

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Підвищення ефективності очищення відпрацьованих
гідравлічних мастил в умовах сервісних підприємств**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-2-24 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Герасіка Станіслав Володимирович

Керівник: _____ Мельянцов Петро Тимофійович

Рецензент: _____

Дніпро - 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

К.Т.Н, доц.

(вчене звання)

Дудін В. Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2025 р

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Герасіка Станіслав Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення ефективності очищення відпрацьованих гідравлічних мастил в умовах сервісних підприємств»

керівник роботи Мельянцов Петро Тимофійович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від «24» жовтня 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Критерії оцінки технічного стану робочої рідини.

Критерії оцінки впливу технічного стану рідини на надійність гідросистем.

Показники ефективності технологій очищення робочих рідин. Методи та

способи регенерації оливо та відновлення їх робочих властивостей.

4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки: 1. Огляд сучасного

рівня розробки питання та визначення цілей роботи. 2. Аналітичні передмови

розробки мобільної установки для очистки гідравлічних рідин 3.

Методологічні принципи виконання роботи.4. Підсумки проведених

досліджень.5. Забезпечення охорони праці під час аварійних обставин. 6.

Оцінювання економічної ефективності. Висновки. Бібліографічний список.

5. Склад матеріалу для демонстрації

1. Мета і задачі досліджень (1 арк. А4). 2. Теоретичні результати (2 арк., А4).

3. Методика експерименту (3 арк., А4). 4. Результати дослідження (4 аркуші,

А4) 5. Оцінка економічна (1 аркуш, А4). 6. Підсумки виконаного дослідження. (3 арк., А4)

6. Консультанти роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 6.	Мельянцов П.Т., доцент		
нормо контроль	Івлєв, В. В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 02.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН.

№ з/п	Етапи	Термін виконання	Примітка.
1	Сучасний стан питання	до 30.09.2025 р.	Викон.
2	Теоретичні дослідження	до 15.10.2025 р.	Викон.
3	Методологічні принципи виконання роботи	до 02.11.2025 р.	Викон.
4	Забезпечення охорони праці	до 15.11.2025 р.	Викон.
5	Підсумки роботи	до 25.11.2025 р.	Викон.
6	Презентація роботи	до 09.12.2025 р.	Викон.

Студент

_____ (підпис)

Герасіка С. В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Мельянцов П. Т.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Герасіка С. В. «Підвищення ефективності очищення відпрацьованих гідравлічних мастил в умовах сервісних підприємств» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Технічний сервіс»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2025 р.

Робота складається з шести розділів. У першому розділі аналізується вплив забруднення робочих рідин на ефективність роботи агрегатів гідравлічних систем, розглядаються існуючі методи та засоби очищення рідин у техніці та формулюються основні завдання дослідження.

Другий розділ присвячено теоретичним аспектам накопичення забруднень у робочих рідинах і їх очищенню в гідравлічних системах із використанням відцентрових фільтрів.

У третьому розділі описується методика дослідження забрудненості робочих рідин у гідравлічних системах, методи визначення вмісту механічних домішок, а також способи оцінки технічного стану рідини за її мастильними та експлуатаційними характеристиками.

Четвертий розділ містить результати досліджень технічного стану робочих рідин у гідравлічних системах мобільних машин, включаючи визначення корозійної активності, температури спалаху та товщини масляної плівки в регенерованих рідинах.

Забезпечення охорони праці під час аварійних обставин розглянуто в п'ятому розділі.

У шостому розділі наведено техніко-економічні розрахунки ефективності запропонованих заходів.

Ключові слова: гідравлічний привід, робоча олива, структурні параметри, центробіжний фільтр, ефективність фільтрації, нерозчинні частки, циркуляційні очисні ланцюги, очисні схеми.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Забруднення робочих рідин гідравлічних систем сільськогосподарських машин	10
1.2 Вплив забрудненості робочих рідин на ефективність роботи гідроприводу	14
1.3 Сучасні методи очищення рідин за допомогою технологій	15
1.4 Конструкція очисних пристроїв для робочих рідин	17
1.5. Загальні висновки і задачі дослідження	20
2. АНАЛІТИЧНІ ПЕРЕДМОВИ СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ГІДРАВЛІЧНИХ ОЛИВ	21
2.1 Моделі очищення рідини за допомогою відцентрових фільтрів	21
2.2 Теоретичний аналіз ударно-хвильових процесів у пористому фільтрі гідроімпульсної системи	27
3. МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	34
3.1 Методика оцінки вмісту механічних забруднень у робочій рідині гідросистеми.....	34
3.2 Методи визначення корозійних властивостей регенованого мастила	37
3.3 Методика визначення точки спалаху робочої оливи	38
3.4 Методика вимірювання товщини масляного шару робочої рідини	39
3.5 Установка для дослідження процесів очищення і відновлення робочих рідин	41
3.6 Методика гідроімпульсної очистки в контурі тонкого очищення	45
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ НАУКОВО ОБҐРУНТОВАНИЙ АНАЛІЗ	48
4.1 Оцінка технічного стану робочої рідини гідросистем мобільної техніки	48
4.2. Результати визначення корозійності відновлених робочих рідин	50
4.3 Результати визначення температури спалаху робочої рідини.....	51
4.4 Результати досліджень товщини масляної плівки	52

	6
4.5 Результати досліджень відцентрованої очистки відпрацьованих рідин	54
5. ПРАЦЯ ТА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНИХ ПОДІЙ	58
5.1 Оцінка виробничого середовища та протипожежного захисту у сервісному підрозділі.....	58
5.2 Організаційно-технічні заходи для підвищення безпеки та комфорту праці.....	60
5.3 Дії при надзвичайних ситуаціях у виробничому приміщенні	64
6. ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	66
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	71
ЛІТЕРАТУРА	74
ДОДАТКИ.....	77

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку агропромислового комплексу рентабельність сільськогосподарського виробництва можлива лише за умови високоефективного використання техніки. Ефективність виконання сільськогосподарських робіт значною мірою визначається технічним станом наявної техніки, працездатністю її вузлів і агрегатів, серед яких ключову роль відіграє гідрообладнання.

Гідравлічні приводи відрізняються низькими енергетичними витратами порівняно з іншими типами приводів, здатністю передавати значні зусилля, високим коефіцієнтом передаточного числа, зменшенням інерційності системи, а також компактністю і зниженням маси агрегатів.

Водночас складна конструкція гідроагрегатів обумовлює підвищені вимоги до технічного стану робочих рідин, від яких залежить надійність гідравлічного приводу і загальна працездатність машини. Одним з головних показників якості робочих рідин є їх чистота, яка визначає інтенсивність зносу деталей гідромашин (гідронасосів, гідромоторів) та розподільних і регулюючих пристроїв, а також запобігає засміченню або зависанню клапанів.

Для підвищення довговічності та безвідмовності гідравлічних агрегатів застосовують низку профілактичних заходів, спрямованих на підтримку чистоти робочих рідин. До них належать попереджувальні заходи, які запобігають потраплянню забруднень у рідину, та підготовчі заходи, що передбачають очищення рідини перед її заливанням у систему. Відновлювальні заходи здійснюються безпосередньо в процесі експлуатації та включають очищення робочої рідини в гідравлічній системі.

Вибір типу очисного пристрою визначається конструкцією гідравлічної системи та умовами її експлуатації. На сьогоднішній день для очищення робочих рідин найчастіше використовують фільтри, які мають ряд переваг порівняно з іншими засобами очищення: простота конструкції, відсутність потреби у зовнішніх джерелах енергії, широкий діапазон робочих тисків і температур.

Останнім часом спостерігається певний прогрес у цій сфері: деякі вітчизняні виробники почали випускати фільтраційні матеріали як традиційні (папір, картон тощо), так і нові, які раніше не застосовувалися в гідравлічних системах, зокрема пористі полімери різного складу. Теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження можливості використання цих матеріалів для очищення робочих рідин гідравлічних трансмісій сільськогосподарських машин є актуальним науковим завданням.

Метою роботи є підвищення ефективності очищення робочих рідин у гідравлічних системах мобільних сільськогосподарських машин для забезпечення їх надійності та тривалої експлуатації.

Задачі досліджень.

1. Дослідити технічний стан робочих рідин гідравлічних систем на різних стадіях їх життєвого циклу.
2. Аналітично проаналізувати процеси накопичення забруднень у робочих рідинах та їх очищення в гідравлічних системах.
3. Аналітично оцінити вплив ступеня забруднення відцентрового фільтра на його працездатність.
4. Розробити проект установки для очищення відпрацьованих робочих рідин від механічних домішок.
5. Провести лабораторні дослідження технічного стану регенованих робочих рідин у гідравлічних системах мобільних сільськогосподарських машин.

Об'єкт дослідження – робочі рідини гідравлічних систем мобільних сільськогосподарських машин.

Предметом дослідження є процеси очищення відпрацьованих робочих рідин у гідравлічних системах.

Наукова новизна роботи:

- визначення функціональної залежності між ступенем забрудненості відцентрового фільтра та часом розгону його ротора, а також частотою обертання ротора центрифуги;

- застосування двоконтурної системи очищення відпрацьованих рідин гідравлічних систем із використанням відцентрового фільтра для видалення крупних механічних домішок та фільтра тонкого очищення на основі металокерамічної мембрани, яка включає в себе підкладку з $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (альфа-оксид алюмінію) і фільтруючий шар з діоксиду цирконію і діоксиду титану, для видалення дрібних фракцій.

Практичне значення одержаних результатів:

- запропонована конструкція установки для очищення відпрацьованих гідравлічних мастил забезпечує їх регенерацію та подальше повторне використання в гідравлічних системах мобільних сільськогосподарських машин.

Висвітлення результатів. Виступ на міжнародній конференції:

Герасіка С. В. Удосконалення процесу очистки відпрацьованих гідравлічних рідин від механічних домішок. Scientific Collection «InterConf+», 63(272): Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects», November 19–20, 2025, Rome, Italy. Rome: Dana, 2025. – С. 228–239. ISSN 2709-4685.

Публікація в міжнародному виданні. Герасіка С. В. Удосконалення процесу очистки відпрацьованих гідравлічних рідин від механічних домішок. Scientific Collection «InterConf+», 63(272): Proceedings of the 12th International Scientific and Practica Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects» (19–20 листопада 2025 р., Рим, Італія) / уклад. LLC SPC «InterConf». Rome: Dana, 2025. – С. 228–239. – 378 с. – ISSN 2709-4685.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Забруднення робочих рідин гідравлічних систем сільськогосподарських машин

Робочі рідини, що застосовуються в гідравлічних системах, повинні відповідати ряду експлуатаційних вимог, від яких залежать робочі параметри, ресурс та надійність агрегатів цих систем. Оскільки універсальні робочі рідини, придатні для всіх випадків, ще не створені, у кожному конкретному випадку необхідно враховувати комплекс властивостей рідини, що максимально відповідають конструкції гідросистеми, умовам її експлуатації та вимогам до надійності. Водночас існує показник, який є актуальним для практично всіх робочих рідин — це рівень їх чистоти [1, 2].

Забруднення робочих рідин відбувається на всіх етапах їхнього життєвого циклу: під час виробництва, транспортування, зберігання та експлуатації. Тому доцільно класифікувати забруднення відповідно до цих стадій, уточнивши при цьому існуючу класифікацію, що застосовується для робочих рідин гідравлічних систем [3].

Удосконалена класифікація забруднень робочих рідин розроблена на основі всебічного аналізу й систематизації процесів, що відбуваються в рідинах гідравлічних систем протягом усього їх життєвого циклу, а також впливу зовнішніх і внутрішніх чинників на перебіг цих процесів та їх взаємозв'язки. Сформована класифікація, уточнена з урахуванням інформації літературних джерел, наведена на (рис. 1.1) [4].

Виробничі забруднення потрапляють у робочі рідини або формуються в них під час переробки нафти на нафтопереробних підприємствах. До цієї групи належать, з одного боку, сировинні забруднення, притаманні вихідній нафті, а з іншого - технологічні забруднення, що виникають у процесі виготовлення робочої рідини.

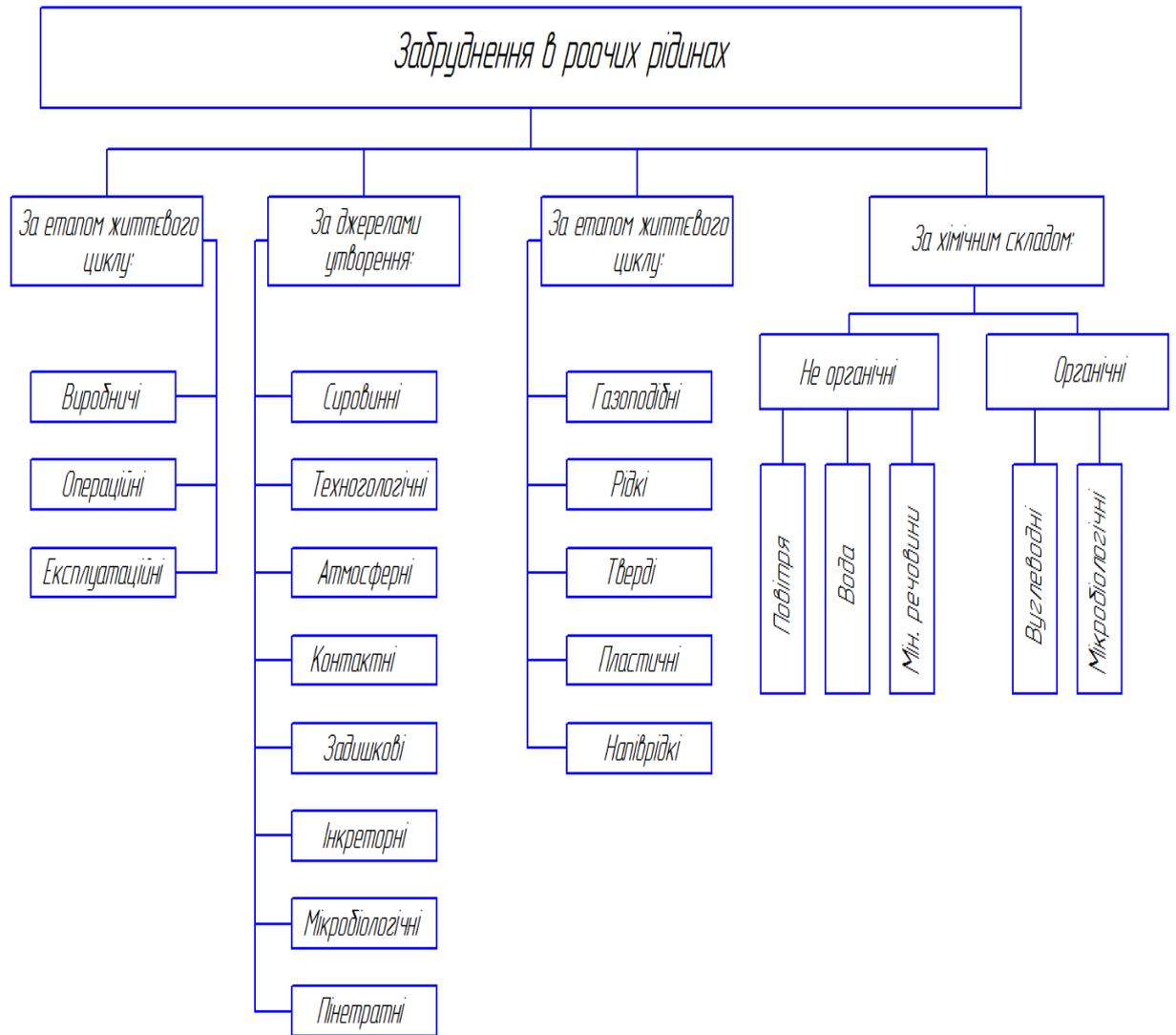


Рисунок 1.1 - Структурна класифікація забруднень робочих рідин гідросистем [4].

Операційні забруднення надходять у робочу рідину або утворюються в ній під час транспортування та заправних операцій. До цієї групи належать атмосферні забруднення, що потрапляють у рідину разом з повітрям (пил, волога), контактні забруднення, які виникають у результаті взаємодії рідини з матеріалами транспортного обладнання (продукти корозії металів, руйнування неметалевих матеріалів тощо), а також залишкові забруднення, що переходять у робочу рідину з недостатньо очищених резервуарів і трубопроводів.

Крім того, у робочій рідині, що піддається зволоженню, може виникати мікробіологічне забруднення. Вода, яка потрапляє в робочу рідину внаслідок негерметичності резервуарного та транспортного обладнання, належить до пенетрантних (проникаючих) забруднень [4]

Експлуатаційні забруднення формуються в робочих рідинах або потрапляють у них безпосередньо в процесі функціонування гідравлічних систем. Такі забруднення можуть мати атмосферне, контактне, залишкове або інкреторне походження. До цієї групи належать і продукти зносу — мікрочастинки у вигляді мікростружки чи мікротирси, що утворюються внаслідок фрикційного зношування деталей тертя гідравлічних агрегатів. За наявності в робочій рідині твердих частинок можливе також виникнення абразивного зносу цих вузлів.

У роботі [5] наведено результати аналізу робочих олив, призначених для первинного заправлення. Встановлено, що середній вміст забруднень у витратному резервуарі складу становив 0,0111% (мас.), у заправній тарі цей показник зростав до 0,0165%, а в гідравлічній системі одразу після заправлення досягав 0,05–0,178% у літній період і приблизно 0,03% узимку. Отримані дані свідчать про те, що робоча рідина надходить у гідравлічну систему вже з істотною кількістю забруднень, навіть до початку її експлуатації.

Подібні результати наведено у працях [2, 6] для робочих рідин ІС-12 та ІС-20. Після заповнення залізничних цистерн на нафтопереробному заводі вміст забруднень у цих рідинах не перевищував 0,005% (мас.) при максимальному розмірі часток до 20 мкм. У резервуарах складу їх концентрація зростала до 0,01–0,012%, а в розливних кранах — до 0,019–0,026%. Під час доливання у заправну тару рівень забруднення досягав уже 0,05–0,062%, причому розміри часток збільшувалися до 100 мкм.

Найбільший обсяг забруднень надходить у гідравлічну систему разом із робочою рідиною під час її доливання в процесі експлуатації, оскільки ця операція, на відміну від повної заправки через роздавальний кран, зазвичай здійснюється відкритим струменем. Додаткове підвищення рівня забрудненості відбувається через наявність у системі залишкових домішок, що утворюються в процесі її роботи, кількість яких може досягати 0,042–0,07% (мас.). При цьому встановлені у гідравлічній системі фільтри здатні виловити лише 0,018–0,032% (мас.) таких забруднень.

Робоча рідина може містити значну кількість забруднень вже при первинному заповненні гідравлічної системи на заводі-виробнику машини. Аналіз проб робочих рідин, узятих на складах паливно-мастильних матеріалів у складальних цехах деяких заводів, показав, що вміст забруднень у цих оливах може досягати 0,02% (мас.). Після заправки робочого мастила безпосередньо в гідравлічний привід на лінії складання вміст забруднень у ньому може збільшуватися до 0,163% (мас.) [3].

У процесі експлуатації гідравлічних систем забрудненість робочих рідин значно зростає. Експлуатаційні забруднення переважно складаються з неорганічних речовин атмосферного та частково контактного походження: діоксиду кремнію (до 70–85%), оксидів алюмінію (до 10–15%) та оксидів заліза. Органічна частина забруднень становить не більше 15–20% від їх загальної кількості [5].

Подібні дані наведені також у працях [3, 5]. Встановлено, що після 12 тис. циклів роботи гідравлічних підйомників рівень забрудненості робочої рідини підвищується в 5–6 разів порівняно з її первісним станом при заправці в систему.

У роботі [6] зазначено, що середній вміст забруднень у робочій рідині гідравлічних систем машин загального призначення становить близько 0,062% (мас.), проте для окремих типів техніки цей показник значно вищий: у автомобілів-самоскидів - до 0,22%, у екскаваторів - до 0,118%, у тракторів - до 0,18%, при цьому розмір часток досягає 100 мкм, а в окремих випадках перевищує 200 мкм.

Дані про фактичний рівень забрудненості робочих рідин у гідравлічних системах самохідних та агрегованих з тракторами сільськогосподарських машин у доступній літературі відсутні, що обґрунтовує необхідність проведення відповідних досліджень у рамках цієї роботи.

На основі численних досліджень можна зробити висновок, що спостерігається стійка тенденція до збільшення рівня забруднення робочих

рідин у процесі їхнього транспортування, зберігання, заправки та експлуатації в гідравлічних системах машин.

