

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
Тракторів і автомобілів**

(назва кафедри)

Калінін Є.І.

(підпис)

(ПІБ)

«_____» _____ 2026 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

**на тему «Покращення роботи системи паливоподачі
з розробкою фільтру-вологівідділювача»**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Братішко В.В.

(ПІБ)

(підпис)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Степанов О.В.

(ПІБ)

(підпис)

Виконав

Диптан Максим Валерійович

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

тракторів і автомобілів та

д.т.н., проф. _____ **Калінін Є.І.**

(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)

« _____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту

Диптан Максим Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Покращення роботи системи паливоподачі з розробкою фільтру-вологівдільника»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «16» лютого 2026р. №510 «С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру: _____ 01.05.2026

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра: характеристики та конструктивні особливості паливної апаратури двигунів, що використовуються на тракторах універсально-просапних та загального призначення

Перелік питань які потрібно розробити _____

Вступ _____

1 Стан питання і завдання дослідження

2 Теоретична оцінка впливу обводненості палива на інтенсивність зношування плунжерних пар ПНВТ і обґрунтування конструктивних параметрів фільтра-вологівдільника

3 Теоретичне обґрунтування конструктивних параметрів фільтра-вологівдільника

4 Теоретичні результати використання фільтра-вологівдільника

5 Економічне обґрунтування результатів досліджень

висновки

Перелік графічного матеріалу: Вступ. Стан питання та аналіз існуючих досліджень. Теоретичні дослідження. Запропоноване технічне рішення. Висновки

Дата видачі завдання «23» лютого 2026 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра

(підпис)

Степанов О.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Диптан М.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Основна частина дипломного проекту викладена на 58 сторінках пояснювальної записки і 10 слайдів презентації, ілюстрована 10 рисунками.

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

Тема дипломного проекту: «Покращення роботи системи паливоподачі з розробкою фільтру-вологовіддільювача».

Розроблено конструкцію фільтра-вологовіддільника, фільтрувальний елемент якого складається з поліакриламідного полімеру марки В-415К, отримано теоретичні залежності для визначення раціональних значень конструктивних параметрів фільтра-вологовіддільника (діаметр адсорбера D , висота шару адсорбента в адсорбері H , висота адсорбційної касети H_m , кількість адсорбційних касет n). Для паливної системи трактора ХТЗ-150К-09 фільтр-вологовіддільник матиме такі конструктивні параметри: $D = 420$ мм, $H = 6$ мм, $H_m = 35$ мм, $n = 3$. Розрахунками встановлено, що збільшення маси полімерного адсорбента від 1 до 3 г у фільтрі-вологовіддільнику при незмінному значенні годинної подачі палива 15,9 кг/год і температурі палива 1°C призводить до збільшення кількості води, поглинутої полімерним адсорбентом, на 52,3 г; при температурі палива 81°C – на 101,4 г.

Збільшення маси полімерного адсорбента від 1 до 3 г при незмінному значенні температури палива 41°C і годинній подачі палива 14,6 кг/год збільшує кількість води, поглинутої полімерним адсорбентом, на 74,8 г, а при годинній подачі палива 17 кг/год – на 78,6 г.

Ключові слова: фільтр-вологовіддільник; паливна система; поліакриламідний полімер; адсорбент; адсорбційна касета; вологовідділення; дизельне паливо; трактор ХТЗ-150К-09; конструктивні параметри; очищення палива.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1 Плунжерні пари ПНВТ	7
1.2 Фактори, що впливають на експлуатаційну надійність паливних систем	13
1.3 Вплив води на фізико-хімічні та експлуатаційні властивості палив	15
1.4 Огляд існуючих способів зневоднення нафтопродуктів.....	20
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ОБВОДНЕНOSTІ ПАЛИВА НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗНОШУВАННЯ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПНВТ І ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРА-ВОЛОГОВІДДІЛЬНИКА	30
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРА-ВОЛОГОВІДДІЛЬНИКА	37
3.1 Загальний розрахунок	37
3.2 Рекомендації щодо застосування фільтра-вологівіддільника	41
РОЗДІЛ 4 ТЕОРЕТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ ФІЛЬТРУ-ВОЛОГОВІДДІЛЬНИКА	43
4.1 Результати досліджень впливу розробленого фільтра-вологівіддільника на процес зневоднення дизельного палива.....	43
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	47
5.1 Визначення витрат на модернізацію паливної системи трактора.....	47
5.2 Визначення економічної ефективності модернізації паливної системи трактора	51
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТКИ.....	58

ВСТУП

При вдосконаленні дизелів велика увага приділяється паливній системі та паливній апаратурі, оскільки від якості її роботи значною мірою залежать довговічність і економічність двигунів. Практика показує, що найбільша кількість відмов дизелів, до 50%, відбувається внаслідок порушення роботи паливної апаратури.

Паливна система серійно випусканих тракторних дизелів практично не захищена від впливу змінного клімату. У процесі роботи тракторів під дією багатьох факторів, у тому числі й природно-кліматичних, параметри технічного стану паливної апаратури не залишаються постійними, і в експлуатації спостерігаються значні відхилення їх від номінальних значень. Вихід того чи іншого параметра за межі встановлених допусків призводить до відмови паливної системи і дизеля в цілому.

Паливна апаратура дизелів також дуже чутлива до чистоти палива, в якому можуть міститися різні види забруднень: тверді, рідкі, газоподібні, мікроорганізми та продукти їх життєдіяльності.

Забрудненість палива призводить до забивання паливних фільтрів і прискореного зношування, а в окремих випадках – заклинювання прецизійних пар паливної апаратури. При від'ємній температурі мікрокраплі води призводять до обмерзання фільтрів, що може спричинити повне припинення подачі палива. Крім того, вода сприяє процесу корозії.

Загалом до 50% випадків порушення працездатності дизельної паливної апаратури відбувається внаслідок забрудненості палива.

Паливний насос високого тиску (ПНВТ) є найдорожчим і найвідповідальнішим елементом паливної апаратури дизеля. У роботі [1] наведені результати досліджень щодо виявлення причин експлуатаційних відмов паливних насосів високого тиску розподільного типу, більше половини з них відбуваються внаслідок забрудненості палива: водою – до 47%, і механічними домішками – до 12%.

Результати досліджень щодо впливу вмісту води в паливі на працездатність плунжерних пар ПНВТ рядного типу показують, що вміст води в паливі до 3% не призводить до помітного погіршення працездатності плунжерних пар, що настає внаслідок погіршення протизношувальних і протизадирних властивостей палива. Воно спостерігається при вмісті води в паливі понад 3% і може призвести до прискореного зношування пар та їх заклинювання. Разом із тим, при вмісті води в паливі понад 0,5% вже спостерігається їх корозійне руйнування [4].

У роботі [7] зазначено, що на пунктах зберігання нафтопродуктів сільськогосподарських підприємств фактичний вміст води в дизельних паливах може досягати 3 % і більше.

При дотриманні технічних умов експлуатації та застосуванні ефективних систем очищення палива можна в кілька разів знизити зношування прецизійних деталей паливної апаратури, суттєво підвищити безвідмовність її роботи, причому це може бути досягнуто при відносно невеликих витратах.

Однак навіть при найсуворішому дотриманні технічних умов застосування палив і експлуатації паливної апаратури в паливних системах дизельних двигунів відбувається досить значне утворення води внаслідок конденсації вологи та гігроскопічних властивостей самих палив. Спостерігається також подальше проникнення води в контур високого тиску, незважаючи на наявність системи очищення палива.

Тому зниження обводненості дизельних палив у паливних системах мобільних машин є актуальним завданням.

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Плунжерні пари ПНВТ

Особливі умови роботи деталей, що складають прецизійні пари дизельної паливної апаратури, зумовлюють високі вимоги до матеріалів, які застосовуються для їх виготовлення, та термічної обробки. Матеріали повинні мати високу твердість, зносостійкість, корозійну стійкість, добру оброблюваність, збереження стабільності та розмірів у процесі тривалої експлуатації [9, 10, 11].

Деталі плунжерних пар тракторних і комбайнових дизелів на наших заводах виготовляють із шарикопідшипникової сталі ШХ15, сталі ХВГ та азотованої сталі 25Х5М. Більшість закордонних фірм плунжери і втулки виготовляють з азотованих сталей типу 25Х5М і 38ХМЮА, деякі фірми виготовляють ці деталі з мартенситно-старіючої сталі [1].

Велика увага приділяється також точності їх виготовлення та якості складання. Виробництво плунжерних пар регламентується ДСТУ 10578-86 «Насоси паливні дизелів і плунжерні пари до них». На даний час ПНВТ рядного типу мають найбільш широке поширення на дизелях у сільському господарстві [2], серед яких модифікації типу УТН-5 займають не останнє місце.

Втулки і плунжери плунжерних пар УТН-5-1111410-А4, які встановлюються в ПНВТ типу УТН-5, виготовляються зі сталі ХВГ ДСТУ 5950-73. Твердість деталей після термічної обробки становить HRC 60...65.

Після остаточної механічної обробки деталей плунжерної пари УТН-5-1111410-А4 (втулок і плунжерів) вони повинні задовольняти наступним вимогам:

втулки: діаметр робочого циліндричного отвору $8,5 (+0,06; \text{мінус } 0,01)$ мм; конусність не більше 0,0005 мм на кожні 20 мм довжини; відхилення від геометричної форми до 0,0005 мм; шорсткість робочої поверхні $Ra = 0,040$;

плунжери: діаметр робочої циліндричної поверхні 8,5 (+0,03) мм; конусність не більше 0,0006 мм на кожні 20 мм довжини; відхилення від геометричної форми до 0,0004 мм; шорсткість робочої поверхні $Ra = 0,040$.

Робочі поверхні плунжерів і втулок, а також верхня торцева (спряжувана) поверхня втулки повинні мати блиск. Сліди механічної обробки не допускаються.

Після цього готові плунжери і втулки піддають селективному складанню. Для цього їх сортують за розмірами робочих циліндричних поверхонь $\varnothing 8,5$ мм на 30 розмірних груп (через кожні 0,001 мм) і комплектують плунжерні пари з втулок і плунжерів однієї розмірної групи.

Таким чином, при селективному складанні плунжерних пар (з деталей однієї розмірної групи) у спряженні плунжер – втулка забезпечується початковий зазор 0,001...0,002 мм і не більше.

У зібраній плунжерній парі переміщення плунжера у втулці повинно бути плавним, без прихоплювання. Плунжер, висунутий на 1/3 довжини робочої поверхні з втулки, повинен плавно і без зупинок опускатися під дією власної маси при будь-якому куті повороту навколо своєї осі відносно втулки, встановленої вертикально.

Після складання плунжер і втулка складають прецизійну пару, в якій заміна будь-якої однієї деталі не допускається.

Потім зібрані пари піддають гідравлічному випробуванню сумішшю дизельного палива (ДСТУ 305-82) та індустріальної оливи І-20А (ДСТУ 20799-85). В'язкість суміші повинна бути 9,9...10 мм²/с при температурі 20°C. Готову суміш ретельно фільтрують, а деталі пар промивають у чистому дизельному паливі.

Гідравлічні випробування плунжерних пар проводять з використанням приладу КІ-759 при герметично закритому отворі втулки з боку ущільнювального торця $\varnothing 8,5$ мм і навантаженні плунжера вантажем, що відповідає тиску суміші в надплунжерному просторі 20 МПа. Положення плунжера відносно втулки при цьому відповідає максимальній подачі палива.

Тривалість переміщення плунжера до повного витіснення відповідного об'єму суміші через зазор між плунжером і втулкою повинна бути в межах 15...50 с, а саме значення гідравлічної щільності при паралельних випробуваннях повинно коливатися в межах ± 3 с.

Після цього пари поділяють на дві групи щільності: перша група повинна бути в межах 15...30 с, друга – в межах 30...50 с. При встановленні пар у ПНВТ використовуються пари однієї групи щільності.

У процесі експлуатації технічний стан плунжерних пар також піддається контролю. Але, оскільки визначення істинних розмірів зношування втулок і плунжерів є дуже складним, крім того, визначальним є сумарний зазор у sprzęженні, то в більшості випадків використовують різні непрямі показники технічного стану плунжерних пар: продуктивність (подача палива), щільність тощо.

Продуктивність плунжерної пари або кількість палива, що подається нею, оцінюється на різних безмоторних установках – стендах, призначених для регулювання паливної апаратури. Вони широко відомі: KI-15716 (KI-22205-09), KI-921MT, KI-22205-03, KI-22205-06, KI-22209. При цьому подача плунжерних пар повинна знаходитися у суворій відповідності з конкретними вимогами.

При такому методі оцінки технічного стану плунжерних пар для них створюються умови, аналогічні експлуатаційним. Оскільки при цьому подача палива залежатиме не лише від стану плунжерних пар, але й від стану всіх елементів паливної апаратури, то цей метод гарний для оцінки стану і регулювання паливної апаратури як єдиного цілого.

Щільність плунжерних пар може оцінюватися статичними і динамічними методами.

Принцип статичного методу вже був нами розглянутий вище. Для його здійснення необхідно виймати пару з насосної секції, але він дає можливість оцінити технічний стан пари дуже точно і незалежно від стану інших елементів.

