2,652
2	441	452	450	447	3,613
3	457	454	450	453	2,647
Сума					

Результати експериментальних досліджень зміни діаметра плями зносу від концентрації присадки ПТЛМ описуються залежністю [21]:

$$D_{зм} = 25,25\alpha^2 - 100,05\alpha + 529,95 \quad (3.1)$$

де  $\alpha$  – концентрація присадки ПТЛМ у дизельному паливі.

Для отримання функціональної моделі, що відображає залежність діаметра плями зносу від концентрації присадки ПТЛМ у дизельному паливі (табл. 3.2). перевіряли однорідність паралельних дослідів за критерієм Кохрена [21].

Критерій Кохрена дорівнює 0,1083 [21].

Табличне значення за  $\alpha = 5$ ,  $f_1 = 2$  і  $f_2 = 6$  дорівнює 0,7808.

Розраховане значення критерій Кохрена не перевершує табличного, гіпотеза про однорідність дослідів приймається [21].

На рис. 1 представлено криву, що характеризує зміну діаметра плями зносу, залежно від концентрації присадки ПТЛМ у дизельному паливі [21].

Аналіз кривої показав (рис. 3.1), що за концентрації присадки ПТЛМ у паливі 1%, діаметр плями зносу найменший (440 мкм). При збільшенні концентрації присадки понад 1% діаметр плями зносу зростає на 2% і більше.

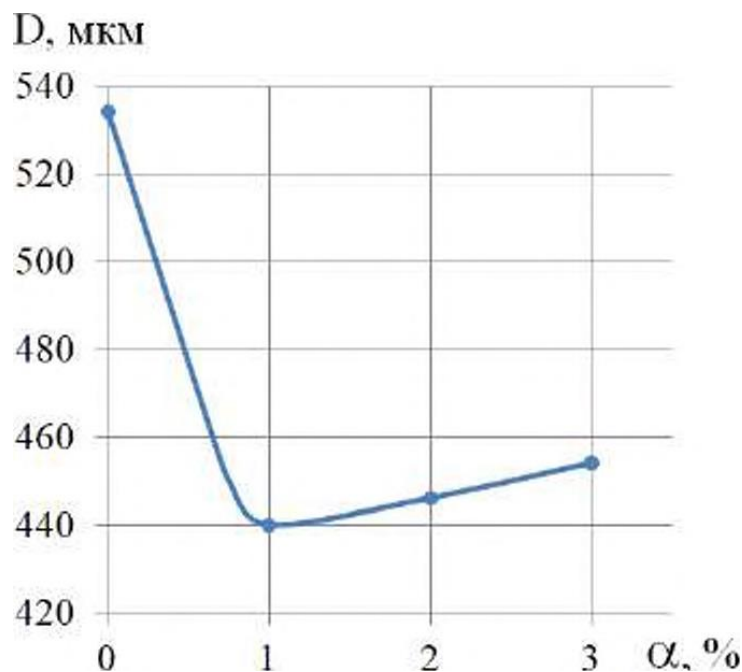


Рис. 3.1. Залежність діаметра плями зносу на пластині від концентрації присадки ПТЛМ [21].

Подібний ефект пояснюється тим, що за концентрації присадки ПТЛМ у дизельному паливі 1% на поверхні деталей утворюється стійкий шар мастила, який за збільшення концентрації присадки стає пухким, нестійким і деякі ділянки поверхні деталей оголюються. Отримані результати дослідження показують, що за концентрації в дизельному паливі присадки ПТЛМ у діапазоні від 1 до 3% змащувальні властивості палива задовольняють нормативні вимоги. Для оцінки концентрації присадки в паливі необхідно провести додаткові дослідження зносостійкості деталей розпилювача форсунки [21].

Результати дослідження фізичних, експлуатаційних і протизносних властивостей дизельного пального з присадкою ПТЛМ у концентрації 1...3% представлені в табл. 3.2 [21].

Таблиця 3.2 – Властивості дизельного палива з присадкою ПТЛМ [21].

