

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Технічного сервісу та інженерного

(назва кафедри)

менеджменту імені М.П. Момотенка

Руслан ШАТРОВ

(підпис)

(ПІБ)

« ____ » _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Розробка технології технічного контролю тракторів у ТОВ
«Ксаверівське» Київської області»**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Братішко Вячеслав Вячеславович

(ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

к.е.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Євтушенко Володимир Дмитрович

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Новік Максим Сергійович

(ПІБ)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет Механіко – технологічний

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. завідувача кафедри Технічного сервісу та
інженерного менеджменту імені М.П. Момотенка

К.Т.Н., доцент Шатров Р.В.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

« ____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту

Новіку Максиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра «Розробка технології технічного контролю тракторів у ТОВ «Ксаверівське» Київської області»

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

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра Матеріали первинного бухгалтерського обліку, _____ нормативно – методичні матеріали, науково – технічна література

Перелік питань, які потрібно розробити:

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ Й ВИБІР ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКІВ Р-80

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ

ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКІВ ПО ПАРАМЕТРАХ

ВНУТРІШНЬОЇ НЕГЕРМЕТИЧНОСТІ

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

ДОСЛІДЖЕННЯ

Перелік графічних документів: Електронна презентація на 12 слайдів

Дата видачі завдання «10» вересня 2025 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____
(підпис)

Євтушенко В.Д.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Новік М.С.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ РОЗРОБКИ.....	8
1.1. Технічна діагностика і її роль у підвищенні надійності тракторів.....	8
1.2. Аналіз способів і засобів діагностування гідроприводів тракторів.....	12
1.3. Аналіз надійності гідророзподільників та встановлення дефектів деталей.....	18
1.4. Висновки та задачі роботи.....	26
2. ОБҐРУНТУВАННЯ Й ВИБІР ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКІВ Р-80.....	29
2.1. Обґрунтування об'єму вибірки необхідної для проведення експерименту.....	29
2.2. Аналіз способів контролю герметичності і їхня оцінка стосовно до діагностування гідророзподільників.....	31
2.3. Вибір діагностичних параметрів.....	36
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКІВ ПО ПАРАМЕТРАХ ВНУТРІШНЬОЇ НЕГЕРМЕТИЧНОСТІ.....	40
3.1. Програма і загальна методика експериментальних досліджень.....	40
3.2. Експериментальна установка та вимірювальна апаратура для контролю розподільників.....	41
3.3. Методика дослідження залежності втрат робочої рідини від зазорів в спряжені корпус – золотник.....	46
3.4. Результати експериментальних досліджень.....	50
3.5. Діагностування гідророзподільників за допомогою стисненого повітря.....	52
3.7. Висновок.....	58
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	59

4.1. Організація охорони праці на підприємстві.....	59
4.2. Стан охорони праці.....	60
4.3. Аналіз виробничого травматизму	61
4.4. Заходи по поліпшені умов праці.....	63
4.5. Охорона навколишнього середовища.....	65
4.6. Розробка організаційно-технологічної карти по охороні праці.....	67
4.7. Висновок.....	69
5. ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	
ДОСЛІДЖЕННЯ.....	70
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ Й РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ.....	76
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	78
ДОДАТКИ.....	82

РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається з п'яти розділів загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

В першому розділі проведено аналітичні дослідження надійності гідравлічних розподільників та визначено причини виходу їх з ладу. Також проведено аналіз способів діагностування технічного стану.

В другому розділі проведено аналіз способів контролю герметичності з'єднання корпус-золотник гідророзподільника, а також визначено втрати рідини через це з'єднання.

В третьому розділі розроблено методику експериментальних досліджень та визначено залежності втрати рідини і повітря від зазору у з'єднанні корпус – золотник.

В четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

П'ятий розділ присвячено техніко-економічному обґрунтуванню роботи.

Дипломна робота складається з пояснювальної записки об'ємом 82 сторінки та 12 слайдів демонстраційного матеріалу.

Ключові слова - золотник, корпус, діагностування, контроль якості, з'єднання, втрата повітря.

ВСТУП

Однією з тенденцій розвитку нашої країни як суверенної держави, а саме розвитку АПК – є використання енергонасичених тракторів та сільсько-господарських машин. Всі трактори та машини оснащені гідравлічною системою робочої навіски, яка приводиться в дію за рахунок нагнітання робочої рідини гідравлічними насосами різних модифікацій та розподіленням потоків рідини розподільниками.

На вітчизняних тракторах використовуються розподільники типу Р-80, Р-160 виробництва АО Гідросила "МЗТГ" , також використовуються аналогічні закордонні агрегати. В закордонних гідравлічних системах тракторів для нагнітання та розподілення робочої рідини до агрегатів гідросистеми та створення в них тиску використовуються гідроагрегати (виробник фірми BOSCH, Rex Rot «Німеччина», Eaton «США», Danfos «Данія» та інші).

Гідравлічні агрегати, які в ходять в гідравлічну систему, включають в себе значну кількість деталей, виготовлених по високим класам точності та чистоти поверхні, що обумовлює їх високу надійність.

Але не дивлячись на те, що за конструкцією, технологією виготовлення та застосування якісних матеріалів, гідроагрегати вважаються надійними, в умовах експлуатації все ж виникають відмови, пов'язані з втратою їх працездатності. І тому необхідно провести аналіз відмов гідроагрегатів та розробити шляхи підвищення їх надійності.

У роботах, які розглядають надійність гідроагрегатів (гідравлічної системи в цілому та надійність гідростатичних трансмісій) [1, 2, 3, 4] відмічено, що на долю цих відмов приходить близько 30% від всіх відмов машини, які виникають в умовах експлуатації. В деяких роботах встановлено, що відмови гідросистеми можуть сягати 70% [5].

Проведеним у нашій країні й закордоном дослідженням з теорії й надійності гідравлічного приводу присвячені праці відомих учених: Башти

Т.М., Лозовского В. М, Сирицина Т.А., Дидура В.А. та інших. Результати цих досліджень створили необхідну наукову основу для вивчення впливу різних факторів на експлуатаційну надійність золотникових пар гідравлічних агрегатів.

Аналіз причин їх виникнення показує, що вони як правило обумовлюються порушенням технічних вимог до правил експлуатації, недостатнім контролем технічного стану агрегатів, несвоєчасним проведенням ремонтно-обслуговуючих робіт, застосуванням робочої рідини, яка не відповідає технічним вимогам, невмінням механізаторів експлуатувати техніку оснащену гідравлічними агрегатами, а також порушенням технології виготовлення та збирання агрегатів.

Одним з головних напрямків, що забезпечують безвідказність роботи машин в період їх експлуатації, це якісна підготовка гідроагрегатів до роботи (їх ремонт).

Якісний ремонт можливо зробити лише в тому випадку коли буде дотримуватись технологія ремонту та будуть розроблені ефективні методи після ремонтної обкатки та випробування.

Об'єкт дослідження. Гідравлічний розподільник та процеси втрати рідини і повітря через зазори у з'єднанні корпус-золотник.

1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Технічна діагностика і її роль у підвищенні надійності машин

"Технічна діагностика - це галузь знань, що досліджує технічні стани об'єктів діагностування прояви технічних станів, й розробляє методи їхнього визначення, а також принципи побудови й організацію використання систем діагностування".

Метою технічної діагностики є підвищення надійності й збільшення ресурсу об'єктів діагностування, тому технічну діагностику варто розглядати як один з розділів загальної теорії надійності.

Завдання, розв'язувані технічною діагностикою, підрозділяються на два важливих напрямки:

- дослідження контролездатності об'єктів діагностування;
- розпізнавання виду технічного стану об'єкта діагностування в умовах обмеженого обсягу інформації.

Об'єктом дослідження теорії контролездатності є системи технічного діагностування. Під системою діагностування розуміють сукупність засобів і об'єкта діагностування, і при необхідності, виконавців, підготовлену до діагностування або здійснюючу його за правилами, установленим відповідною документацією.

Об'єктами технічного діагностування є будь-які технічні системи, якщо вони можуть перебувати, по крайній мірі, у двох взаємовиключних і помітних станах: працездатному й непрацездатному, і в них можна виділити елементи, кожний з яких також характеризується різними станами [4].

У своїх положеннях технічна діагностика виходить із того, що будь-який об'єкт діагностування може перебувати в безлічі різних станів, кожне з яких характеризується комплексом параметрів, що визначають виконання системою заданих функцій. Параметри підрозділяються на функціональні,

Функціональні параметри визначають правильність функціонування об'єкта діагностування. При цьому під правильністю функціонування розуміється вид технічного стану, у якому застосовуваний по призначенню об'єкт діагностування виконує в сучасний момент часу запропоновані йому алгоритми функціонування зі значеннями параметрів, що відповідають установленим вимогам (ДСТУ 13377).

Техніко-економічні параметри характеризують працездатність об'єкта діагностування. Під працездатністю розуміється такий вид технічного стану об'єкта діагностування, при якому об'єкт здатний виконувати задані функції, зберігаючи при цьому значення заданих параметрів у межах, установлених нормативно-технічною документацією.

Структурні параметри визначають справність об'єкта діагностування. Під справністю передбачається такий вид технічного стану виробу, при якому він відповідає всім вимогам, установленим нормативно-технічною документацією.

Якщо комплекс параметрів, що характеризують технічний стан об'єкта використовується для визначення виду його технічного стану, то такі параметри називаються діагностичними. В якості діагностичних параметрів можуть використовуватися як функціональні, структурні й техніко-економічні параметри, так і параметри процесів, що супроводжують зміну технічного стану, наприклад, шуму, вібрації, нагрівання й т.д.

По способі одержання діагностичної інформації діагностування підрозділяють на суб'єктивне й об'єктивне.