Допускається перевіряти гідравлічну щільність пар порівнянням їх з еталонними зразками, при цьому в'язкість рідини і тиск, створюваний у

надплунжерному просторі, не регламентуються, але повинні бути стабільними під час випробувань.

Одним із недоліків статичного методу опресування є нечутливість при зазорах у парі понад 5 мкм і великих розкидах щільності при зазорах менше 1,5 мкм [1]. Крім того, необхідно створювати постійне зусилля затягування ущільнення з боку торця плунжерної пари.

Динамічний метод контролю щільності плунжерних пар здійснюється в умовах, які найбільш близькі до експлуатаційних. Він полягає у вимірюванні тиску, що розвивається плунжерними парами на пускових обертах. При цьому вважається, що якщо пара розвиває тиск 30 МПа і вище – вона придатна, і зазор у її спряженні знаходиться в допустимих межах [6]. Автори в роботі [10] вважають, що даний метод є найоптимальнішим для непрямой оцінки технічного стану плунжерних пар і має великі перспективи, але в даний час він недостатньо розроблений.

Існують також методи оцінки технічного стану плунжерних пар за тривалістю падіння тиску і кількістю палива, що просочується через зазор у спряженні пари.

Дослідження, що проведені в роботах [9, 10], а також іншими дослідниками [2], показали наступне.

На першому етапі на початку експлуатації зміна показників роботи прецизійних пар відбувається не лише за рахунок «природного» зношування у спряженні, під яким розуміється зношування внаслідок тертя і руху палива, але й у результаті зміни геометричних форм робочих поверхонь прецизійних деталей, які викликаються перерозподілом складальних і монтажних мікродеформацій.

На другому етапі – лише за рахунок «природного» зношування.

При цьому, природно, інтенсивність зношування на першому етапі значно вища, ніж на другому, за аналогією зі зношуванням в інших деталях, але у прецизійних пар немає так званого аварійного зношування, оскільки допустимі зазори у спряженні дуже малі, і вони вибраковуються значно раніше.

За даними ряду досліджень [2, 10], припрацювання плунжерних пар може тривати від 10 до 120 годин, залежно від режиму їх роботи, ступеня забрудненості палива і дисперсності абразиву. За даними [8], при нормальній роботі системи фільтрації палива термін служби пар становить у середньому близько 3149 мото-год.

Встановлено також [2], що при зношуванні плунжерних пар різко падає їх продуктивність у першу чергу на пускових обертах і при сумарному зазорі у 15 мкм плунжерна пара насоса рядного типу вже не забезпечує необхідну подачу палива в умовах пуску, хоча на номінальних обертах вона працює нормально. Для плунжерних пар насосів розподільного типу це значення становить до 7 мкм.

Можна сказати, що збільшення зазору в плунжерній парі типу УТН-5 від 1...2 мкм до 15 мкм призведе її до вибракування.

У роботі [4] узагальнені відомості про вплив абразиву на зношування плунжерних пар, інтенсивність і характер якого значною мірою залежать насамперед від розміру частинок.

Якщо розміри частинок забруднень у паливі менші за зазор у плунжерній парі, то ймовірність потрапляння їх у зазор висока. Вони пролітають крізь зазор із паливом, що просочується, з великою швидкістю, але лише дряпають спряження і незначно посилюють процес гідроабразивного зношування. Інтенсивність зношування при цьому найнижча.

Якщо розмір частинок співставний із зазором, то ймовірність потрапляння їх у зазор менша, але все ж висока, і при потраплянні вони викликатимуть більш інтенсивне зношування внаслідок часткового защемлення між робочими поверхнями деталей. При цьому спостерігається етап припрацювання.

Якщо розмір частинок більший за зазор, то ймовірності їх потрапляння в зазор немає, але вони можуть защемлятися кромкою плунжера і зношувати робочі поверхні. При цьому також спостерігається перший (припрацювальний) етап, але інтенсивність зношування нижча за попередню, внаслідок малої ймовірності защемлення частинок кромкою плунжера.

Таким чином, припрацювальний етап плунжерних пар закінчується тоді, коли зазор у їх спряженні стає більшим за розмір абразиву в паливі.

При початковому зазорі у спряженні плунжерної пари 1...2 мкм і за відсутності абразиву в паливі припрацювання відбувається вже в перші години роботи, зношування при цьому незначне. При розмірі абразиву до 2 мкм припрацювання відбувається дуже інтенсивно і закінчується приблизно через 10 годин. При розмірі абразиву до 4 мкм припрацювання відбувається менш інтенсивно і закінчується приблизно через 20 годин. При більших розмірах частинок абразиву (8...12 мкм) припрацювання відбувається ще менш інтенсивно: оскільки зазор у спряженні збільшується до розмірів, що перевищують розміри абразиву (15 мкм), то плунжерна пара стає непридатною приблизно через 120 годин роботи.

Можливе заклинювання деталей прецизійних пар, у тому числі й плунжерних, багато дослідників пояснюють наступними причинами [10]: схоплювання металів у спряженні; зміна розмірів (збільшення діаметра плунжера і зменшення отвору втулки) та потрапляння в їх зазори великих твердих частинок.

Процес схоплювання металів у спряженні відбувається внаслідок руйнування поверхонь та їх контакту, зминання, підпалу й окиснення. Ці явища значною мірою зумовлюються руйнуванням рухомою рідиною внаслідок ерозії та кавітації, абразивного стирання, корозійного руйнування, пластичної деформації та наклепу. При цьому передбачається, що однорідні метали мають більшу тенденцію до схоплювання (взаємного зчеплення).

Зміна розмірів прецизійних деталей пояснюється структурними змінами, що відбуваються в матеріалі, з якого виготовлені пари, а також монтажними деформаціями.

Потрапляння у спряження деталей прецизійних пар великих твердих частинок може викликати їх заклинювання.

Таким чином, імовірність заклинювання нових плунжерних пар значно вища, ніж старих, крім того, у них інтенсивність зношування значно вища, що пояснюється процесами припрацювання, які в них відбуваються.

Дослідження, що спрямовані на вивчення впливу забруднень у паливі на їх технічний стан, найзручніше проводити в період припрацювання, тобто використовувати для дослідження нові плунжерні пари. А в якості оцінки цього стану використовувати метод статичного опресування, оскільки він найбільш чутливий при зазорах у плунжерній парі до 5 мкм.

Вплив абразиву в паливі на зношування плунжерних пар ПНВТ досліджений, але не має достатнього узагальнення [10]. Вплив води на їх зношування досліджений недостатньо.

Вплив абразиву в паливі на роботу паливної апаратури (ПА) дизелів вивчений достатньо повно порівняно з впливом води. Особливо це стосується працездатності, ресурсу і довговічності прецизійних пар. Про це свідчить той факт, що, на думку деяких дослідників, зношування плунжерних пар ПНВТ має переважно абразивний характер [1], а, на думку інших [3, 5], причиною відмови плунжерних пар приблизно у 47% випадків є вода, і лише приблизно у 12% випадків – абразив. На наш погляд, це можна пояснити значним спільним впливом води й абразиву в паливі на зносні властивості останнього, у результаті якого посилюється ріжуча здатність частинок абразиву.

1.2 Фактори, що впливають на експлуатаційну надійність паливних систем

Практика показує, що в сільському господарстві до 50% відмов дизелів припадає на паливну систему [2, 3]. Однією з основних причин порушення її працездатності є забрудненість палива, на яку припадає до 50% випадків [4]. Забруднення палива суттєво підвищує зношування не лише деталей паливної апаратури, а й деталей двигунів. Тому в двигунобудуванні та в галузях, що експлуатують двигуни, питанню вдосконалення паливної системи і, зокрема, систем очищення палива приділяється велика увага.

Забруднене паливо необхідно тривало (при 20°C протягом 4...5 діб) [1, 5] відстоювати або фільтрувати перед заправленням у баки. Для його подальшого очищення в паливній системі дизелів передбачені спеціальні відстійні зони в паливних баках, сітки на паливозабірних трубках із бака, фільтри грубого і тонкого очищення. Паливні насоси високого тиску та форсунки – основні і найбільш складні та дорогі агрегати паливної системи, які визначають потужнісні та паливно-економічні показники двигуна, його надійність, шумність, димність, токсичність. Вони мають прецизійні пари з дуже малими зазорами, що виготовляються з високою точністю, розміри та геометричні форми яких забезпечуються в межах десятих часток мікрометра. Вони особливо чутливі до забруднювальних домішок у паливі та потребують його високого очищення. До основних агрегатів належать також паливopідкачувальні насоси. Решта агрегатів і вузлів паливної системи: фільтри, перепускні клапани та трубопроводи – є допоміжними і забезпечують працездатність основних агрегатів, тобто їх безвідмовність і довговічність. У роботі [14] були проведені дослідження щодо експлуатаційних відмов ПНВТ розподільного типу. Дані наведені в табл. 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.1 – Причини експлуатаційних відмов ПНВТ розподільного типу

Причини відмов	Тракторні ПНВТ, що знаходились в експлуатації	ПНВТ, що поступили в ремонт	
		тракторні	комбайнові
Експлуатаційні відмови в тому числі через:	28,3%	26,7%	45,1%
наявність води в паливі;	47,1%	40,5%	25,9%
наявність забруднень в паливі;	11,8%	12,2%	4,9%
порушення мащення;	29,3%	23,6%	21,8%
неналежне зберігання	—	21,5%	46,5%
Інші причини	11,8%	2,2 %	0,9%

Таблиця 1.2 – Найменування відмов

Найменування відмови	Кількість, %	Причина
Заклинювання плунжера	26,7	Вода або бруд в паливі
Заклинювання поршня підкачувального насоса	13,3	Вода в паливі
Заклинювання валика приводу дозатора	12,2	Вода або бруд в паливі
Порушення роботи двигуна на холостому ході	6,7	Вода в паливі
Знос підшипників та інших деталей насоса	16,1	відсутність оливи
Повна корозія насосу	13,2	Забруднення оливи
Інше	11,8	Ослаблення затягування гайок

ПНВТ розподільного типу, з усієї кількості відмов, що припадають на паливну апаратуру, становлять від 26,7 до 45,1 %. Причиною цього у 25,9...47,1% випадків є наявність води в паливі [10].

1.3 Вплив води на фізико-хімічні та експлуатаційні властивості палив

Вода в паливі впливає не лише на роботу паливної апаратури, а й на роботу двигуна в цілому. Найбільш повна класифікація впливу води в паливі на роботу паливної системи та двигуна наведена в роботах [1, 2, 4, 10].

Розглянемо детальніше вплив води в паливі на зміну його фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей.

Низькотемпературні властивості палив. При зниженні температури палива до від'ємних температур наявні в ньому мікрокраплі води замерзають, утворюючи кристали льоду [7]. При цьому в обводненого нафтопродукту підвищуються температури помутніння, початку кристалізації та замерзання.

Вода, що міститься в паливі, значно погіршує фільтрованість палив при від'ємних температурах, що пояснюється закупорюванням пор фільтрувальних елементів кристалами льоду.

Сухі палива можуть мати добру фільтрованість навіть при температурах значно нижчих за температуру початку кристалізації, що пояснюється їх здатністю до переохолодження. Але за наявності навіть невеликої кількості води в паливі кристали льоду, що утворюються при її замерзанні, служать центрами кристалізації для вуглеводнів з високою температурою плавлення, переохолодження яких при цих температурах не відбувається. Дані, що підтверджують цей факт, наведені в роботах [7, 13].

Прокачуваність обводнених палив при низьких температурах також значно гірша порівняно із сухими, оскільки кристали льоду і вуглеводнів, що утворюються, ускладнюють їх рух трубопроводами, викликаючи при цьому ефект, аналогічний картині, яка спостерігається при підвищенні в'язкості рідини. Із збільшенням діаметра трубопроводу цей ефект проявляється менше, однак фіктивне збільшення в'язкості палив залишається досить помітним.

Кристали льоду в паливі, що утворюються при замерзанні наявної в ньому води при від'ємних температурах, здатні призвести до утворення так званих льодових пробок і повністю закупорити паливопроводи, що призводить до зупинки двигуна. Особливо небезпечною в цьому відношенні є ділянка паливної системи з низьким тиском – всмоктувальна: від паливного бака до фільтра грубого очищення і до підкачувального насоса. Взимку для розігрівання загуслого дизельного палива в баку або іншому агрегаті паливної системи механізатори часто користуються відкритим полум'ям факела або паяльної лампи, що є небезпечним [7].

Крім того, вода, потрапляючи в зазори прецизійних пар, призводить до «замерзання» спряжень, що може спричинити поломки при пуску дизеля [16].

Енергетичні властивості та процес горіння палив. При підготовці палива до згоряння найважливішим процесом є його випаровування, тобто перехід із рідкого в пароподібний стан. На якість випаровування палива сильно впливає ступінь його розпилювання, що характеризується середнім діаметром крапель палива. Присутність у паливі води призводить до його нерівномірного розпилювання. Наявність у краплях розпиленого палива мікрровключень води

змінює поверхневий натяг і викликає значні коливання в розмірах крапель, що погіршує умови випаровування.