Властивості	ДТ	Концентрація присадки ПТЛМ, %		
		1	2	3
Щільність при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	875	867	869	870
Кінематична щільність, при 20 °С мм/с(сСт)	4,17	4,5	4,9	5,2
Діаметр плями зносу при 60°С, мкм	537	442	448	452

Номер зразка палива відповідає концентрації присадки ПТЛМ у паливі.

Метою проведення випробувань розпилювачів форсунок під час їхньої роботи на дизельному паливі ДСТУ і на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ було визначення зносу деталей розпилювача форсунки і, на основі проведених випробувань, визначення концентрації присадки ПТЛМ у паливі та граничного напрацювання розпилювачів форсунок [21].

Результати визначення вагового зносу деталей розпилювачів.

Вагове спрацьовування деталей розпилювачів визначали за втратою ваги голки та корпусу розпилювача [21].

Однорідність паралельних дослідів підтверджено критерієм Кохрена.  $G_{розр} = 0,2141 < G_{Табл} = 0,2758$  за числа ступенів свободи  $f_1 = 2$  і  $f_2 = 9$ .

Під час опрацювання результатів вагового зносу отримано регресійні залежності інтенсивності зношування деталей розпилювача від концентрації присадки ПТЛМ у паливі, у такому вигляді:

для зносу голки:

$$I_i = 2,66 \cdot 10^{-5} \alpha^2 - 5,22 \cdot 10^{-5} \alpha + 1,14 \cdot 10^{-4}. R^2 = 0,914 \quad (3.2)$$

для зносу корпусу:

$$I_k = 2,495 \cdot 10^{-5} \alpha^2 - 7,971 \cdot 10^{-5} \alpha + 2,93 \cdot 10^{-4}. R^2 = 0,9794 \quad (3.3)$$

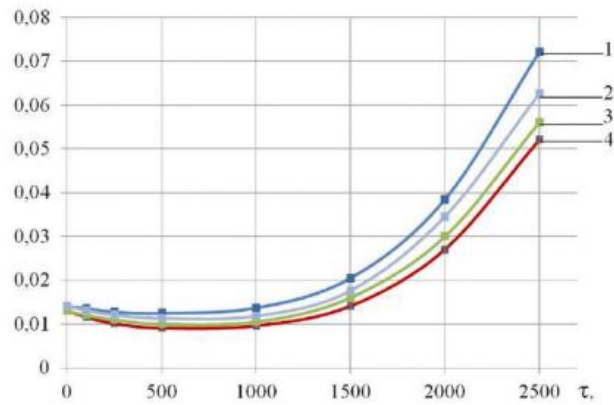


Рис. 3.2. Середній ваговий знос голки розпилювачів форсунок ФД-22: 1 – дизельне паливо за ДСТУ; 2 – дизельне паливо з присадкою ПТЛМ у концентрації 3%; 3 – дизельне паливо з присадкою ПТЛМ у концентрації 2%; 4 – дизельне паливо з присадкою ПТЛМ у концентрації 1%.

При напрацюванні форсунки 1500 мотогодин зниження ваги голки розпилювача становить: при роботі на товарному дизельному паливі – 0,023 г; при роботі на дизельному паливі + 1% ПТЛМ – 0,015 г; при роботі на дизельному паливі +2% ПТЛМ – 0,016 г; при роботі на дизельному паливі +3% ПТЛМ – 0,017 г.

При напрацюванні 2500 мотогодин, зниження ваги голки розпилювача: під час роботи на товарному дизельному паливі – 0,073 г: при роботі на дизельному паливі + 1% ПТЛМ – 0,053 г: при роботі на дизельному паливі +2% ПТЛМ – 0,057 г; при роботі на дизельному паливі +3% ПТЛМ – 0,064 г.