При суб'єктивному діагностуванні основним засобом діагностування є органи почуттів людини, за допомогою яких сприймаються й оцінюються значення діагностичних параметрів . Визначення виду технічного стану при цьому виробляється на підставі наявного досвіду й знань, а то й просто інтуїтивно.

Об'єктивне діагностування передбачає обов'язкове використання апаратурних засобів і способів одержання діагностичної інформації. При цьому

засоби діагностування повинні бути зручними для застосування в умовах експлуатації, забезпечувати мінімальні витрати часу на підготовку й проведення діагностування, мати достатню точність і вірогідністю показань, не вимагати розбирання машини, бути економічно доцільними.

Стосовно об'єкта діагностування, засоби діагностування можна розділити на вбудовані й зовнішні. Вбудовані засоби діагностування виконуються в загальній конструкції з об'єктом діагностування. Зовнішні засоби діагностування виконуються окремо від конструкції об'єкта діагностування. При цьому зовнішні засоби діагностування по ступені мобільності можна розділити, на переносні, пересувні й стаціонарні.

Вивчення об'єктів діагностування повинне бути спрямоване на виявлення функціональних зв'язків між елементами всередині об'єкта діагностування, впливу порушення цих зв'язків на вид технічного стану, оцінку пристосованості об'єкта до діагностування.

По ступені пристосованості до діагностування всі об'єкти можна розбити на три групи:

- пристосовані до діагностування;
- частково пристосовані;
- не пристосовані до діагностування.

До групи об'єктів, пристосованих до діагностування відносяться об'єкти, оснащені засобами для одержання й обробки діагностичної інформації. З їхньою допомогою виконується оперативний контроль технічного стану в процесі роботи.

Об'єкти, частково пристосовані до діагностування обладнані системою вбудованих пристосувань і датчиків або місцями для їхнього підключення. Діагностування виконується при технічному обслуговуванні підключенням автономного комплексу діагностичних приладів.

До третьої групи відносяться об'єкти, у конструкції яких заздалегідь не передбачене використання засобів діагностування, що приводить, як прави-

ло, до необхідності втручання в робочий процес або до часткового його розбирання.

В залежності від вхідних впливів на об'єкт із боку засобів діагностування розрізняють:

- функціональне технічне діагностування;
- тестове технічне діагностування.

Функціональне діагностування - це діагностування, що здійснюється під час функціонування об'єкта, на який подаються тільки робочі впливи.

Тестове діагностування - таке діагностування, при якому з метою визначення виду технічного стану на об'єкт із боку засобу діагностування подаються тестові впливи. За допомогою тестового діагностування питання перевірки справності й працездатності або пошуку несправностей переважно вирішують тільки тоді, коли об'єкт не використовується по прямому призначенню. Допускаються тестові впливи й на працюючий об'єкт, але при цьому вони не повинні порушувати його нормальне функціонування.

Тестові впливи можуть подаватися на об'єкт діагностування одночасно або послідовно. У випадку послідовного прикладання тестових впливів і при їхній великій кількості істотний вплив на результат діагностування може зробити черговість перевірок. З метою зменшення обсягу робіт і витрат при діагностуванні розробляється й оптимізується алгоритм діагностування, що пропонує перелік і послідовність тестових впливів, а також порядок і правила виміру вихідних параметрів об'єкта.

При розробці алгоритму діагностування велика увага приділяється вибору діагностичних параметрів.

По глибині пошуку несправності, що задається вказанням складової частини об'єкта з точністю до якої визначається її місце, діагностичні параметри підрозділяються на частні і загальні. Частні діагностичні параметри вказують на цілком певну несправність об'єкта із вказівкою місця її виникнення. Загальні діагностичні параметри характеризують загальний технічний стан об'єкта без вказівки конкретної несправності.

При виборі діагностичних параметрів до них пред'являються вимоги однозначності, інформативності, стабільності широти поля зміни, доступності й зручності виміру, технологічності.

Під однозначністю розуміють відповідність кожному значенню діагностичного параметра тільки одного цілком певного виду технічного стану об'єкта.

Інформативність діагностичного параметра визначається питомою вагою відмов об'єкта в загальній кількості й вартості відмов, які можна виявити за допомогою діагностичного параметра .

Широта поля зміни характеризується відношенням величини зміни діагностичного параметра до відповідної величини зміни структурного параметра.

Доступність і зручність виміру діагностичного параметра визначається пристосованістю об'єкта до діагностування й конструкцією діагностичних засобів.

Технологічність виміру параметра характеризується трудомісткістю й вартістю процесу діагностування.

Розглянуті вище основні положення технічної діагностики містять коло основних питань, завдань і вимог, на рішення яких повинні бути спрямовані дослідження, пов'язані з розробкою діагностичних систем і створенням нових способів і засобів діагностування.

1.2. Аналіз способів і засобів діагностування гідроприводів тракторів

Метою аналізу є розкриття фізичної сутності відомих по літературних джерелах способів діагностування, а також оцінка їх з урахуванням можливості використання при діагностуванні гідророзподільників в умовах підприємств, що експлуатують та ремонтують гідророзподільники.

З огляду на специфіку технічного обслуговування гідроагрегатів, а також сформовану організацію ремонтів на спеціалізованих ремонтних підп-

риємствах, переважний інтерес представляють способи й засоби діагностування їх загального технічного стану [6, 7, 8, 9, 10].

По фізичній сутності процесів, що лежать в основі способів діагностування, а також відповідно до параметрів технічного стану, використовуваними при цьому, всі способи діагностування можна розбити на наступні групи:

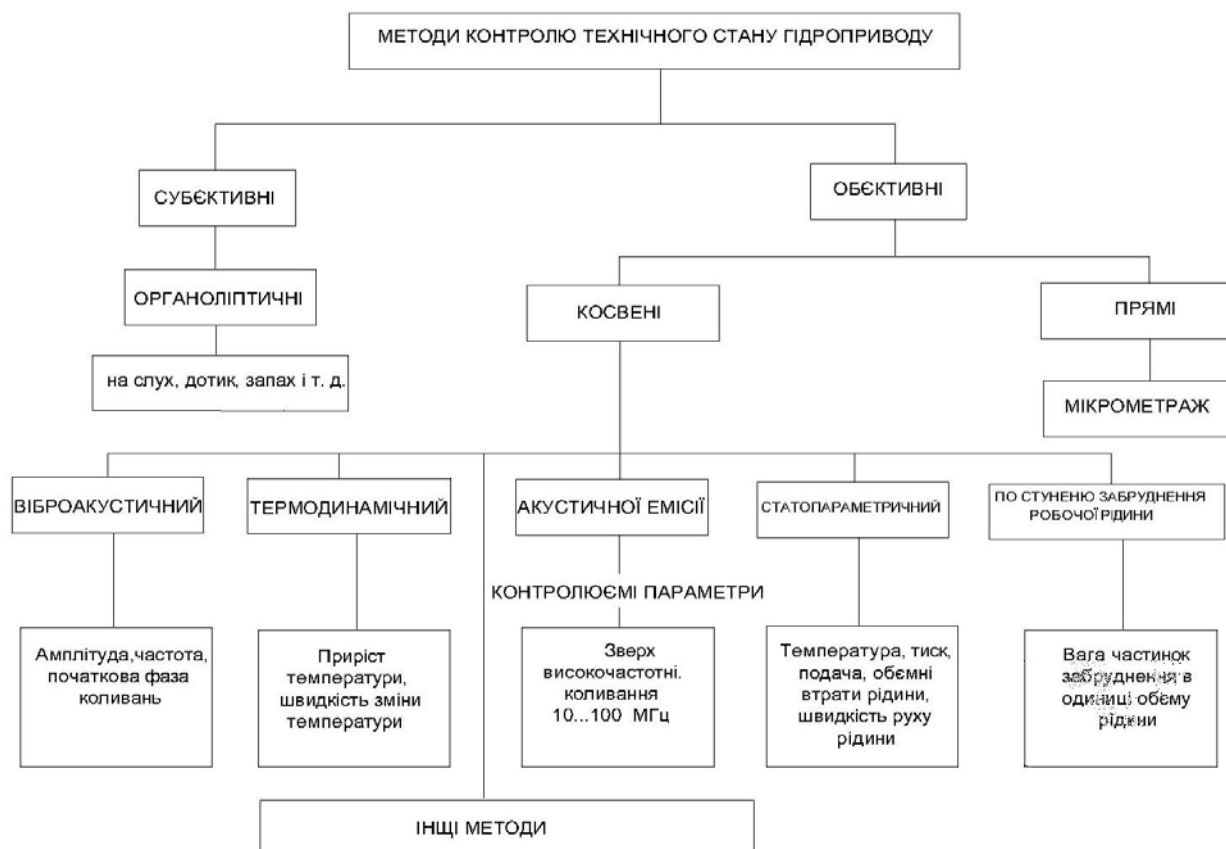


Рис. 1.1. Методи контролю технічного стану

Статопараметричний метод :

Як було сказано вище як діагностичні параметри даного методу використовують тиск у напірній і силовій гідролініях, витрати робочої рідини, коефіцієнт подачі об'ємного ККД.

Як параметри контролюючий режим діагностування, від якого залежать величини діагностичних параметрів, використовують температуру робочої рідини, частоту обігу вала гідронасосу й тиск, навантажуючи систему при діагностуванні.

Об'ємний ККД, коефіцієнт подачі й втрати робочої рідини є діагностичними параметрами, характеризуючими внутрішні негерметичності в гідросистемі. вони перебувають у функціональній залежності з такими структурними параметрами як зазори в спряженнях, тертя гідроеlementів, які збільшуються в процесі експлуатації машини й фактично визначають працездатність з'єднання. У загальному випадку для кільцевої щілини між поршнем і гільзою величина витрати визначається певною залежністю.