Присутність води негативно впливає і на сам процес випаровування, оскільки вода, випаровуючись, знижує температуру в камері згоряння і зменшує тиск парів палива, а ці фактори сильно впливають на повноту та швидкість випаровування.

Зазначається, що використання обводненого палива призводить до порушення роботи дизеля на холостому ходу та утруднення його пуску, але під навантаженням ці порушення можуть бути непомітними [1, 3, 6, 14].

Корозійні властивості палив. Вуглеводні, що входять до складу палив і олив, за своєю хімічною природою нейтральні й не викликають корозії металів. Однак в умовах експлуатації в них завжди міститься певна кількість органічних і неорганічних сполук (кислоти, луги, сірчисті сполуки, перекиси тощо), присутність яких різко підвищує їх корозійну агресивність.

Якщо в нафтопродукті є вода, то активні в корозійному відношенні речовини, що містяться в ньому, дисоціюють у водному розчині, утворюючи електроліти, і корозія має електрохімічний характер. Особливо інтенсивно цей процес відбувається у випадках, коли обводнений нафтопродукт контактує з різними металами, що мають різний електрохімічний потенціал. Однак навіть в одного металу завжди трапляються хімічно неоднорідні ділянки, при взаємодії яких з електролітом виникає електричний струм і з'являється електрохімічна корозія — руйнування металу на ділянках, які відіграють роль позитивних електродів (анодів) [1, 3, 10].

Визначення корозійної стійкості легованих сталей при температурі 55°C показало [5], що в обводнених паливах піддаються корозії навіть сталі марок 12ХНЗА, ШХ15 і ХВГ, а низьколеговані сталі марок 15, 20 тощо кородують уже протягом кількох годин. У сухому паливі корозія цих сталей не спостерігається протягом 250...300 діб.

Встановлені на більшості тракторів і комбайнів паливні баки, як правило, не мають достатньо надійних захисних покриттів, що є однією з головних причин

їх підвищеної корозії. Продукти корозії, потрапляючи в паливну систему, викликають інтенсивне зношування, а іноді й відмови паливної апаратури [2, 3, 6].

Мастильні та протизношувальні властивості. Вода здатна погіршувати в'язкісні властивості палив, що відображається на їх мастильній здатності. На протизношувальні властивості палив впливає як розчинена, так і вільна вода [3, 5, 7].

Дослідження впливу розчиненої води на мастильні властивості палив у кількостях, близьких до межі насичення в інтервалі температур 10...30°C, що проводилися з парами тертя сталь ХВГ – сталь ШХ15, сталь ШХ15 – сталь ШХ15, сталь Х12М – сталь ЕІ347Ш, бронза БРОФ7-02 – сталь Х12Ф1, показали [52], що при вмісті в паливі розчиненої води понад 0,008% його протизношувальні властивості погіршуються, а протизадирні – залишаються практично без змін. За наявності в паливі емульсійної води значно погіршуються як протизношувальні, так і протизадирні властивості. Очевидно, що в першому випадку відіграє роль зниження в'язкості палива при розчиненні в ньому води, а в другому — мають місце розриви мастильної плівки та виникнення сухого тертя.

Усі ці явища особливо небезпечні для прецизійних пар паливної апаратури, для яких паливо є мастильним матеріалом [3, 4].

Забрудненість. Палива являють собою складні багатофазні системи. Поряд із дисперсним середовищем – нафтопродуктом, вони включають також суспензію, в якій дисперсною фазою є механічні частинки, емульсію з дисперсною фазою у вигляді мікрокрапель води, колоїдний розчин, створений продуктами окиснення, та істинний розчин, утворений розчиненою водою [12]. Рівень забрудненості палив залежить не лише від зовнішніх факторів, а й від процесів, що відбуваються безпосередньо в нафтопродукті при взаємодії перелічених компонентів, які входять до його складу. При цьому дуже великий вплив на процеси збільшення забрудненості палив має наявність у них води.

Її роль не обмежується впливом, який вона чинить на процеси окиснення та корозії, що призводять до збільшення кількості забруднень у нафтопродукті. Вода є однією з найбільш активних речовин, що сприяють коагуляції твердих частинок забруднень і виникненню агрегатів, які включають смолисті речовини, неорганічні речовини і воду, тобто укрупненню забруднень, що містяться в паливі.

У роботі [12] зазначається, що коагулювальна властивість води, яка міститься в паливі, є позитивною, оскільки вона збирає дрібнодисперсні механічні домішки у більші частинки – конгломерати, і таким чином сприяє кращому очищенню палива від домішок фільтрами.

На підставі багатьох досліджень авторами в роботі [4] доведено, що зношування прецизійних пар паливної апаратури має переважно абразивний характер і відбувається внаслідок потрапляння пилу в паливо. Одним із підтверджень цього явища є те, що на поверхні працюючих прецизійних деталей завжди є борозни – сліди різання металу абразивом.

В роботі [1] проведені дослідження впливу забрудненості дизельного палива на відносний термін служби плунжерної пари.

В роботі [11], окрім дослідження впливу вмісту води в паливі на працездатність плунжерних пар, проводилися також дослідження впливу абразиву в паливі на працездатність цих пар, а також спільний вплив абразиву і води в паливі. За їх результатами можна сказати, що одночасний вміст абразиву і води в паливі призводить до помітного прискорення зношування порівняно з одним лише абразивом.

Мікробіологічне забруднення. Присутність води у паливах сприяє їх мікробіологічному зараженню, що супроводжується утворенням у нафтопродукті великої кількості забруднень у вигляді мікроорганізмів і продуктів їх життєдіяльності – пірогенних речовин [13]. Для життєдіяльності мікроорганізмів, здатних існувати в нафтопродуктах, необхідна вода. Тому у зневоднених паливах і оливах вони практично не розмножуються, але за наявності води здатні інтенсивно розвиватися.

Окрім збільшення загальної кількості забруднень за рахунок появи в нафтопродукті біологічної маси та його втрат унаслідок часткового розкладання, інтенсивний ріст мікроорганізмів викликає також погіршення фізико-механічних властивостей палив і олив. У роботі [6] проведено дослідження, що підтверджують ці факти: при впливі мікроорганізмів суттєво збільшується кислотність палив (у 10...15 разів), вміст у них смол (у 3...5 разів), йодне число (у 1,2 рази), в'язкість (у 1,2 рази), знижується термічна стабільність (у 2 рази) та випаровуваність (у 1,1 рази).

Однак слід зазначити, що біологічне ураження обводнених нафтопродуктів особливо інтенсивно відбувається в умовах високої температури та великої вологості повітря. Тому найбільша кількість випадків цього явища спостерігається в умовах субтропічного та тропічного клімату.

Вивчення обводненості дизельних палив на пунктах зберігання господарств показало, що вміст води у паливі може досягати 1...2 %, причому під час заправлення ємностей він може доходити навіть до 5 % за рахунок збовтування підтоварного осаду [1, 4].

Згідно з ДСТУ 305-82 «Паливо дизельне. Технічні умови», який поширюється на палива для швидкохідних дизельних і газотурбінних двигунів наземної та суднової техніки, вода в паливі повинна бути відсутня [3]. Визначення вмісту води при цьому передбачається за ДСТУ 2477-65, згідно з яким кількість води у паливі менше 0,03 % уже вважається слідами. З іншого боку, на думку більшості авторів наведених вище робіт, на погіршення властивостей палив впливає навіть розчинена вода у кількостях, значно менших.

1.4 Огляд існуючих способів зневоднення нафтопродуктів

Щоб знизити забрудненість і обводненість дизельного палива, його очищують шляхом тривалого відстоювання у сховищах, а також фільтрують на роздавальних колонках і безпосередньо в системах подачі палива автомобілів, тракторів та інших машин. У системах живлення ДВЗ передбачено

багатоступеневе очищення: попереднє – у паливному баку, грубе – у фільтрах грубого очищення, і остаточне – у фільтрах тонкого очищення [8, 16, 18].

Раніше було зазначено, що у процесі зберігання, транспортування, перекачування, заправлення та застосування, через гігроскопічні властивості нафтопродуктів – вони обводнюються. Найбільш радикальним шляхом запобігання їх обводненню є ізоляція від зовнішнього середовища. Якщо нафтопродукти у процесі зберігання та застосування перебуватимуть в інертному сухому середовищі, то обводнення не відбудеться.

Однак на практиці ізолювати нафтопродукти при зберіганні та застосуванні дуже важко, і герметичне зберігання в інертному середовищі застосовується лише у рідкісних і спеціальних випадках. Робилися спроби дегазації та застосування реактивного палива у середовищі азоту [1].

Щоб виключити потрапляння атмосферного пилу і вологи в паливо, на тракторі встановлювався паливний бак із розміщеним у ньому м'яким газгольдером із поліетилену. Газгольдер розміщувався у надпаливному просторі бака і виключав контакт палива з повітрям. Під час заправлення повітря з газгольдера витісняється в атмосферу. Аналіз проб палива показав, що вміст механічних домішок і води в баку з газгольдером залишається приблизно таким самим, як і на пункті заправлення. Однак такий захист бака потребує повної герметизації, чого важко досягти [13].

Ефективним може виявитися метод, за якого повітря, що надходить у резервуар, осушується. Для цієї мети перед клапаном на резервуарах встановлюють осушувачі повітря. Як найпростіші осушувачі можна використовувати циліндричні посудини, наповнені речовинами, що інтенсивно поглинають вологу [1, 3, 10].

Основна маса палив і олив нині зберігається в умовах контакту із зовнішнім середовищем. Тому обводнення повністю не може бути попереджене і повинно запобігатися шляхом правильної організації поводження з нафтопродуктами на всіх етапах їх руху: від отримання на заводі до застосування на машинах. Правильна організація полягає у суворому дотриманні всіх норм,

технічних вимог і умов, що стосуються перекачування, зберігання, транспортування, заправлення та застосування нафтопродуктів.

Існують також методи покращення властивостей нафтопродуктів у присутності води. Це досягається введенням присадок, у присутності яких покращуються їх низькотемпературні та антиобліднювальні властивості. Присадки дозволяють підвищити розчинність води в нафтопродуктах за рахунок утворення гомогенної потрійної системи нафтопродукт — присадка — вода. У результаті вода не випадає з нафтопродуктів при низьких температурах і не замерзає.

Цим досягається необхідний позитивний ефект, оскільки з експлуатаційної точки зору небезпечною є не розчинена, а вода, що випадає з нафтопродуктів і замерзає.

Нині такі присадки застосовуються до авіаційних палив: моноетиловий ефір етиленгліколю (етилцелозольв, рідина «I»), монометиловий ефір етиленгліколю (метилцелозольв) і тетрагідрофурфуриловий спирт. Із збільшенням вмісту присадки кристали льоду з'являються при більшому вмісті води.

Протиобліднювальні присадки застосовуються до бензинів з метою запобігання обледенінню карбюратора: спирти, гліколі, аміни, амонійні фосфати та ін. Механізм їх дії полягає в утворенні з водою низькозамерзаючих сумішей або захисних плівок на поверхні кристалів льоду [4].

Присадка американської фірми «Wynn'S» під назвою «Dry+Fuel+Plus+» зв'язує воду у паливному баку таким чином, що вона більше не контактує з металевими деталями і, крім того, не зможе замерзнути при низьких температурах.

Слід зазначити, що присадки додають у палива на місцях застосування, і що палива з присадками тривало зберігати не рекомендується, оскільки при змінних зовнішніх умовах у нафтопродуктах накопичується вода, у яку переходить присадка [1, 4, 8]. Тому використання присадок в умовах сільського господарства, як і будь-якої іншої галузі, є досить утрудненим. Крім того, вони

відносно дорогі і не випускаються у достатній кількості. А з іншого боку, вони покращують лише ряд низькотемпературних властивостей палив у присутності води, тоді як абсолютна більшість інших шкідливих наслідків не змінюється.

Таким чином, заходами, що обмежують поглинання води нафтопродуктами, а також застосуванням присадок можна запобігти певному погіршенню їх якості. У тих випадках, коли цього не вдається досягти, застосовують відповідні методи видалення з них води.

Для видалення води з нафтопродуктів використовуються різноманітні методи, в основі яких лежать різні процеси. У зв'язку з цим методи, що застосовуються для зневоднення ПММ, поділяються на хімічні, фізичні та фізико-хімічні [6, 13].

Хімічні методи зневоднення ґрунтуються на хімічних реакціях, що відбуваються між водою, яка міститься в нафтопродукті, та реагентами, що вводяться в нього. У результаті цієї взаємодії утворюються речовини, які легко видаляються з ПММ.

У роботі [1] пропонується застосовувати для цієї мети нерозчинні у вуглеводнях нафтового походження гідриди таких металів, як кальцій, літій, алюміній. При взаємодії, наприклад, води з гідридом кальцію утворюється нерозчинний у нафтопродуктах гідроксид кальцію (гашене вапно) і водень.

Поряд із гідридами металів можуть застосовуватися також карбіди та оксиди деяких металів: оксид кальцію, карбід кальцію. При цьому під час їх взаємодії з водою, що міститься у паливі, утворюються відповідно гідроксид кальцію і ацетилен.