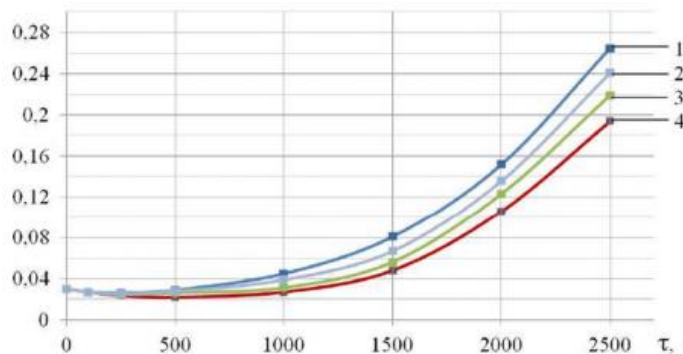


Рис. 3.3. Середній ваговий знос корпусу розпилювачів форсунок ФД-22: 1 – дизельне паливо ДСТУ 305; 2 – дизельне паливо з присадкою ПТЛМ у концентрації 3%; 3 – дизельне паливо з присадкою ПТЛМ у концентрації 2%; 4 – дизельне паливо з присадкою ПТЛМ у концентрації 1%.



При напрацюванні форсунок 1500 мотогодин, зниження ваги корпусу становить:

- під час роботи на товарному дизельному паливі – 0,082 г;
- при роботі на дизельному паливі + 1% ПТЛМ – 0,049 г;
- при роботі на дизельному паливі +2% ПТЛМ – 0,057 г;
- при роботі на дизельному паливі +3% ПТЛМ – 0,067 г.

При напрацюванні 2500 мотогодин, зниження ваги корпусу становить:

- під час роботи на товарному дизельному паливі – 0,266 г;
- при роботі на дизельному паливі + 1% ПТЛМ – 0,195 г;
- при роботі на дизельному паливі +2% ПТЛМ – 0,220 г;
- під час роботи на дизельному паливі +3% ПТЛМ – 0,42 г.

Таким чином, під час роботи форсунок ФД-22 на дизельному паливі ДСТУ, середній ваговий знос становить:

- для голки – 0,063 г;
- для корпусу – 0,265 г.

За концентрації в дизельному паливі присадки ПТЛМ 1%, середній ваговий знос деталей розпилювача мінімальний, і становить:

- для голки – 0,052 г;
- для корпусу – 0,194 г.

Згідно з представленими кривими зміна вагового зносу голки і корпусу розпилювачів, при напрацюванні 100 мотогодин, відбувалася незалежно від концентрації присадки ПТЛМ у дизельному паливі. Це пояснюється дією ударного навантаження.

У діапазоні напрацювання 0 – 500 мотогодин інтенсивність зношування сполучень зменшувалася. Цей факт пояснюється припрацюванням поверхні сполучення деталей розпилювачів з утворенням робочої площини.

У діапазоні напрацювання 500 – 1000 мотогодин інтенсивність зношування сполучень збільшувалася від 0.02 до 0.04г. Режим нормальної роботи прецизійних пар розпилювачів.

У діапазоні напрацювання 1500 - 2500 мотогодин спостерігається катастрофічний знос поверхні деталей сполучення від 0.05 до 0.06 г.

Таким чином, за концентрації присадки ПТЛМ у дизельному паливі 1%, зменшення вагового зносу голки та корпусу розпилювачів на 32%. При збільшенні концентрації ПТЛМ у дизельному паливі понад 1%, збільшення вагового зносу голки та корпусу розпилювачів на 12% і більше.

Отже, дія присадки ПТЛМ у дизельному паливі в концентрації 1 % ( $\pm 0.5\%$ ) дає змогу зменшити зношування деталей розпилювачів форсунок.

Результати досліджень зміни геометричних параметрів ущільнювальної кромки сполучення "голка - корпус розпилювача" форсунок.

У таблиці 3.3 наведено результати вимірювання довжини утворюючої  $L_i$  від вершини конуса до ущільнювальної кромки.