Ще пропонується для визначення зазорів у спряженнях агрегатів діагностування спеціальні номограми. Знаючи величину втрат робочої рідини, сорт застосованої рідини, тиск і температуру по номограмі легко визначити величину зазору в спряженнях. Об'ємний ККД у загальному випадку для гідроприводу визначається відношенням. При різкому збільшенні вмісту нерозчиненого газу в системі збільшується величина умовних „втрат”, що пов'язані із процесом зіткнення робочої рідини й відповідно збільшується сумарні об'єми втрати.

Віброакустичний метод:

Найбільша частина досвідів присвячених віброакустичному методу діагностування спрямована на забезпечення більше реального знаходження ушкодження.

В області контролю якості особливо складних механічних структур з більшим числом можливих джерел шумів, наприклад насос або гідромотор, віброакустичний метод найближчим часом реалізованим бути не може. До основних причин такого положення ставляться:

Віброакустичний метод є на наш час одним з найбільш обізнаних, відрізняється складністю апаратури й більш того її недостатньої якості вітчизняного виробництва.

Специфіка гідроприводу обумовлюється невзаємозамінністю ряду елементів, появи сторонніх джерел вібрації прикладом якого є робоча рідина,

ускладнює аналіз норм вібрації. Дана обставина ускладнюється відсутністю передатної функції від джерела вібрації до місця їхнього виміру.

У зв'язку із цим діагностична апаратура має потребу в більше вимогах, чим при діагностуванні промислового встаткування.

Віброакустичний метод може бути реалізоване при рішенні слідуючих основних проблем: вплив параметрів робочої рідини на проходження віброімпульсу через вузли, вивчення інформативності невідновлених режимів, можливого точного знаходження механізму, що є тимчасовим джерелом шуму.

Метод акустичної емісії:

Спосіб є найбільше перспективним. Він не знайшов поки ще широкого застосування в техніку через недостатній розвиток теорії методу й відсутності апаратури, складність створення якої обумовлена високим значенням критичної частоти (500 кГц).

Метод діагностування гідроприводів за коефіцієнтом корисної дії:

Призначення гідроприводу в дорогій машині є перетворення механічної енергії приводного двигуна в енергію потоку рідини й далі в механічну енергію виконуючих органів.

При експлуатації внаслідок зношування деталей гідроагрегатів виникає збільшення внутрішніх втрат у гідромашині, що приводить до зниження її об'ємного й повного ККД.

Контроль об'ємного ККД гідромашини при експлуатації дозволяє оцінити внутрішні втрати рідини й, таким чином, дати певну інтегральну оцінку технічного стану агрегату без його демонтажу й розбирання.

Повний ККД гідромашини характеризується об'ємними й механічними втратами. Для визначення об'ємного ККД необхідно визначити фактичну подачу гідроагрегату для чого необхідно троянд герметизувати систему: включити в гідравлічну лінію будова який буде фіксувати кількість рідини, що

проходу через будова, тиск і кількість циклів, які пройшли за певний період часу.

Для визначення механічного ККД необхідно виміряти Крутий момент на валу гідромашини, що майже неможливо зробити в умовах експлуатації.

Комплексний вимір повного і об'ємного ККД дозволяє давати загальну оцінку технічного стану гідроагрегатів гідроприводу в цілому.

Установлення вимірювальної апаратури пов'язане з витратами часу, залученням декількох діагностів, а внаслідок роз'єднання гідравлічних рукавів губиться деяка кількість робочої рідини й відбувається її забруднення.

Діагностування по ступені забруднення робочої рідини:

Даний метод не дозволяє точно вказати на несправний вузол або деталь (якщо таких вузлів і деталей трохи й виготовлені вони з однакових матеріалів). Крім того, необхідність узяття проби робочої рідини приводить до ймовірності порушення стерильності гідроприводу.

Спосіб дозволяє встановити початок і інтенсивність процесів зношування елементів гідроприводу, що важливо при виконанні прийомно-здаточних випробувань.

Для визначення рівня забруднення робочої рідини без відбору її з гідросистеми доцільно використовувати ємний метод виміру забруднення. Суть методу базується на порівнянні залежності електроємності конденсаторів від сторонніх предметів, які потрапили в простір між обкладками.

При цьому сторонні предмети можуть бути як діелектриками, так і провідниками.

Оскільки діелектрики володіють діелектричною проникливістю більше чим вакуум, то ємність конденсатору росте пропорційно ? діелектрика. Відповідно діелектрики з різним ? по різному впливом на величину електроємності тобто наявність в оливі діелектричних забруднень із відмінною діелектричною проникливістю від контролюємої оливи приводить до зміни електроємності конденсаторного датчика.

Проводимі тіла володіють вільними зарядами, тому при їхньому влученні в електричне поле конденсатору проходить перерозподіл вільних носіїв тобто, це поле усередині провідників відсутнє. Це у свою чергу приводить до перерозподілу електричного поля конденсатору так, що величина його електроємності збільшується. Таким чином, ємнісний датчик стає чутливим і до металевих часточок, які потрапили в оливу.

Тобто ємнісний датчик може служити джерелом інформації про ступінь забруднення оливи.

Термодинамічний метод:

В основу даного методу діагностування гідропривід покладений принцип, що всі втрати в ньому перетворюються в тепло. теоретичні дослідження [5] показують на принципову можливість діагностування зношування деталей качаючого вузла насосу й мотору.

Термодинамічний спосіб, завдяки простоті, є перспективним при дослідженні технічного стану агрегатів гідроприводу в умовах експлуатації.

Він впроваджений у практику діагностування гідромашин за кордоном [2], але також є й у вітчизняні теоретичні й практичні розробки [6] існуючі методи діагностування характеризуються прямим діагностуванням, які в більшості випадків не дає можливості відобразити реальну картину фізичних процесів, які протікають в агрегатах гідроприводу.

Для цього необхідно розробити ефективні методи діагностування й контролю якості ремонту для цього треба провести теоретичні й експериментальні дослідження.

Для реалізації цих досліджень необхідно розробити стенди, які дозволяють давати об'єктивну диференційну оцінку технічного стану розподільників і якості їхнього ремонту.

1.3. Аналіз надійності гідрозподільників та встановлення дефектів деталей

У роботі [11] наведені результати дослідження рівня відмов агрегатів і систем екскаватора Борекс 2201 на базі трактора ХТЗ, рис. 1.2, а також саме елементів гідросистеми цієї машини, рис. 1.3.

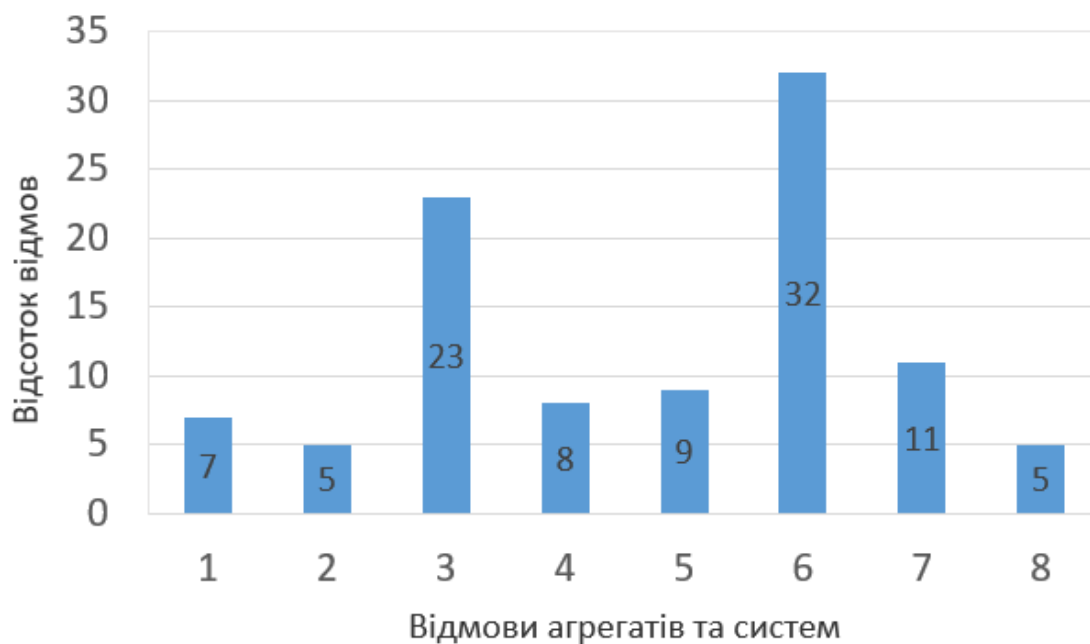


Рис. 1.2. Відмови агрегатів та систем тракторів БОРЕКС

1 – силова установка, 2 – система пуску, 3 – робочі органи, 4 – електрообладнання, 5 – механічні передачі, 6 – гідросистема, 7 – шарніри робочого обладнання, 8 – рама.