У роботі [12] розглядаються два способи хімічного зневоднення палив: статичний і динамічний. При статичному – реагент засипається безпосередньо в резервуар із нафтопродуктом або поміщається в патрон, занурений у цей резервуар. Динамічний спосіб полягає у пропусканні нафтопродукту через реактор, заповнений реагентом. Останній спосіб потребує менших витрат часу і є більш технологічним, оскільки при його застосуванні тверді продукти реакції, що утворюються, не ускладнюють подальший її перебіг. Водночас статичний

спосіб є простішим і не пов'язаний із виготовленням та монтажем спеціального обладнання.

Усі хімічні методи видалення води з нафтопродуктів є досить ефективними. Але вони мають серйозні недоліки, через які не набули широкого практичного застосування: динамічний — через досить громіздке обладнання, статичний — через необхідність додаткового очищення нафтопродуктів від механічних домішок, що виникають після реакцій, та утилізації газів, які при цьому утворюються. Крім того, реагенти, що застосовуються при цьому, мають досить високу вартість, що також стримує їх впровадження у виробництво.

Фізичні методи зневоднення є найбільш різноманітними. Їх можна поділити на три великі групи: зневоднення під дією силових полів, зневоднення із застосуванням пористих перегородок і зневоднення шляхом використання теплофізичних та масообмінних явищ [2, 4].

Методи зневоднення у силових полях (гравітаційному, відцентровому, електричному тощо) ґрунтуються на укрупненні мікрокрапель води під дією сил поля та їх подальшому випаданні з нафтопродукту.

Найбільшого поширення з них набули методи зневоднення у гравітаційному полі – відстоювання, у відцентровому полі – центрифугування.

При зневодненні в електричному полі сам процес відбувається внаслідок поляризації крапель та їх подальшого виділення. Цей метод має багато переваг, але потребує використання досить складної апаратури та наявності електричних потужностей, через що, мабуть, широко не застосовується.

Фільтраційні методи зневоднення ПММ ґрунтуються на відокремленні вологи пористими перегородками. Перегородки можуть виготовлятися з водовідштовхувальних матеріалів, водопоглинальних, а також із поєднання гідрофільних і гідрофобних волокон. В останньому випадку відбувається послідовне укрупнення мікрокрапель води при їх взаємодії з волокнами пористої перегородки та випадання укрупнених крапель із нафтопродукту.

Відстоювання, фільтрація, центрифугування та змішування є класичними методами видалення забруднень із нафтопродуктів і широко застосовуються. У даному випадку детальніше на них зупинятися немає сенсу.

Теплофізичні методи зневоднення ПММ ґрунтуються на використанні теплообмінних і масообмінних процесів, у результаті яких емульгована в нафтопродукті вода зазнає фізичних перетворень.

Теплообмінні процеси використовуються при видаленні води з палив та олив шляхом зміни її агрегатного стану при підведенні або відведенні тепла. До таких методів зневоднення належать випаровування води шляхом нагрівання нафтопродукту та її кристалізація (виморожування) при охолодженні. Іноді для інтенсифікації випаровування емульгової води цей процес ведуть під вакуумом. Слід зазначити, що видалення води нагріванням нафтопродукту застосовується головним чином до олив (через можливі втрати палив при їх випаровуванні).

Застосування масообмінних процесів при зневодненні палив і олив пов'язане з використанням сушильного агента (вологопоглинач), у якості якого застосовують сухе повітря або азот.

У роботі [16] наведено спосіб зневоднення палива в паливному баку вентиляцією надпаливного простору очищеним атмосферним повітрям. Видалення вологи при цьому відбувається за рахунок підвищення вологовмісту газу.

Часто застосовують комбіновані теплофізичні методи зневоднення, коли газ, що використовується для зневоднення, або самі нафтопродукти піддають нагріванню. Явище масообміну при цьому супроводжується теплообмінними процесами, а інтенсивність зневоднення зростає.

Фізико-хімічні методи зневоднення ґрунтуються головним чином на використанні явища адсорбції, яке полягає у здатності деяких речовин вибірково поглинати окремі речовини, що містяться в нафтопродукті, у тому числі емульговану та розчинену воду. Процес адсорбції поряд із чисто адсорбційними явищами, зумовленими взаємним притяганням молекул адсорбенту і води, може

супроводжуватися хімічною взаємодією між адсорбентом і водою, що видаляється – хемосорбцією.

Природа сил, що викликають адсорбцію, може бути різною. Концентрація молекул води на активній поверхні адсорбенту відбувається головним чином під дією міжмолекулярних (ван-дер-ваальсових) сил.

Незалежно від природи адсорбційних сил, на процес поглинання води адсорбентом впливають такі фактори, як температура процесу, розчинність і вміст води в нафтопродукті, а також наявність у ньому домішок, здатних поряд із водою поглинатися адсорбентом. При підвищенні температури процесу межа розчинності води в нафтопродукті збільшується, а поглинання води адсорбентом погіршується [1].

Для зневоднення нафтопродуктів шляхом адсорбції можуть застосовуватися контактний і перколяційний методи, осушування в рухомому шарі адсорбенту та у псевдозрідженому шарі.

Контактна адсорбція – найбільш простий метод. Він не потребує спеціального обладнання і може здійснюватися безпосередньо в резервуарах для зберігання ПММ. При цьому нафтопродукт перемішують із дрібноподрібненим адсорбентом, який потім видаляють. Застосування такого методу є достатньо ефективним лише при інтенсивному перемішуванні нафтопродукту і потребує додаткових операцій із видалення адсорбенту. Тому цей метод широкого поширення не набув.

При перколяції нафтопродукт пропускається через нерухомий шар адсорбенту, що, як правило, розміщується у спеціальній посудині — адсорбері. На якість перколяційного методу впливає розмір гранул адсорбенту та в'язкість нафтопродукту; із їх збільшенням ефективність знижується. У міру насичення адсорбент необхідно замінювати.

Цей метод зневоднення ПММ є основним серед адсорбційних методів, що застосовуються в авіації. При цьому використовуються два адсорбери, увімкнені паралельно: в одному з них відбувається робочий процес, а в іншому — процес

регенерації. Існують спроби застосування його і в сільському господарстві у вигляді різних наукових розробок [1, 8].

У рухомому шарі адсорбенту процес зневоднення нафтопродуктів відбувається безперервно, на відміну від двох попередніх. Його сутність полягає в одночасній безперервній подачі протитоком в адсорбер обводненого нафтопродукту й адсорбенту, при взаємному контактуванні яких відбувається процес поглинання води. Насичений водою адсорбент подається на регенерацію в десорбер, звідки знову надходить в адсорбер. Цей метод широкого застосування не набув через громіздкість обладнання, хоча він є технологічним та ефективним.

Останнім часом промислового значення набули процеси, пов'язані із взаємодією між рідиною та шаром твердих частинок, які набувають рухливості одна відносно одної за рахунок енергії потоку рідини і отримали назву псевдозрідженого шару [12]. Гідродинамічна сутність розглядуваного процесу полягає в тому, що у випадку проходження потоку рідини через шар частинок останні залишаються нерухомими лише при малих швидкостях, а при досягненні потоком певної критичної швидкості шар частинок набуває текучості.

Стосовно адсорбційних методів, наявність нерухомого шару частинок адсорбенту відповідає перколяційній адсорбції, а виникнення рухомого шару зважених частинок — адсорбції у псевдозрідженому шарі. Цей метод має багато переваг, але не застосовувався для зневоднення ПММ.

Адсорбенти. Для адсорбційного зневоднення палив та олив використовуються тверді матеріали, що в більшості випадків мають дуже високу пористість і, відповідно, велику питому поверхню. З цією метою можуть застосовуватися природні речовини, наприклад боксити і природні цеоліти. Але значно частіше використовуються адсорбенти, отримані штучним шляхом: силікагель, алюмагель, синтетичні цеоліти тощо.

Силікагель — це висушений гель кремнієвої кислоти пористої будови з виключно розвиненою внутрішньою поверхнею, яка досягає 1000 м²/г. Має сильні адсорбційні властивості. Хімічно і біологічно нешкідливий, інертний,

вибухо- та пожежобезпечний, оскільки температура його плавлення близька до температури плавлення звичайного річкового піску. Хімічна формула – двоокис кремнію SiO_2 . При підвищенні температури адсорбований (поглинутий) газ або водяну пару можна видалити з поверхні адсорбенту. Це відновлення зазвичай відбувається протягом 2...3 годин при температурі близько 120...180°C. Силікагель являє собою тонкодисперсний порошок або гранули розміром до 7 мм у діаметрі. Колір гранул може варіюватися від прозоро-матового до темного з чорними включеннями. Форма гранул – овальна або неправильно сферична. Середній розмір пор силікагелю – 24 ангстрєми (10Å...500Å) [8].

Силікагель поглинає вологу, а отже, бореться з її наслідками, а саме — утворенням плісняви, запахів, відшаровуванням і здуттям фарби, уповільненням деяких хімічних процесів, у яких вода необхідна для реакції або як каталізатор (корозія металу тощо). Адсорбує до 35...40 % від власної маси.

Силікагель найбільш ефективний при відносній вологості 60...90% і температурі 1...40°C [8]. Зберігати силікагель необхідно у сухих закритих складських приміщеннях у герметичній упаковці. Гарантований термін зберігання з дня виробництва – 1 рік.

Молекулярне сито – синтетичний цеолітний адсорбент, пори якого мають певний стабільний розмір. Діаметр пор 3, 4, 5 і 10 ангстрем впливає на поглинальні властивості. Так, молекулярне сито 3А добре поглинає молекули води, кисню, азоту, оксиду вуглецю. 4А, у тому числі, поглинає гази, розмір молекул яких є дещо більшим. Як приклад можна навести аргон — 3,8 ангстрема. Молекулярні сита 10А вже здатні поглинати фреон, толуол, бензол, метилетилкетон тощо. Адсорбція відбувається лише з молекулами менших розмірів, ніж величина пор молекулярного сита. Завдяки цьому здійснюється вибіркова адсорбція.

Молекулярні сита виробляються у вигляді порошку та гранул у формі маленьких кульок. Використовується і «працює» навіть при низьких концентраціях води, там, де необхідна висока швидкість адсорбції та широкий температурний діапазон [8, 9].

Нині широко застосовуються водорозчинні полімери на основі акриламід (АА), які об'єднані загальною назвою «поліакриламід». До цієї групи входять поліакриламід (ПАА) — неіоногенний полімер, його аніонні похідні, наприклад частково гідролізований ПАА, і катіонні похідні, наприклад полівініламін, а також сополімери АА з різними іоногенними та неіоногенними мономерами. Полімери та сополімери з різною молекулярною масою (ММ), молекулярно-масовим розподілом, хімічним складом і розподілом ланок вихідних мономерів уздовж ланцюга, лінійні, розгалужені та зшиті мають різне функціональне призначення і різні сфери застосування [6, 14].

Таким чином, при виборі адсорбенту для зневоднення дизельного палива найбільш ефективним є використання поліакриламідного полімеру, оскільки його поглинальна здатність (200 г води на 1 г речовини) значно вища, ніж у цеоліту і силікагелю (лише 35...40 % від власної маси).

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ОБВОДНЕНOSTІ ПАЛИВА НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗНОШУВАННЯ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПНВТ І ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРА-ВОЛОГОВІДДІЛЬНИКА

При експлуатації тракторів вода в ПММ здатна погіршувати в'язкісні властивості палив, що відображається на їх змащувальній здатності. На протизношувальні властивості палив впливає як розчинена, так і вільна вода.

Як уже зазначалося, вплив води на змащувальні властивості палив показав, що при наявності в паливі емульсійної води значно погіршуються як протизношувальні, так і протизадирні властивості.

Усі ці явища особливо небезпечні для прецизійних пар паливної апаратури (ПА), для них паливо є мастилом [7, 8, 13].

У техніці знос зазвичай характеризують однією з таких характеристик: лінійною інтенсивністю зношування I_h , ваговою I_g або енергетичною I_ω [2].

Для оцінки роботи плунжерних пар найбільш зручною є лінійна характеристика зношування, що являє собою висоту зношеного шару, який припадає на одиницю шляху тертя [6]:

$$I_h = \frac{h}{L} = \frac{\Delta U}{L}, \quad (2.1)$$

де h – висота зношеного шару, м; L – шлях тертя, м; ΔU – зміна зазору між плунжером і втулкою, м.

У процесі експлуатації плунжерної пари величина зазору між плунжером і втулкою змінюється від початкового $U_{поч}$ до граничного $U_{гран}$, при якому відбувається вибраковка.

$$\Delta U = U_{гран} - U_{поч}, \quad (2.2)$$

де $U_{поч}$ – початкове значення зазору між плунжером і втулкою, м; $U_{гран}$ – граничне значення зазору між плунжером і втулкою, м.

Для плунжерних пар ПНВТ типу УТН-5 дана зміна значень зазорів знаходиться в інтервалі від 1...2 мкм до 15 мкм. У подальших розрахунках ці значення взяті за базовий нульовий рівень.