1.2 Вплив забрудненості робочих рідин на ефективність роботи гідроприводу

Гідроагрегати, встановлені на сільськогосподарських машинах, експлуатуються в умовах підвищеного вмісту абразивного ґрунтового пилу в повітрі, атмосферної вологи та часток хімічно агресивних неорганічних добрив, що є підставою для класифікації відмов.

Сучасні системи гідравлічного приводу та управління включають вузли й агрегати з прецизійними парами тертя, що мають дуже малі діаметральні зазори, що робить рухомі пари особливо чутливими до наявності твердих часток у робочій рідині.

У роботі [7] зазначено, що тверді неорганічні частки, потрапляючи в проміжки між поверхнями прецизійних деталей і сумірні з цими зазорами, здатні значно збільшувати зусилля, необхідні для взаємного переміщення деталей, а також спричиняти абразивний знос поверхонь тертя.

За думкою ряду дослідників, гідроабразивний знос, викликаний забрудненням робочих рідин, є основним чинником, що знижує ресурс гідравлічних систем. Зокрема, за даними роботи [8], знос елементів гідросистем може зменшувати їх ресурс у 4,5–6 разів.

Потрапляння забруднюючих часток у проміжки між рухомими деталями, наприклад, між плунжером і втулкою блоку качаючого вузла аксіально-плунжерної гідромашини, може призвести до їх заклинювання через взаємний перекіс і вивести гідроагрегат з ладу. Тверді частки також здатні порушувати цілісність змашувальної плівки на поверхні деталей, що додатково підвищує інтенсивність їхнього зносу [9].

У джерелі [10] вказано, що рівень забруднення робочих олів суттєво впливає на надійність роботи розподільних механізмів і спричиняє понад 50% їхніх відмов. Проникнення частинок домішок у золотникові зазори або

під клапанні сідла приводить до значного зростання внутрішніх втрат робочої оливи. Підвищена забрудненість робочої рідини збільшує зусилля на зрушення золотникового пристрою та може спричинити його заклинювання.

Частки забруднень у робочій рідині є основною причиною передчасного зниження коефіцієнта корисної дії насосів. Забрудненість робочих рідин спричиняє від 20 до 50% усіх відмов основних агрегатів гідравлічних систем, і] цей показник може досягати 70–90%.

Забруднення робочих рідин металевими частками може спричинити утворення стійкої піни, оскільки метали, реагуючи з органічними кислотами, утворюють маслорозчинні солі - мила. Наявність піни різко знижує продуктивність насосів гідравлічного приводу та викликає пульсації через зміну об'єму повітряних бульбашок. Крім того, піна зменшує мастильну здатність рідини та прискорює процеси окислення за рахунок збільшення площі контакту рідини з киснем.

Металеві частки також виконують роль каталізатора окислювальних процесів у робочій рідині, що призводить до накопичення органічних забруднень та зменшує ресурс її роботи. Аналіз статистичних даних функціональних залежностей між технічним станом робочих рідин гідросистем сільськогосподарських машин і надійністю гідроагрегатів показав, що наявність механічних домішок значно погіршує технічний стан рідини та знижує експлуатаційну надійність гідросистем

1.3 Сучасні методи очищення рідин за допомогою технологій

Для видалення забруднень із робочих рідин гідравлічних систем можуть використовуватися різноманітні способи, які включають хімічну, фізико-хімічну та фізичну обробку.

Методи на хімічній основі передбачають застосування різноманітних реагентів для взаємодії з робочою рідиною, після чого утворені продукти видаляються з неї.

Методи фізичного і хімічного очищення ґрунтуються на коагуляційних та адсорбційних процесах та селективного розчину забруднення. Очищення робочих рідин фізичними методами включає використання силових полів, спричинених гравітаційними, відцентровими, електричними та магнітними силами і фільтруванням оливи крізь пори.

Хімічні та фізико-хімічні методи очищення переважно застосовуються в нафтопереробній промисловості.

Відцентрова очистка вимагає значної зміни щільності робочої рідини та забруднень, що видаляються з неї. Продуктивність відцентрової очистки залежить від в'язкості робочої рідини, яка зменшується, коли температура знижується [4].

Електроочистка є досить ефективним методом видалення забруднень з робочої рідини. Електроочистники менш габаритні, тому вони не змінюють пропускну здатність і гідравлічний опір під час роботи, що дозволяє автоматизувати процес очищення. Однак через складну конструкцію цих пристроїв потрібно досить кваліфіковане обслуговування. На даний момент використання електроочищення робочих рідин у гідравлічних системах обмежено через ці недоліки.

Усунення феромагнітних часток забруднень є єдиним способом очищення робочої рідини в магнітному полі. Недостатність очищення в магнітному полі полягає в тому, що робоча рідина очищається лише від феромагнітних забруднень та їхніх агрегатів [11].

У процесі очищення у вібраційному полі ультразвукові хвилі високої або низької частоти коагулюють частинки забруднень. Це полегшує подальше видалення забруднень шляхом фільтрування або відстоювання. Однак, коли тривалість дії ультразвуку збільшується, частки забруднень можуть диспергуватися замість коагуляції, що ускладнює їхнє видалення з робочої рідини.

Очищення робочої оливи фільтрацією є більш поширеним методом. Очищення цим методом залежить лише від співвідношення розмірів часток забруднень і перегородки, що фільтрує, а не від властивостей забруднених

часток. Однак властивості очищеної робочої рідини, такі як її в'язкість, електропровідність і присутність поверхнево-активних речовин, значно впливають на роботу фільтрів.

1.4 Конструкція очисних пристроїв для робочих рідин

Процес очистки робочої оливи гідроприводів сільськогосподарських машин може проходити з використанням різних очисників.

Гідравлічні системи можуть використовувати гравітаційні очисники у вигляді відстійника з вертикальною перегородкою або тарілчастого динамічного відстійника з приймальним патрубком. У першому випадку габаритні розміри циркуляційного бака гідравлічної системи збільшуються, тоді як у другому випадку конструкція значно ускладнюється, що призводить до зниження надійності пристрою.

Відцентрові очисники, такі як центрифуги та гідроциклони, працюють за класичною схемою, коли очищення здійснюється в товстому шарі робочої рідини, поміщеної в ротор центрифуги або корпус гідроциклону. Однак потоком робочої рідини частки, що осіли, також змивають зі стінок апарату [12].

Для підвищення ефективності очищення центрифуг використовуються тонкошарові апарати. Ці апарати розділяють ротор на окремі камери за допомогою вставок різної конструкції, які мають значно менші радіальні розміри, ніж у товстошарових центрифугах, що призводить до зменшення прослизання робочої оливи стосовно ротора .

Електроочисники використовуються для очищення рідин на що вказується в роботі [13], та ін., але їх широке використання обмежується необхідністю створювати високу напругу та забезпечувати безпеку обслуговуючого персоналу.

Комбіновані методи очищення робочої рідини від забруднень можуть включати одночасну дію двох або більше силових полів, або поєднання дії силових полів із фільтруванням рідини через пористу перегородку.

Крім того, були розроблені різні форми відцентрових роторів, які електризуються при терті їх зовнішньої поверхні. Але така електризація стирає, маскує та руйнує електризуючі матеріали, що зменшує ефективність очищення.

Комбіновані очисники включають як магнітні фільтри, які використовують затримку феромагнітних часток, так і вібраційні фільтри. У перших коливається перегородка фільтра, що змінює гідравлічний опір і забезпечує зростання ресурсу фільтроелементу, але при цьому є ризик проскакування частинок забруднень.

Найпоширенішим засобом очищення робочих рідин були фільтри. Наразі повнопотокові фільтри періодичної дії використовуються в основному в гідроприводах сільськогосподарських машин. Матеріалом, що фільтрує, є металічні сітки різноманітного переплетення, картон, папір і багато інших матеріалів. Слід відмітити, що швидка забивка перегородки забрудненнями, які мають місце в робочій оливі, робить ресурс роботи цих фільтрів низьким.

Застосування ефективних матеріалів для фільтрування може значно покращити якість очищення робочих рідин гідравлічних приводів. Ці матеріали повинні відповідати таким вимогам: зменшити гідравлічний опір і забезпечити достатню питому пропускну спроможність; забезпечити необхідні повноту та тонкість фільтрування; мати високий ресурс роботи та зберігати експлуатаційні властивості протягом усього часу роботи; і мати необхідні міцні властивості.

Сучасні фільтри для очищення нафтопродуктів використовують різні матеріали з різними характеристиками, щоб очистити хімічний склад, геометричну структуру початкової сировини, процес виготовлення та інші фактори.

Відповідно до принципу роботи фільтраційні матеріали поділяються на об'ємні або глибинні матеріали, які мають товщину на декілька порядків більшу, ніж розміри затримуваних забруднень, і поверхневі матеріали, які мають товщину всього у декілька разів більшу, ніж затримувані частинки забруднень [14].

Фізико-механічні властивості фільтраційних матеріалів поділяють на гнучкі та негнучкі. Ці властивості дають інформацію про фізико-хімічні властивості матеріалу, а також принцип його роботи, оскільки вони впливають на дизайн елемента, який проводить фільтрацію.

Класифікація пористих матеріалів сировини є найбільш актуальною з точки зору практичного використання.

Пористі пластмаси, також відомі як полімерні фільтраційні матеріали, застосовуються для очищення нафтопродуктів, виробляються за рахунок добавки газотвірних або водорозчинних елементів до початкової полімерної композиції.

Після розпаду або вимивання цих компонентів матеріал отримує пористу структуру. Оскільки вони виготовляються з недорогих матеріалів і не потребують складного обладнання, ці матеріали характеризуються добрими економічними показниками. Це пов'язано з тим, що вони мають нерівномірну пористу структуру, оскільки важко забезпечити однакові розміри пор під час спінювання.

У вітчизняній промисловості застосовується матеріал для фільтрації з пористого фторопласту [15], який отримується шляхом змішення хлориду натрію з порошкообразним політетрафторетиленом, пресування цієї суміші, спікання отриманої маси та кип'ячення у воді. Тонкість фільтрування становить від 5 до 35 мкм.

Дослідження з застосування ПГС-полімеру, для очистки робочої оливи гідроприводів мобільних машин є дуже важливим. Необхідно знати, як даний фільтруючий матеріал реагуватиме на видалення механічних домішок, які мають розміри більше пор фільтруючого елемента, що може призвести до забивання фільтра.

Як показав аналіз існуючих методів очищення робочих рідин, комбіноване очищення, розділене на дві фази, є перспективним підходом. Первий контур очищення обробляє великі механічні домішки, а другий контур обробляє м'які домішки.

1.5. Загальні висновки і задачі дослідження

Аналіз технічного стану робочих рідин гідросистем мобільних сільськогосподарських машин показав, що їх технічний стан змінюється безпосередньо під час транспортування та зберігання, ще до того, як вони використовуються в гідросистемі. При цьому, системи гідроприводу мобільних машин забруднюються механічними домішками, також відомими як неорганічні частини, після безпосереднього використання робочих рідин.

Наявні методи та засоби очистки робочих олив гідравлічних систем не забезпечують достатню якість очистки відповідно до технічних вимог, що призводить до передчасної їх заміни, які не відпрацювали свій ресурс за мастильними та службовими властивостями. У зв'язку з цим питання очистки робочої оливи від неорганічних домішок і можливість повторної її використання є актуальними.

Метою роботи є підвищення ефективності очищення робочих рідин у гідравлічних системах мобільних сільськогосподарських машин для забезпечення їх надійності та тривалої експлуатації.

Задачі досліджень.

1. Дослідити технічний стан робочих рідин гідравлічних систем на різних стадіях їх життєвого циклу.
2. Аналітично проаналізувати процеси накопичення забруднень у робочих рідинах та їх очищення в гідравлічних системах.
3. Аналітично оцінити вплив ступеня забруднення відцентрового фільтра на його працездатність.
4. Розробити проект установки для очищення відпрацьованих робочих рідин від механічних домішок.
5. Провести лабораторні дослідження технічного стану регенерованих робочих рідин у гідравлічних системах мобільних сільськогосподарських машин.

2. АНАЛІТИЧНІ ПЕРЕДМОВИ СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ГІДРАВЛІЧНИХ ОЛИВ

2.1 Моделі очищення рідини за допомогою відцентрових фільтрів

Основною метою роботи є покращення процесу очистки відпрацьованих гідравлічних мастил за допомогою використання мобільних установок, щоб очистити їх і дозволити використовувати робочу рідину знову.

Застосовується двоконтрна очистка відпрацьованих гідравлічних мастил. В першому контурі робоча рідина очищається за допомогою центробіжного фільтру, який видаляє неорганічні частки розміром до 25 мкм. Він є фільтром грубого очищення. І другий контур, з застосуванням фільтра на основі металокерамічної мембрани типу «Pall Membralox», яка включає в себе підкладку з $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (альфа-оксид алюмінію) і фільтруючий шар з діоксиду цирконію і діоксиду титану – фільтр тонкої очистки. При цьому, з метою уникнення забивання металокерамічної мембрани передбачається застосування гідроімпульсного руху оливи в гідравлічному контурі тонкої очистки.

Розглянемо систему очищення гідравлічних рідин відцентровим фільтром.

Процес поділу рідких неоднорідних систем в роторах під дією центр обіжних сил називається центрифугуванням. При якому тверда дисперсійна фаза осаджується на внутрішній поверхні суцільного ротора центрифуги.

Застосування фільтрів з відцентровим осадженням має низку переваг: під час експлуатації немає потреби у заміні окремих вузлів (як у паперових фільтрах тонкого очищення); у процесі центрифугування з робочої рідини видаляються забруднення з підвищеною густиною; пропускна здатність центрифуги практично не змінюється зі збільшенням кількості накопичених домішок; за складом осаджених частинок можна оцінювати ступінь зношення окремих елементів гідравлічного обладнання; активні присадки в

рідині не видаляються, тоді як паперові фільтри тонкого очищення видаляють з робочої оливи до 3% присадок, що його покращують.

На рис (2.1) наведено сили, що діють на механічні домішки із високою густиною у відцентровому полі ротора.

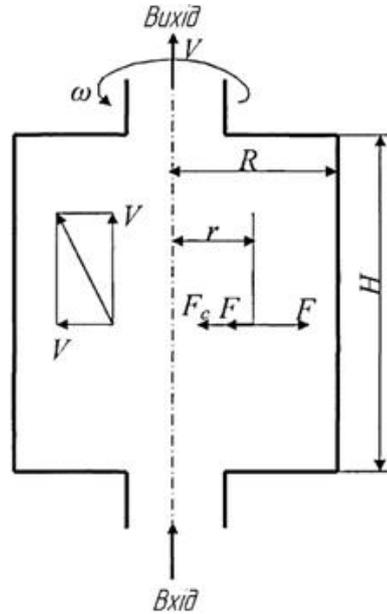


Рисунок 2.1 – Схема очистки масла в циліндричному роторі

Центробіжна сила, яка діє на абразивну частинку визначається із виразу:

$$F_u = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \Delta_q \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (2.1)$$

де: $\frac{\pi \cdot d^3}{6}$ - обсяг абразивної частинки, що має кулькоподібну форму; d - еквівалентний розмір частинки; Δ_q - питома маса частинки; ω - швидкість обертального руху ротора; r - віддалення частинки від осі обертання.

Сила тиску рідини

$$F_p = \frac{\pi}{6} \cdot d^3 \cdot \Delta_p \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (2.2)$$

де Δ_p - масова щільність рідини.

Опірна сила, що гальмує осідання абразивних частинок відповідно до закону Стокса [16]:

$$F_c = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot v_y, \quad (2.3)$$

де v_y - швидкість радіального переміщення частинки до зовнішньої зони ротора під дією відцентрової сили; η - показник динамічної в'язкості робочої рідини.

При рівновазі сил, які впливають на частку, справедлива така залежність:

$$F_y - F_p = F_c, \quad (2.4)$$

Підставлення відповідних величин у рівняння (2.9) дозволяє отримати вираз для швидкості осадження частинок у центробіжному полі.

$$v_y = d^2 \cdot \Delta \omega^2 \cdot r / 18 \cdot \eta, \quad (2.5)$$

де $\Delta = \Delta_y - \Delta_p$ - різниця густин частинки та рідини.

У процесі роботи внутрішній діаметр (r) зменшується через осадження частиць на стінках ротора, що корелює зі зниженням швидкості осадження частиць і, відповідно, ефективності очищення мастила згідно (2.10).

Засмічення фільтра супроводжується забрудненням стінок ротора центрифуги. Таким чином, товщина відкладень дуже велика, що обумовлює зміну моменту інерції ротора:

$$J_{\text{ротора}} = J_{\text{корпуса}} + J_{\text{масла}} + J_{\text{забруднень}}, \quad (2.6)$$

де $J_{\text{ротора}}$ - момент інерції обертального ротора; $J_{\text{корпуса}}$ - інерційний момент корпусу ротора; $J_{\text{масла}}$ - інерційний момент масла в роторі; $J_{\text{забруднень}}$ - момент інерції шару часток забруднень.

Відповідно:

$$J_{\text{масла}} = \frac{m_M \cdot R_M^2}{2} = \frac{\pi \cdot h \cdot (R - \delta)^4 \cdot \rho}{2}, \quad (2.7)$$

де m_M - маса мастила, що міститься в роторі; R_M - радіус шару мастила; h - вертикальний розмір ротора; δ - товщина осаду.

$$J_{\text{забруднень}} = \frac{\pi \cdot h \cdot \rho_3 \cdot (R^4 - (R - \delta)^4)}{2}, \quad (2.8)$$

де ρ_3 - питома маса забруднень.

$$J_{\text{ротора}} = J_{\text{корпуса}} + \frac{\pi \cdot h \cdot (R - \delta)^4 \cdot \rho}{2} + \frac{\pi \cdot h \cdot \rho_3 \cdot (R^4 - (R - \delta)^4)}{2}, \quad (2.9)$$

Інерційний момент корпусу ротора не змінюється у процесі роботи. Момент інерції ротора з урахуванням забруднень визначено на основі наступних параметрів: товщина шару відкладень $\delta = 1 \dots 10 \text{ мм}$, щільність забруднень $\rho_3 = 2660 \text{ кг/м}^3$, радіус масляного шару $R_M = 70 \text{ мм}$; висота ротора $h = 155 \text{ мм}$. Результати розрахунків наведено в (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Залежність моменту інерції ротора центрифуги від товщини шару забруднень

№ з/п	Розмір відкладень $\delta, \text{мм}$	Інерційність ротора $J_{\text{ротора}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	№ з/п	Розмір відкладень $\delta, \text{мм}$	Інерційність ротора $J_{\text{ротора}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
1	0,5	0,0091	11	5,5	0,0109
2	1,0	0,0094	12	6,0	0,0110
3	1,5	0,0096	13	6,5	0,0112
4	2,0	0,0098	14	7,0	0,0114
5	2,5	0,0100	15	7,5	0,0116

Закінчення табл.2.1

6	3,0	0,0101	16	8,0	0,0117
7	3,5	0,0103	17	8,5	0,0118
8	4,0	0,0104	18	9,0	0,0120
9	4,5	0,0105	19	9,5	0,0121
10	5,0	0,0107	20	10	0,0122

Вплив товщини шару забруднень на момент інерції ротора показано на рис. 2.2.

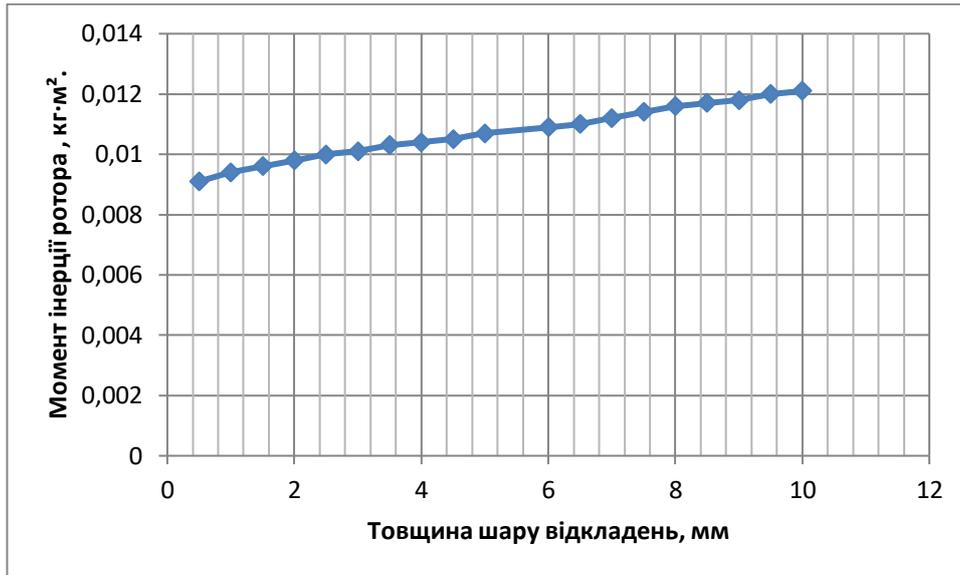


Рисунок 2.2 - Зміна моменту інерції ротора залежно від товщини відкладень.