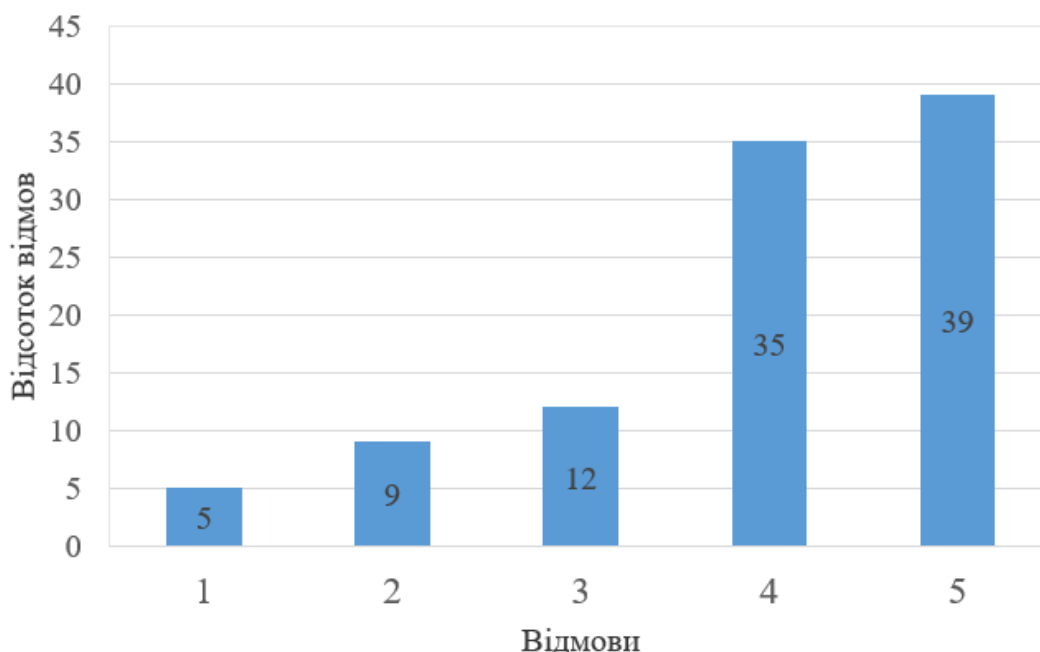


Рис. 1.3. Відмови елементів гідросистеми тракторів БОРЕКС

1 – інші елементи, 2 – гідророзподільники, 3 – гідроциліндри, 4 – рукава високого тиску, 5 – гідронасоси.

Аналіз представлених даних показує, що в конструкції екскаватора найбільша кількість відмов припадає на гідросистему. По рис. 1.2 видно, що відмови гідросистеми в основному обумовлені низькою надійністю гідравлічних агрегатів: аксіально-поршневого насоса (гідромотора); гідроциліндрів; гідророзподільників.

Досвід підприємств експлуатуючих машини, що оснащені подібними гідроагрегатами показує значне збільшення кількості відмов у зимовий період. При низьких температурах у складальних одиницях гідроприводу порушуються посадки, збільшується в'язкість робочої рідини, відбувається замерзання конденсату, значно погіршуються властивості гумовотехнічних виробів, спостерігаються ушкодження металевих і неметалічних трубопроводів, через недостатню їхню холодостійкість. У результаті число відмов узимку збільшується на 20 - 80 %, а простій машин у ремонті зростає в 1,2 - 1,5 рази.

Спостереженням за роботою та відмовами гідророзподільників встановлених на тракторах сільськогосподарського призначення які працюють у ТОВ "Гарант" встановлено розподіл відмов за видами рис. 1.4.

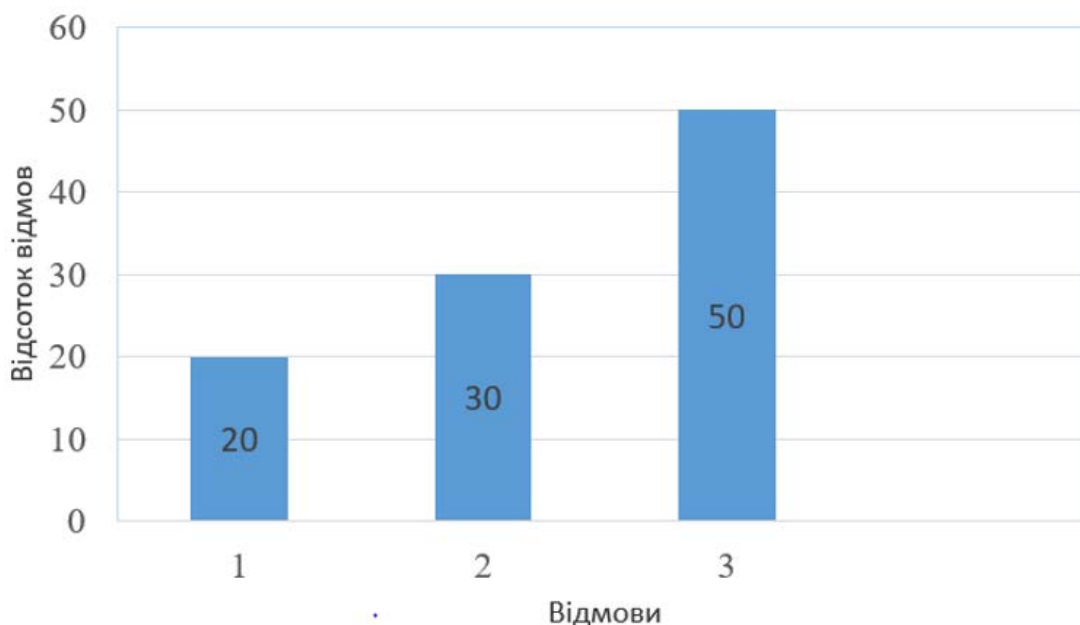


Рис. 1.4. Відмови гідророзподільників

1 – конструктивні, 2 - технологічні, 3 – експлуатаційні

Так експлуатаційні відмови складають 50 %, а це в основному порушення правил експлуатації та використання масел, що не відповідають технічним вимогам. Також до 30 % це технологічні відмови, що свідчить про низьку якість складання, а особливо низьку якість ремонту гідророзподільників.

Основною причиною поломок гідро розподільників є гідро абразивний знос [12] на долю якого припадає близько 35 % всіх відмов. Про це свідчить аналіз забрудненості робочої рідини (рис. 1.5) та видів зносу (рис. 1.6.).

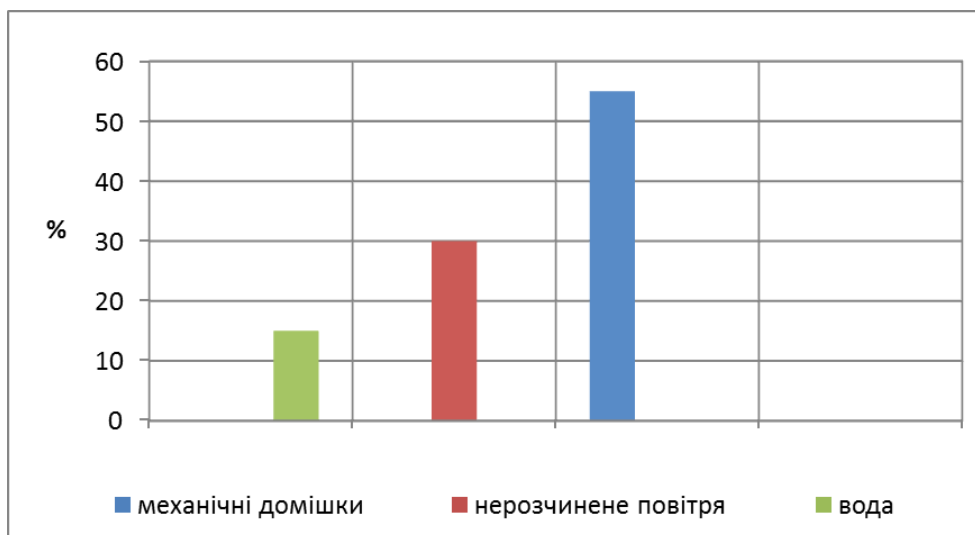


Рис. 1.5. Забруднення робочої рідини

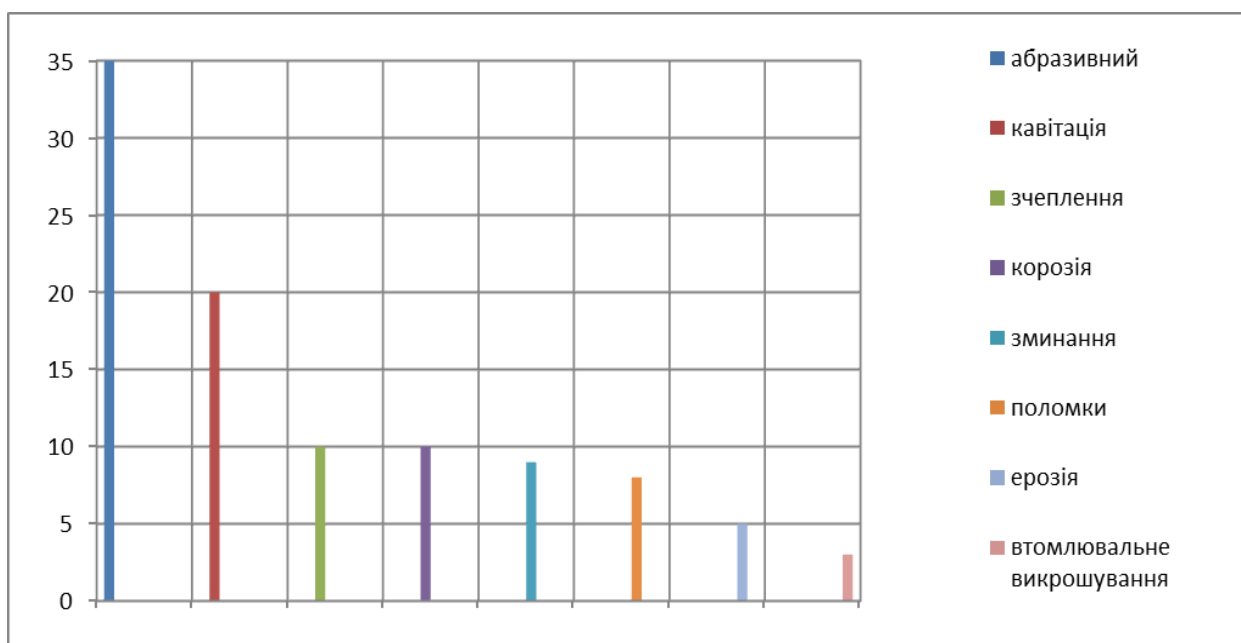


Рис. 1.6. Види зносу деталей гідророзподільників

Слабкою ланкою гідророзподільника є прецизійна пара тертя золотник – корпус (рис. 1.7), відмови яких на 95 % пов'язані із втратою гідросzczільності.