Розглянемо геометричні параметри плунжерної пари (рис. 2.1) і введемо позначення: $D = 2R$ – діаметр втулки, м; $d = 2r$ – діаметр плунжера, м; $\delta = R - r$ – абсолютний радіальний зазор, м; $U = 2\delta$ – абсолютний діаметральний зазор, м.

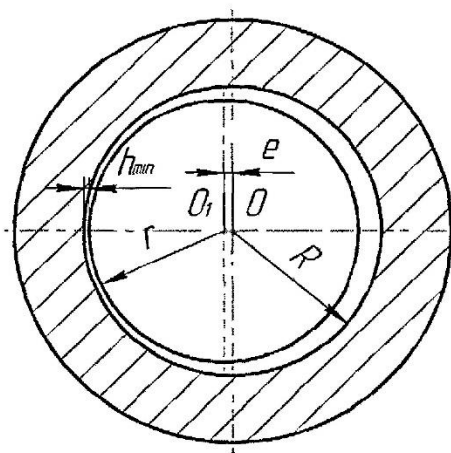


Рисунок 2.1 – Геометричні параметри змащувального шару в парі тертя плунжер-втулка

У процесі роботи плунжерної пари буде спостерігатися зміщення осі плунжера відносно осі втулки. Величина зміщення характеризується ексцентриситетом: e – абсолютний ексцентриситет плунжера у втулці, м; $h_{min} = \delta - e$ – найменша товщина змащувальної плівки, м.

Положення плунжера у втулці можна охарактеризувати відносним ексцентриситетом $\chi = e / \delta$. Тоді зміна товщини змащувальної плівки

$$\Delta h_{min} = \Delta \delta (1 - \chi) = \frac{\Delta U}{2} (1 - \chi). \quad (2.3)$$

З урахуванням гідродинамічних властивостей мінімальна товщина шару мащення для циліндричних поверхонь із внутрішнім дотиканням визначається за виразом [9]

$$\Delta h_{min} = 1,04 \Delta \rho \lambda_{3M}, \quad (2.4)$$

де λ_{3M} – характеристика режиму мащення суміші (суміш палива з водою); $\Delta \rho$ – зміна приведенного радіуса кривизни, м.

Приведений радіус кривизни є характеристикою гідродинамічної ефективності геометрії і визначається з рівняння [9]:

$$\Delta\rho = \frac{\Delta R \Delta r}{\Delta R \pm \Delta r}, \quad (2.5)$$

де ΔR – радіус втулки, м; Δr – радіус плунжера, м.

При зовнішньому контакті у знаменнику береться знак «+», при внутрішньому «-».

Параметр ρ характеризує взаємне прилягання контактуючих поверхонь і форму (ступінь пологості) клиноподібного зазору між ними. Чим ближчі одне до одного абсолютні значення R і r при однаковій відстані між їх центрами, тим приведений радіус більший, а, отже, краще прилягання.

Характеристика режиму мащення $\lambda_{зм}$ визначає гідродинамічні властивості мащення і обчислюється за такою залежністю [6]:

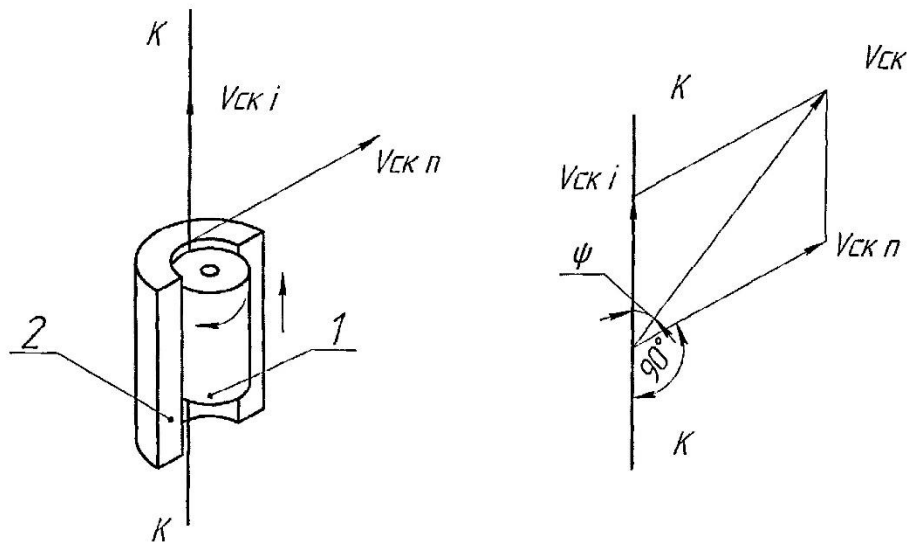
$$\lambda_{зм} = \frac{\mu_{зм} v_{ск}}{p}, \quad (2.6)$$

де $\mu_{зм}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості суміші, Н·с/м²; $v_{ск}$ – результуюча швидкість плунжера, м/с; p – середнє питоме навантаження на одиницю довжини твірної поверхні зносу, тиск, Н/м

Оскільки плунжер відносно втулки здійснює не лише прямолінійно-поступальний, але й поворот на кут ψ при зміні подачі палива, то його результуюча швидкість ковзання (рис. 2.1) визначається таким виразом [10]:

$$v_{ск} = \sqrt{v_{скн}^2 + v_{скі}^2}, \text{ м/с}, \quad (2.7)$$

де $v_{скн}$ – нормальна складова швидкості ковзання плунжера, м/с; $v_{скі}$ – поздовжня складова швидкості ковзання плунжера, м/с.



1 – плунжер; 2 – втулка

Рисунок 2.2 – Схема внутрішнього контакту та план швидкостей у парі тертя «плунжер-втулка» при комбінованому обертальному та прямолінійно-поступальному рухах

Для плунжерних пар дизельне паливо є змащувальною рідиною, і коефіцієнт динамічної в'язкості змащувальної рідини визначається таким виразом [9]

$$\mu_{зм} = \nu_{зм} \rho_{зм}, \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2 \quad (2.8)$$

де $\nu_{зм}$ – кінематична в'язкість суміші, $\text{м}^2/\text{с}$; $\rho_{зм}$ – густина суміші за даної температури, $\text{кг}/\text{м}^3$.

У зв'язку з тим, що паливо має гігроскопічні властивості, повністю позбутися води в ньому неможливо, тому можна припустити, що паливо в експлуатаційних умовах являє собою суміш палива і води.

Кінематична в'язкість суміші палива з водою визначається за допомогою виразу [1, 4]:

$$\nu_{зм} = \frac{(m_m + m_e) \nu_m \nu_e}{m_m \nu_e + m_e \nu_m}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (2.9)$$

де m_m – маса палива в суміші, кг ; m_e – маса води в суміші, кг ; ν_m – кінематична в'язкість палива, $\text{м}^2/\text{с}$; ν_e – кінематична в'язкість води, $\text{м}^2/\text{с}$.

Густина суміші визначається за формулою [8, 11, 14]:

$$\rho_{зм} = \frac{m_m + m_{\epsilon}}{\frac{m_m}{\rho_m} + \frac{m_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}}}, \text{ кг/м}^3 \quad (2.10)$$

де ρ_m – густина палива, кг/м³; ρ_{ϵ} – густина води, кг/м³.

Під впливом експлуатаційних факторів кількість розчиненої води в дизельному паливі змінюється, що впливає на значення густини та кінематичної в'язкості суміші.

Підставивши вираз (2.4) у вираз (2.3), отримаємо:

$$\frac{\Delta U}{2}(1 - \chi) = 1,04 \Delta \rho \lambda_{зм}, \quad (2.11)$$

Виразимо ΔU з рівняння (2.11):

$$\Delta U = \frac{2,08 \Delta \rho \lambda_{зм}}{1 - \chi} = \frac{2,08 \frac{\Delta R \Delta r}{\Delta R \pm \Delta r} \frac{\mu_{зм} v_{СК}}{p}}{1 - \chi}. \quad (2.12)$$

Таким чином, на значення відносного діаметрального зазору, крім початкового стану спряжених поверхонь, що характеризується параметрами ρ і χ , найбільший вплив мають гідродинамічні властивості палива, яке виступає в ролі мастила та визначається характеристикою λ .

Знаючи граничні значення геометричних розмірів плунжера і втулки, а також концентрацію води в паливі, можна простежити зміну технічного стану цих прецизійних деталей за величиною інтенсивності зношування I_h .

Таблиця 2.1 — Значення параметрів для розрахунку зміни зазору в плунжерній парі залежно від обводненості палива

Параметр	Значення
ρ_g – густина води при 20°C, кг/м ³	1000
ρ_m – густина палива при 20°C, кг/м ³	860
ν_g – кінематична в'язкість води при 20°C, м ² /с	$1,01 \cdot 10^{-6}$
ν_m – кінематична в'язкість палива при 20°C, м ² /с	$4,5 \cdot 10^{-6}$
R – радіус втулки, м	$4,5^{+0,06}_{-0,01}$
r – радіус плунжера, м	$4,5^{+0,06}_{-0,01}$
$\nu_{зк}$ – результуюча швидкість плунжера, м/с	1,4

Таблиця 2.2 – Розрахунок зміни зазору в плунжерній парі залежно від обводненості палива

Кількісний склад суміші		Кінематична в'язкість, м ² /с	Динамічна в'язкість, Нс/м ²	Приріст зазору за нормативний ресурс, %
Масова частка палива, %	Масова частка води, %			
100	0	0,000001010	0,000868600	0
99,9	0,1	0,000001011	0,000869396	1
99,8	0,2	0,000001012	0,000870193	2
99,7	0,3	0,000001012	0,000870991	3
99,6	0,4	0,000001013	0,000871791	3,6
99,5	0,5	0,000001014	0,000872592	4,7
99,4	0,6	0,000001015	0,000873394	5,7

99,3	0,7	0,000001016	0,000874198	6,6
99,2	0,8	0,000001016	0,000875003	7,3
99,1	0,9	0,000001017	0,000875809	8,3
99	1	0,000001018	0,000876616	9,3

Таблицю 2.2 можна переписати в більш наглядній формі – табл. 2.3

Таблиця 2.3 – Результати теоретичної оцінки впливу обводненості палива на зношування плунжерних пар ПНВТ

Вид палива	Приріст зазору за нормативний ресурс, %
Чисте паливо	0
Обводнене паливо (0,2% води за масою)	2,0
Обводнене паливо (0,4% води за масою)	3,6
Обводнене паливо (0,6% води за масою)	5,7
Обводнене паливо (0,8% води за масою)	7,3
Обводнене паливо (1,0% води за масою)	9,3

Аналізуючи результати проведених теоретичних досліджень, встановлено, що збільшення обводненості палива призводить до погіршення режиму мащення (λ), що позначається на збільшенні зазору (U) між плунжером і втулкою. На підставі цього можна зробити висновок — збільшення обводненості палива веде до зростання інтенсивності зношування (I_h) плунжерних пар паливних насосів.

РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРА-ВОЛОГОВІДДІЛЬНИКА

3.1 Загальний розрахунок

Для зниження обводненості палива в паливній системі трактора в умовах експлуатації пристрої очищення повинні забезпечувати вміст водяних домішок у межах, регламентованих нормативно-технічною документацією.

З урахуванням цих вимог нами розроблено та використано в даній роботі пристрій – «Фільтр-вологівддільник». Фільтр складається з корпусу зі штуцерами підведення і відведення палива, фільтрувального елемента, що складається з пакета адсорбційних касет, заповнених водопоглинальним матеріалом, і зрізаного конуса з металевої сітки, закріпленого в нижній частині пакета.

Очевидно, що для кожної марки двигуна фільтр-вологівддільник матиме різні геометричні розміри, що залежать від витрати та властивостей палива.

Основні геометричні параметри фільтра-вологівддільника залежатимуть від висоти H і площі поперечного перерізу S , коефіцієнта об'ємного розширення k шарів адсорбенту.

Діаметр адсорбера [3, 8] визначається як:

$$D = \sqrt{\frac{G}{0,785v_0}}, \quad (3.1)$$

де G – витрата суміші палива з водою, $\text{м}^3/\text{с}$; v_0 – швидкість потоку, $\text{м}/\text{с}$.

Число адсорбційних касет визначається за формулою:

$$n = \frac{H}{h_m}, \quad (3.2)$$

де H – висота шару адсорбенту в адсорбері, м [3, 5]; h_m – висота шару адсорбенту в касеті, м , $h_m = (0,5...3)10^{-3} \text{ м}$.

$$H = \frac{G}{S\beta_y} \frac{C_1 - C_0}{C - C^*}, \quad (3.3)$$

де G – витрата суміші, м/с; S – площа поперечного перерізу шару адсорбенту, м²; β_y – коефіцієнт масопередачі, с⁻¹; C_0 – концентрація суміші на вході в адсорбер, кг/м³; C_1 – концентрація суміші на виході з адсорбера, кг/м³; C – робоча концентрація за ізотермою адсорбції, кг/м³; C^* – рівноважна концентрація за ізотермою адсорбції, кг/м³.