Зі збільшенням товщини шару забруднень у роторі в діапазоні 1...10 мм його момент інерції зростає від $0,0091 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ до $0,0122 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Це становить приблизно 25% приросту порівняно з чистим ротором і призводить до збільшення часу розгону центрифуги від стану спокою до номінальної частоти обертання, що, у свою чергу, погіршує якість очищення мастильного матеріалу.

Коли ротор обертається рівномірно, прикладений крутний момент компенсується моментом опору. У такій ситуації, згідно із законом збереження моментів імпульса відносно осі, виконується наступна рівність:

$$J_4 \cdot \omega_4 = J_3 \cdot \omega_3, \quad (2.10)$$

де J_4, J_3 - відповідно момент інерції ротора в початковому (чистому) стані та в стані із забрудненням;

ω_4, ω_3 - відповідно кутова швидкість незабрудненого ротора та ротора з відкладеннями.

Тоді

$$\omega_3 = \frac{J_4 \cdot \omega_4}{J_3} = \frac{J_4 \cdot \omega_4}{J_4 + J_{\text{забруднений}}}, \quad (2.11)$$

Звідси рівняння набуває вигляду

$$\omega_3 = \frac{\omega_4}{1 + \frac{J_{\text{забр.}}}{J_4}} = \frac{\omega_4}{1 + \varepsilon}, \quad (2.12)$$

де $\varepsilon = \frac{J_{\text{забр.}}}{J_4}$ - показник забруднення ротора центрифужного фільтра

очищення мастила.

Для оцінювання впливу товщини осадового шару на кутову швидкість ротора виконано розрахунки з використанням таких вихідних даних: товщина шару відкладень ($\delta = 1 \dots 10 \text{ мм}$); ступінь забрудненості ротора ($\varepsilon = 1, 0 \dots 1, 36$); густина забруднень ($\rho_3 = 2660 \text{ кг/м}^3$); радіус масляного шару ($R_M = 70 \text{ мм}$); висота ротора ($R_M = 70 \text{ мм}$). Отримані результати подано у (табл. 2.2) та проілюстровано (рис. 2.3).

Таблиця 2.2 - Вплив шару забруднень на швидкість обертання ротора

№ з/п	Розмір відкладень $\delta, \text{мм}$	Оберти ротора, $n, \text{хв}^{-1}$	№ з/п	Розмір відкладень $\delta, \text{мм}$	Оберти ротора, $n, \text{хв}^{-1}$
1	0,5	5950	11	5,5	4950
2	1,0	5850	12	6,0	4900
3	1,5	5750	13	6,5	4850
4	2,0	5650	14	7,0	4800
5	2,5	5600	15	7,5	4750
6	3,0	5550	16	8,0	4700
7	3,5	5200	17	8,5	4650
8	4,0	5100	18	9,0	4500
9	4,5	5050	19	9,5	4450
10	5,0	5000	20	10	4400

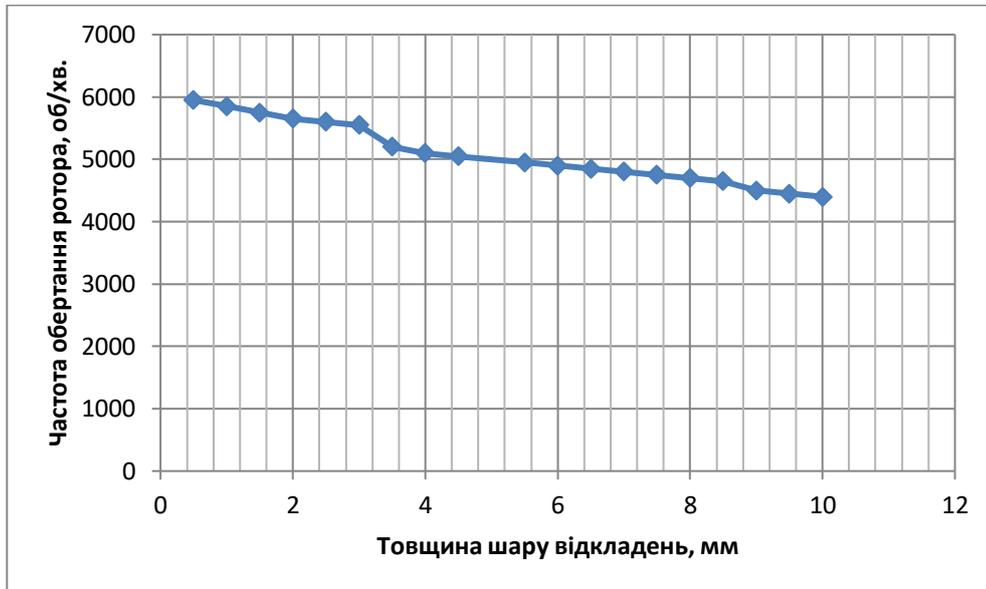


Рисунок 2.3 - Вплив товщини осадового шару на кутову швидкість ротора

Як видно з (рис. 2.3), значне зниження частоти обертання ротора центрифуги спостерігається при збільшенні товщини шару відкладень до $\delta = 3,5 \dots 4,5 \text{ мм}$. При забрудненні ротора до $\delta = 10 \text{ мм}$ частота обертання зменшується на 26,6%, що становить трохи більше 1500 об/хв і відповідає фактичній робочій частоті обертання $n = 4400 \text{ хв}^{-1}$. За такої частоти обертання необхідно провести очищення ротора.

2.2 Теоретичний аналіз ударно-хвильових процесів у пористому фільтрі гідроімпульсної системи

Гідроімпульсний рух оливи забезпечується потоком від основного гідророзподільника (із використанням його другої секції), який спрямовується до двокаскадного двоходового двопозиційного вібробудника, встановленого на зливі даного гідравлічного контуру.

При достатньо високій частоті зворотно-постових переміщень мембрани ресивера із частотою до 150 Гц та амплітудою до 5 мм, в середовищі очищуваного мастила, що протікає по каналах фільтра мають місце неповні гідравлічні удари. При цьому, при переміщенні мембрани ресивера в верх, зростання тиску Δp_{zm} в каналах пористого фільтра можна

знайти за виразом:

$$\Delta p_{zm} = \rho_i \cdot c (v_{i1} - v_{i0}) = \rho_i \cdot c \cdot v_m, \quad (2.13)$$

де ρ_i – щільність очищуваного мастила ОМ; c – швидкість розповсюдження в ньому ударної хвилі; v_{i1} , v_{i0} – середні швидкості мастила в фільтрі до і після прямого переміщення мембрани ресивера; v_m – середня швидкість переміщення мембрани ресивера (приріст швидкості потоку очисного мастила).

Величина c в (2.13) розраховується із виразу:

$$c = 1 / \sqrt{\rho_m / K_m + \rho_m \cdot d_\phi \cdot n_k / \delta_\phi \cdot K_\phi}, \quad (2.14)$$

де K_m , K_ϕ – модулі об'ємної пружності мастила, що очищується і матеріалу керамічного фільтру; δ_ϕ – середня товщина стінок фільтру.

В наслідок високої жорсткості мембрани ($K_\phi \rightarrow \infty$), складовою $\rho_m \cdot d_\phi \cdot n_k / \delta_\phi \cdot K_\phi$ можна знехтувати. Тоді формула для визначення швидкості c прийме вигляд:

$$c = 1 / \sqrt{\rho_m / K_m}, \quad (2.15)$$

Швидкість v_m знаходимо за виразом:

$$v_m = z_{1a} / t_{x.n}, \quad (2.16)$$

де z_{1a} - амплітуда мембрани ресивера; $t_{x.n}$ - час прямого ходу мембрани ресивера, який приблизно відповідає тривалості $t_{н.м}$, етапу набору тиску в робочій камері ресивера і може бути розрахований за виразом:

$$t_{x.n} = t_{н.м} = p_{z1} \cdot W_{ГП} / Q_{Hi} \cdot K_{ГП}, \quad (2.17)$$

де $W_{ГП}$ - об'єм гідросистеми з гідроімпульсним приводом (ГП) в котрому змінюється тиск; Q_{Hi} - подача насоса в контур з гідроімпульсним приводом; $K_{ГП}$ - приведений модуль об'ємної пружності порожнин і каналів $W_{ГП}$, а також робочої рідини в них.

Об'єм $W_{ГП}$ дорівнює сумі мінімального початкового об'єму W_0 гідросистеми ГП та об'єму робочої порожнини ресивера у момент завершення прямого ходу мембрани:

$$W_{ГП} = W_0 + S_m \cdot z_{1a}, \quad (2.18)$$

S_m - площа поперечного перерізу мембрани ресивера.

Значення $K_{ГП}$ можна підрахувати за виразом:

$$K_{ГП} = 1 / \left(\frac{1}{K_{z-p.a.cp}} + \frac{1}{K_n} + \frac{1}{K_g} + \frac{1}{K_m} + \frac{1}{K_p} \right), \quad (2.19)$$

де $K_{z-p.a.cp} = K_{z-p.a1} - K_{z-p.a2}$ - середнє значення адіабатичного модуля об'ємної пружності робочої рідини в об'ємі $W_{ГП}$ при зміні тиску від p_{z1} (максимальний тиск в гідросистемі) до p_{z2} (тиск при якому закривається віброзбудник). Адіабатичний модуль пружності для швидкоплинних процесів $K_{p.a} \approx 1,5K_p$, а об'ємний модуль пружності газорідинної суміші визначають так [16]:

$$K_{z-p} = \frac{K_p \left(\frac{W_p}{W_z} + 1 \right)}{\frac{W_p}{W_z} + K_p \frac{p_0}{p_{z1}^2}}, \quad (2.20)$$

де K_p - модуль пружності рідини, що не містить повітря; W_p , W_z - відповідно, об'єми рідинної та газової фаз за атмосферного тиску p_0 .

K_n , K_v , K_m , K_p - відповідно приведені модуль об'ємної пружності стінок каналів і порожнин насоса, віброзбудника, мембрани ресивера, розподільчастої порожнини до якої в стик приєднано віброзбудник ресивера, які визначаються за виразом:

$$K_{np} = K_{mat} \cdot \delta / d, \quad (2.21)$$

де K_{mat} - модуль об'ємної пружності матеріалу каналу або порожнини; δ , d - товщина її стінки і діаметр.

Величина $t_{n.m}$ може бути наближено розрахована як половина періоду T_y спрацювання ГПП, котрий в свою чергу, залежить від частоти ν коливань мембрани ресивера:

$$t_{n.m} = 1/2 \cdot \nu, \quad (2.22)$$

Підставивши залежності (2.15), (2.16) і (2.22) до виразу (2.14) отримаємо:

$$\Delta p_{zm} = 2 \cdot \nu \cdot z_{1a} \sqrt{K_m \rho_m}, \quad (2.23)$$

Визначимо значення Δp_{zm} для робочих рідин і конструктивних параметрів установки, що розглядається при фільтруванні з її допомогою

мастила МГ-46-В, яке широко застосовується останнім часом в гідроприводах мобільних машин, що представляє практичний інтерес його регенерації і повторне використання в гідросистемах.

Із виразу (2.20), для адіабатичного модуля об'ємної пружності мастила МГ-46-В: $K_{м.а} = 1,5 \cdot 1,33 \cdot 10^9 = 1,995 \cdot 10^9 \text{ Па}$ [16], при наявності в мастилі, що очищується 0,003% нерозчинного повітря і $p_{г1} = p_{ном} = 0,2 \text{ МПа}$

$$K_m = \frac{1,995 \cdot 10^9 \left(\frac{9,997}{0,003} + 1 \right)}{\frac{9,997}{0,003} + 1,995 \cdot 10^9 \frac{101300}{(0,2 \cdot 10^6)^2}} = 1,732 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

Розрахуємо щільність очисного мастила ρ_m з врахуванням підвищення його робочої температури $\Delta t = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ [7]

$$\rho_m = \frac{\rho_{m20}}{1 + 8 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta t}, \quad (2.24)$$

де ρ_{m20} - щільність мастила марки МГ-46-В при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\rho_m = \frac{850}{1 + 8 \cdot 10^{-4} \cdot 5} = 846,6 \text{ кг/м}^3$$

Підставимо розраховані K_m і ρ_m до виразу (2.23) враховуючи, що $\nu = 60 \text{ Гц}$ і $z_{1a} = 2 \text{ мм}$ отримаємо:

$$\Delta p_{зм} = 2 \cdot 60 \cdot 0,002 \sqrt{1,732 \cdot 10^9 \cdot 846,6} = 290621 \text{ Па} \approx 0,3 \text{ МПа}.$$

Таким чином, створення в контурі для тонкої очистки робочої рідини, яка походить через металокерамічний фільтр, ударних хвиль, напружень і деформацій забезпечує періодичне підвищення в ньому тиску в 2,5 рази, а відповідно і зростання продуктивності робочого процесу в середовищі де очищується рідина.

Слід урахувати, що ефективність запропонованого способу може бути ще вищою, оскільки значення Δp_{zm} визначалося при частоті $\nu = 60$ Гц, а залежність Δp_{zm} від частоти є прямо пропорційною. Водночас ГП установки забезпечує регулювання ν у межах $0 \dots 150$ Гц, тому періодичне підвищення тиску в гідравлічному контурі порівняно з $p_{ном}$ може становити до 4 разів.

Крім того, на етапах переміщення мембрани ресивера вгору зростає і швидкість потоку очищеного мастила у каналах мембрани. З урахуванням формул (2.14, 2.16, 2.22) та подачі Q_{Hi} насоса її наближене значення можна розрахувати як:

$$v_m = v_{m0} + v_n = \frac{4 \cdot Q_H}{\pi \cdot d_m^2} + 2z_{1a} \cdot \nu = \frac{4 \cdot 0,00077}{3,14 \cdot 0,0025^2 \cdot 39} + 2 \cdot 0,002 \cdot 60 \approx 4,26 \text{ м/с}$$

Отримані результати показали, що швидкість руху рідини в контурі під час імпульсного очищення на 6% перевищує її швидкість при звичайній, безударній фільтрації.

Теоретично високу ефективність запропонованого способу можна пояснити таким чином. Під час проходження по каналах фільтра чергової ударної хвилі підвищеного тиску Δp_{zm} , на частинки осаду, що утворюється на внутрішніх поверхнях мембрани, діють стискальні напруження. Це спричиняє істотне зменшення сил тертя між ними, руйнування зведень із частинок, зменшення товщини шару осаду та забивання пор фільтра. Відповідно, забезпечується вища і стабільніша в часі, порівняно з поточною безударною фільтрацією, продуктивність робочого процесу. Крім того, гідроімпульсне (а отже й віброударне) навантаження робочої рідини створює умови для її коагуляції, що також сприяє більш інтенсивній регенерації.

Висновки по розділу.

1. Внаслідок осадження частинок на стінках ротора внутрішній діаметр (r) зменшується, що пропорційно знижує швидкість осадження часток і, як наслідок, зменшує ефективність очищення мастила.

2. Зі збільшенням товщини шару забруднень у роторі в діапазоні 1...10 мм, момент інерції зростає з $0,0091 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ до $0,0122 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, що на 25% перевищує значення для чистого ротора. Це призводить до подовження часу розгону центрифуги від стану спокою до номінальної частоти обертання, що негативно впливає на ефективність очищення мастила.

3. При забрудненні ротора центрифуги до $\delta = 10 \text{ мм}$ зменшення частоти обертання ротора дорівнює 26,6%, що відповідає близько 1500 хв^{-1} і обумовлює фактичну частоту обертів ротора до 4400 хв^{-1} при якій необхідна очистка фільтра.

4. Реалізацію гідроімпульсного режиму руху рідини в контурі тонкої фільтрації, що досягається застосуванням двокаскадного двоходового двопозиційного віброзбудника з частотою коливань до 150 Гц. дозволяє періодичне підвищення в ньому тиску в 2,5 рази, і відповідно швидкості руху рідини на 6% при звичайній, безударній фільтрації.

5. Застосування гідроімпульсних ударних хвиль у фільтраційному контурі забезпечує періодичне руйнування осаду на стінках фільтра та зменшення забивання його пор, що суттєво підвищує та стабілізує продуктивність очищення. Додатково віброударний вплив сприяє коагуляції забруднень, завдяки чому інтенсивність регенерації робочої рідини зростає

3. МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Методика оцінки вмісту механічних забруднень у робочій рідині гідросистеми

Технічний стан робочих рідин гідроприводів сільськогосподарських мобільних проводиться як в лабораторних умовах, так і з використанням різних приладів.

Для контролю технічного стану рідини розроблено пристрій для вимірювання кількості механічних домішок у промислових рідинах, таких як вода, рідкі палива, масла та охолоджуючі рідини, а також кількості та відносного вмісту води в мастилі [17].

Програмно-апаратний блок, блок спектрального аналізу, ПЗС-фотоприймач (камера RPі3) і фотодіод для фіксування довжини спектра є компонентами пристрою. Рисунок 3.1 показує схему пристрою.

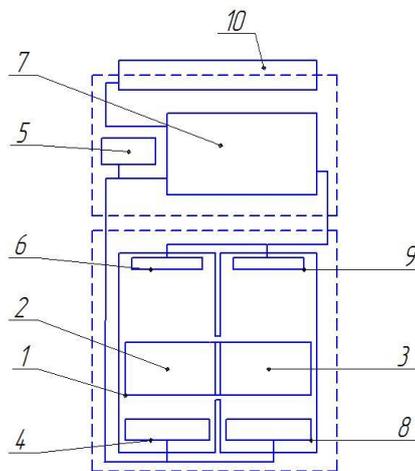


Рисунок 3.1 - Схема пристрою для дослідження забрудненості робочих рідин: 1 – кювета; 2, 3 – ємності кювети; 4 – елемент підсвітки; 5 – підсистема живлення; 6 – ПЗС-фотоприймач; 7 – міні-комп'ютер Raspberry Pi; 8 – ІЧ-діод; 9 – інфрачервоний фотодіод; 10 – візуальний інтерфейс пристрою

Цей пристрій працює таким чином. Оливу заливають у кювету 1, яка містить дві ємності для оливи 2 і 3, а потім встановлюють у пристрій, який використовується для фізичного вимірювання кількості абразивних частинок. Елемент підсвітки 4 отримує живлення від модуля живлення 5, опромінює оливу та фіксується ПЗС-фотоприймачем 6, який розташований над кюветою 2. Інформація передається фотоприймачем 6 на міні-комп'ютер Raspberry Pi 7, де застосовується програмні засоби для опрацювання даних.

Коли електронно-програмний модуль отримує цифровий файл у формі фотографії кюветки з оливою, він аналізує його та перетворює на бінарний код, як показано на (рис.3.2) де використовує тіні для аналізу кожної знайденої частинки.



Рисунок 3.2 – Зображення вікна для дослідження оливи методом фотозйомки

При аналізі розмірів тінювих п'ятен, система класифікує їх за діапазонами відповідно до заданої бази даних. Програма підраховує кількість п'ятен у кожному діапазоні та конвертує результати за класами стандартів. Остаточний результат визначається за найвищим значенням класу стандарту. Після завершення аналізу прилад надає можливість переглянути результати у вигляді конвертованих значень за стандартами (ДСТУ та ISO) та графічного аналізу світлих п'ятен, що відповідають частинкам абразиву.

Зовнішній вид приладу для визначення абразивних та водяних домішок у робочій рідині наведено на (рис. 3.3).



Рисунок 3.3. - Загальний вид приладу для контролю робочої рідини на домішки абразиву та води : 1 – ємність для оливи; 2 – корпус приладу; 3 – кнопки; 4 – дисплей LCD 2004

Переносний прилад дозволяє проводити контроль робочої рідини як у лабораторних, так і в експлуатаційних умовах. Дослідження здійснюється за двома методами: визначення абразивних домішок відповідно до ДСТУ 17216-2001 та ISO 1638, а також визначення вмісту води у відсотках на 1 мл оливи. Управління приладом здійснюється через три програмно-апаратні кнопки, що забезпечує точне та повторюване проведення вимірювань.

Після ввімкнення дисплея з'являється меню. Оператор вибирає функцію аналізу оливи на домішки абразиву або води, і програмно-апаратна складова робить аналізи мастила згідно вибраної функції.

Результати аналізу проб оливи, відібраних під час транспортування, зберігання та заправки, були статистично оброблені, щоб визначити характер забруднення робочих рідин.

Для оцінки використовуються три показники: масова концентрація забруднень, гранулометричний (дисперсний) склад забруднень і масова концентрація води.