Рис. 1.7. Розподіл відмов з'єднань розподільника

Діагностування втрат рідини у гідро розподільнику є найбільш енергоємною операцією і тому необхідно розроблювати нові методи перевірки втрат рідини через дане з'єднання.

По даним [13, 14, 15], 90%-вий ресурс гідророзподільників при стендових випробуваннях становить 6000 мото-год., а в умовах експлуатації - 2000 мото-год. Основна причина зниження ресурсу полягає в низькій абразивній стійкості пар тертя, що зношуються. Агрегат знімається з експлуатації при дуже малих зносах робочих поверхонь золотника й корпусу у зв'язку з великим витокм рідини.

Після очищення, мийки й сушіння нерозкомплектованих золотникових пар авторами досліджень зроблені виміри діаметрів опорних поясків отворів корпусів і золотників у двох взаємоперпендикулярних перетинах по верхніх і нижніх краях.

За результатами вимірів визначені значення наступних параметрів: відхилення від діаметра 25,0 мм по поясах отворів корпусів і золотників; оваль-

ність і конусність поясків корпусів і золотників; зазори в сполученні золотник - корпус.

За отриманим даними дослідниками встановлене, що зношування поверхонь, що сполучаються, золотника й корпуса відбувається нерівномірно по довжині й утворюючої цих деталей, коефіцієнт повторюваності дефекту рівний 1.

За даними робіт визначені наступні закономірності зношування:

1. З отворів корпусів максимально зношується пояс 3 - середнє значення 17,1 мкм, мінімально пояс 1 - 6,3 мкм; середнє зношування 3 пояса більше 1 в 2, 7 рази. Крім зношування поясків у корпусів виявлені наступні дефекти: подряпини й ризки уздовж отвору; задири й відколи кромки, відповідно з коефіцієнтами повторюваності 0,27; 0,39 і 0,12.

2. У золотника максимально зношується пояс 6 - середнє значення 14,2 мкм, мінімально пояс 2-5 мкм; середнє зношування пояса 6 більше пояса 2 в 2, 9 рази.

3. Овальність поясків отворів корпуса, у середньому 3,55-4,48 мкм, при максимальній величині 15-19 мкм; золотника, у середньому 2,37-3,38 мкм, при максимальній величині 8-21 мкм.

4. Конусність поясків отворів корпуса, у середньому 3,43-7,4 мкм, при максимальній величині 13-38 мкм; золотника, у середньому 1,43-3,07 мкм, при максимальній величині 3-16 мкм. Тільки 6,6 % деталей з'єднання не мають відхилень геометричної форми.

5. Мінімальне й максимальне значення фактичного зазору з'єднання золотник - корпус відповідно 21 і 91 мкм, середнє значення 48,3 мкм, коефіцієнт варіації $v = 0,36$.

Узагальнення даних по дефектах і зносам золотників показало, що:

- максимально зношується шостий пояс, а мінімально другий пояс. Середнє зношування шостого пояса більше другого в 2, 6 рази; середнє значення максимальних зносів поясів становить 10,7 мкм, а найбільше значення рівне 24 мкм;

- середнє значення овалу в зношених золотників мінімально на третьому поясі (0,87 мкм) і максимально на четвертому (1,87 мкм);
- фактичний експлуатаційний зазор у золотниковій парі становить 57 ± 2 мкм, тобто в 2 рази вище, чим показали стендові випробування розподільників;
- установлене, що в експлуатаційних умовах більш 70% розподільників використовуються в несправному стані;
- середня швидкість зношування досліджуваної пари золотник-корпус становить $\sim 7 \cdot 10^{-6}$ мм/мото-год.

Виходячи з вищевикладеного, необхідно створити технологію відновлення зношених отворів корпусів і золотників, що забезпечують зниження швидкості зношування пари тертя до $4 \cdot 10^{-6}$ мм/мото-год.

Характерні дефекти деталей гідророзподільників наведено на рис. 1.8-1.12.

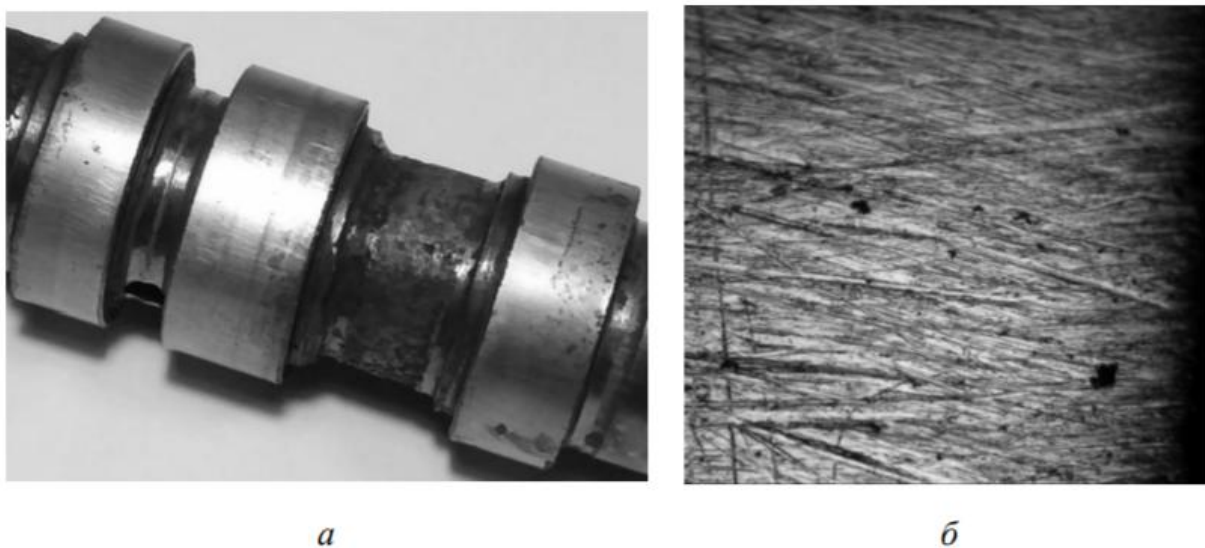


Рис. 1.8. Знос золотника

а – поски золотника зі слідами зносу, б – сліди зносу X50



Рис. 1.9. знос та корозія перепускного клапана

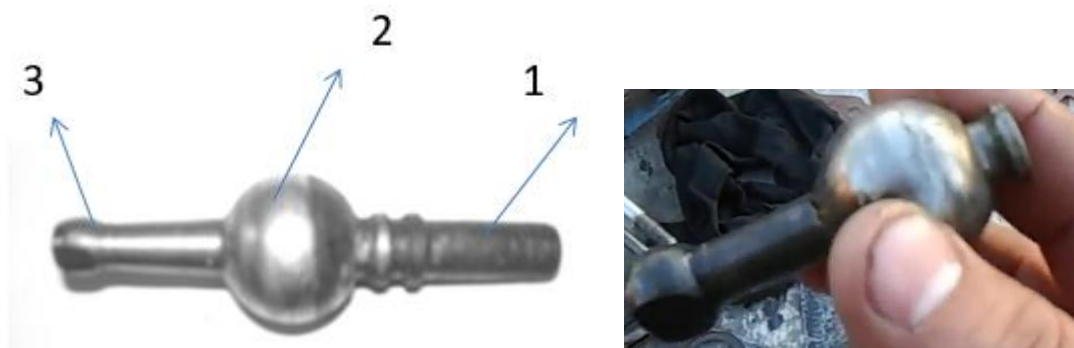


Рис. 1.10. Знос рычага

1- різьби, 2 – сферичної поверхні, 3 - наконечника



1.11. Знос та руйнування гумових ущільнень

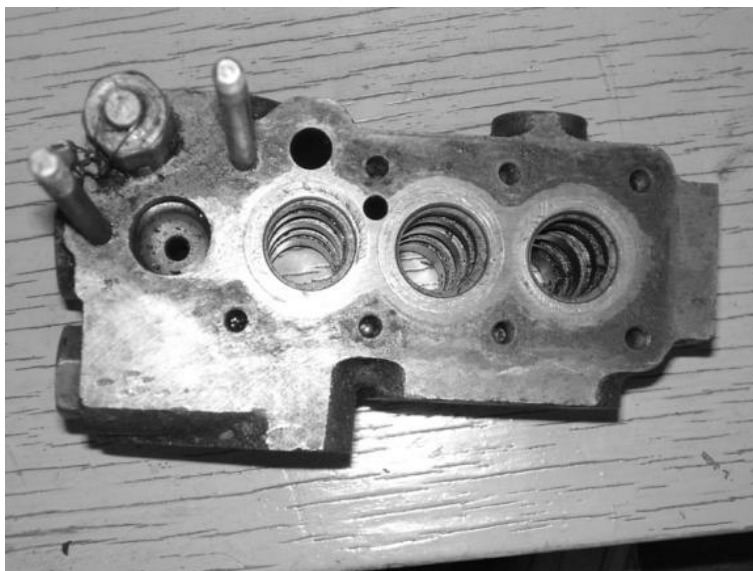


Рис. 1.12. Знос отворів корпусу гідророзподільника

Аналіз причин їх виникнення показує, що вони як правило обумовлюються порушенням технічних вимог до правил експлуатації, недостатнім контролем технічного стану агрегатів, несвоєчасним проведенням ремонтно-обслуговуючих робіт, застосуванням робочої рідини, яка не відповідає технічним вимогам, невмінням механізаторів експлуатувати техніку оснащену гідравлічними агрегатами, а також порушенням технології виготовлення та збирання агрегатів.