Вираз (3.3) можна перетворити до такого вигляду [8]:

$$H = h_e m, \quad (3.4)$$

де $h_e = \frac{G}{S\beta_y}$ – висота шару поглинача, еквівалентна одній одиниці переносу,

визначається з виразу, м; m – число одиниць переносу, що визначається графічним способом за ізотермою адсорбції.

У міру насичення водою полімерний адсорбент збільшується в об'ємі пропорційно кількості поглинутої води (рис. 3.1).

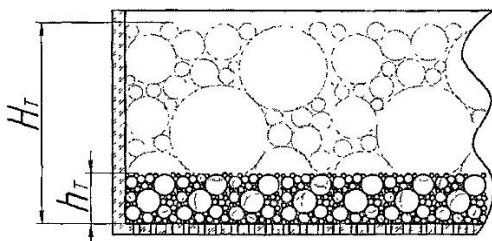


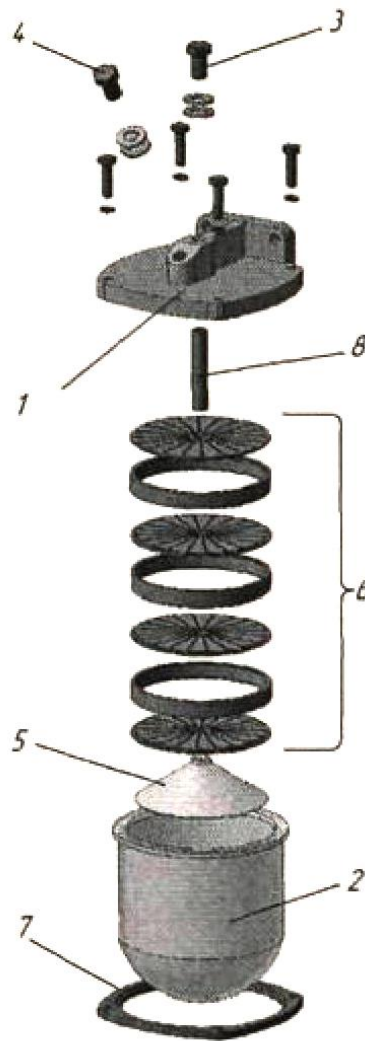
Рисунок 3.1 – Схема розташування адсорбенту в адсорбційній касеті фільтра-вологівдільника

Беручи до уваги даний факт, при визначенні геометричних параметрів адсорбційної касети необхідно враховувати в розрахунках коефіцієнт об'ємного розширення адсорбенту. Тоді висота адсорбційної касети H_m визначається з виразу:

$$H_m = h_m k, \quad (3.5)$$

де k – коефіцієнт об'ємного розширення адсорбенту, $k = 15 \dots 20$.

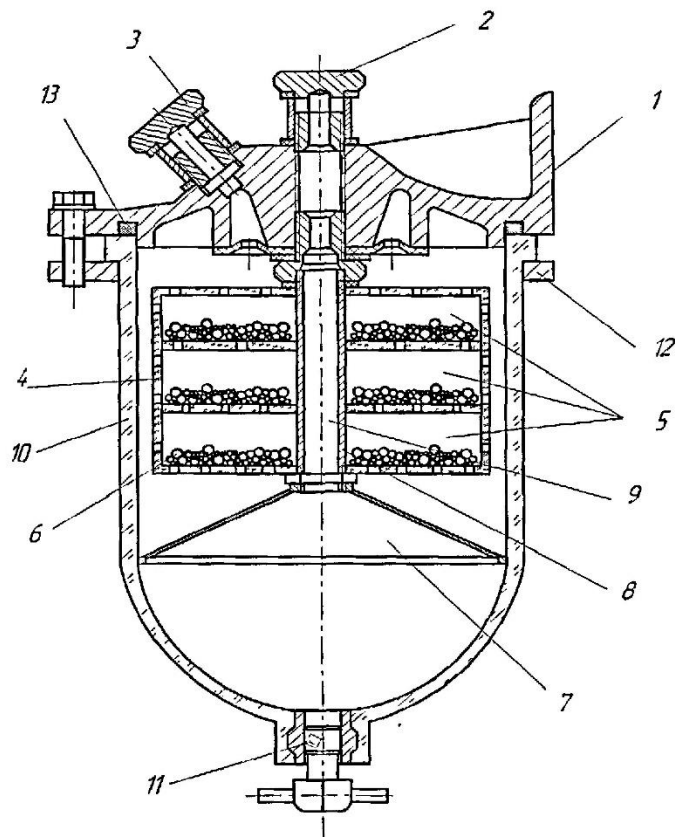
Розрахований з урахуванням наведеної залежності фільтр-вологівдільник представлений на рис. 3.2. Як адсорбент використовується полімер поліакриламід.



1 – корпус; 2 – стакан відстійника; 3 – підвідний штуцер; 4 – відвідний штуцер; 5 – сітчастий конус; 6 – пакет адсорбційних касет; 7 – притискне кільце; 8 – центрувальна трубка

Рисунок 3.2 – Фільтр-вологівіддільник

Фільтр-вологівіддільник (рис. 3.3), містить корпус 1 зі штуцерами 2 і 3 для підведення та відведення палива, у центрі корпусу на різьбі вгвинчений фільтрувальний елемент, що складається з пакета 4 адсорбційних касет 5, частково заповнених (на 1/150 об'єму касети) водопоглинальним матеріалом 6, і закріпленого в нижній частині пакета 4 за допомогою різьби зрізаного конуса 7 із металевої сітки, краї якої завальцьовані сталевими кільцями.



1 – корпус; 2, 3 – штуцери підведення та відведення палива; 4 – пакет; 5 – адсорбційна касета; 6 – адсорбент; 7 – сітчастий конус; 8 – стержень; 9 – канал; 10 – склянка відстійника; 11 – пробка зливу відстою; 12 – кільце; 13 – прокладка.

Рисунок 3.3 – Фільтр-вологівіддільник

Касети виготовлялися з прозорого матеріалу для зручності спостереження за станом адсорбенту 6, а їх стінки мають отвори для проходження палива. Для центрування касет використовується стержень 8, який має осьовий отвір – канал 9 для проходження палива.

Стакан відстійника 10 (для зручності спостереження за станом фільтра – прозора), що має у своїй нижній частині пробку 11 для зливу відстою, притискається до корпусу 1 кільцем 12 через прокладку 13.

Фільтр-вологівіддільник працює таким чином. Паливо надходить у корпус 1 через штуцер підведення палива 2, пройшовши центральним каналом 9, потрапляє в нижню частину склянки відстійника, далі проходить крізь сітчастий зрізаний конус 7 фільтрувального елемента, де відбувається очищення палива від механічних домішок і частково від води, що міститься в паливі.

Потім це частково очищене паливо проходить крізь пакет 4 адсорбційних касет 5 і, взаємодіючи з водопоглинальним матеріалом 6, повністю очищується від води. Надалі очищене від води паливо надходить каналами до відповідного штуцера 3, через який воно спрямовується в паливну систему.

Таблиця 3.1 — Розрахунок параметрів фільтра-вологівіддільника для трактора ХТЗ-150К-09

Параметр	Значення
G – витрата суміші палива з водою, м ³ /с	$20,84 \cdot 10^{-6}$
D – діаметр адсорбера, м	0,12
v_0 – швидкість потоку, м/с	$1,84 \cdot 10^{-3}$
H – висота шару адсорбента в адсорбері, м	$6 \cdot 10^{-3}$
h_m – висота шару адсорбенту в касеті, м	$(0,5...3) \cdot 10^{-3}$
S – площа поперечного перерізу шару адсорбента, м ²	$11,3 \cdot 10^{-3}$
β_y – коефіцієнт масопередачі, с ⁻¹	42,64
h_e – висота шару поглинача, що еквівалентна одній одиниці переносу, м	$4,32 \cdot 10^{-5}$
m – число одиниць переносу	138
H_m – висота адсорбційної касети, м	$33 \cdot 10^{-3}$
n – число адсорбційних касет, шт	3
k – коефіцієнт об'ємного розширення адсорбента	15...20

3.2 Рекомендації щодо застосування фільтра-вологівіддільника

На підставі проведених теоретичних досліджень встановлено, що для зниження обводненості дизельного палива в паливній системі сільськогосподарських тракторів, а також для зниження інтенсивності зношування прецизійних пар паливної апаратури слід рекомендувати:

- використання розробленого фільтра-вологівіддільника в паливній системі сільськогосподарських тракторів;
- установку фільтра проводити шляхом підключення його до магістралі низького тиску замість штатного ФГО;
- проведення технічного обслуговування паливних фільтрів два рази на рік під час сезонного обслуговування.

Застосування запропонованого технічного рішення забезпечує:

- покращення очищення палива від води на 86 % порівняно зі штатним ФГО;
- нормальний режим паливоподачі без збільшення значення гідравлічного опору в магістралі низького тиску;
- зниження витрат на технічне обслуговування фільтрів паливної системи на 96 % за рахунок зниження періодичності та втрат палива під час технічного обслуговування.

Розроблений фільтр-вологівіддільник рекомендується для паливних систем сільськогосподарської та дорожньо-будівельної техніки, що працює в умовах значних перепадів температури навколишнього повітря, які впливають на утворення води в порожнинах деталей паливної системи.

Для паливної системи конкретної марки двигуна необхідне уточнення конструктивних параметрів фільтра з урахуванням витрати палива.

Поглиналина здатність полімеру акриламіді марки В-415К, що використовується як адсорбент, становить 200 г води на один грам речовини, що в декілька разів перевищує кількість води, яка утворюється в паливній системі за 1000 мотогодин, тому обслуговування фільтра-вологівіддільника рекомендується проводити два рази на рік під час сезонного технічного обслуговування, на відміну від штатних ФГО, обслуговування яких у літній період проводиться при ТО-1, а в зимовий – щоденно.

РОЗДІЛ 4 ТЕОРЕТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ ФІЛЬТРУ- ВОЛОГОВІДДІЛЬНИКА

4.1 Результати досліджень впливу розробленого фільтра- вологовіддільника на процес зневоднення дизельного палива

За результатами розрахунків можна стверджувати, що в області експерименту найбільшою мірою маса поглинутої полімером води залежить від зміни маси полімерного адсорбенту та температури палива.

Використовуючи рівняння розділу 2, отримано залежності щодо впливу кожного фактора окремо на кількість води, поглинутої полімерним адсорбентом (рис. 4.1...4.3).

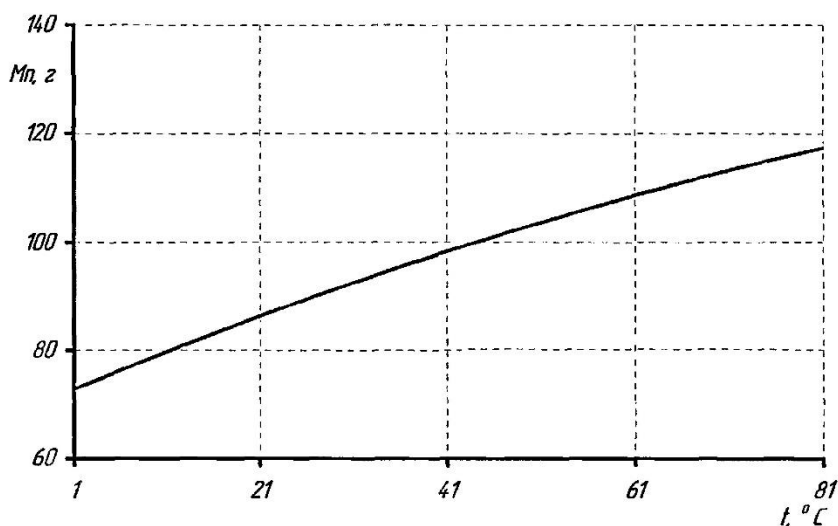


Рисунок 4.1 – Залежність маси поглинутої води від температури палива

Аналіз залежності, наведеної на рис. 4.1, показує, що при збільшенні температури палива маса води, поглинутої полімерним адсорбентом, зростає.

Це пояснюється тим, що зі збільшенням температури підвищується швидкість перебігу масообмінних процесів.

Зниження годинної подачі палива (рис. 4.2) призводить до збільшення маси води, поглинутої полімерним адсорбентом. Дану залежність можна пояснити тим, що при зменшенні величини годинної подачі палива відбувається зниження швидкості проходження палива через фільтр-вологовіддільник, що збільшує час контакту полімерного адсорбенту з очищуваним паливом і сприяє збільшенню маси.