3.2 Методи визначення корозійних властивостей регенованого мастила

Методика, описана в ДСТУ 20502-75, використовувалася для визначення корозійності робочих рідин гідравлічних систем, які були очищені. Суть методу полягає в тому, щоб виміряти зміну ваги металевих пластин, на які періодично впливає випробуваний продукт, а також повітря при нагріванні до температури $(90 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Для проведення випробувань використовувався пристрій марки ДК-НАМИ; лабораторні ваги з похибкою не більш 0,0002 г; свинцеві пластинки марок С1 або С2 розміром 24,5 мм і по товщині 1 мм, з отвором у центрі пластин розміром 4,5 мм (площа 10 см²); і термометри марки ТН7 або ТН1-2.

Для проведення випробувань використовується наступна процедура. Пристрій ДК-НАМИ встановлюють горизонтально у витяжній шафі. Заливши необхідну кількість термостатуючої рідини в термостат, кришку закривають і вставляють термометри. Ці термометри підтримують температуру пристрою на рівні $(90 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Термостатуючу рідину нагрівають до температури, яка на 5–8 градусів вище температури випаровування.

Пластини зі свинцю маркують, проводять притирання тампоном який змочений бензолом, просушують і полірують сукном, щоб вони мали блиск. Після цього пластини очищають бензолом, росушують при кімнатній температурі та зважують із відхиленням не більше 0,0002 г.

Випробування тривають на протязі десяти годин за температури $(90 \pm 1) ^\circ\text{C}$. У дві колби набирають проби випробуваної рідини вагою $36,5 \pm 0,1$ г. і закріплюють в них підготовлені свинцеві пластини. Приготовлені колби з пластинками встановлюють у прилад таким чином, щоб їх горла були відкриті для доступу повітря. Потім включають прилад і засікають час початку випробування.

Після завершення випробування з приладу виймають колби з випробуваною рідиною та свинцеві пластинки. Пластинки за допомогою

пінцета опускають до ємкості з бензином де їх очищують поки на фільтрувальному папірці не залишаться масляні плями.

Коли на пластинках є наліт від корозії, він ретельно знімається обережно тампоном, який замочено бензином, а потім знову очищають. Після очищення пластини сушать на повітрі за кімнатної температури на фільтрувальному папері та зважують із похибкою не більше 0,0002 г.

3.3 Методика визначення точки спалаху робочої оливи

Однією з основних характеристик є температура спалаху, яка показує здатність нафтових продуктів та інших горючих речовин загоратися за певної температури при наявності відкритого полум'я. Фізика процесу ґрунтується на тому, що тигель разом з зразком нагрівають за певної швидкості, а полум'я газового пальника підводиться до зразку через визначені стандартом проміжки температури. Температура спалаху - це найнижча температура, при якій пара досліджуваної речовини запалюється.

Дослідження проводиться за допомогою апаратів марки ТВО (ТВ-2), що вимірюють температурні спалахи при відкритому тиглі. Вони дають результати в межах відхилень. Перед експериментом пробу оливи ретельно перемішують, а потім її фільтрують.

Для підготовки апарату його потрібно розташувати в горизонтальному положенні з відсутністю руху повітря, і спалах має бути добре видимим. Апарат із трьох сторін захищають екранами або щитами. Перед кожним випробуванням пристрій прохолоджують. Після кожного тесту тигель потрібно промити розчинником. Металева щітка використовується для видалення вуглецевих відкладень.

Після цього тигель просушують на гарячій електроплиті або відкритому полум'ї після його очищення холодною дистильованою водою. Тигель охолоджують до температури, яка нижче температури спалаху і встановлюють в апарат. Термометр поміщають у тигель у вертикальному

положенні, на відстані 6 мм від днища і на однаковій відстані від стін і центру тигля.

Під час тесту тигель заповнюють рідиною за умови збігання верхнього меніску з міткою. З поверхні проби видаляються повітряні пухирці. Стінка тигля не повинна змочуватися вище рівня рідини.

Спочатку тигель нагрівають полум'ям газового пальника зі швидкістю 14–17 °С за хвилину. Швидкість нагрівання встановлюють так, щоб підвищення температури нафтопродукту відбувалося зі швидкістю 5–6 °С/хв, причому режим регулюють у момент, коли температура зразка наближається до значення, на 56 °С нижчого за очікуваний температурний спалах.

Полум'я налаштовують таким чином, щоб воно було приблизно 4 мм за діаметром. Його можна порівняти з лекалом, який вмонтовано в апарат. Застосовують запальний пристрій, щоразу підвищуючи температуру проби на 2 градуси, починаючи з температури, яка становить не менше 28 градусів нижче температури спалаху.

Полум'я рухається в горизонтальній площині, не зупиняючись над краями тигля, а потім рухається в у напрямку його центра протягом однієї секунди. Полум'я рухається у зворотному напрямку, коли температура підвищується в наступному періоді. Температуру, яку можна визначити як температуру спалаху, можна визначити за допомогою термометра, який виявляє перше синє світло над частиною або всією поверхнею випробуваного нафтопродукту.

3.4 Методика вимірювання товщини масляного шару робочої рідини

Присутність масляної плівки показує, наскільки добре олива змащує пари тертя в певних умовах. Швидкість спрацювання деталей з'єднань та інших компонентів залежить від її товщини. З цієї причини потрібно визначити товщину масляної плівки у робочих рідин, які втратили свою ефективність і були відновлені шляхом відцентрового очищення.

У роботі для визначення товщини масляної плівки, що адсорбується на металевих поверхнях, застосовано «метод стопи» [17]. Проте замість пластин використовувалися кулі, що дозволило зменшити вплив забруднень та контактної-гідродинамічний ефект (рис. 3.4).

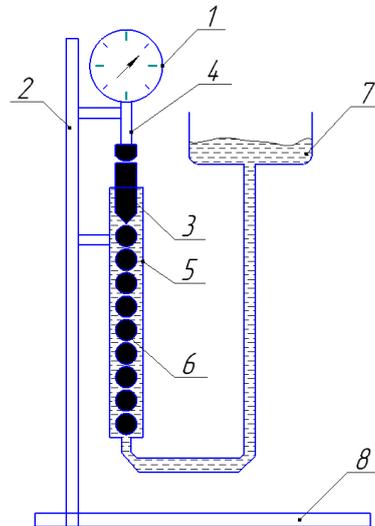


Рисунок 3.4 – Схема пристрою для вимірювання товщини масляної плівки: 1 – індикаторна головка; 2 – стійка; 3 – груз; 4 – рушій; 5 – скляний резервуар; 6 – кульки; 7 – резервуар; 8 – основа

Прилад складається з основи 8 зі стійкою 2, на яку встановлюється скляний резервуар 5 з діаметром 7,9 мм. Кульки 6 через рушій 4 навантажуються грузом 3. Олива подається через резервуар 7. Сумарну товщину мастильної плівки фіксує індикаторна головка 1. Значна кількість кульок з достатньою точністю відтворює якість результатів.

За даними роботи [14], очікувана товщина масляної плівки знаходиться в межах 0,025...0,65 мкм при напрузі в контакті 500 МПа. Звідси загальна товщина плівки на кулях дорівнюватиме

$$h_n = 2(n + 1) \cdot \delta, \quad (3.2)$$

де n - кількість кульок; δ - адсорбований шар мастила на кулі.

Рівень помилок індикаторної головки однаковий 1 мкм. Враховуючи мінімальну товщину плівки та похибку головки часового типу, найменше число кульок визначиться:

$$n_{шт} = \frac{h_n}{2\delta} - 1 = \frac{1}{2 \cdot 0,025} - 1 = 19_{шт.}$$

Інтегральна товщина плівки на кульках визначалась за допомогою розрахунку різниці між висотою стопи кульок у робочій рідині та сухих кульок. Кулі та внутрішню поверхню склянки ретельно промивали бензином і теплою водою з мийними засобами, обполіскували дистильованою водою та висушували в сушильному шафі.

Для експерименту застосовувались робочі рідини в стані постачання. Для зменшення впливу забруднень їх додатково очищали мембранними фільтрами МФАС-3 з розміром пор – 3 мкм.

Кульки змочувалися очищеними робочими оливами за різних температурах. Вимірювання товщини масляної плівки проводилися через визначені проміжки часу. Для регенерації відпрацьованих олив використовувалася установка, гідравлічна схема якої наведена на (рис. 3.5).

3.5 Установка для дослідження процесів очищення і відновлення робочих рідин

Результати випробувань, виконаних підприємствами-виробниками для контролю технічного стану гідравлічного обладнання, засвідчили основні чинники порушення його нормальної роботи: використання забруднених мастил, застосування засмічених фільтрувальних елементів та несвоєчасна заміна робочої рідини. Такі порушення спричиняють інтенсивне зношування деталей гідроагрегатів і, відповідно, зменшення їхнього ресурсу. Тому для запобігання цим проблемам необхідне застосування установок для очищення робочих рідин гідравлічних систем. Для відновлення технічних характеристик відпрацьованих гідравлічних олив розробляється конструкція установки, призначеної для їх очищення від неорганічних домішок (продуктів зношування пар тертя, зовнішніх абразивних частинок тощо). Крім того, у разі втрати рідиною своїх мастильних (протизадирних, протизносних) та експлуатаційних властивостей (в'язкість, стисливість, схильність до спінювання тощо), установка має забезпечувати можливість їх

відновлення. Її загальний вид представлено на (рис.3.5), а гідравлічну схему на (рис.3.6).

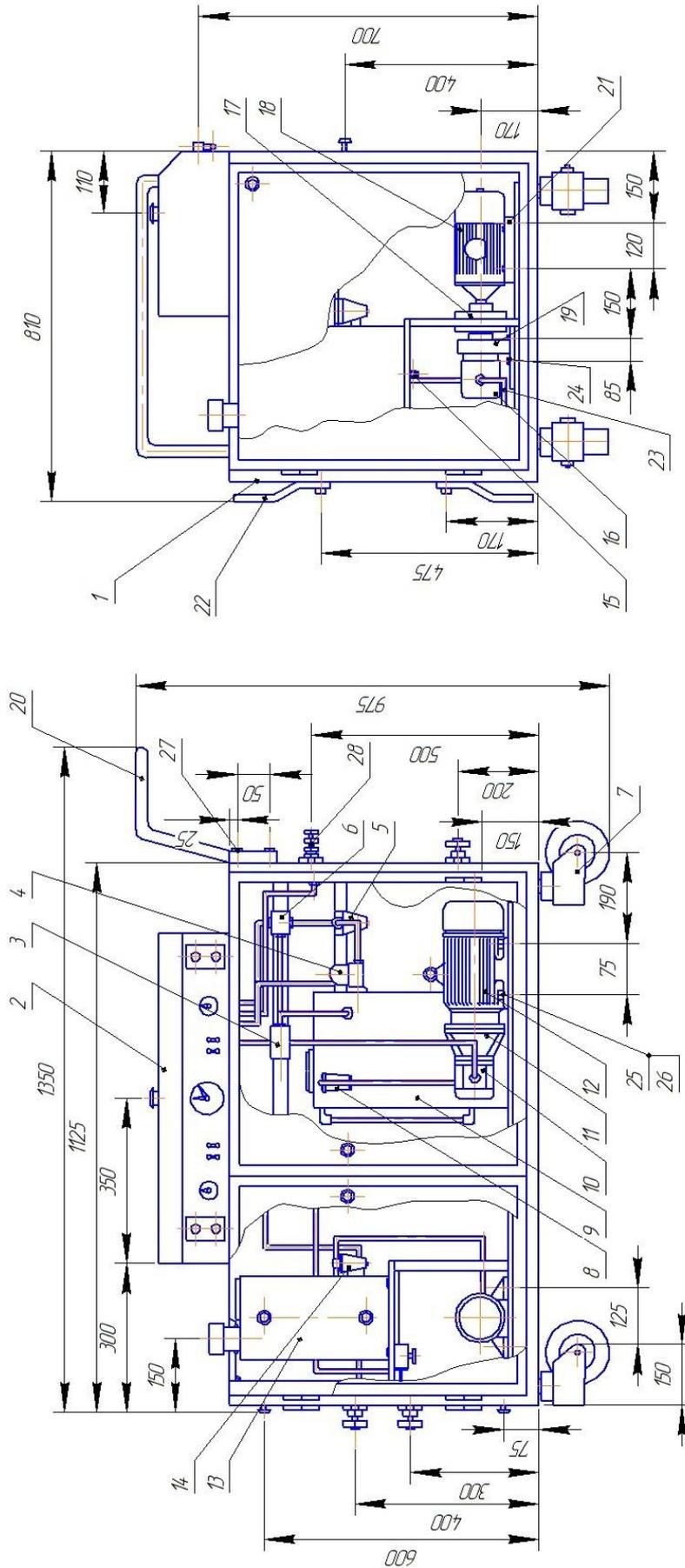


Рис. 3.5 – Установа для відновлення відпрацьованих робочих рідин :

1- каркас; 2- пульт керування; 3- клапан запобіжний; 4- фільтр центробіжний; 5- фільтр тонкої очистки; 6 - коробка розподільна; 7- колесо поворотне; 8, 14 - фільтр забірний; 9, 13 -бак гідравлічний; 10, 16- насос шестеренний; 11 – картер; 12, 18 – електродвигун; 15 – кран зливний; 17- муфта; 19- стійка; 20- ручка; 21- плита; 22 – вилика; 23 – рукав гідравлічний; 24, 25, 26, 27 – болтові з'єднання; 28 – муфта гідравлічна

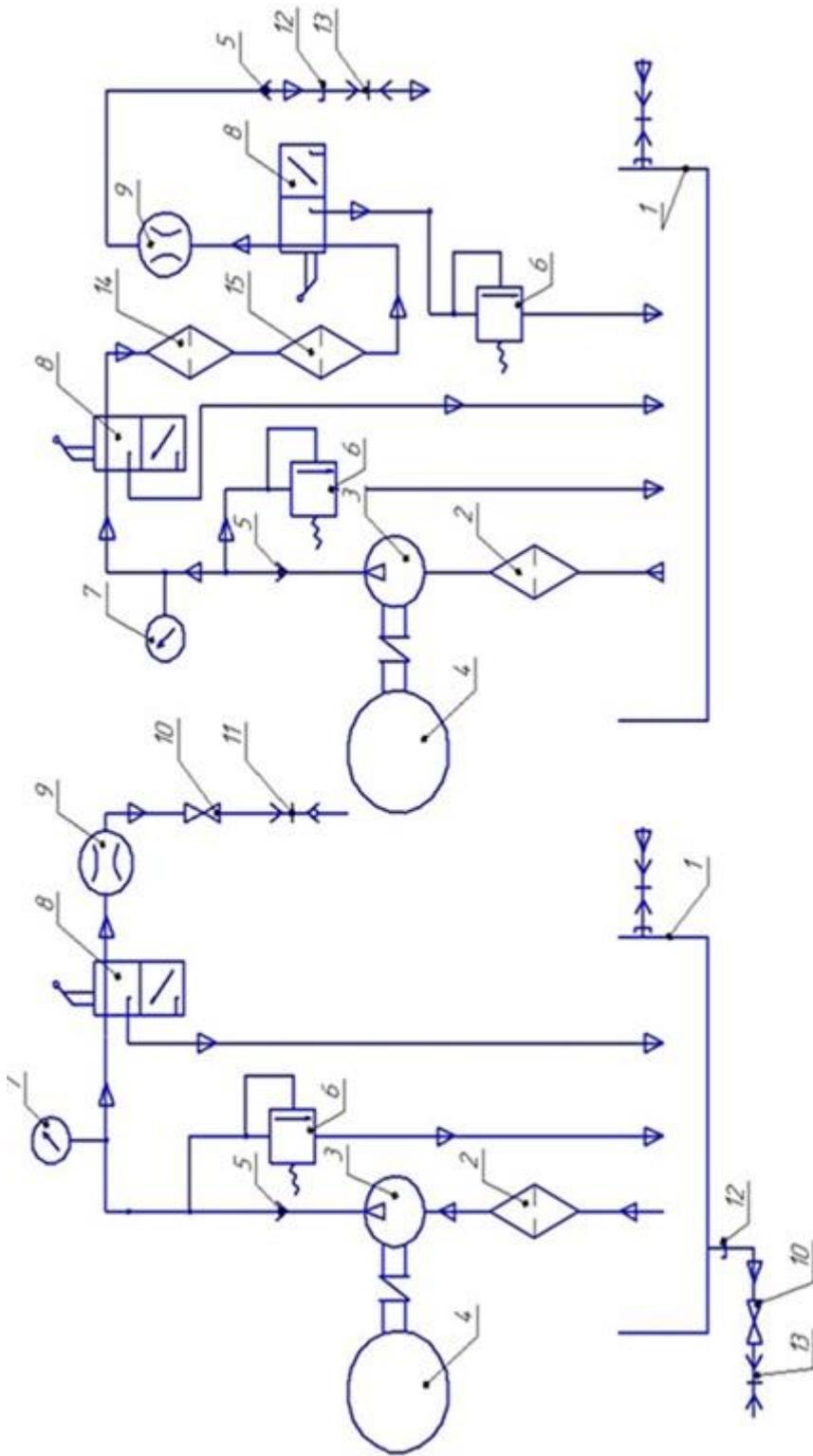


Рис. 3.6. Гідравлічна схема установки :

- 1.Бак; 2. Фільтр сітчатий; 3.Насос шестеренний; 4.Електро двигун; 5.Клапан зворотній;
 6.Клапан запобіжний; 7.Манометр; 8.Кран розподільний; 9.Лічильник; 10. Кран;
 11.Швидкозмінна муфта зі зворотнім клапаном; 12. З'єднання штецерне різьбове;
 13. Швидкозмінна муфта; 14. Центрифуга; 15. Фільтр тонкої очистки.

Перший контур призначений для видалення з відпрацьованих мастил нерозчинних частинок та продуктів зношування. До його складу входить бак 1, з якого робоча рідина через забірний фільтр 2 подається насосом 3, що приводиться в дію електродвигуном 4. Далі рідина проходить через зворотний клапан 5 і надходить до гідророзподільника 8. У нейтральному положенні його важеля потік спрямовується через запобіжний клапан 6 назад у бак 1.

Коли важіль розподільника 8 встановлено в режим «очистка», рідина спрямовується до центробіжного фільтра 14, де видаляються частинки розміром понад 40 мкм. Після цього потік надходить у сітчастий фільтр тонкого очищення 15, який затримує механічні забруднення розміром 5–10 мкм.

Коли важіль розподільника 8 встановлений у положення «очистка», насос 3 подає потік робочої рідини до фільтрів 14 і 15, після чого вона через запобіжний клапан 6 повертається в бак 1. Таким чином забезпечується циркуляція рідини в замкненому контурі, де вона проходить послідовне очищення відповідно до схеми розташування фільтрів: «забірний фільтр – центробіжний фільтр – пористий фільтр». Така послідовність дає змогу ефективно вилучати з рідини абразивні частинки розміром до 10 мкм, що дозволяє відновити технічний стан робочої рідини до рівня нового мастила.

За умови після видалення неорганічних домішок рідина зберігає мастильні властивості, ручка розподільника 8 переводиться в положення «заправка», а очищена рідина через фільтри 14 і 15 надходить до лічильника 9 і далі в ємності для зберігання готового мастила.

Якщо необхідно відновити мастильні властивості очищеного від механічних домішок мастила, перший гідравлічний контур через швидкоз'ємні муфти 13 з'єднують із гідравлічним баком 1 другого контуру установки.

Другий контур призначений для видалення продуктів окиснення та розкладання шляхом обробки коагулянтами з подальшим відстоюванням, а

також для введення багатофункціональних присадок і компаундування з базовим маслом при необхідності відновлення кінематичної в'язкості.

Він містить бак 1, з якого через забірний фільтр 2 насос 3, приводний електродвигуном 4, подає робочу рідину через зворотний клапан 5 до гідророзподільника 8. У нейтральному положенні ричага рідина повертається через запобіжний клапан 6 до баку 1. При переведенні ричага 8 у перше положення потік спрямовується до баку 1 для перемішування та обробки, наприклад лужними розчинами.

Після відновлення мастильних властивостей рідини ручка розподільника 8 переводиться в положення «заправка», і регенерована рідина через лічильник 9, кран 10 та швидкоз'ємну муфту 11 надходить до ємності для зберігання. Тиск у гідравлічній системі контролюється манометром 7.

Мобільність установки на колісному ході (рис. 3.5) дозволяє використовувати її на різних робочих місцях для обслуговування автомобілів із заміною мастила в системі змащення двигуна відповідно до технологічного ланцюга.