1.4. Висновки та задачі роботи

Аналіз системи організації технічного обслуговування тракторів оснащених гідророзподільниками показав, що найбільш ефективною системою технічного обслуговування є система, заснована на обслуговуванні машин "по потребі", тобто в обсязі, обумовленому в результаті оперативного діагностування гідроагрегатів, проведеного в рамках заходів системи планово-попереджувального ремонту й обслуговування. Вона забезпечує виконання робіт з технічного обслуговування в тім обсязі, якого машина дійсно потребує й ґрунтується на плановому діагностуванні.

Впровадження планового діагностування технічного стану гідророзподільників на сучасному етапі пов'язане з певними труднощами. Перш за все вони викликані відсутністю універсальних і ефективних способів і засобів діагностування гідроприводів і непристосованістю машин до діагностування. Тому система діагностування гідророзподільників має потребу в проведенні подальших досліджень і вдосконалень.

Аналіз гідро розподільника Р-80 як об'єкта діагностування показав, що він характеризується великою функціональною зв'язаністю гідроагрегатів і їхньою блоковою структурою (гідравлічна система траткора). Це дозволяє розчленувати гідросистему на кінцеве число елементів, кожний з яких може розглядатися як окремий об'єкт діагностування, і вимагає виконання діагностування на двох рівнях:

- на рівні загального технічного стану гідросистеми;
- на рівні технічного стану окремих гідроагрегатів.

Послідовність діагностування технічного стану окремих гідроагрегатів визначається ступенем впливу їхнього технічного стану на працездатність всієї гідравлічної системи і надійності, а також вартістю й трудомісткістю усунення відмов. У результаті аналізу перерахованих вище факторів встановлено, що першочерговій перевірці підлягають гідро розподільники.

Складність, відповідальність і навантаженість розподільників, а також потреба в їхній першочерговій перевірці дають підстави для першочергової розробки способів і засобів їхнього діагностування.

Аналіз способів і засобів діагностування гідророзподільників показав, що найбільш прийнятними при діагностуванні в умовах експлуатації є способи й засоби, засновані на вимірі параметрів внутрішньої негерметичності. Вони відрізняються простотою реалізації й високою вірогідністю результатів діагностування. Однак способи, що використовуються, і засоби визначення параметрів внутрішньої негерметичності недостатньо ефективні внаслідок великої енергоємності, вартості й громіздкості вимірювального встаткування, а також внаслідок високої трудомісткості процесу діагностування. Тому спо-

соби й засоби діагностування розподільників по параметрах внутрішньої негерметичності мають потребу в подальшому дослідженні.

Виходячи з вищесказаного завданням дослідження є дослідження й розробка ефективних способів і засобів діагностування розподільників по параметрах внутрішньої негерметичності. Рішення поставленого завдання пов'язане з розробкою наступного кола питань:

- вивченням особливостей функціонування розподільників, характеру виникнення й переліку основних їхніх несправностей, а також параметрів їхнього зовнішнього прояву;
- вибором комплексу діагностичних параметрів ;
- установленням зв'язку між видами технічного стану розподільників і комплексом діагностичних параметрів ;
- розробкою методики діагностування виходячи з комплексу обраних параметрів і проведенням експериментальних досліджень ;
- обстеженням і вибором раціональних режимів діагностування гідро-розподільників;
- розробити заходи з охорони праці та провести техніко-економічну оцінку роботи.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ Й ВИБІР ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКІВ Р-80

2.1. Обґрунтування об'єму вибірки необхідної для проведення експерименту

Достовірність показників надійності обумовлюється об'ємом вибірки. Вона залежить від встановленої точності ε та довірчої ймовірності отриманих результатів, що задовольняють прийнятий закон розподілу. Якщо емпіричні данні апроксимуються за законом нормального розподілу, то для визначення мінімального об'єму спостережень при заданій довірчій ймовірності можна скористатися теоремою Муавра – Лапласа (закон більших чисел) [16, 17]

$$\alpha \left\{ -t_p \leq (W_n - P) / \sqrt{\frac{PF}{N}} \leq +t_p \right\} = \frac{1}{\sqrt{2\lambda}} \int_{-t_p}^{+t_p} e^{-t^2/2} dt = \Phi(t_p), \quad (2.1)$$

де α – ймовірність отримання результату з заданою точністю виводу;

t_p – розрахунковий коефіцієнт, що визначається по таблицям в залежності від заданої довірчої ймовірності α ;

P – теоретична ймовірність здійснення даної події;

N – необхідна кількість спостережень;

F – теоретична ймовірність того, що подія не здійсниться ($F = 1 - P$);

W_n – фактично отримана емпірична ймовірність події (частота);

ε – точність виводу, тобто різниця між фактичним результатом W_n та теоретичним α ($\varepsilon = W_n - P$);

Φ_{t_p} – нормована функція Лапласа.

Провівши математичні перетворення отримаємо:

$$N = \frac{t_0^2 \sigma^2}{\varepsilon^2}, \quad (2.2)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення.

При дії закону розподілу Вейбулла – Гнеденко необхідний об'єм вибірки знаходимо з виразу

$$(\varepsilon_a + 1)^b = 2N / \chi_{1-\alpha; 2N}^2, \quad (2.3)$$

де ε_a – задана відносна точність середнього арифметичного показника;

α – задана довірча ймовірність;

$\chi_{1-\alpha; 2N}^2$ - квантіль розподілу (χ_n^2 - квадрат з $2N$ ступенями свободи та довірчою ймовірністю $1 - \alpha$).

Таким чином початковими даними для визначення необхідного мінімального об'єму спостережень для плану [NUN] будуть:

- довірча ймовірність α для оцінки відповідного показника надійності (0,80; 0,90; 0,95; 0,99);
- гранична відносна похибка δ оцінки показника надійності (0,05; 0,10; 0,15; 0,20);
- коефіцієнт варіації γ (для деталей двигунів, трансмісій ходових систем і т. д. 0,3 – 0,4).

Скориставшись рекомендаціями [16] визначимо необхідну кількість спостережень.

Для нормального розподілу $\alpha = 0,9$, $\delta = 0,15$, $\gamma = 0,3$:

$N = 8$.

Для розподілу Вейбулла – Гнеденко $\alpha = 0,9$, $\delta = 0,15$, $\gamma = 0,4$:

$N = 15$.

При невідомому законі розподілу використаємо непараметричний метод

$$N = \ln(1 - \alpha) / [\ln P(t)], \quad (2.4)$$

$$N = \ln(1 - 0.9) / [\ln 0.85] = 14.$$

Виходячи з вище наведених розрахунків приймаємо 10 спостережень які в повній мірі задовольняють вимоги до такого роду спостережень так як похибка при перевірці за критерієм Стюдента становить 9,58 %.

2.2. Аналіз способів контролю герметичності і їхня оцінка стосовно до діагностування гідророзподільників

В основі способу діагностування гідро розподільників по параметрах внутрішньої негерметичності лежить завдання визначення величини зазорів у сполученнях корпус – золотник та сідло препускнуго клапана - клапан. По характеру поставленої мети таке завдання є однією із завдань контролю герметичності, а спосіб її реалізації близький до гідростатичного способу контролю герметичності. Тому, розглядаючи процес діагностування гідро розподільників як різновид гідростатичного способу контролю, становить інтерес оцінка його можливостей у порівнянні з іншими способами контролю герметичності.

Відомі способи контролю герметичності виробів і конструкцій умовно можна розділити на :

- компресійні;
- галоїдні ;
- мас-спектрометричні ;
- фізико-хімічні.

Компресійні способи контролю герметичності засновані на реєстрації параметрів негерметичності по обсязі індикаторного середовища, що проникає під тиском через наскрізні нещільності контрольованого об'єкта.

До виду індикаторного середовища компресійні способи контролю герметичності підрозділяються на :

- гідростатичні,
- пневматичні,
- гідропневматичні.

При гідростатичному способі контролю як індикаторне середовище використовується рідина. Контрольований об'єкт заповнюється індикаторною рідиною під надлишковим тиском, а ступінь негерметичності оцінюється по обсязі індикаторного середовища, що проникає під тиском через нещільності в одиницю часу. Перевагами гідростатичного способу контролю герметичності є простота реалізації й досить висока точність, обумовлена використанням як індикатор негерметичності робітничого середовища, і можливістю контролю в режимах, близьких до робочих.

Поряд із цим даний спосіб має й істотні недоліки, що вимагають, де це можливо, заміни його іншими способами контролю. Стосовно до використання даного способу при діагностуванні розподільників до них у першу чергу варто віднести :

- низьку чутливість (табл.2.1) [17] ;
- необхідність створення великого перепаду тиску й, викликану цим, високу енергоємність ;
- тривалість і трудомісткість контролю ;
- високу вартість і громіздкість стендів (табл.2.2);

Таблиця 2.1-Порівняльна характеристика способів контролю герметичності й область їхнього застосування

Спосіб контролю герметичності	Область використання	Чуттєвість мм ³ Па/с
Компресійні:	Для з'єднання гідравлічних та пневматичних систем загально промислового та спеціального обладнання	
гідростатичний		10
пневматичний		1×10^{-1}
гідропневматичний		1×10^{-2}
Галоїдний	Для відповідальних з'єднань	1×10^{-6}
Мас-спектрометричний		1×10^{-10}
Фізико-хімічний		1×10^{-11}

Таблиця 2.2-Порівняльна характеристика обладнання, що використовується при гідростатичному та пневматичному способах контролю герметичності

Спосіб контролю герметичності	Вага, кг	Потужність двигуна, кВт	Тиск, МПа	Вартість, грн	Габаритні розміри, мм
Гідростатичний (стенд на МЗТГ)	2000	60	16	156000	4000x3000x2500
Пневматичний (пропонується)	10	1,5	0,25	1800	250x200x500

- неминучі втрати дорогої робочої рідини, що використовується як індикатор негерметичності;
- залежність точності результатів контролю від в'язкості й ступеня забруднення рідини ;

перебувають під високим тиском.