Таблиця 3.3 – Результати вимірювання довжини утворюючої  $L_i$  замикаючого конуса, мм

Напрацювання, мото-год	ДТ	ДТ + 1% ПТЛМ	ДТ+2% ПТЛМ	ДТ+3% ПТЛМ
0	3,038	3,037	3,039	3,031
100	3,035	3,037	3,039	3,033
500	3,054	3,039	3,045	3,053
1000	3,109	3,079	3,085	3,097
1500	3,184	3,133	3,141	3,157
2000	3,373	3,306	3,319	3,336
2500	3,395	3,397	3,314	3,341
Середнє	3,13875	3,10435	3,111375	3,039

На підставі результатів у таблиці 3.3. отримано залежність вимірювання довжини твірної  $L_i$  від напрацювання сполучення  $t$  і концентрації присадки ПТЛМ у паливі:

$$L_1 = 5,028 - 3,07 \cdot 10^{-4} t - 0,07108\alpha - 8,7 \cdot 10^{-5} t \cdot \alpha + 3,94 \cdot 10^{-7} t^2 + 0,021508\alpha^2. \quad (3.3)$$

$$R^2 = 0,8673.$$

Розраховані за формулою (3.3) криві зміни відстані  $L_i$ , від концентрації присадки ПТЛМ у дизельному паливі  $\alpha$  і наробітку сполучення  $t$  представлено на графіку (рис.3.4).

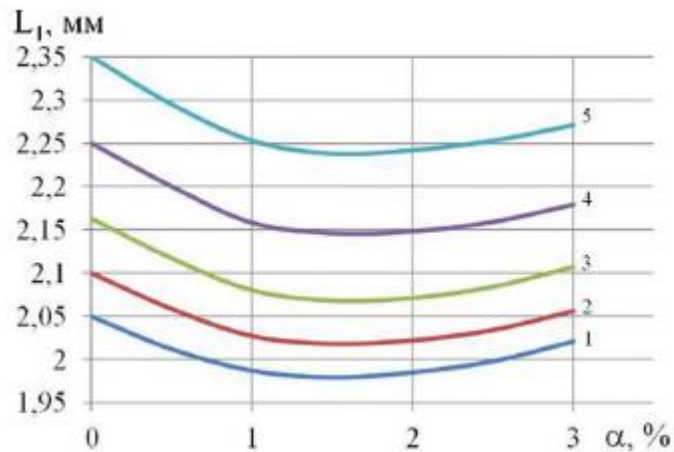


Рис. 3.4. Залежність зміни довжини твірної від вершини конуса до ущільнювальної кромки від концентрації присадки і напрацювання трибостраження  $\tau$ : наработок  $\tau$ , (мото-год): 1 – 500; 2 – 1000; 3 – 1500; 4 – 2000; 5 – 2500.

З наведених графіків (рис. 3.4) встановлено збільшення довжини твірної  $L_i$  від вершини конуса до ущільнювальної кромки зі збільшенням напрацювання. Це пов'язано з деформацією кромки під час ударів голки по корпусу розпилювача. Найбільше збільшення  $L_i$  під час роботи на товарному дизельному паливі. Так під час напрацювання 1500 мотогодин збільшення довжини утворюючої  $L_i$  становило 0,156 мм. Таким чином, збільшення довжини утворюючої від вершини конуса до ущільнювальної кромки склало:

- під час роботи на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 1% - 0,105мм;
- при роботі на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 2% - 0,11 мм;
- під час роботи на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 3% - 0,128 мм.

У середньому значення довжини твірної від вершини конуса до ущільнювальної кромки становило:

- при роботі на дизельному паливі - 0,111 мм;
- при роботі на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 1% - 0,077 мм;

- під час роботи на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 2% - 0,08 мм;

- під час роботи на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 3% - 0,093 мм,

Вимірювання довжини твірної від вершини конуса до ущільнювальної кромки показали, що під час роботи розпилувачів на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 1,2-1,5% зміщення ущільнювального паска від вихідного положення менше на 30%, ніж під час роботи на дизельному паливі ДСТУ.