3.6 Методика гідроімпульсної очистки в контурі тонкого очищення

Для забезпечення якості очистки гідравлічних рідин пропонується двухконтурна система очистки, яка забезпечить очищення робочих рідин від неорганічних домішок (продукти спрацювання пар тертя в гідроагрегатах, залишкові абразивні забруднення в рідині та ін.) в відповідності до 14-17 –го класу чистоти.

Перший контур гідравлічної схеми призначається для видалення із відпрацьованих робочих рідин нерозчинних домішок і продуктів зношування з значною щільністю. До його складу входить насосна станція, яка включає в себе забірний фільтр, насос і гідророзподільник, який розподіляє потоки рідини по гідравлічним контурам установки.

Потік рідини в першому контурі потрапляє до відцентрового фільтра, де 80 % рідини очищається від фракцій розміром від 20-40 мкм та більше, і

поступає до другого контуру тонкої очистки рідини, а 20 % оливи, що забезпечують гідро реактивний рух ротора центрифуги зливається до баку. Максимальна частота обертання ротора центрифуги знаходиться в інтервалі 5000-7100 хв⁻¹ за рахунок створення перепаду тиску в інтервалі 0,2-0,6 МПа.

Очищена рідина з першого гідравлічного контуру потрапляє до другого, який складається з металокерамічної мембрани типу «Pall Membralox», яка включає в себе підкладку з $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (альфа-оксид алюмінію) і фільтруючий шар з діоксиду цирконію і діоксиду титану. Довжина фільтра - 300 мм з кількістю каналів – 37 та розмірами пор в інтервалі 0,8 - 1,4 мкм (рис.3.7) [18].

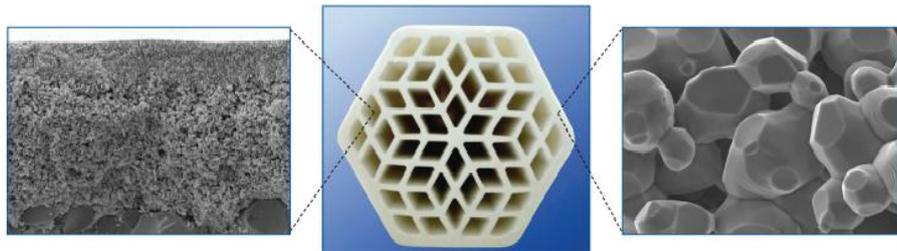


Рисунок 3.7 - Структура та електронна мікрофотографія внутрішнього і зовнішнього шарів мембрани «Membralox» [18]

Така конструкція фільтра (рис.3.7) забезпечує градієнт пористості: великі пори внутрішнього шару знижують гідравлічний опір і підвищують міцність, тоді як дрібні пори периферійного шару ефективно затримують тверді частинки забруднень. Це конструктивне рішення підвищує ефективність очищення мастил і стійкість фільтра до закупорювання.

Тонка фільтрація рідини здійснюється під тиском 0,2 МПа, який створюється кранами, що встановлюються на вході і виході із фільтра і контролюється манометром.

Від центрифуги очищена рідина в безперервному режимі подається під заданим тиском до металокерамічної мембрани, де проходить через пори в її стінках, фільтрується і стікає до корпусу фільтра, а з нього в бак для очищеного мастила. Мастило, що не пройшло через мембранну очистку подається повторно по трубопроводу на вхід до фільтра.

Гідроімпульсний рух оливи забезпечується потоком від основного гідророзподільника (із використанням його другої секції), який спрямовується до двокаскадного двоходового двопозиційного вібробудника, встановленого на зливі даного гідравлічного контуру. Потік рідини проходить через спеціальний ресивер із прорезиненою перегородкою, виготовленою з маслостійкої гуми. Верхня камера ресивера з'єднана з каналом робочої рідини, що подається на контур тонкої фільтрації, і оснащена пружиною, яка створює зусилля на мембрану, забезпечуючи її переміщення до нижнього положення

Нижня камера ресивера з'єднана з потоком рідини, який діє на неї відповідно до налаштувань вібробудника і через мембрану формує імпульсний потік у контурі тонкої фільтрації. Пружина, розташована у верхній частині ресивера, забезпечує прискорене опускання мембрани після кожного імпульсу. У результаті прорезинена мембрана здійснює зворотно-поступальний рух із частотою до 150 Гц та амплітудою до 5 мм, параметри якого можна безступенево регулювати.

Наявність імпульсного руху рідини, що циркулює каналами тонкого фільтра з металокерамічною мембраною, спричиняє утворення в потоці ударних хвиль, пульсацій тиску, локальних напружень і деформацій, а також періодичне зростання тиску та швидкості руху оливи.

Крім того, гідроімпульсний режим потоку істотно зменшує закупорювання пор у фільтрувальному елементі, підвищуючи стабільність продуктивності процесу тонкої очистки рідини.

Висновок по розділу.

Запропонована конструкція установки призначена для очищення робочих рідин від неорганічних домішок (продуктів зносу пар тертя в гідроагрегатах, зовнішніх абразивних забруднень тощо) та, у разі втрати рідиною її мастильних властивостей (протизадірної стійкості, протизносності) і експлуатаційних характеристик (в'язкості, стискаємості, спінювання тощо), забезпечує їх відновлення.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ НАУКОВО ОБҐРУНТОВАНИЙ АНАЛІЗ

4.1 Оцінка технічного стану робочої рідини гідросистем мобільної техніки

При аналізі надійності агрегатів гідравлічної системи ключове значення має технічний стан робочої рідини. Це зумовлено двома факторами: по-перше, технічні умови експлуатації регламентують клас чистоти рідини, який не повинен перевищувати 13–14; по-друге, деталі качаючих вузлів функціонують у масляних ваннах із значним вмістом механічних домішок, що призводить до спрацювання та зношення. Отже, контроль складу механічних домішок у робочій рідині є практично важливим для забезпечення надійності системи.

Для визначення вмісту механічних домішок у робочій рідині гідроприводу було відібрано 25 проб з корпусів агрегатів (гідророзподільника, насоса, гідроциліндра) перед їх розбиранням, напрацювання яких становило від 10 до 2000 мотогодин. Інформація про технічний стан фільтруючих елементів отримувалася безпосередньо на тракторах під час проведення планових технічних обслуговувань. Ось більш стислий варіант:

Дані про стан рідини наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Інтервальний статистичний розподіл механічних забруднень робочої рідини

Межі часткових інтервалів, МВ	0... 0,015	0,015.. 0,030	0,030.. 0,045	0,045.. 0,060	0,060.. 0,075	0,075.. 0,090	0,090.. 0,105
Середини інтервалів X_i , мм	0,0025	0,0225	0,0375	0,0525	0,0675	0,0825	0,0975
Частоти, m_i	2	7	8	4	2	1	1
Дослідна ймовірність, m_i/N	0,08	0,28	0,32	0,16	0,08	0,04	0,04
Нагромаджена дослідна ймовірність, $\sum m_i/N$	0,08	0,36	0,68	0,84	0,92	0,96	1

Дослідження показали, що вміст механічних домішок у робочих рідинах коливався від 0,006 % до 0,102 % за масою, що перевищує допустимі технічні норми для експлуатації гідравлічних приводів.

Математична обробка результатів показала, що розподіл проб за вмістом механічних домішок у робочій рідині підпорядковується нормальному закону і може бути апроксимований функцією:

$$\phi(x) = \frac{1}{0,0218 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x-0,0395)^2}{2 \cdot 0,0218^2}}, \quad (4.1)$$

Розподіл механічних домішок у пробах робочої оливи показано на рис. 4.1.

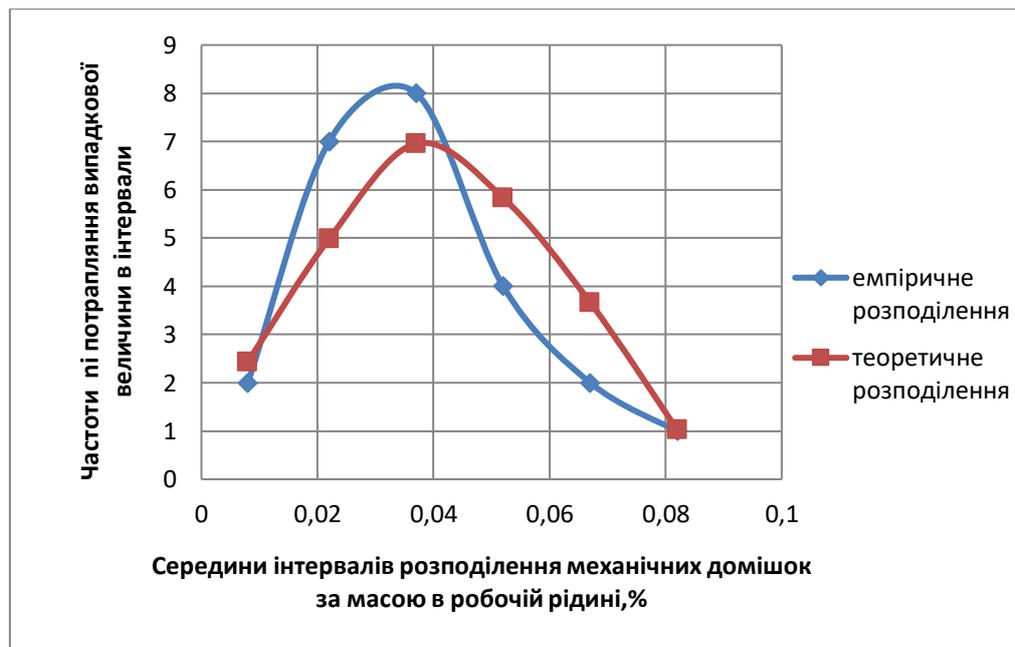


Рисунок 4.1 – Полігон розподілу механічних домішок у робочій рідині за масою

Детальний аналіз показує, що близько 30 % гідравлічних агрегатів працюють на робочому мастилі з забрудненістю 0,020–0,045 % за масою, що відповідає 15–16 класу чистоти за числом частинок. У такому мастилі кількість забруднень розміром 100–200 мкм становить 800–1600 одиниць, а волокон — 160–315 одиниць на об'єм рідини.

Експлуатація гідравлічних машин на робочих рідинах такого класу чистоти суттєво прискорює зношення деталей прецизійних спряжень, збільшує об'ємні втрати рідини та може призвести до ресурсної або аварійної відмови гідравлічної системи через заклинювання деталей.

Відсутність залежності забруднення рідини від наробітку свідчить, що на склад механічних домішок впливають умови зберігання мастил, спосіб заправлення гідросистем та якість технічного обслуговування. Це підтверджується аналізом технічного стану мастил, який показує перевищення допустимого вмісту механічних домішок за масою.

4.2. Результати визначення корозійності відновлених робочих рідин

Очищена робоча рідина включає в себе компоненти як неорганічного, так і органічного походження, тому необхідно визначити корозійний вплив їх на деталі гідравлічних агрегатів. Результати досліджень на корозійність свинцевих пластин представлено на (рис 4.2).

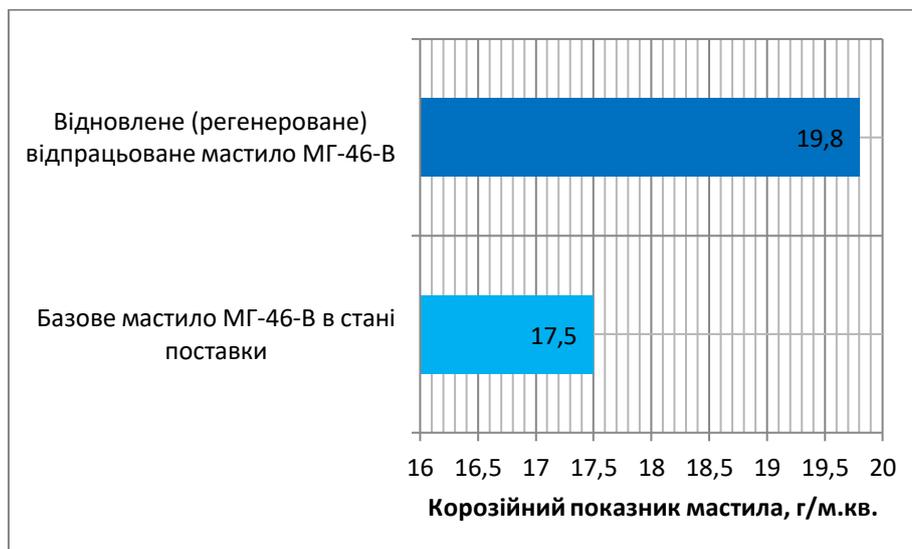


Рисунок 4.2 – Гістограма корозійності робочих рідин: 1 – базове мастило МГ-46-В в стані поставки; 2 – відновлене (регенероване) відпрацьоване мастило МГ-46-В.

Корозійність мінерального масла МГ-46-В в стані поставки склала $17,5 \text{ г/м}^2$. Корозійність відновленої робочої рідини склала $19,8 \text{ г/м}^2$, що на 11,6 % більше в порівнянні з показником для нового мастила, але при

цьому у регенованого мастила він не перевищує максимальний дозволений показник - $20,0 \text{ г/м}^2$, що вказує на можливість застосування відновленого мастила повторно за показником корозійності.

Збільшення корозійності мастила, яке відпрацювало свій ресурс і було відновлене відстоюванням і центробіжним очищенням пояснюється тим, що кількість антикорозійних присадок в даному мастилі зменшилась. При цьому їх кількість не досягла граничного значення. За умови, якщо показник корозійності мастила перевищить максимально припустиме значення, необхідно до мастила добавляти антикорозійні присадки.

4.3 Результати визначення температури спалаху робочої рідини

Методика проведення експерименту з відкритим тиглем моделює загоряння рідини у відкритих посудинах або при випадковому розливанні, таким чином це показник пожежонебезпеки мастила, тому вагомим буде більш високе значення температури спалаху. У результаті експериментів для базового мастила МГ-46-В (в стані поставки) була визначена температура спалаху, яка становила - $205 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 4.3), що відповідає технічним вимогам на поставку мастила.

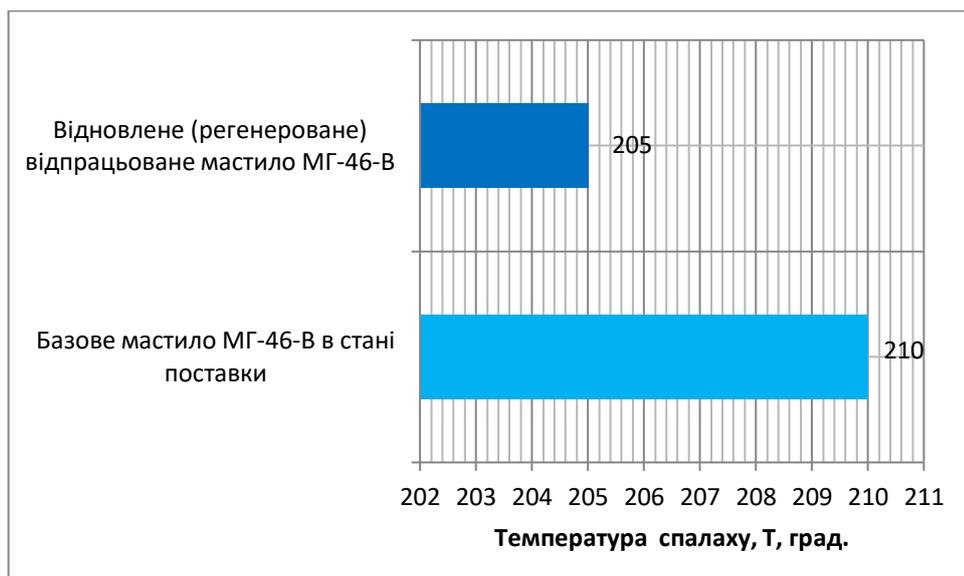


Рисунок 4.3. – Гістограма температур спалаху : 1 – відновлене відпрацьоване мастило МГ-46-В; 2 – базове мастило МГ-46-В (в стані поставки);

Водночас показник температури спалаху регенованого мастила становив - 205 °С., що на 2,4% перевищує нормований показник. Такий стан справи обумовлюється зменшенням об'єму кількості присадок, які відповідають за температуру спалаху.

В цілому, роблячи висновок на результатах експериментів, можна вважати, що регеновані робочі мастила задовольняють вимогам пожежонебезпеки.

4.4 Результати досліджень товщини масляної плівки

Поведінка масел у гідравлічних системах визначається численними експлуатаційними властивостями, серед яких ключове значення мають мастильні властивості. Під ними розуміють сукупність об'ємних і поверхневих характеристик мастила, що впливають на знос і параметри тертя в парах тертя. З цього випливає, що товщина масляної плівки має важливе значення для роботи тертьових пар.

В даному дослідженні, проведеному за методиками, описаними у третьому розділі, визначали функціональну залежність між товщиною масляної плівки регенованого мастила та його температурою. Результати вимірів товщини плівки при різних температурах наведені в табл. 4.2 та на рис. 4.4.

Таблиця 4.2 – Результати виміру товщини масляної плівки рідини МГ-46-В від температури, (мкм)

№ з/п	Температура рідини, °С	Товщина плівки для регенованої оливи, мкм	Товщина плівки не обробленої оливи, мкм
1	20	0,29	0,40
2	40	0,12	0,20
3	80	0,039	0,045

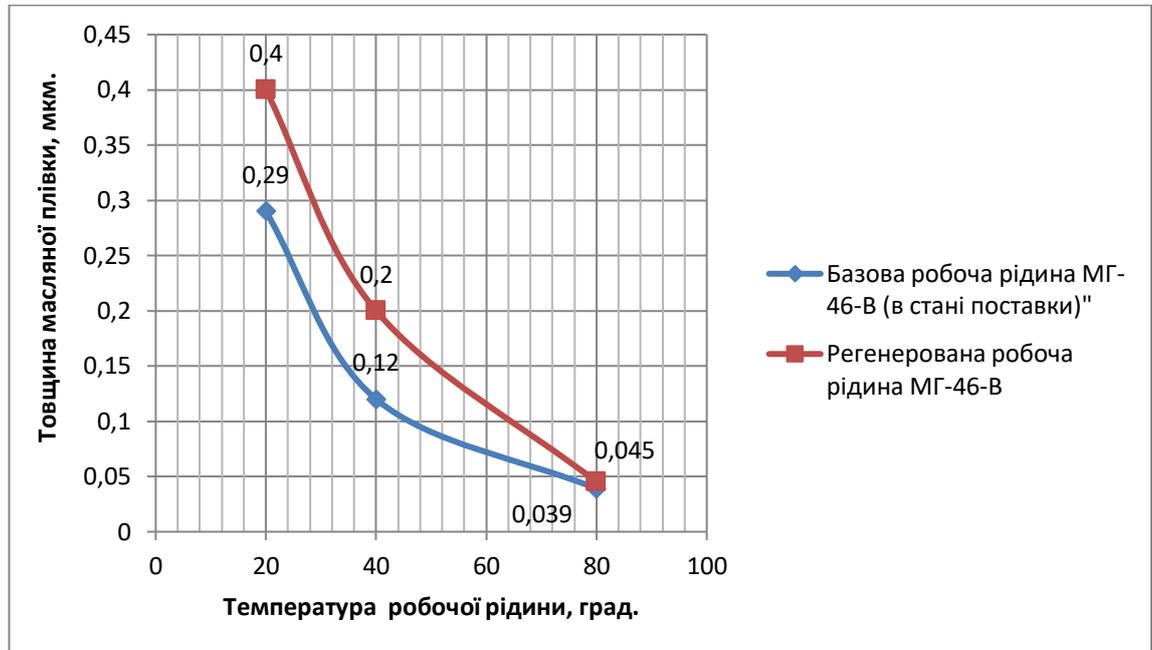


Рисунок 4.4. - Вплив температури робочої рідини на товщину масляної плівки: 1 – базове мастило М-46-В (в стані поставки); 2 – відновлене відпрацьоване мастило М-46-В.

З наведених залежностей випливає, що зі збільшенням температури (рис. 4.4.) товщина масляної плівки зменшується. При температурі робочої рідини 20°C різниця в товщині масляної плівки між мастилом в стані поставки і регенованого мастила становить 0,11 мкм, що на 27,5% більше від нормативного значення. Це пояснюється більшою концентрацією присадок в новому мастилі, що відповідають за його в'язкість. Разом з тим, при температурі 80°C різниця в товщині масляних плівок двох мастил становить 0,006 мкм (зміна становить - 13,3%), що вказує на відновлення роботи в регенованому мастилі присадок, які залишились в ньому і впливають на в'язкість мастила.

Таким чином, у регенованих мастил показники товщини масляної плівки, при роботі на температурах 40°C будуть задовільняти умови роботи спряжень з точки зору забезпечення рідинного тертя між робочими поверхнями деталей.