При пневматичному способі контролю герметичності контрольований об'єкт заповнюється повітрям або азотом під надлишковим тиском. Оцінка ступеня негерметичності провадиться по кількості індикаторного газу, що проникає через нещільності в одиницю часу.

Пневматичні способи контролю герметичності характеризуються:

- досить високою чутливістю, забезпечуваною високою проникністю газів;
- низькою енергоємністю процесу ;
- простотою, компактністю й невисокою вартістю обладнання ;
- меншою залежністю в'язкості повітря до азоту від температури ;
- чистотою й безпекою проведення робіт.

При пневмогідравлічному способі контролю герметичності контрольований об'єкт заповнюється повітрям або азотом і поринає у ванну з рідиною. Індикація витоків провадиться по частоті появи й кількості пухирців газу, що виникають у місцях підтікання.

Перевагою пневмогідравлічного способу є досить висока чутливість і наглядність. Поряд із цим широке його застосування при контролі герметичності обмежується можливістю контролю тільки зовнішньої негерметичності виробів, складністю підрахунку кількості пухирців газу при великих втратах рідини.

Галоїдні способи контролю герметичності припускають заповнення контрольованих об'єктів пробним газом, що перебуває під надлишковим тиском. Місця розгерметизації визначаються за допомогою – по шукачів підтікання, оснащених датчиками, що реєструють підвищення концентрації в повітрі газів, що містять галоїду. В основі роботи датчиків лежить здатність діода із платиновими електродами різко збільшувати термоіонну емісію при наявності в повітрі галогенів. Як пробні гази використовуються фреони.

Перевагою галоїдних способів контролю - є висока чутливість. Недоліками є - втрати чутливості при наявності в навколишнім середовищі більших концентрацій галогенів.

Контроль герметичності мас-спектрометричним способом проводиться за допомогою гелієвих пошукачів підтікань, робота яких заснована на здатності визначати присутність гелію у випробуваному об'єкті.

Фізико-хімічні способи контролю засновані на реєстрації фізичних або хімічних параметрів індикаторної рідини або газу, що проникають через нещільності.

Загальною особливістю галоїдних, мас-спектрометричних і фізико-хімічних способів контролю герметичності є висока чутливість, що обмежує область їхнього застосування переважно пошуком місць розгерметизації й випробуванням відповідальних з'єднань і конструкцій з витокami через нещільності мікронних розмірів. Використання їх для контролю ступеня негерметичності вузла, недоцільно бо втрати більше 1 л/с.

Оцінюючи способи контролю герметичності стосовно до завдання діагностування розподільників в умовах експлуатації, слід зазначити, що вчинність своїх переваг найбільшої уваги заслуговують пневматичні способи контролю й особливо способи, засновані на використанні стисненого повітря.

Широко відомий досвід використання стисненого повітря при діагностуванні технічного стану циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння, при контролі герметичності паливних систем і систем водопостачання в суднобудуванні, при перевірці на герметичність зварених швів, ємностей і відсіків [18, 19]. Завдяки високим метрологічним якостям у машинобудуванні широко використовуються способи контролю розмірів деталей, основані на застосуванні стисненого повітря [20, 21]. Як установлено дослідженнями Г.Ю.Бариту [22], крім вище перерахованих переваг, використання стисненого повітря при контролі нещільностей у фланцевих з'єднаннях трубопроводів дозволяє досягти необхідної чутливості при тиску стисненого повітря в 3-8 разів менше, ніж у випадку використання індикаторної рідини.

Все вищесказане дає підстави припускати, що використання стисненого повітря при діагностуванні розподільників може істотно підвищити ефективність і точність процесу діагностування. Тому досить важливим представляється дослідження можливості застосування стисненого повітря при діагностуванні розподільників.

2.3. Вибір діагностичних параметрів

Використання стисненого повітря при діагностуванні розподільників припускає визначення їхнього технічного стану за допомогою параметрів, що характеризують витрату повітря через зазори в сполученнях клапанів та корпус-золотник.

Очевидно, що витрата стисненого повітря через зазори визначається насамперед геометричними розмірами щілин, перепадом тиску на вході й виході щілини, в'язкістю, режимом закінчення, швидкістю відносного переміщення стінок щілини і їхнім взаємним розташуванням. За аналогією з витратою витоків робочої рідини витрата стисненого повітря через зазори не є постійним й визначається кількістю й технічним станом поверхонь з'єднання корпус-золотник.

Прийнявши як допущення, що: режим виходу стисненого повітря в зазорах ізотермічний й ламінарний (підтвердження цьому буде дано в четвертому розділі) ; швидкість потоку повітря і його щільність по всій площині, перпендикулярної напрямку руху, а також коефіцієнт тертя потоку об стінки постійні, об'ємна витрата стисненого повітря через зазори, викликана в'язкістним напірним плином потоку, визначиться за допомогою формули Пуазейля [15].

$$Q_v = \frac{(P_{1\epsilon} - P_{2\epsilon}) \cdot v}{12 \cdot \mu_\epsilon \cdot l} \cdot h^3, \quad (2.1)$$

де v , h , l - геометричні розміри щілини ;

$P_{1в}$, $P_{2в}$ - тиск повітря на вході й виході щілини;

μ_v - динамічний коефіцієнт в'язкості повітря, що відповідає тиску $P_{1в}$.

Тому що щільність повітря в силу свого стискання є величиною змінної по довжині щілини, витрату стисненого повітря доцільно виразити у вагових одиницях. У цьому випадку витрата стисненого повітря через зазор з урахуванням стискання буде дорівнює [16]:

$$G = \frac{(P_{1в}^2 - P_{2в}^2) \cdot v}{24 \cdot \mu_v \cdot R \cdot T \cdot l} h^3, \quad (2.2)$$

R – Універсальна газова постійна, 287Дж/(кг·К);

T - температура стисненого повітря .

Аналіз робочого процесу розподільників свідчить, що при повільній подачі витрати стисненого повітря через зазори будуть мати пульсуючий характер, аналогічний характеру зміни витрат робочої рідини, що дозволяє у свою чергу використовувати для опису процесу витрати стисненого повітря комплекс параметрів, аналогічних параметрам внутрішньої негерметичності. У роботі отримані залежності, що встановлюють зв'язок параметрів, що характеризують процес витрати стисненого повітря через зазори, з геометричними розмірами щілин.

Практичні використання перерахованих вище параметрів при діагностуванні технічного стану гідромашин вимагають визначення характеру залежності між витратою стисненого повітря й витратою робочої рідини через зазори в сполученнях корпус-золотник. За умови, що витрата стисненого повітря відбувається через щілини такої ж форми й з такими ж геометричними розмірами, що й витрата робочої рідини, залежність між ними може бути знайдена з відношення об'ємних витрат. У підсумку одержимо:

$$K = \frac{q_{emp}}{G \cdot \gamma} = \frac{2 \cdot \mu_{\epsilon} \cdot R \cdot T \cdot (P_{e1} - P_{2\epsilon})}{\mu \cdot \gamma \cdot (P_{1\epsilon}^2 - P_{2\epsilon}^2)}, \quad (2.3)$$

де K - питомий об'єм повітря.

З умови рівності витрати стисненого повітря й витрати робочої рідини через зазори, тобто при $K = 1$, може бути знайдена величина перепаду тиску на вході й виході щілини, достатня для одержання витрати стисненого повітря, рівного витраті робочої рідини:

$$P_{1\epsilon}^2 - P_{2\epsilon}^2 = \frac{2 \cdot \mu_{\epsilon} \cdot R \cdot T \cdot (P_{1\epsilon} - P_{2\epsilon})}{\mu \cdot \gamma}, \quad (2.4)$$

Підставляючи в рівняння (2.4) значення $\mu_{\epsilon} = 181 \times 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{с}$, $P_1 - P_2 = 15 \text{ МПа}$, $T = 293 \text{ К}$, $\mu = 10,32 \text{ Па} \cdot \text{с}$, $\gamma = 0,77 \text{ м}^3/\text{кг}$, одержимо, що $P_{1\epsilon}^2 - P_{2\epsilon}^2 = 0,00575 \text{ МПа}^2$, тобто при тиску повітря на виході з щілини буде рівний атмосферному, надлишковий тиск на вході повинне скласти $0,076 \text{ МПа}$. А це означає, що при використанні для виміру витрати стисненого повітря й витрати робочої рідини, витратомірів з однаковою точністю вимірювання, застосування стиснутого повітря дозволяє без шкоди для точності постановки діагнозу проводити діагностування гідромашин при тиску, що майже у двісті разів нижче тиску робочої рідини.

У такий спосіб у даному параграфі теоретично доведене існування однозначної залежності між параметрами, що характеризують процес витрати стисненого повітря й витрати робочої рідини через зазори в сполученнях. А це у свою чергу підтверджує можливість використання стисненого повітря при діагностуванні розподільників і дозволяє використовувати в якості діагностичних наступні параметри: поточне значення витрати стисненого повітря; амплітуду пульсацій витрати стисненого повітря, різниця між поточними значеннями витрати стисненого повітря, заміряними при подачі його в зону

усмоктувального й напірного вікна розподільника ; витрата стисненого повітря за одну хвилину.