Під час опрацювання результатів зміни ширини ущільнювальної кромки залежно від залежності від напрацювання  $t$  і концентрації присадки ПТЛМ а отримано залежність:

$$\Delta b = 0,0011746\alpha^2 - 2,97 \cdot 10^{-2}\alpha - 6,8 \cdot 10^{-3} + 2,01 \cdot 10^{-4}t - 4,6 \cdot 10^{-8}t^2.$$

$$R^2 = 0,9419. \quad (3.4)$$

Графічну інтерпретацію залежності (3.4) представлено на графіку (рис. 3.5).

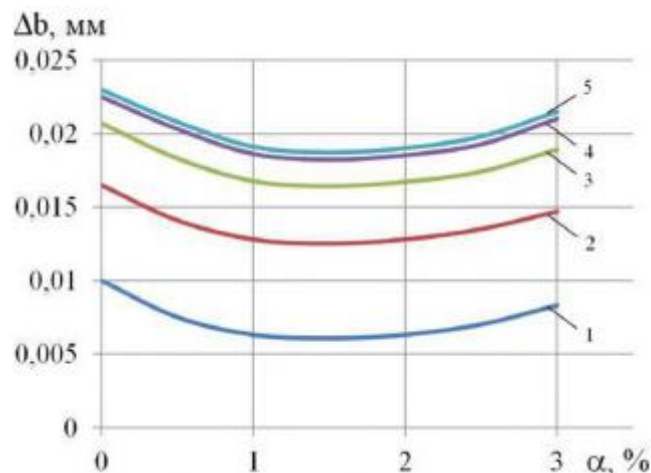


Рисунок 3.5. Графік залежності ширини ущільнювальної кромки від концентрації присадки у дизельному паливі: напрацювання  $t$ . (мото-год): 1 – 500; 2 – 1000; 3 – 1500; 4 – 2000; 5 – 2500

Представлені на графіку криві (рис. 3.6) показали, що

- під час роботи на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 1% ширина кромки зменшилася на 22%.

- під час роботи на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 1% -1,25% ПТЛМ ширина кромки збільшилася на 12%.

- під час роботи на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 1,25% - 3%, ширина кромки збільшилася на 43%.

За результатами проведених досліджень встановлено, що найменша зміна ширини ущільнювальної кромки відбувається під час роботи на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ від 1% до 1.25%.

Результати досліджень підтвердили припущення про утворення на поверхнях деталей пухкого, нестійкого поверхневого шару, що руйнується в процесі роботи розпилювача форсунки, при концентрації присадки ПТЛМ у дизельному паливі менше 1% і більше 1,25%.

Експлуатаційні випробування ДВЗ, оснащених форсунками ФД-22, під час роботи на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 1% в умовах АПК проведено на підприємствах тракторів марки МТЗ-80/82. Загальна кількість форсунок становила 28 шт., що необхідно і достатньо, згідно з програмою випробувань.

Підбір тракторів здійснювався виходячи з вимог: один рік випуску: однаковий технічний стан.

Для порівняльної оцінки напрацювання розпилювачів, що працюють на товарному дизельному паливі і на паливі з присадкою ПТЛМ. трактори були розділені на дві групи:

- еталонна група (3 трактори) експлуатація на дизельному паливі ДСТУ;
- експериментальна група (4 трактори) експлуатація на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 1%.

Обидві групи тракторів виконували однакові польові роботи. Їхнє виробниче навантаження та умови експлуатації усереднювалися, як і наробіток.

Трактори експлуатувалися в період з 2018 по 2022 р. Замір витрати палива проводили за допомогою датчика витрати дизельного палива:

"Витратомір DFM 100В". Напрацювання кожного трактора за період експлуатації в межах 2000 мото-годин. Результати експлуатаційних випробувань наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Витрата палива під час експлуатаційних випробувань форсунок ФД-22 на дизельному паливі з присадкою

Напрацювання розпилювачів т. мото-год	0	250	500	750	1000	1250	1421	1500	1750	1902
Витрата ДП. (кг/год)	15.1	15.2	15,3	15,7	16,2	16.9	16.6			
Витрата ДТ+1%ПТЛМ. (кг/год)	15	15	15.1	15.1	15,3	15.7	16	16.2	16.9	16.6
Середня витрата ДП. (кг/год)		15.1	15.2	15.6	15.9	16.6	16.2			
Середня витрата ДТ+1%ПТЛМ. (кг/год)		15	15	15.1	15,3	15.6	15.8			

Згідно з результатами експлуатаційних випробувань (таблиця 3.4) побудовано графік (рис. 3.6).