4.5 Результати досліджень відцентрованої очистки відпрацьованих рідин

В процесі проведення очищення виявлялась функціональна залежність між вмістом в робочій рідині нерозчинних осадків і тривалістю роботи фільтруючих елементів установки за часом, при цьому, розглядався режим очистки з застосуванням поточної віброударної фільтрації і без гідроімпульсного руху рідини в гідравлічному контурі її фільтрації. Результати експериментальних досліджень представлені в (табл. 4.3) і графічно на (рис. 4.5)

Таблиця 4.3 - Результати очистки відпрацьованих рідин на експериментальній установці за часом її роботи

Час очистки, хв.	Очистка оливи без гідроімпульсного руху			Очистка оливи з віброударною фільтрацією		
	Склад не розчинних осадків у рідинах, МГЕ-46-В, х ₀ , %.			Склад не розчинних осадків у рідинах, МГЕ-46-В, х ₀ , %.		
	Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №1	Проба №2	Проба №3
0	0,67	0,92	1,12	0,72	1,06	1,24
5	0,14	0,19	0,23	0,12	0,16	0,18
10	0,11	0,16	0,17	0,09	0,01	0,011
15	0,06	0,08	0,10	0,007	0,008	0,009
20	0,01	0,02	0,02	0,006	0,006	0,006
25	0,006	0,006	0,0060	-	-	-

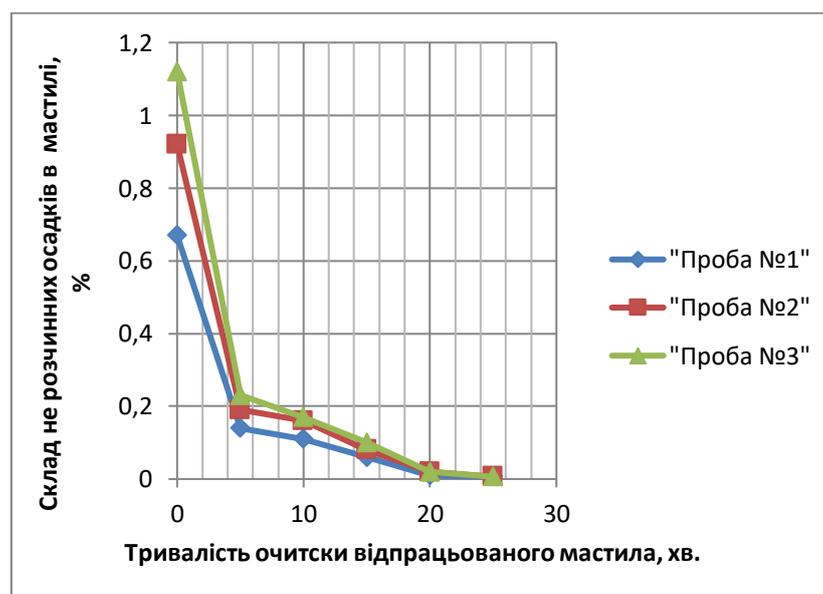


Рисунок 4.5 - Динаміка очистки відпрацьованого мастила від не розчинних осадків за часом, без гідроімпульсного руху оливи в гідравлічному контурі тонкої очистки

Графічне представлення динаміки очистки відпрацьованих гідравлічних рідин без віброударної фільтрації (рис. 4.5), показує, що інтенсивне очищення рідин спостерігається за перші п'ять хвилин роботи установки, що пояснюється видаленням крупних механічних домішок, розмір яких має ймовірнісну оцінку.

Подальша очистка, в інтервалі 5-20 хв. проходить не так інтенсивно, на що вказує кут нахилу графіків, і пояснюється це видаленням з рідини дрібних забруднень розміром 5-35 мкм. Стабілізація процесу очистки рідини спостерігається в інтервалі 20-25 хв., на що вказує масова доля забруднень – 0,006%, яка вважається достатньою для рідин, які передбачається відновлювати для повторного використання в гідравлічних системах тракторів.

Результати очистки відпрацьованих рідин від нерозчинних домішок, з застосуванням віброударної фільтрації, показали кращу ефективність процесу очистки, що наглядно представляється графічно на (рис. 4.6).

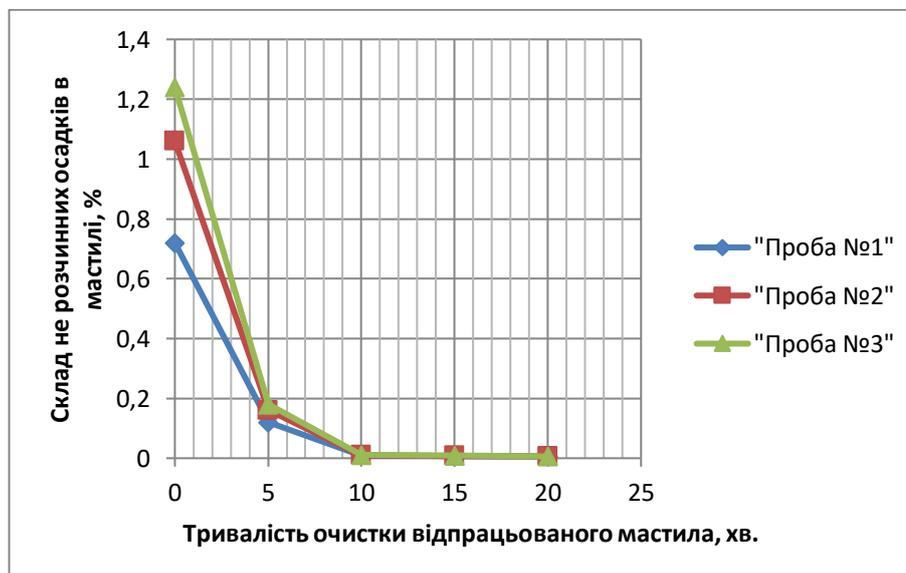


Рисунок 4.6 - Динаміка очистки відпрацьованого мастила від нерозчинних осадків за часом, з віброударною фільтрацією в гідравлічному контурі тонкої очистки

Їх аналіз також підтвердив інтенсивне очищення оливи за перші п'ять хвилин очистки, але при цьому, середня масова доля забруднень

(враховуються значення всіх трьох проб), в порівнянні з без віброударної фільтрації, зменшилась на 17,7%, що вказує на ефективність роботи гідравлічного контуру тонкої очистки при гідроімпульсному руху оливи. Це також підтверджується скороченням часу очистки, при якому проходить процес її стабілізації, який знаходиться в інтервалі 10-20 хв. очистки оливи, і в порівнянні з без віброударної фільтрації час стабілізації зменшився на 33,3 %.

Ефективність процесу пояснюється застосуванням гідроімпульсного руху рідини в гідравлічному контурі тонкої її фільтрації (віброударна фільтрація), який створює неврівноважений динамічний режим проходження рідини через пори металокерамічної мембрани (із-за перепаду тиску і швидкості потоку рідини), що зменшує закупорювання пор фільтра твердими частинками, збільшуючи тим самим його продуктивність.

Висновки по розділу.

1. Розподілення частоти проб, по складу механічних домішок показує, що забрудненість рідин коливається в широких значеннях, при однаковому напрацюванню у різних машин і підпорядковується нормальному закону розподілу фізичної величин. Масовий вміст забруднень в робочих рідин в процесі експлуатації значно перевищує норму, який повинен бути не більше 0,005% за ДСТУ 6370-83.

2. Корозійність відновленої робочої рідини склала – $19,8 \text{ г/м}^2$, що на 11,6 % більше в порівнянні з показником для нової рідини, але при цьому у регенованого мастила він не перевищує максимальний дозволений показник - $20,0 \text{ г/м}^2$, що вказує на можливість застосування відновленої рідини повторно за показником корозійності.

3. Показник температури спалаху регенованого мастила становив - $205 \text{ }^\circ\text{C}$., що на 2,4% перевищує нормований показник. Такий стан справи обумовлюється зменшенням об'єму кількості присадок, які відповідають за температуру спалаху, при цьому можна вважати, що регеновані робочі мастила задовольняють вимогам пожежонебезпеки.

4. Значний розбіг між товщинами масляних плівок 0,11 мкм для нової рідини і регенованого, при температурі 20°C пояснюється більшою концентрацією присадок в новому мастилі, що відповідають за його в'язкість. При температурі 80°C різниця в товщині масляних плівок двох мастил становить 0,006 мкм, що вказує на відновлення роботи в регенованому мастилі присадок, які впливають на в'язкість рідини.

5. У регенованих мастил, показники товщини масляної плівки, при роботі на температурах 40°C будуть задовільняти умови роботи спряжень з точки зору забезпечення рідинного тертя між робочими поверхнями деталей.

6. Експериментальні дослідження показали, що при віброударній фільтрації масова частка забруднень у мастилі зменшується на 17,7 %, за перші п'ять хвилин очистки, а час стабілізації процесу очищення скорочується на 33,3 %, порівняно з безвібраційним режимом фільтрації.

5. ПРАЦЯ ТА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНИХ ПОДІЙ

5.1 Оцінка виробничого середовища та протипожежного захисту у сервісному підрозділі

Передбачається, що запропоновані заходи будуть впроваджені на практиці в спеціалізованій майстерні Дніпровського «Агротехсервісу», у підрозділі, який займається обслуговуванням агрегатів гідравлічних систем.

Спеціалізована дільниця розміщена в зоні технічного обслуговування і діагностування тракторів і обладнана відповідним устаткуванням. Зовнішня очистка тракторів виконується з застосуванням порталної установки ПМ-1242. Діагностування гідравлічних агрегатів здійснюється з використанням дроселя-розходоміра ДР-90. Для злиття гідравлічного мастила з контура гідросистеми застосовується передвижка установка УП-276, оснащена ємкостями для зберігання оливи. Демонтаж і монтаж фільтруючих елементів проводиться з використанням пересувного візка ПВ-120-450, який має робочий стіл, ниші для складання інструменту і знятих фільтрів. Робочий пост оснащено оглядовою ямою, що забезпечує зручні пози слюсаря при виконанні сервісних робіт. На дільниці передбачені гідравлічні резервуари ГР-3,5-5,0 для утримання злитих мастил, які очікують регенерації.

Розмір дільниці дозволяє розмістити устаткування згідно вимог, що вказуються в документації на проектування сервісних підрозділів даної спеціалізації.

Дільниця входить до контуру майстерні з загально-обмінною витяжною вентиляцією, що забезпечує нормативний рівень чистоти повітря у приміщенні відповідно до санітарно-гігієнічних стандартів.

Роботи, що виконуються у підрозділі, за класифікацією [19] відносяться до категорії III, для якої характерне підвищене споживання енергії. Ця категорія охоплює трудові процеси, пов'язані з інтенсивним фізичним навантаженням, включаючи безперервний рух та переміщення важких предметів (понад 200 Н), що потребує значних фізичних зусиль.

Типовим прикладом є встановлення шестеренного насоса НШ-200-К масою 27 кг на трактор при складанні гідروприводу.

Параметри мікроклімату на робочій ділянці наведені в таблиці 5.1 відповідно до [19].

Таблиця 5.1 – Кліматичні умови у робочій зоні дільниці

Показник	Для зимового періоду	Для літнього періоду
	допустиме / оптимальне	допустиме / оптимальне
Температура, °C	12–18/13–17	18–24 / 19–21
Вологість, %	70 / 60	65 / 62
Повітряний потік, м/с	<0,55 / 0,45	0,44 – 0,55 / 0,45 – 0,48

Аналіз показників свідчить, що кліматичні умови перебувають у межах допустимих значень. Виконання робіт з обслуговування гідроприводів супроводжується фізичними та хімічними небезпечними факторами: падінням обладнання та складових частин, контактом з рухомими частинами стендів, термічними ризиками під час зливу мастила та очищення деталей, появою металевих осколків і гострих кромки, а також впливом парів гасу, бензину, миючих рідин, шуму і вібрації. Пояснення хімічних шкідливих факторів наведене в табл.5.2.

Таблиця 5.2 – Показники хімічних шкідливих факторів

Джерело	Граничний норматив показника, мг / м ³	Клас небезпеки	Фактична величина
Бензин - розчинник (у відповідності до С)	271	3-4	249
Бензин для палива (теж)	105	3-4	67
Гас (теж)	272	3-4	169
Мастило мінеральне	4,5...5	2-3	3,2
Луги	2,2	2-3	1,7

За даними табл. 5.2, фактичні концентрації шкідливих речовин на робочих місцях не перевищують гранично допустимі значення [19].

На дільниці обслуговування гідравлічних агрегатів спостерігаються шум і вібрація, що виникають від роботи механічних стендів, пневматичного інструменту та електричних установок для регенерації забруднених олив.

Вагома роль, при проведенні операцій регенерації олив, належить освітленню робочих зон. Джерелом освітлення, як приміщення в цілому, так і окремих робочих місць є природне і штучне освітлення.

Слюсарі сервісного підрозділу відносяться до категорії зорової роботи середньої точності. Мінімальний розмір об'єкта ідентифікації відповідає встановленим нормам. Стандартна норма загальної освітленості становить 200–225 люкс, а сумарний показник індекса засліплення та показник блимання відповідають нормативним вимогам. Інтегральний показник природного освітлення зверху та збоку також відповідає встановленим стандартам. Згідно представлених показників, які є характерними для умов роботи в спеціалізованій ділянці з регенерації олив, можна зробити висновок що вони відносяться до другої категорії, тобто «допустимі»

Виробничі процеси за ймовірністю появи в них небезпеки за вибухом і пожежею належать до В категорії, що пояснюється наявністю в робочих зонах легкозаймистих, горючих і важкогорючих речовин і матеріалів, які мають питому теплоту згорання до 180 МДж/м^2 на відокремлених ділянках, розміром за площею $> 10 \text{ м}^2$. Робочі зони ділянці з пожежної небезпеки класифікуються як П1.

Будівля за зовнішніми стінами та внутрішніми перегородками побудована з цегли, яка є червоною і являється негорючим матеріалом, тому будівля відноситься до класу П за ступенем вогнестійкості.

Виникнення процесів спалахів паливних і мастильних речовин в приміщенні спричиняється електричними або механічними іскрами, контактуванням з нагрітими об'єктами та відкритим полум'ям, контактуванням з нагрітими об'єктами або відкритим полум'ям, перегріванням або коротким замиканням електрообладнання, самозаймання ганчір'я, просоченого мастилом, що відноситься до відповідного класу пожежі.

5.2 Організаційно-технічні заходи для підвищення безпеки та комфорту праці

Конструкції розроблених спеціальних установок для регенерації відпрацьованих робочих рідин, а також і відновлення її робочих

властивостей, передбачають модернізацію технічного оснащення ділянки технічного сервісу агрегатів гідравлічних приводів.

Для покращення умов праці слюсарів і уникнення травм, при виконанні роботі з пересувними установками для проведення технологічних операцій з регенерації оливи, необхідно оснастити устаткування гальмівними механізмами для уникнення їх самовільного переміщення, а для забезпечення надійної фіксації технологічного обладнання і інструменту передбачити на них наявність фіксуючих пристроїв, бортів, спеціальних полиць та ін.

Забезпечити наявність воронки з гнучкими зливними горловинами в зонах під'єднання і роз'єднання штуцерів гідравлічних шланг, при проведенні зливально-заправлювальних операцій, усуваючи таким чином втрати оливи і зберігаючи чистоту на робочих місцях.

Стаціонарні пости з регенерації оливи і відновлення її робочих властивостей забезпечити примусовою вентиляцією з площею витяжного зонту $> 20 \%$, щодо периметру очисних установок.

Зменшення шумового та вібраційного навантаження на слюсарів, під час проведення очисних операцій, здійснюється за рахунок застосування на передвижних установках прорезинених коліщат, а на стаціонарних установках гумових демпферів.

Ємкості для відстоювання оливи, в процесі очікування регенерації, забезпечити люками для їх герметизації та клапанами, з метою уникнення вибухової ситуації.

Для попередження професійних захворювань, вибухів і пожеж, при проведенні знежирювальних операцій, обумовлених наявністю масляних плям, виникає необхідність обґрунтування умов провітрювання приміщення із-за наявності певного об'єму парів знежирювачів.

Обсяг випарів розчинників розраховується згідно виразу:

$$Q = 0,01 \cdot B \cdot C \cdot \frac{S}{n \cdot \tau} n, \quad (5.1)$$

де B – об'єм парів речовини, 80% ; C – густина знежирювача, ($C = 50 \text{ г} / \text{м}^2$); S – розмір оброблюваних поверхонь, ($S = 0,6 \text{ м}^2$); n – число слюсарів; τ - трудомісткість роботи, год.

Повітряний швидкісний режим для віконного прорізу візьмемо - ($V_o = 0,4 \text{ м} / \text{с}$). Граничні допустимі концентрації (ГДК) для знежирювача становлять ($q = 50 \text{ мг} / \text{м}^3$).

$$Q = 0,01 \cdot 80 \cdot 50 \frac{0,6}{2 \cdot 0,25} \cdot 2 = 96 \text{ г} / \text{год}.$$

З'ясуємо значення нижньої концентраційної межі для ксилолу при 22°C :

$$C_{н,t} = 1 \cdot (1,02 - 0,0000029 \cdot 295) = 1,019 \% \text{ об}.$$

Допустима межа вибухонебезпечної концентрації ксилолу складе:

$$\text{ГДВК} = \frac{1,019}{4} = 0,255 \% \text{ об}$$

Розрахуємо C_n для $\text{мг} / \text{л}$:

$$1 \% \text{ об} = \frac{100 \cdot 9991,5}{831,396 \cdot 295} = 40,36 \text{ г} / \text{м}^3$$

$$0,255 \% \text{ об} = 10,29 \text{ г} / \text{м}^3$$

Щоб забезпечити концентрацію шкідливої речовини на рівні не вищому за ГДК, необхідний об'єм повітря визначають наступним чином:

$$L = 1,3 \frac{Q}{q}, \quad (5.2)$$

де q - гранична межа знежирювача, $\text{мг} / \text{м}^3$.

Визначимо обсяг повітрообміну для забезпечення безпечних умов:

$$L_{ГДВК} = 1,3 \frac{96}{10,29} = 12,1 \text{ м}^3 / \text{г}$$

$$L = 1,3 \frac{96}{0,05} = 2496 \text{ м}^3 / \text{г}$$

Кратність повітрообміну розраховується за формулою:

$$K = \frac{L}{V}, \quad (5.3)$$

де L – повітряний обмін, $\text{м}^3 / \text{г}$;

V - обсяг робочої зони, м^3 , ($V = 36 \text{ см}^3$).

Отже

$$K_{ГДВК} = 12,1 / 36 = 0,336 / \text{г}$$

$$K_{ПДК} = 2496 / 36 = 69,33 / \text{г}$$

Тривалість повітрообміну на протязі однієї години розраховується згідно виразу:

$$t_{np} = \frac{d \cdot L}{S_e \cdot V}, \quad (5.4)$$

де d - показник відповідно до часу;

S_e – розмір каналу вентиляції, м^2 ;

V - повітряний швидкісний режим, $\text{м} / \text{год}$ ($V = 1440 \text{ м} / \text{год}$).

Тоді

$$\text{ГДВК складе } t_{np} = \frac{1 \cdot 12,1}{2(0,4 \cdot 0,4) \cdot 1440} = 0,026 \approx 1,56 \text{ хв.}$$

$$\text{а ГДК - } t_{np} = \frac{1 \cdot 2496}{2(0,4 \cdot 0,4) \cdot 1440} = 5,4 \text{ год.}$$

Отримані результати виявили, що створення вибухової безпеки з застосуванням знежирювача для обробки поверхонь від маслянистих забруднень, потребує проведення щогодинного провітрювання дільниці, відкриваючи віконні пройоми мінімум на 1,56 хв. Для зниження концентрації шкідливих речовин до гранично допустимого рівня провітрювання має тривати щонайменше 5,4 год.

5.3 Дії при надзвичайних ситуаціях у виробничому приміщенні

Підприємства з сервісу гідроприводів технічних систем і безпосередньо регенерації відпрацьованих рідин характеризуються технологічними процесами, при виконання операцій яких з'являється ймовірність появи аварійних ситуацій.

У разі виникнення пожежі працівники першочергово повідомляють пожежну службу, вказуючи адресу об'єкта, поверховість будівлі, місце та обставини загоряння, наявність людей. Після цього слід забезпечити евакуацію персоналу та охорону майна, а також повідомити адміністрацію та, за потреби, залучити інші аварійні і рятувальні служби.

За умови виникнення загрози для життя проводяться аварійно-рятувальні заходи із залученням фактичних сил та технічних засобів. Працівників, які не беруть участі у гасінні пожежі, слід вивести з небезпечної зони та припинити всі роботи, окрім дій, спрямованих на ліквідацію пожежі.