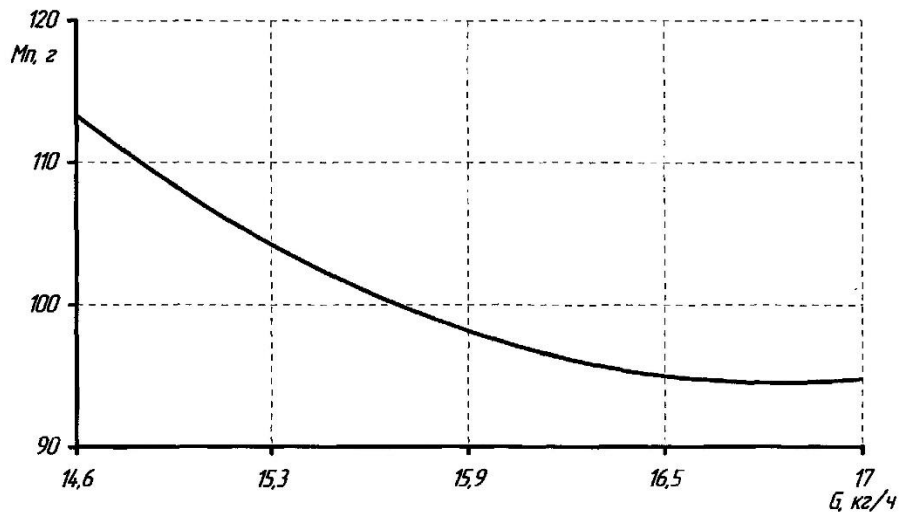


Рисунок 4.2 – Залежність маси поглинутої води від годинної подачі палива

Збільшення маси полімерного адсорбенту (рис. 4.3) також позитивно впливає на процес зневоднення палива, сприяючи зростанню кількості води, що утримується фільтром, що пояснюється збільшенням числа центрів адсорбції.

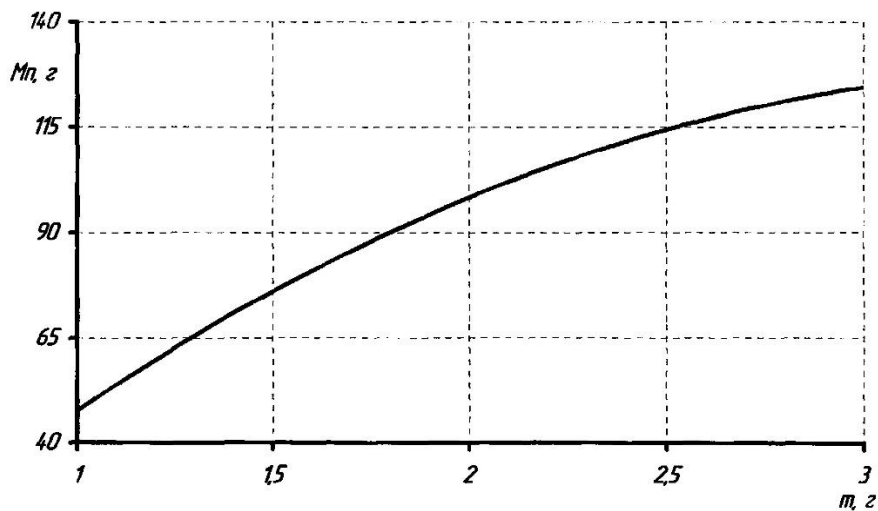
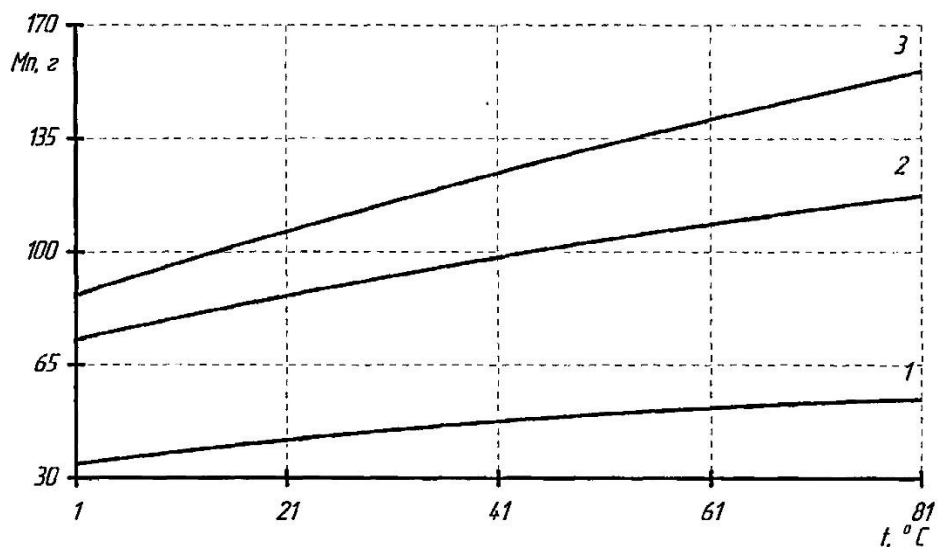


Рисунок 4.3 – Залежність маси поглинутої води від маси полімерного адсорбенту

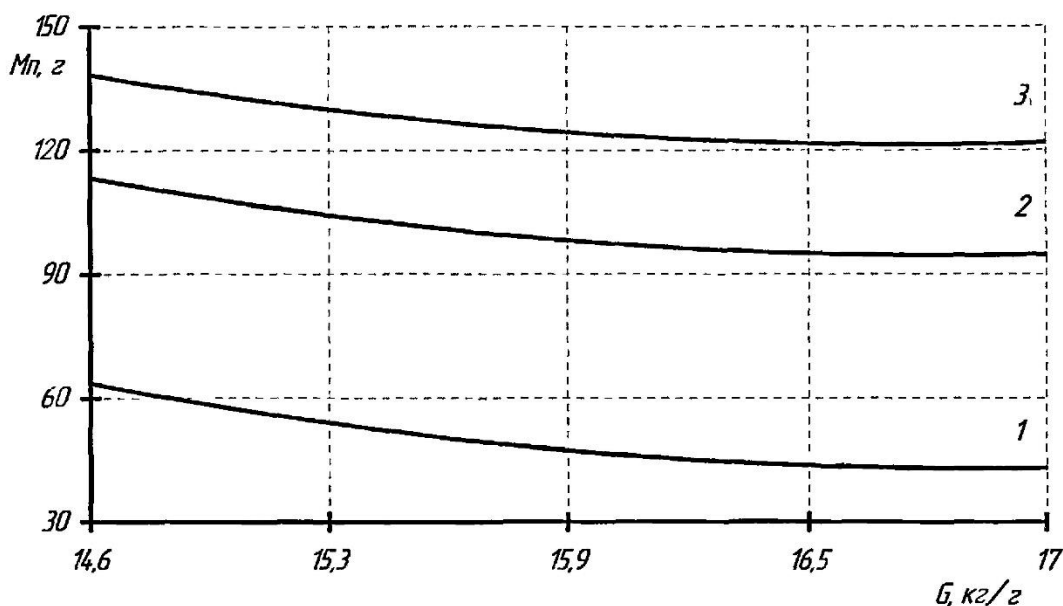
При розгляді спільного впливу факторів графічні залежності кількості поглинутої води (рис. 4.4, 4.5) дозволяють встановити, що збільшення маси полімерного адсорбенту від 1 до 3 г при незмінному значенні годинної подачі палива 15,9 кг/год і температурі палива 1°C призводить до збільшення кількості води, поглинутої полімерним адсорбентом, на 52,3 г; а при температурі палива 81°C – на 101,4 г.



1 – 1 гр; 2 – 2 гр; 3 – 3 гр.

Рисунок 4.4 – Залежність маси поглинутої води від температури палива при масі полімерного адсорбенту

Збільшення маси полімерного адсорбенту від 1 до 3 г при незмінному значенні температури палива 41°C та годинній подачі палива $14,6 \text{ кг/год}$ призводить до збільшення кількості води, поглинутої полімерним адсорбентом, на $74,8 \text{ г}$; а при подачі палива 17 кг/год – на $78,6 \text{ г}$.



1 – 1 гр; 2 – 2 гр; 3 – 3 гр.

Рисунок 4.5 – Залежність маси поглинутої води від годинної подачі палива при масі полімерного адсорбенту:

Оскільки температура палива та годинна подача палива є факторами, що залежать від режиму та умов експлуатації, і варіювання цих факторів є небажаним, тоді як зміна маси полімерного адсорбенту є можливою, а її значення залежатиме лише від геометричних параметрів фільтра-вологівіддільника.

Таким чином, із трьох розглянутих факторів лише маса полімерного адсорбенту є найбільш керованою.

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

На підставі проведених досліджень встановлено, що для паливних систем сільськогосподарських, промислових тракторів і дорожньо-будівельної техніки, що працює в умовах змінних температур навколишнього повітря, можна рекомендувати використання фільтра-вологівдільника. Він простий у виготовленні та обслуговуванні, пристосований для переобладнання машин (модернізації), які вже перебувають в експлуатації.

Застосування фільтра-вологівдільника, порівняно з використанням штатного фільтра паливної системи, забезпечує:

- зменшення обводненості дизельного палива на 86%;
- зниження витрат на технічне обслуговування фільтрів паливної системи на 96%.

Для оцінки економічної ефективності [7] від реалізації практичних заходів зі зниження обводненості дизельного палива в умовах експлуатації трактора нижче наведено розрахунок зниження витрат на технічне обслуговування фільтрів паливної системи та підвищення ресурсу плунжерних пар ПНВТ, що забезпечується за рахунок поточного вдосконалення (модернізації) паливної системи трактора під час експлуатації шляхом установлення на нього фільтра-вологівдільника. Техніко-економічні показники обчислювалися за загальноприйнятою методикою [2, 13].

5.1 Визначення витрат на модернізацію паливної системи трактора

Додаткові витрати на модернізацію паливної системи трактора визначаються за формулою:

$$\Delta C = C_{\text{уд}} - C_{\text{ус}} + C_{\text{мон}} + C_{\text{нал}} + H_{\text{оп}}, \quad (5.1)$$

де $C_{\text{уд}}$ – вартість обладнання, що додатково встановлюється на трактор, грн.; $C_{\text{ус}}$ – вартість демонтованих агрегатів, які можна використати на запасні частини або продати, $C_{\text{ус}} = 380$ грн.; $C_{\text{мон}}$ – витрати на монтажні роботи, грн.; $C_{\text{нал}}$ – витрати

на налагодження обладнання, грн.; H_{on} – загальновиробничі накладні витрати, пов’язані з модернізацією паливної системи, грн.

Вартість обладнання $C_{y\partial}$ визначається за формулою:

$$C_{y\partial} = C_{к.д} + C_{o.д} + C_{n.д} + C_{зб.к} + C_{вм} + C_{оп}, \quad (5.2)$$

де $C_{к.д}$ – вартість виготовлення корпусних деталей, рам, каркасів, грн.; $C_{o.д}$ – витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн.; $C_{n.д}$ – вартість покупних деталей, грн.; $C_{зб.к}$ – повна заробітна плата з нарахуваннями на соціальні потреби виробничих робітників, зайнятих складанням конструкції, грн.; $C_{вм}$ – вартість допоміжних матеріалів (2...4 % від основних), грн.; $C_{оп}$ – загальновиробничі накладні витрати на виготовлення конструкції, грн.

Витрати на виготовлення оригінальних деталей визначаються за формулою:

$$C_{o.д} = C_{м.о} + З_{н.о}, \quad (5.3)$$

де $C_{м.о}$ – вартість матеріалу заготовок для виготовлення оригінальних деталей, грн.; $З_{н.о}$ – заробітна плата (з нарахуваннями) виробничих робітників, зайнятих виготовленням оригінальних деталей, грн.

$$C_{м.о} = Ц_{зо} Q_{од}, \quad (5.4)$$

де $Q_{од}$ – маса заготовки оригінальної деталі, кг; $Ц_{зо}$ – ціна кілограма заготовки для виготовлення оригінальних деталей, грн./кг.

Оплата праці з відрахуваннями на соціальні потреби виробничих робітників, зайнятих виготовленням оригінальних деталей:

$$З_{н.о} = З_{o.о} + З_{д.о} + C_{соц.о}, \quad (5.5)$$

де $З_{o.о}$ – основна оплата праці робітників, зайнятих виготовленням оригінальних деталей, грн.; $З_{д.о}$ – додаткова оплата праці робітників, зайнятих виготовленням оригінальних деталей, грн.; $C_{соц.о}$ – відрахування на соціальні потреби, грн.

Основна оплата праці робітників, зайнятих виготовленням оригінальних деталей:

$$З_{o.o} = T_{\text{виг}} C_q, \quad (5.6)$$

де $T_{\text{виг}}$ – середня трудомісткість виготовлення, люд.-год; C_q – годинна тарифна ставка робітника, що визначається за середнім розрядом, $C_q = 15,2$ грн.

Додаткова оплата праці робітників:

$$З_{d.o} = (K_d - 1) З_{o.o}, \quad (5.7)$$

де K_d – коефіцієнт, що враховує доплати до основної оплати праці, $K_d = 1,125$.

Відрахування на соціальні потреби:

$$C_{\text{соц.o}} = \frac{R_{\text{соц}} (З_{o.k} + З_{d.k})}{100}, \quad (5.8)$$

де $R_{\text{соц}}$ – відсоток відрахувань на соціальні потреби, %.

Включає єдиний соціальний внесок та обов'язкове страхування від нещасних випадків.

Вартість допоміжних матеріалів $C_{\text{вм}}$:

$$C_{\text{вм}} = \frac{p (C_{\text{мк}} + C_{\text{мо}} + C_{\text{п.д}})}{100}, \quad (5.9)$$

де p – відсоток допоміжних матеріалів від вартості основних (корпусних, оригінальних і покупних деталей).