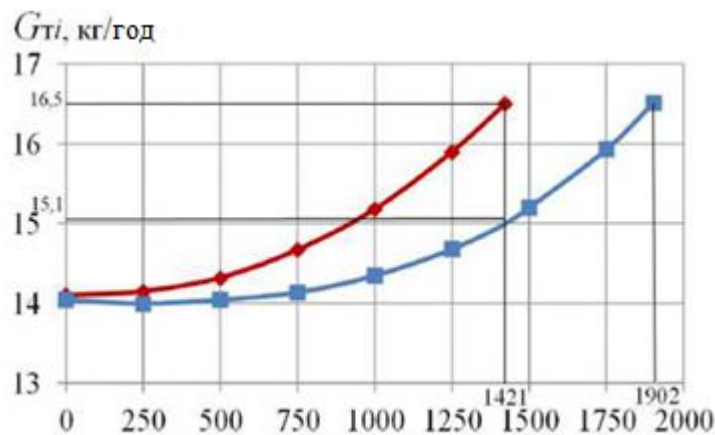


Рис. 3.6. Напрацювання тракторів під час експлуатаційних випробувань форсунок ФД-22

Встановлено, що під час використання дизельного пального з присадкою ПТЛМ у концентрації 1% середнє напрацювання розпилювачів становило 1902 мотогодини. При використанні дизельного палива ДСТУ середнє напрацювання розпилювачів 1421 мото-година. У результаті експлуатаційних випробувань

форсунок ФД-22 під час роботи на дизельному паливі з присадкою ПТЛМ у концентрації 1% напрацювання розпилювачів підвищилося на 25-30%.

### **Висновки по розділу**

Таким чином застосування присадки ПТЛМ до дизельного палива в концентрації 1% забезпечує працездатний стан розпилювачів форсунок із гідравлічно керованим запірним клапаном протягом 1902 мото-години. З цього випливає висновок про можливість забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних двигунів застосуванням присадки до дизельного палива.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виявлено, що під час експлуатації двигуна Д-240 на товарному дизельному паливі в умовах рядової експлуатації ресурс розпилювачів форсунок становить не більше 1600 мотогодин, що не відповідає показникам ресурсу, наведеним заводом-виробником, і вимагає вироблення заходів щодо забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів. Відмови розпилювачів форсунок виникають унаслідок зносу сполучення "голка-корпус розпилювача" через відсутність у товарному дизельному паливі протизношувальної присадки. Для забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних двигунів необхідно розробити компонентний склад присадки та визначити концентрацію її в дизельному паливі. На підставі аналізу наукових робіт із цієї тематики як компоненти протизношувальної присадки запропоновано протизносною присадки запропоновано талову та олію з насіння льону.

Обґрунтовано компонентний склад присадки ПТЛМ (талова олія 55%, олія з насіння льону 41%, поліалкілбензол 4%) і необхідна концентрація присадки в дизельному паливі, яка становить 1% залежно від режиму експлуатації розпилювачів форсунок дизельних двигунів. Компонентний склад і концентрація присадки ПТЛМ у паливі обумовлені виходячи з експлуатаційних властивостей дизельного палива.