Якщо причиною пожежі стало коротке замикання, необхідно відключити електроживлення та вжити заходів для зменшення площі загоряння та задимлення приміщення. Потрібно контролювати дотримання правил безпеки працівниками, залученими до гасіння.

При випадках ураження електричним струмом насамперед відключають електроживлення. Легкі ураження усувають за допомогою аптечки першої допомоги, у разі тяжких опіків чи травм викликають швидку допомогу.

У зоні дії парів отруйних або шкідливих речовин заходити до приміщення слід лише у засобах індивідуального захисту. Забезпечують провітрювання, виводять потерпілого з приміщення та, за потреби, проводять штучне дихання. Попередньо викликають медичну допомогу.

Про будь-яку аварійну ситуацію обов'язково повідомляють керівництво виробничого підрозділу та підприємства.

Висновок по розділу.

При використанні розчинників для видалення жирових плівок з поверхонь устаткування приміщення слід провітрювати щогодини, відкриваючи вікна не менше 1,32 хвилини, щоб забезпечити пожежну безпеку. Щоб зменшити концентрацію розчинника, необхідно провітрювати протягом не менше чотирьох годин.

6. ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Економічна оцінка проектних рішень виконується з урахуванням удосконалення операцій очищення робочих рідин під час технічного обслуговування основних гідроагрегатів (насоса, розподільника, гідроциліндра) та можливості їх повторного використання.

Впровадження розроблених заходів з технічного обслуговування передбачає придбання установки та оснастки кошторисом – 143000 грн.

Ефективність роботи оцінюється за такими параметрами:

1. Річний кошторис.

$$B_{\text{Д}} = \eta \cdot B_{\text{ОД}}, \quad (6.1)$$

де $\eta^{\text{Б}}$, $\eta^{\text{П}}$ - річні програми обслуговувань, од. ($\eta^{\text{Б}} = 500 \text{ од.}$, $\eta^{\text{П}} = 1000 \text{ од.}$);

$B_{\text{ОД}}$ - кошторис обслуговування, грн. ($B_{\text{ОД}} = 550 \text{ грн.}$);

$$B_{\text{Д}}^{\text{Б}} = 500 \cdot 550 = 275000 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{Д}}^{\text{П}} = 1000 \cdot 550 = 550000 \text{ грн}$$

2. Експлуатаційні затрати:

$$E_{\text{В}} = 3\Pi + A + B_{\text{ЕЛ}} + B_{\text{Р.ОБ}} + B_{\text{р.м}} + I_{\text{В}}, \quad (6.2)$$

де 3Π – за робітня платня;

A – амортизаційні відрахування;

$B_{\text{ЕЛ}}$ – кошторис електроенергії;

$B_{\text{РЕМ}}$ – кошторис на сервіс установок;

$B_{\text{р.м}}$ - кошторис ремонтних матеріалів.

IB – об'єм організаційних витрат.

Дохід слюсарів:

$$3\Pi = 3_{CP} \cdot N_P \cdot 12 + 3_{\Pi.H}, \quad (6.3)$$

де 3_{CP} - середній рівень оплати праці, грн ($3_{CP}^B = 3_{CP}^{\Pi} = 8500 \text{ грн}$);

N_P - число слюсарів, ($N_P^B = 1 \text{ чол.}$, $N_P^{\Pi} = 2 \text{ чол.}$);

$3_{\Pi.H}$ - нарахування, ($3_{\Pi.H} = 0,22 \cdot (3_{CP} \cdot N_P \cdot 12)$).

$$3_{CP}^B = 8500 \cdot 1 \cdot 12 = 102000 \text{ грн},$$

$$3_{CP}^{\Pi} = 8500 \cdot 2 \cdot 12 = 204000 \text{ грн},$$

Відрахування з фонду оплати праці:

$$3_{\Pi.H}^B = 0,22 \cdot 102000 = 22440,0 \text{ грн}$$

$$3_{\Pi.H}^{\Pi} = 0,22 \cdot 204000 = 44880,0 \text{ грн}$$

Сумарна оплата праці:

$$3_{\Pi}^B = 102000 + 22440,0 = 124440,0 \text{ грн},$$

$$3_{\Pi}^{\Pi} = 204000 + 44880,0 = 248880,0 \text{ грн},$$

Знос виробничого устаткування.

$$A_{обл} = \frac{C_{Б.ОБ.} \cdot H_A}{100}, \quad (6.4)$$

де $C_{Б.ОБ.}$ - вартість устаткування, грн. ($C_{Б.ОБ.}^B = 120000 \text{ грн}$

$C_{Б.ОБ.}^{\Pi} = 143000 \text{ грн.}$);

H_A - стандартний показник, % ($H_A = 21,93\%$).

$$A_{Б.ОБ.}^Б = \frac{120000 \cdot 21,93}{100} = 26316,0 \text{ грн.}$$

$$A_{Б.ОБ.}^П = \frac{143000 \cdot 21,93}{100} = 31359,9 \text{ грн.}$$

Вартість електроенергії

$$B_{ЕЛ} = Q_{ЕЛ} \cdot Ц_{ЕЛ}, \quad (6.5)$$

де $Q_{ЕЛ}$ - споживання, $кВт/год$.

($Q_{ЕЛ}^Б = 12222 \text{ кВт/год.}$, $Q_{ЕЛ}^П = 18333 \text{ кВт/год.}$),

$Ц_{ЕЛ}$ - кошторис $кВт/год$. ($(Ц_{ЕЛ} = 4,92 \text{ грн.})$)

$$B_{ЕЛ}^Б = 12222 \cdot 4,92 = 52800,0 \text{ грн}$$

$$B_{ЕЛ}^П = 18333 \cdot 4,92 = 79200,0 \text{ грн,}$$

Витрати на сервіс устаткування:

$$B_{Р.ОБ} = \frac{A_{обл} \cdot 30}{100}, \quad (6.6)$$

$$B_{Р.ОБ}^Б = \frac{26316,0 \cdot 30}{100} = 7894,8 \text{ грн}$$

$$B_{Р.ОБ}^П = \frac{31359,9 \cdot 30}{100} = 9408,0 \text{ грн}$$

Ціна ремонтних матеріалів ($B_{р.м}$):

$$B_{р.м} = 0,1 \cdot 3_{П}, \quad (6.7)$$

$$B_{р.м}^Б = 0,1 \cdot 124440,0 = 12444,0 \text{ грн.}$$

$$B_{р.м}^П = 0,1 \cdot 248880,0 = 24888,0 \text{ грн.}$$

Додаткові нарахування:

$$I_O = 0,05 \cdot (З_{II} + A + B_{ЕЛ} + B_{P.OB} + B_{3.Ч}) \quad (6.8)$$

$$I_O^B = 0,05 \cdot (124440,0 + 26316,0 + 52800,0 + 7894,8 + 12444,0) = 11194,7 \text{ грн}$$

$$I_O^II = 0,05 \cdot (248880,0 + 31359,9 + 79200,0 + 9408,0 + 24888,0) = 19686,8 \text{ грн}$$

Сумарні затрати:

$$E_B^B = 124440,0 + 26316,0 + 52800,0 + 7894,8 + 12444,0 + 11194,7 = 235088,7 \text{ грн.}$$

$$E_B^{II} = 248880,0 + 31359,9 + 79200,0 + 9408,0 + 24888,0 + 19686,8 = 413422,8 \text{ грн.}$$

3. Витрати на ремонтні роботи:

$$C_P = E_B \cdot 1,02 \quad (6.9)$$

$$C_P^B = 235088,7 \cdot 1,02 = 239790,5 \text{ грн.}$$

$$C_P^{II} = 413422,8 \cdot 1,02 = 421691,3 \text{ грн.}$$

4. Дохід за рік (II):

$$\Pi_{3AG} = B_P - C_P, \quad (6.10)$$

$$\Pi_{3AG}^B = 275000 - 239790,5 = 35209,5 \text{ грн}$$

$$\Pi_{3AG}^{II} = 550000 - 421691,3 = 128308,7 \text{ грн}$$

5. Додатковий дохід:

$$D_{II} = \Pi_{3AG}^{II} - \Pi_{3AG}^B, \quad (6.11)$$

$$D_{II} = 128308,7 - 35209,5 = 93099,2 \text{ грн.}$$

6. Окупність матеріальних витрат:

$$T_o = \frac{C_{Б.ОБ.}}{Д_{П}}, \quad (6.12)$$

$$T_o = \frac{143000,0}{93099,2} = 1,5 \text{ року}$$

Розрахунки ефективності зведено до табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Показники ефективності

Показник	Базові показники	Розроблені показники
Вид діяльності	Тех. обсл.	Техн. обсл.
Обсяг програми, од.	500	1000
Число слюсарів, од.	1	2
Капітальні витрати, грн.	120000	143000
Експлуатаційні затрати, грн.	235088,7	413422,8
- сумарна оплата праці, грн.	124440,0	248880,0
- відрахування на амортизацію, грн.	26316,0	31359,9
- витрати на електроенергію, грн.	52800,0	79200,0
- сервісне обслуговування, грн.	7894,8	9408,0
- відрахування на забезпечення зручності праці, грн.	11194,7	19686,8
Витрати на ремонтні роботи, грн.	239790,5	421691,3
Дохід за рік, грн.	35209,5	128308,7
Додатковий дохід, грн.	-	93099,2
Окупність матеріальних витрат, р.	-	1,5

Розрахунки техніко-економічної ефективності показують, що за річної програми в 1000 обслуговувань впровадження запропонованих заходів з обслуговування та використання регенерованих мастил у гідросистемах тракторів забезпечує річний економічний ефект - 93099,2 грн. Термін окупає мості становить 1,5 року, що узгоджується з чинними нормативами та підтверджує обґрунтованість і ефективність упроваджених заходів.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Розподілення частоти проб, по складу механічних домішок показує, що забрудненість рідин коливається в широких значеннях, при однаковому напрацюванню у різних машин і підпорядковується нормальному закону розподілу фізичної величин. Масовий вміст забруднень в робочих рідин в процесі експлуатації значно перевищує норму, який повинен бути не більше 0,005% за ДСТУ 6370-83.

2. Внаслідок осадження частинок на стінках ротора внутрішній діаметр (r) зменшується, що пропорційно знижує швидкість осадження часток і, як наслідок, зменшує ефективність очищення мастила.

3. Зі збільшенням товщини шару забруднень у роторі в діапазоні 1...10 мм, момент інерції зростає з $0,0091 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ до $0,0122 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, що на 25% перевищує значення для чистого ротора. Це призводить до подовження часу розгону центрифуги від стану спокою до номінальної частоти обертання, що негативно впливає на ефективність очищення мастила.

4. При забрудненні ротора центрифуги до $\delta = 10 \text{ мм}$ зменшення частоти обертання ротора дорівнює 26,6%, що відповідає близько 1500 хв^{-1} і обумовлює фактичну частоту обертів ротора до 4400 хв^{-1} при якій необхідна очистка фільтра.

5. Реалізацію гідроімпульсного режиму руху рідини в контурі тонкої фільтрації, що досягається застосуванням двокаскадного двоходового двопозиційного віброзбудника з частотою коливань до 150 Гц. дозволяє періодичне підвищення в ньому тиску в 2,5 рази, і відповідно швидкості руху рідини на 6% при звичайній, безударній фільтрації.

6. Застосування гідроімпульсних ударних хвиль у фільтраційному контурі забезпечує періодичне руйнування осаду на стінках фільтра та зменшення забивання його пор, що суттєво підвищує та стабілізує продуктивність очищення. Додатково віброударний вплив сприяє коагуляції забруднень, завдяки чому інтенсивність регенерації робочої рідини зростає.

7. Запропонована конструкція установки призначена для очищення робочих рідин від неорганічних домішок (продуктів зносу пар тертя в гідроагрегатах, зовнішніх абразивних забруднень тощо) та, у разі втрати рідиною її мастильних властивостей (протизадірної стійкості, протизносності) і експлуатаційних характеристик (в'язкості, стискаємості, спінювання тощо), забезпечує їх відновлення.

8. Корозійність відновленої робочої рідини склала – $19,8 \text{ г/м}^2$, що на 11,6 % більше в порівнянні з показником для нової рідини, але при цьому у регенованого мастила він не перевищує максимальний дозволений показник - $20,0 \text{ г/м}^2$, що вказує на можливість застосування відновленої рідини повторно за показником корозійності.

9. Показник температури спалаху регенованого мастила становив - $205 \text{ }^\circ\text{C}$., що на 2,4% перевищує нормований показник. Такий стан справи обумовлюється зменшенням об'єму кількості присадок, які відповідають за температуру спалаху, при цьому можна вважати, що регеновані робочі мастила задовольняють вимогам пожежонебезпеки.

10. Значний розбіг між товщинами масляних плівок $0,11 \text{ мкм}$ для нової рідини і регенованого, при температурі 20°C пояснюється більшою концентрацією присадок в новому мастилі, що відповідають за його в'язкість. При температурі 80°C різниця в товщині масляних плівок двох мастил становить $0,006 \text{ мкм}$, що вказує на відновлення роботи в регенованому мастилі присадок, які впливають на в'язкість рідини.

11. У регенованих мастил, показники товщини масляної плівки, при роботі на температурах 40°C будуть задовільняти умови роботи спряжень з точки зору забезпечення рідинного тертя між робочими поверхнями деталей.

12. Експериментальні дослідження показали, що при віброударній фільтрації масова частка забруднень у мастилі зменшується на 17,7 %, за перші п'ять хвилин очистки, а час стабілізації процесу очищення скорочується на 33,3 %, порівняно з безвібраційним режимом фільтрації.

13. При використанні розчинників для видалення жирових плівок з поверхонь гідравлічних агрегатів приміщення слід провітрювати щогодини,

відкриваючи вікна не менше 1,32 години, щоб забезпечити пожежну безпеку. Щоб зменшити концентрацію розчинника, необхідно провітрювати протягом не менше чотирьох годин.

14. Розрахунки техніко-економічної ефективності показують, що за річної програми в 1000 обслуговувань впровадження запропонованих заходів з обслуговування та використання регенованих мастил у гідросистемах тракторів забезпечує річний економічний ефект - 93099,2 грн. Термін окупає мості складає 1,5 року, що узгоджується з чинними нормативами та підтверджує обґрунтованість і ефективність упроваджених заходів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Міщук, Д. О., Бойченко, А. В., & Балака, М. М. (2019). Вимоги до робочих рідин об'ємного гідроприводу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/82c089e6-15f5-4b3e-8372-a991e9ba9db8>.
2. Цеппелін Україна. Гідросистеми сучасної дорожньо-будівельної техніки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zeppelin.ua/blog/gidrosistemi-suchasnoi-dorozhno-budivelnoi-tekhniki/>.
3. Березюк, О. В., Семічаснова, Н. С. Вплив тривалості експлуатації робочої рідини в об'ємних гідроприводах на концентрацію забруднень [Електронний ресурс] / О. В. Березюк, Н. С. Семічаснова. — «Машинобудування та транспорт», № 1, 2025. – Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/49861/187091.pdf>.
4. Іваненко, П. С., Петренко, М. І. (2013). Дослідження складу забруднень робочої рідини гідравлічних систем [Електронний ресурс] / П. С. Іваненко, М. І. Петренко. – Національна бібліотека України, Журнал “Змагання та техніка”, том 43, № 2, с. 42–49. – Режим доступу: https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/opac/search.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF%2FZmntz_2013_43%282%29__42.pdf, дата звернення 21.11.2025.
5. Матвеев А. С. Влияние загрязненности масел на работу гидроагрегатов [Текст] / А. С. Матвеев - М.:Россельхозиздат, 1976.- 207 с.
6. Коваленко В. П. Повышение чистоты рабочих жидкостей для гидравлических систем [Текст] / В. П. Коваленко, А. В. Шупилов, И. А. Лесников // «Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья». - 1975, №4, -С.15-19.
7. Гевко, Б. М., Білик, С. Г., Ліник, А. Ю., Фльонц, О. В. Гідропривод і гідроавтоматика сільськогосподарської техніки : посібник [Електронний ресурс] / Б. М. Гевко, С. Г. Білик, А. Ю. Ліник, О. В. Фльонц. - Тернопіль :

ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. - 384 с. - Режим доступу: http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/20811/1/Monohrafiya%20Неvko.pdf.

8. Королев И. А. Пути повышения чистоты рабочей жидкости гидросистем сельскохозяйственной техники [Текст] / И. А. Королев - Молодые ученые -сельскому хозяйству. Сб. научных трудов. - М., ФГОУ ВПО МГАУ, 2006.-С.216.

9. Микипорис Ю. А. Повышение работоспособности аксиально-поршневых гидромашин [Текст] / Ю. А. Микипорис // Вестник машиностроения. - 1996 - С. 10 - 12.

10. Novak, N., Trajkovski, A., Kalin, M., Majdič, F. (2023). Degradation of Hydraulic System due to Wear Particles or Medium Test Dust. Applied Sciences, 13(13), 7777. <https://doi.org/10.3390/app13137777>

11. Терентьев, О. М., Кудільчак, М. В., Жукова, Н. І., Кудільчак, С. В. (2023). Очищення рідини від домішок електромагнітним впливом [Електронний ресурс] // Енергетика: економіка, технології, екологія, № 3 (73), с. 125–130. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/62849>

12. Ekechukwu, O. M., Asim, T., Hawez, H. K. (2024). Recent Developments in Hydrocyclone Technology for Oil-in-Water Separation from Produced Water. Energies, 17(13), 3181. <https://doi.org/10.3390/en17133181>

13. Srivastava, S. (2023). Recent insights on electrostatic filtration and its potential to reduce varnish and sub-micron particles from lubrication and hydraulic oils. Journal of Cleaner Production. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140140>

14. Parker Hannifin. Hydraulic Filter Handbook [E-resource] – Parker Hannifin Europe. Режим доступу: <https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Hydraulic-Filter-Division-Europe/fdhb289uk.pdf>.

15. Коваленко В. П. Использование ПГС-полимеров для очистки жидкостей в сельскохозяйственном производстве [Текст] / В. П. Коваленко, К. Я. Лесной, С. С. Гусев, И. Н. Леонов // Вестник МГАУ, сер. «Технический сервис в АПК», вып.1, - М.: 2003 г.

16. Буренніков, Ю. А. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи [Електронний ресурс] / Ю. А. Буренніков. - Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, 2016. - Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2025/Burennikov_LP_2016_100.pdf

17. Мельянцов, П. Т., Добрянський, І. М. Пристрій для контролю класу чистоти та кількісного вмісту води в робочій рідині мобільних машин : пат. 131939 Україна : МПК G1N 15/02, G1N 15/06, G1N 29/02 ; заявл. 09.07.2018 ; опубл. 11.02.2019, Бюл. № 3.

18. Pall Corporation. Membralox® Crossflow Ceramic Membranes and Related Products: Data Sheet FBDSMEMCEREN. – Port Washington, NY : Pall Corporation, [б. р.]. – 6 с.

19. Навчальний посібник з охорони праці / Дніпропетр. держ. агр. ун-т. - Дніпропетровськ, 2009 р. - 132 с.

ДОДАТКИ

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГІДРАВЛІЧНИХ МАСТИЛ
В УМОВАХ СЕРВІСНИХ ПІДПРИЄМСТВ**
демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня “Магістр”

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-2-24
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»
Герасіка Станіслав Володимирович

Керівник: к.т.н., доцент
Мельянцов Петро Тимофійович

Дніпро 2025

1

**Тема: “підвищення ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ
ГІДРАВЛІЧНИХ МАСТИЛ
В УМОВАХ СЕРВІСНИХ ПІДПРИЄМСТВ”**

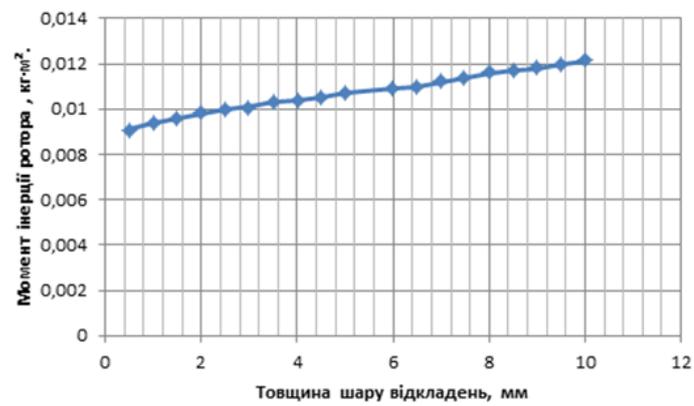
Мета роботи: “є підвищення ефективності очищення робочих рідин у гідравлічних системах мобільних сільськогосподарських машин для забезпечення їх надійності та тривалої експлуатації.”