Загальновиробничі накладні витрати на виготовлення конструкції $C_{\text{он}}$:

$$C_{\text{он}} = \frac{З_{o.м.к} R_{\text{он}}}{100}, \quad (5.10)$$

де $З_{o.м.к}$ – основна оплата праці виробничих робітників, які беруть участь у виготовленні конструкції (включаючи складання), грн.; $R_{\text{он}}$ – відсоток загальновиробничих витрат; $R_{\text{он}} = 142\%$.

Остаточні значення складових формули (5.2) наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Витрати на виготовлення та складання фільтра-вологовіддільника

№ з/п	Складова формули (5.2)	Значення, грн.
1	$C_{к.д}$	0
2	$C_{о.д}$	507,65
3	$C_{п.д}$	725
4	$C_{зб.к}$	0
5	$C_{вм}$	42,92
6	$C_{оп}$	244,95
	Всього ($C_{уд}$):	1520,53

Витрати на монтажні роботи $C_{мон}$ визначаються за формулою:

$$C_{мон} = 0,15C_{уд}. \quad (5.11)$$

Витрати на налагодження обладнання:

$$C_{нал} = 0,1C_{уд}. \quad (5.12)$$

Загальновиробничі накладні витрати, пов'язані з модернізацією паливної системи $H_{он}$, визначаються за формулою:

$$H_{он} = 3_n R_{он}, \quad (5.13)$$

де 3_n – основна заробітна плата виробничих робітників, які беруть участь у модернізації конструкції, грн.

$$3_n = t_p C_q K_t, \quad (5.14)$$

де t_p – трудомісткість модернізації конструкції, $t_p = 14$ год; C_q – годинна тарифна ставка, грн; K_t – коефіцієнт, що враховує доплату за понаднормові та інші роботи, $K_t = 1,1$.

Остаточні значення складових формули (5.1) наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Додаткові витрати на модернізацію паливної системи трактора

№ з/п	Складова формули (5.1)	Значення, грн.
1	$C_{уд}$	1520,53
2	$C_{у.с}$	380
3	$C_{монт}$	228,08
4	$C_{нал}$	152,05
5	$H_{оп}$	94,97
	Всього (ΔC):	2375,63

5.2 Визначення економічної ефективності модернізації паливної системи трактора

Модернізація паливної системи трактора ХТЗ-150К-09 шляхом установлення в неї фільтра-вологовіддільника дозволить в умовах експлуатації знизити обводненість палива та збільшити теоретичний ресурс плунжерних пар ПНВТ на 86%, а також зменшити витрати на ТО фільтрів паливної системи на 96%.

Комплексна річна економія від модернізації паливної системи визначається за формулою:

$$E_2 = E_1 + E_2. \quad (5.15)$$

де E_1 – економія від збільшення ресурсу плунжерних пар ПНВТ трактора, грн;
 E_2 – економія від зниження витрат на технічне обслуговування, грн.

Річна економія від збільшення ресурсу плунжерних пар ПНВТ у розрахунку на один трактор:

$$E_1 = I_c - I_m, \quad (5.16)$$

де I_c , I_m – річні витрати на заміну плунжерних пар ПНВТ відповідно до та після модернізації, грн.

$$I_{c,m} = \frac{C_{\kappa} t_{\kappa}}{T_{c,m}}, \quad (5.17)$$

де C_{κ} – вартість робіт із заміни плунжерних пар ПНВТ; t_{κ} – середньорічна кількість годин роботи трактора, $t_{\kappa} = 1350$ год [12]; T_c – строк служби плунжерних пар штатної паливної системи, год, $T_c = 3149$ год [1]; T_m – строк служби плунжерних пар після модернізації паливної системи, год, $T_m = 1,86T_c = 1,86 \cdot 3149 = 5857,14$ год.

$$I_c = (370 \cdot 1350) / 3149 = 158,62 \text{ грн.}$$

$$I_m = (370 \cdot 1350) / 5857,14 = 85,28 \text{ грн.}$$

$$E_1 = 158,62 - 85,28 = 73,34 \text{ грн.}$$

Для комплекту плунжерних пар ПНВТ економія від збільшення строку їх служби становитиме:

$$E_1 = 73,34 \cdot 6 = 440,04 \text{ грн.}$$

E_2 визначається за формулою

$$E_2 = (C_{TOc} - C_{ТОм}) + (C_{Tc} - C_{Tm}), \quad (5.18)$$

де C_{TOc} – витрати на проведення ТО фільтрів штатної паливної системи, грн; $C_{ТОм}$ – витрати на проведення ТО фільтрів модернізованої паливної системи, грн; C_{Tc} – витрати, пов'язані з втратами палива при зливанні відстою з фільтрів штатної паливної системи, грн, $C_{Tc} = 218,10$ грн; C_{Tm} – витрати, пов'язані з втратами палива при зливанні відстою з фільтрів модернізованої паливної системи, грн, $C_{Tm} = 13,76$ грн.

$$C_{TOc} = t_c C_q, \quad (5.19)$$

де t_c – трудомісткість операції ТО за рік при штатній паливній системі, люд.-год, $t_c = 15,85$ люд.-год [8]; C_q – годинна тарифна ставка, грн/год, $C_q = 67,3$ грн/год.
 $C_{TOc} = 15,85 \cdot 67,3 = 1066,71$ грн.

$$C_{ТОм} = t_m \cdot C_q, \quad (5.20)$$

де t_m – трудомісткість операції ТО за рік при модернізованій паливній системі, люд.-год, $t_m = 0,5$ люд.-год [8].

$$C_{ТОм} = 0,5 \cdot 67,3 = 33,65 \text{ грн.}$$

$$E_2 = (1066,71 - 33,65) + (218,10 - 13,76) = 1237,40 \text{ грн.}$$

Таким чином,

$$E_z = 440,04 + 1237,40 = 1677,44 \text{ грн.}$$

Окупність додаткових витрат на модернізацію паливної системи одного трактора:

$$O_z = \frac{E_z}{\Delta C} 100, \% \quad (5.21)$$

$$O_z = \frac{1677,44}{2375,63} 100 = 70,6 \%.$$

Строк окупності додаткових грошових витрат:

$$T = \frac{\Delta C}{E_z}; \quad (5.22)$$

$$T = \frac{2375,63}{1677,44} = 1,42 \text{ року.}$$

Результати розрахунку показників економічної ефективності модернізації паливної системи трактора наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Економічна оцінка модернізації паливної системи трактора
(на прикладі трактора ХТЗ-150К-09)

№ з/п	Показники	Значення показника
1	Зменшення обводнення дизельного палива, %	86
2	Зниження витрат на ТО фільтрів паливної системи трактора, %	96
3	Додаткові витрати на модернізацію паливної системи трактора, грн. в т.ч.	2375,63
	– вартість обладнання, що додатково встановлюється на трактор, грн.;	1520,53
	– інші витрати, грн.	855,10
4	Комплексна річна економія, грн. в т.ч.	1677,44
	– економія від збільшення строку служби плунжерних пар ПНВТ, грн.;	440,04
	– економія від зниження витрат на ТО трактора, грн.	1237,40
5	Окупність додаткових витрат на модернізацію паливної системи трактора, %	70,6
6	Строк окупності додаткових витрат на модернізацію паливної системи трактора, років	1,4

ВИСНОВКИ

Із аналізу отриманих аналітичних залежностей випливає, що збільшення обводненості палива призводить до погіршення режиму мащення (λ), що позначається на збільшенні зазору (U) між плунжером і втулкою.

Розрахунково-теоретична оцінка впливу вмісту води в дизельному паливі на зношування плунжерних пар дозволила встановити, що підвищення вмісту води в дизельному паливі на 1 % сприяє збільшенню інтенсивності зношування плунжерних пар на 9,3 % за нормативний ресурс.

Розроблено конструкцію фільтра-вологівіддільника, фільтрувальний елемент якого складається з поліакриламідного полімеру марки В-415К, отримано теоретичні залежності для визначення раціональних значень конструктивних параметрів фільтра-вологівіддільника (діаметр адсорбера D , висота шару адсорбента в адсорбері H , висота адсорбційної касети H_m , кількість адсорбційних касет n).

Для паливної системи трактора ХТЗ-150К-09 фільтр-вологівіддільник матиме такі конструктивні параметри: $D = 420$ мм, $H = 6$ мм, $H_m = 35$ мм, $n = 3$

Розрахунками встановлено, що збільшення маси полімерного адсорбента від 1 до 3 г у фільтрі-вологівіддільнику при незмінному значенні годинної подачі палива 15,9 кг/год і температурі палива 1°C призводить до збільшення кількості води, поглинутої полімерним адсорбентом, на 52,3 г; при температурі палива 81°C – на 101,4 г.

Збільшення маси полімерного адсорбента від 1 до 3 г при незмінному значенні температури палива 41°C і годинній подачі палива 14,6 кг/год збільшує кількість води, поглинутої полімерним адсорбентом, на 74,8 г, а при годинній подачі палива 17 кг/год – на 78,6 г.

Комплексна річна економія від модернізації паливної системи трактора ХТЗ-150К-09 за рахунок установа фільтра-вологівіддільника становила 1677 грн на один трактор. Строк окупності додаткових витрат на модернізацію паливної системи трактора становить 1,4 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wong J.Y. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering. 3rd Edition, Elsevier, 2022. ISBN: 978-0323902946
2. Wong J.Y. Theory of Ground Vehicles. 5th Edition, Wiley, 2021. ISBN: 978-1119635857
3. Sharma A., Azad M. Recent advances in tractor traction mechanics and soil-track interaction modelling: A review. Journal of Terramechanics, 2023, Vol. 107. DOI: 10.1016/j.jterra.2023.02.004
4. Keller T., Lamandé M., Schjønning P. Soil compaction caused by agricultural machinery. Soil and Tillage Research, 2021, Vol. 213. DOI: 10.1016/j.still.2021.105122
5. Fanigliulo R., Biocca M., Grilli R. et al. Comparative Tests of Agricultural Traction Systems under Heavy Soil Conditions. Environments, 2026, Vol. 13(3), 150. DOI: 10.3390/environments13030150
6. Bulgakov V., Adamchuk V., Nadykto V. et al. Theoretical investigation of oscillatory processes in tractor running systems during tillage operations. Agriculture, 2022, Vol. 12(9), 1367. DOI: 10.3390/agriculture12091367
7. Rahman M., Chen Y. Soil-Machine Interaction for Conservation Farming. Springer, 2021. ISBN: 978-9811606793
8. Sakai K., Upadhyaya S. Advances in Agricultural Machinery and Technologies. Springer, 2021. ISBN: 978-9813364189
9. Molari G., Mattetti M., Sedoni E. Energy demand and efficiency in agricultural tractor operations under different soil conditions. Applied Sciences, 2021, Vol. 11(3), 925. DOI: 10.3390/app11030925
10. Wang J., Li Y., Zhao Z. Dynamic modelling and vibration characteristics of tractor-implement systems under field conditions. Biosystems Engineering, 2022, Vol. 214. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2021.11.012

- 11.Roșca R., Cârlescu P., Țenu I., Perșu C. The Improvement of a Traction Model for Agricultural Tire–Soil Interaction. *Agriculture*, 2022, Vol. 12(12), 2035. DOI: 10.3390/agriculture12122035
- 12.Jia H., Wang G., Li M. Ride comfort and vibration reduction of agricultural tractors equipped with hydro-pneumatic suspension systems. *Shock and Vibration*, 2021. DOI: 10.1155/2021/6643218
- 13.Verbitsky V., Bulgakov V., Pascuzzi S. et al. Dynamic loading and energy consumption of wheeled and tracked tractor units during agricultural operations. *Applied Sciences*, 2023, Vol. 13(7). DOI: 10.3390/app13071452
- 14.Chyba J., Kroulík M., Kumhála F. Influence of tractor running gear on soil compaction and traction characteristics. *Agronomy Research*, 2020, Vol. 18(S2). DOI: 10.15159/AR.20.201
- 15.Grisso R., Pitman R., Perumpral J. *Tractor Management for Conservation Agriculture*. ASABE, 2021. ISBN: 978-1888626193
- 16.Nadykto V., Golub G., Tsyvenkova N. et al. Modeling Movement Stability of Machine-Tractor Units Based on Modular Type Tractor. *Applied Sciences*, 2025, Vol. 15(5), 2822. DOI: 10.3390/app15052822
- 17.Findura P., Nadykto V., Kyurchev V., Gierz Ł. Transverse Movement Kinetics of a Unit for Inter-Row Crops—Case Study: Cultivator Unit. *Applied Sciences*, 2024, Vol. 14(2), 580. DOI: 10.3390/app14020580
- 18.Kim Y.S., Park S.U., Lee J.H. Prediction of tractor traction performance under various soil moisture conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2022, Vol. 198. DOI: 10.1016/j.compag.2022.107019
- 19.Keller T. *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier, 2022. ISBN: 978-0323856713
- 20.Hamza M.A., Anderson W.K. *Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions*. Soil and Tillage Research, 2021 reprint edition. ISBN: 978-0128236550

ДОДАТКИ