Таким чином застосування присадки ПТЛМ до дизельного палива в концентрації 1% забезпечує працездатний стан розпилювачів форсунок із гідравлічно керованим запірним клапаном протягом 1902 мото-години. З цього випливає висновок про можливість забезпечення працездатного стану прецизійних пар розпилювачів форсунок дизельних двигунів застосуванням присадки до дизельного палива.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автомобільні двигуни: Підручник./ Ф.І.Абрамчук, Ю.Ф.Гутаревич, К.Є.Долганов, І.І.Тимченко. Київ : Арістей, 2004. 476 с.
2. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів:друге видання :навч.посібник / В.І.Захарчук. Луцьк: Машиностроение,2011. 236с.
3. Переобладнання дизеля в газодизель, як можливість розширення паливної бази автомобільного транспорту / С.Ковбасенко, В.Петренко, С.Гутаревич, А.Голик. // *Вісник. Науково-технічний збірник №1 (37). Серія «Технічні науки»*. НТУ. Київ : 2017. С.154-160.
4. Петренко В. Г. Підвищення ефективності та екологічних показників автомобільних ДВЗ шляхом застосування трипаливної бензогазової технології : Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: Спеціальність 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки»./ В.Г.Петренко – К., 2012. – 189 с.
5. Коденцев В.Й. Двигуни внутрішнього згоряння. Київ:Вища шк., 1974. – 271 с.
6. Переобладнання дизелів у газові двигуни з ісровим запалюванням/ В.І. Захарчук // *Сучасна автомайстерня*. –2008 р. №7-8
7. Калетнік Г.М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України: навч. посібник. Київ : Аграрна наука, 2010. 327 с.
8. Гунько І.В., П'ясецький А.А., Бурлака С.А. Система паливоподачі дизельного двигуна з електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №2 (97). С.47-51.
9. Рябошапка В.Б. Дослідження впливу кута випередження подачі на експлуатаційні показники роботи дизеля при переведенні його на біодизельне паливо. *Науково-технічний прогрес у розвитку машин і засобів механізації сільського господарства: матеріали науково-технічної конференції, м. Вінниця*. 2008. 4 с.

10. Мельник В. М., Войцехівська Т. Й., Сумер А. Р. Дослідження основних техніко-експлуатаційних характеристик альтернативних видів палива для дизельних ДВЗ. *Машинобудування та транспорт*. 2018. № 2. С. 1-13.
11. Гунько І.В., Бурлака С.А., Єленич А.П. Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. Том 2. № 6 (267). С. 246–249.
12. British Petroleum. Statistical Review of World Energy. Approximate conversion factors. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review2019-approximate-conversion-factors.pdf> (дата звернення 12.09.2018).
13. Грабар І.Г., Колодницька Р.В, Семенов В.Г. Біопалива на основі олій для дизельних двигунів: Монографія. Житомир: ЖДТУ, 2011. 152 с.
14. Анісімов В.Ф., Рябошапка В.Б., П'ясецький А.А. Рекомендації керівникам підрозділів АПК та інженерам сільськогосподарського виробництва щодо використання біодизельного палива в умовах сільськогосподарського виробництва. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки. Вінниця. 2014. Випуск 2 (85). С 200-203.
15. Корчемний М.О., Федорейко В.С., Щербань В.В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручник та посібник, 2001. 984 с.
16. ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне Євро. Технічні умови. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2016.
17. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
18. ДСТУ 4840:2007 Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови. [Чинний від 2007-10-03]. Вид. офіц. Київ, 2017. 5 с.

19. Чуба В.В. Обґрунтування експлуатаційних параметрів машиннотракторних агрегатів при виконанні польових робіт з використанням дизельного біопалива: автореф. дис. .... канд. технічних наук: 05.05.11. Київ, 2015. 28 с.

20. **Заречний А.А.** Аналіз зміни умов роботи паливної апаратури двз з урахуванням технічного стану розпилювачів форсунок. *Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*, 5 квітня 2023 року. Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 183-186.

21. Білецький В.Р., **Заречний А.А.** Результати дослідження трибологічних характеристик дизельного пального з присадкою ПТЛМ. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2023.С. 277-279.

22. **Заречний А.А.** Оцінка ресурсу матеріалів прецизійних пар розпилювачів. *Студентські читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 76-88.