Задачі досліджень:

1. Дослідити технічний стан робочих рідин гідравлічних систем на різних стадіях їх життєвого циклу.
2. Аналітично проаналізувати процеси накопичення забруднень у робочих рідинах та їх очищення в гідравлічних системах.
3. Аналітично оцінити вплив ступеня забруднення відцентрового фільтра на його працездатність.
4. Розробити проект установки для очищення відпрацьованих робочих рідин від механічних домішок.
5. Провести лабораторні дослідження технічного стану регенованих робочих рідин у гідравлічних системах мобільних сільськогосподарських машин.

Залежність моменту інерції ротора центрифуги від товщини шару забруднень

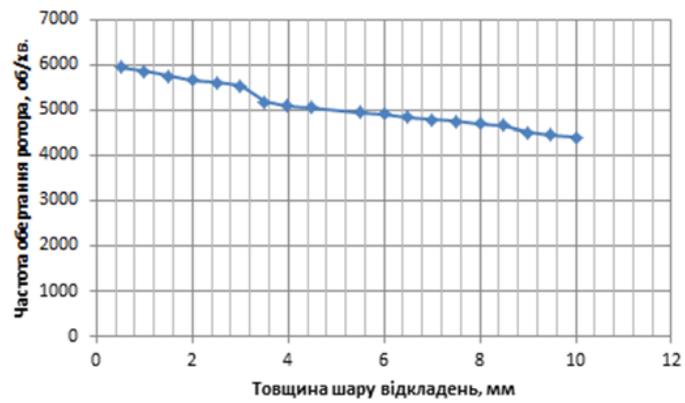
№ з/п	Розмір відкладень δ , мм	Інерційність ротора $J_{\text{ротора}}$, кг·м ²	№ з/п	Розмір відкладень δ , мм	Інерційність ротора $J_{\text{ротора}}$, кг·м ²
1	0,5	0,0091	11	5,5	0,0109
2	1,0	0,0094	12	6,0	0,0110
3	1,5	0,0096	13	6,5	0,0112
4	2,0	0,0098	14	7,0	0,0114
5	2,5	0,0100	15	7,5	0,0116
6	3,0	0,0101	16	8,0	0,0117
7	3,5	0,0103	17	8,5	0,0118
8	4,0	0,0104	18	9,0	0,0120
9	4,5	0,0105	19	9,5	0,0121
10	5,0	0,0107	20	10	0,0122



Зміна моменту інерції ротора залежно від товщини відкладень.

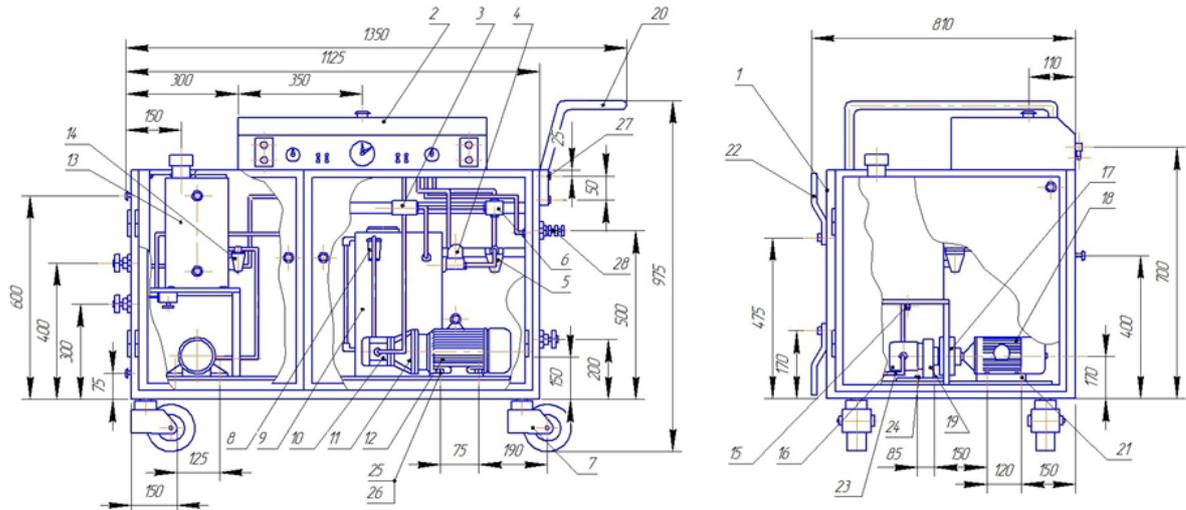
Функціональна залежність між шаром забруднень та швидкістю обертання ротора

№ з/п	Розмір відкладень δ , мм	Оберти ротора, n , хв^{-1}	№ з/п	Розмір відкладень δ , мм	Оберти ротора, n , хв^{-1}
1	0,5	5950	11	5,5	4950
2	1,0	5850	12	6,0	4900
3	1,5	5750	13	6,5	4850
4	2,0	5650	14	7,0	4800
5	2,5	5600	15	7,5	4750
6	3,0	5550	16	8,0	4700
7	3,5	5200	17	8,5	4650
8	4,0	5100	18	9,0	4500
9	4,5	5050	19	9,5	4450
10	5,0	5000	20	10	4400



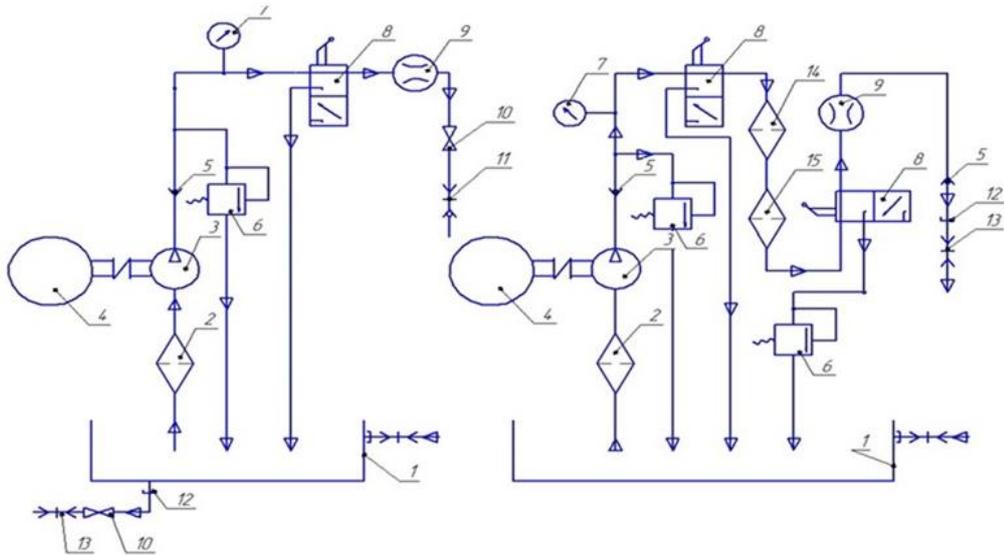
Вплив товщини осадового шару на швидкість ротора

Установка для відновлення відпрацьованих робочих рідин



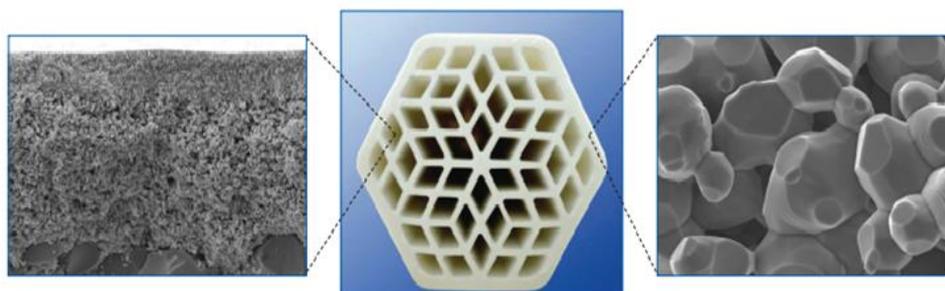
1- каркас; 2- пульт керування; 3- клапан запобіжний; 4- фільтр центробіжний; 5- фільтр тонкої очистки; 6 - коробка розподільна; 7- колесо поворотне; 8, 14 - фільтр забірний; 9, 13 - бак гідравлічний; 10, 16- насос шестеренний; 11 – картер; 12, 18 – електродвигун; 15 – кран зливний; 17- муфта; 19- стійка; 20- ручка; 21- плита; 22 – вилка; 23 – рукав гідравлічний; 24, 25, 26, 27 – болтові з'єднання; 28 – муфта гідравлічна

Схема гідравлічна



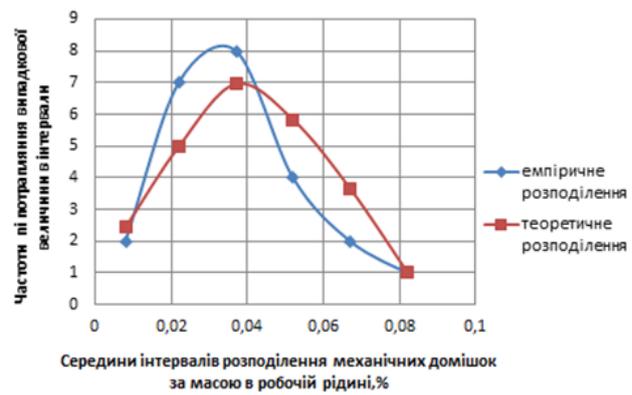
1.Бак; 2. Фільтр сітчатий; 3.Насос шестеренний; 4.Електро двигун; 5.Клапан зворотній;
 6.Клапан запобіжний; 7.Манометр; 8.Кран розподільний; 9.Лічильник; 10. Кран;
 11.Швидкозмінна муфта зі зворотнім клапаном; 12. З'єднання штецерне різьбове;
 13. Швидкозмінна муфта; 14. Центрифуга; 15. Фільтр тонкої очистки.

Структура та електронна мікрофотографія внутрішнього і зовнішнього шарів мембрани «Membralox»



Інтервальний статистичний розподіл механічних забруднень робочої рідини

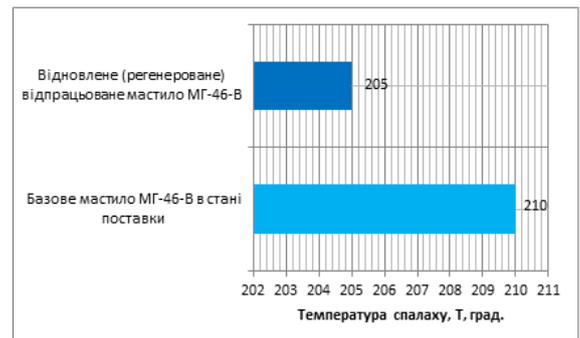
Межі часткових інтервалів, МВ	0... 0,015	0,015.. 0,030	0,030.. 0,045	0,045.. 0,060	0,060.. 0,075	0,075.. 0,090	0,090.. 0,105
Середини інтервалів $X_{i,3}$, мм	0,0025	0,0225	0,0375	0,0525	0,0675	0,0825	0,0975
Частоти, m_i	2	7	8	4	2	1	1
Дослідна ймовірність, m_i/N	0,08	0,28	0,32	0,16	0,08	0,04	0,04
Нагромаджена дослідна ймовірність, $\sum m_i/N$	0,08	0,36	0,68	0,84	0,92	0,96	1



Полігон розподілу механічних домішок у робочій рідині за масою



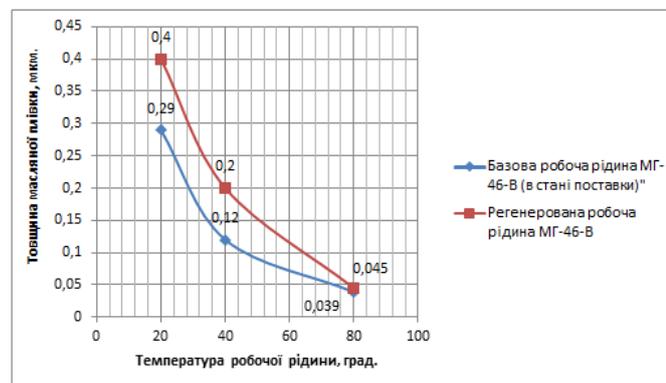
Гістограма корозійності робочих рідин:
 1 – базове мастило МГ-46-В в стані поставки;
 2 – відновлене (регенероване) відпрацьоване мастило МГ-46-В.



Гістограма температур спалаху :
 1 – відновлене відпрацьоване мастило МГ-46-В;
 2 – базове мастило МГ-46-В (в стані поставки);

Результати виміру товщини масляної плівки рідини МГ-46-В від температури, (мкм)

№ з/п	Температура рідини, °C	Товщина плівки для регенованої оливи, мкм	Товщина плівки не обробленої оливи, мкм
1	20	0,29	0,40
2	40	0,12	0,20
3	80	0,039	0,045

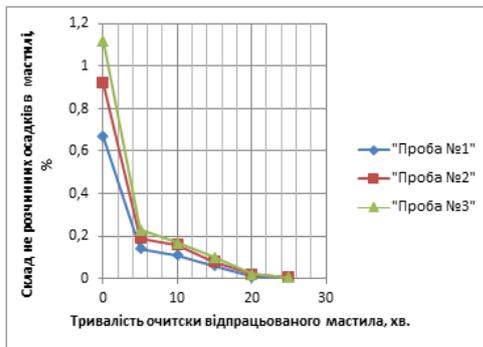


Вплив температури робочої рідини на товщину масляної плівки:

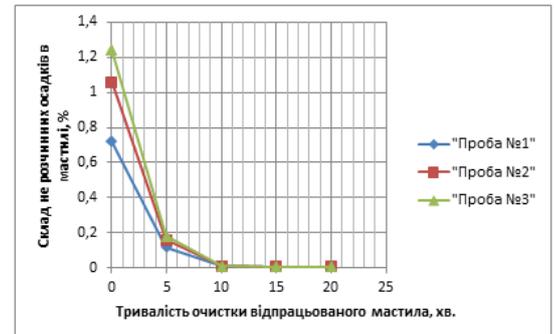
- 1 – базове мастило М-46-В (в стані поставки);
- 2 – відновлене відпрацьоване мастило М-46-В.

Результати очистки відпрацьованих рідин на експериментальній установці за часом її роботи

Час очистки, хв.	Очистка оливи без гідроімпульсного руху			Очистка оливи з віброударною фільтрацією		
	Склад не розчинних осадків у рідинах, МГЕ-46-В, х ₀ , %.			Склад не розчинних осадків у рідинах, МГЕ-46-В, х ₀ , %.		
	Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №1	Проба №2	Проба №3
0	0,67	0,92	1,12	0,72	1,06	1,24
5	0,14	0,19	0,23	0,12	0,16	0,18
10	0,11	0,16	0,17	0,09	0,01	0,011
15	0,06	0,08	0,10	0,007	0,008	0,009
20	0,01	0,02	0,02	0,006	0,006	0,006
25	0,006	0,006	0,0060	-	-	-



Динаміка очистки відпрацьованого мастила від не розчинних осадків за часом, без гідроімпульсного руху оливи в гідравлічному контурі тонкої очистки



Динаміка очистки відпрацьованого мастила від не розчинних осадків за часом, з віброударною фільтрацією в гідравлічному контурі тонкої очистки

Техніко-економічні показники

Показник	Базові показники	Розроблені показники
Вид діяльності	Тех. обл.	Техн. обл.
Обсяг програми, од.	500	1000
Число слюсарів, од.	1	2
Капітальні витрати, грн.	120000	143000
Експлуатаційні затрати, грн.	235088,7	413422,8
- сумарна оплата праці, грн.	124440,0	248880,0
- відрахування на амортизацію, грн.	26316,0	31359,9
- витрати на електроенергію, грн.	52800,0	79200,0
- сервісне обслуговування, грн.	7894,8	9408,0
- відрахування на забезпечення зручності праці, грн.	11194,7	19686,8
Витрати на ремонтні роботи, грн.	239790,5	421691,3
Дохід за рік, грн.	35209,5	128308,7
Додатковий дохід, грн.	-	93099,2
Окупність матеріальних витрат, р.	-	1,5

Основні висновки

1. Розподілення частоти проб, по складу механічних домішок показує, що забрудненість рідин коливається в широких значеннях, при однаковому напрацюванні у різних машин і підпорядковується нормальному закону розподілу фізичної величин. Масовий вміст забруднень в робочих рідин в процесі експлуатації значно перевищує норму, який повинен бути не більше 0,005% за ДСТУ 6370-83.
2. Внаслідок осадження частинок на стінках ротора внутрішній діаметр (r) зменшується, що пропорційно знижує швидкість осадження часток і, як наслідок, зменшує ефективність очищення мастила.
3. Зі збільшенням товщини шару забруднень у роторі в діапазоні 1...10 мм, момент інерції зростає з 0,0091 до 0,0122 $кг \cdot м^2$, що на 25% перевищує значення для чистого ротора. Це призводить до подовження часу розгону центрифуги від стану спокою до номінальної частоти обертання, що негативно впливає на ефективність очищення мастила.
4. При забрудненні ротора центрифуги до $\delta = 10 мм$ зменшення частоти обертання ротора дорівнює 26,6%, що відповідає близько 1500 $хв^{-1}$ і обумовлює фактичну частоту обертів ротора до 4400 $хв^{-1}$ при якій необхідна очистка фільтра.
5. Реалізацію гідроімпульсного режиму руху рідини в контурі тонкої фільтрації, що досягається застосуванням двокаскадного двоходового двопозиційного віброзбудника з частотою коливань до 150 Гц. дозволяє періодичне підвищення в ньому тиску в 2,5 рази, і відповідно швидкості руху рідини на 6% при звичайній, безударній фільтрації.

6. Застосування гідроімпульсних ударних хвиль у фільтраційному контурі забезпечує періодичне руйнування осаду на стінках фільтра та зменшення забивання його пор, що суттєво підвищує та стабілізує продуктивність очищення. Додатково віброударний вплив сприяє коагуляції забруднень, завдяки чому інтенсивність регенерації робочої рідини зростає.
7. Запропонована конструкція установки призначена для очищення робочих рідин від неорганічних домішок (продуктів зносу пар тертя в гідроагрегатах, зовнішніх абразивних забруднень тощо) та, у разі втрати рідиною її мастильних властивостей (протизадирної стійкості, протизносності) і експлуатаційних характеристик (в'язкості, стискаємості, спінювання тощо), забезпечує їх відновлення.
8. Корозійність відновленої робочої рідини склала – $19,8 \text{ г/м}^2$, що на 11,6 % більше в порівнянні з показником для нової рідини, але при цьому у регенованого мастила він не перевищує максимальний дозволений показник - $20,0 \text{ г/м}^2$, що вказує на можливість застосування відновленої рідини повторно за показником корозійності.
9. Показник температури спалаху регенованого мастила становив - $205 \text{ }^\circ\text{C}$., що на 2,4% перевищує нормований показник. Такий стан справи обумовлюється зменшенням об'єму кількості присадок, які відповідають за температуру спалаху, при цьому можна вважати, що регеновані робочі мастила задовольняють вимогам пожежонебезпеки.
10. Значний розбіг між товщинами масляних плівок $0,11 \text{ мкм}$ для нової рідини і регенованого, при температурі 20°C пояснюється більшою концентрацією присадок в новому мастилi, що відповідають за його в'язкість. При температурі 80°C різниця в товщині масляних плівок двох мастил становить $0,006 \text{ мкм}$, що вказує на відновлення роботи в регенованому мастилi присадок, які впливають на в'язкість рідини.

11. У регенованих мастил, показники товщини масляної плівки, при роботі на температурах 40°C будуть задовільняти умови роботи спряжень з точки зору забезпечення рідинного тертя між робочими поверхнями деталей.

12. Експериментальні дослідження показали, що при віброударній фільтрації масова частка забруднень у мастил зменшується на 17,7 %, за перші п'ять хвилин очистки, а час стабілізації процесу очищення скорочується на 33,3 %, порівняно з безвібраційним режимом фільтрації.

13. При використанні розчинників для видалення жирових плівок з поверхонь гідравлічних агрегатів приміщення слід провітрювати щогодини, відкриваючи вікна не менше 1,32 хвилини, щоб забезпечити пожежну безпеку. Щоб зменшити концентрацію розчинника, необхідно провітрювати протягом не менше чотирьох годин.

14. Розрахунки техніко-економічної ефективності показують, що за річної програми в 1000 обслуговувань впровадження запропонованих заходів з обслуговування та використання регенованих мастил у гідросистемах тракторів забезпечує річний економічний ефект - 93099,2 грн. Термін окупає мості складає , що узгоджується з чинними нормативами та підтверджує обґрунтованість і ефективність упроваджених заходів.