Практична реалізація даного способу діагностування гідромашин вимагає експериментальної перевірки висловлених припущень .

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКІВ ПО ПАРАМЕТРАХ ВНУТРІШНЬОЇ НЕГЕРМЕТИЧНОСТІ

3.1. Програма і загальна методика експериментальних досліджень

У відповідності з поставленими задачами програма експериментальних досліджень включала наступне:

1. Дослідити технічний стан гідророзподільників, що потрапляють в ремонт і виявити найбільш характерні відмови.

2. Збір та обробка статичних даних про зміну параметрів технічного стану (ПТС) розподільників від напрацювань.

3. Дослідити взаємозв'язок між структурними та діагностичними параметрами для визначення останніх і розробити методику оцінки технічного стану гідророзподільника при проведенні контрольно – обкатувальних робіт.

Збір інформації про технічний стан розподільників проводився як безпосередньо в господарствах, так і в спеціалізованих майстернях по їх ремонту.

Зняті з машин вузли гідроагрегатів перевірялися на стендах марки КІ-4815М з застосуванням відповідних пристроїв.

Кількість дослідів при проведенні лабораторних досліджень визначалась за умов забезпечення надійності 0,90 и помилки до 10% взятою частках стандартів.

Зважаючи на те що не було даних для встановлення необхідної повторності дослідів, приймалась трійна повторність як мінімальна.

Визначення граничних значень структурних параметрів технічного стану виконувалось по методиці, дозволяючи визначити взаємозв'язок між їх якістю відновлення та втратою робочої рідини, а також працездатністю розподільника.

З метою скорочення об'єму робіт при визначенні функціональних залежностей параметрів технічного стану от наробітки застосовувався статистичний метод, при якому збір інформації проводився при періодичних спостереженнях (разових обстеженнях) розподільників. Згідно рекомендаціям кількість гідромашин вибиралась з умови отримання оцінок показників надійності з довірчою імовірністю 0,9 і відносною похибкою 0,15.

При проведенні дослідів у якості робочої рідини використовувалось масло типа А (ТУ 38101.179-71). Агрегати випробувались маслом в кількості, передбаченою заводським правлінням. Температура його у продовж дослідів підтримувалась у межах $80^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Обробка даних, отриманих внаслідок експериментів, виконувалась з застосуванням метода найменших квадратів. Вибір апроксимуючих функцій здійснювався з урахуванням максимальної згоди з експериментальними даними.

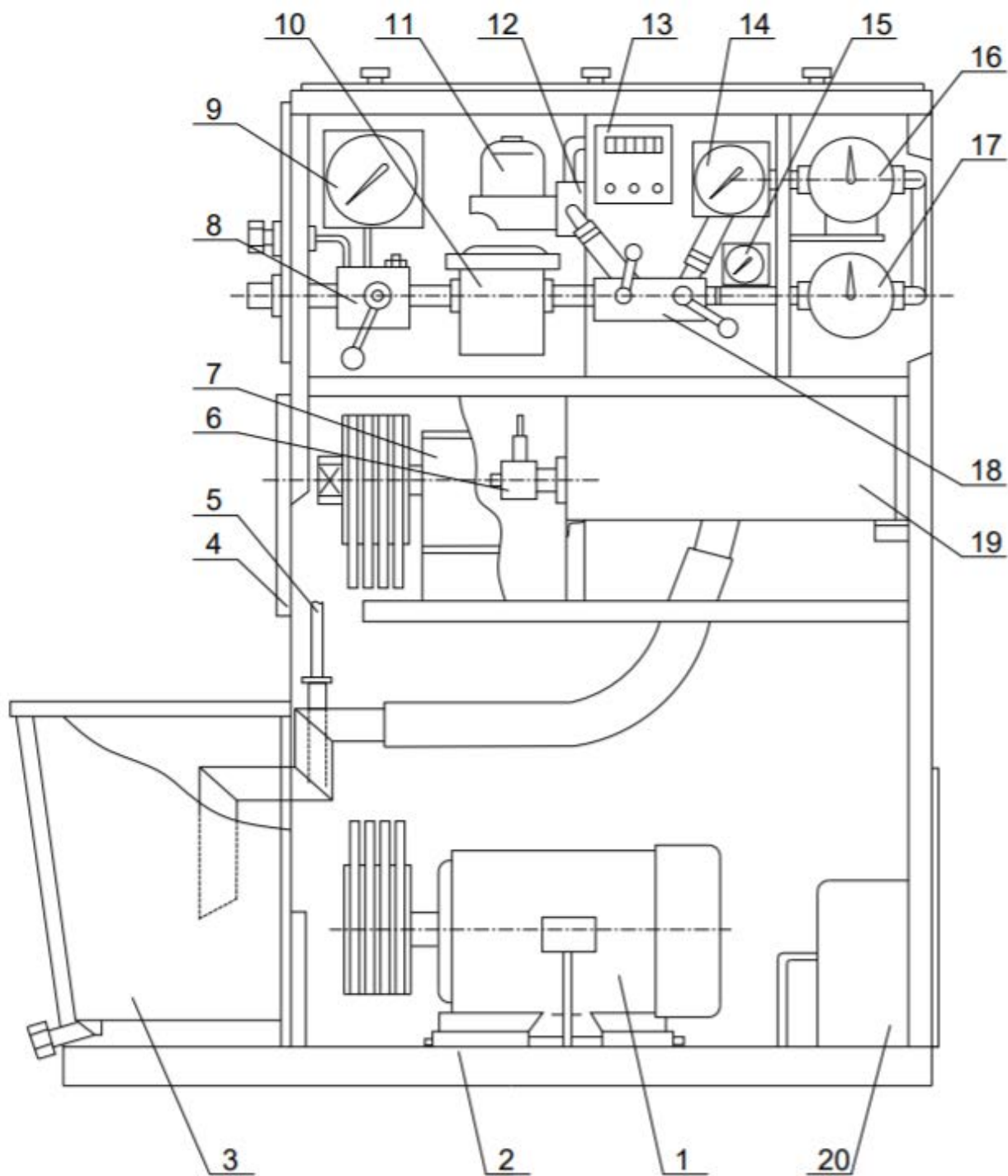
Рішення усіх задач експериментальних досліджень виконується по сліду чим часним методикам.

3.2. Експериментальна установка та вимірювальна апаратура для контролю розподільників

В якості експериментальної установки використовувався стенд КИ-4815М, який призначений для проведення обкатки, регулювання і контрольного випробування основних агрегатів гідравлічних систем тракторів, комбайнів, землерийних та других машин.

Основними складовими частинами стенда є рама, привод, гідравлічна система й електроустаткування. Будову стенда показано на рис. 3.1. Рама стенда 2 звареної конструкції призначена для установки й кріплення вузлів привода, гідросистеми, електроустаткування й приладів. Привод стенда складається з електродвигуна 1 і клиноремінної передачі (з передатним відно-

шенням $I = 1,21$), що забезпечують приводному валу з кулачковою муфтою частоту обертання 1200 хв^{-1} .



a



б

Рис. 3.1 – Будова стенда

а – будова стенда, б – загальний вигляд стенда

Електродвигун установлений на чавунній плиті, яка шарнірно кріпиться до рами. Натяг ременів привода проводиться за допомогою натяжного болта, розташованого із правої сторони стенда.

Стріла прогину ремня повинна бути в межах 8-10 мм при зусиллі 3-4 кг (30-40 Н).

Гідравлічна система стенда містить у собі бак 3, який служить резервуаром робочої рідини. Зверху бак закритий заглубленим піддоном, що мають сітчастий фільтр, через який заливається робоча рідина. На піддоні є показник рівня робочої рідини, горловина для проходу усмоктувального трубопроводу насоса. Зливальна труба закрита заглушкою. У патрубку гідробака встановлені датчики терморегулятора 5 і дистанційного термометра 15. Гідравлічний блок 8 має щільний дросель, за допомогою якого створюється необ-

хідне навантаження при випробуванні агрегатів, і запобіжний клапан, відрегульований на максимальний тиск навантаження. Сітчастий фільтр 10 призначений для грубого очищення робочої рідини. Він охороняє відцентровий фільтр від засмічення його сопел грубими частками.

Краном 18, який має два перемикачі кулькового типу, робоча рідина направляється першим перемикачем на тонке очищення у відцентровий фільтр 11 або на вимір потоку рідини лічильником. Другим перемикачем потік рідини направляється на один із двох лічильників 16 або 17. Лічильник 16 (ШЖУ-40С-6)) включається для виміру витрати рідини в межах 40-120 л/хв, а лічильник 17 (ШЖУ-25М-16) — для виміру в межах 7-40 л/хв.

Щоб уберегти лічильники від забруднення, включення їх проводиться після попередньої роботи випробуваного насоса через відцентровий фільтр тонкого очищення робочої рідини. У корпусі фільтра є редукційний клапан, що забезпечує тиск перед фільтром 6-6,5 кг/див² (0,6-0,65 МПа) для нормального режиму очищення. Частота обертання ротора відцентрового фільтра повинна бути в межах 5000-6000 хв⁻¹.

Панель управління стенда представлено на рис. 3.2. Для охолодження робочої рідини в стенді передбачена система охолодження, яка складається з бака з розподільною трубою й установленої в баку серцевини радіатора.

Охолодження рідини проводиться водою від водопровідної мережі. Приєднувальний штуцер підключення стенда до водопроводу позначений табличкою «Підвід». Злив води із системи проводиться зі штуцера «Відвід». Для зливу води з радіатора встановлений зливальний краник, який позначений табличкою «Слив». Задана температура робочої рідини підтримується автоматично за допомогою терморегулюючої системи.

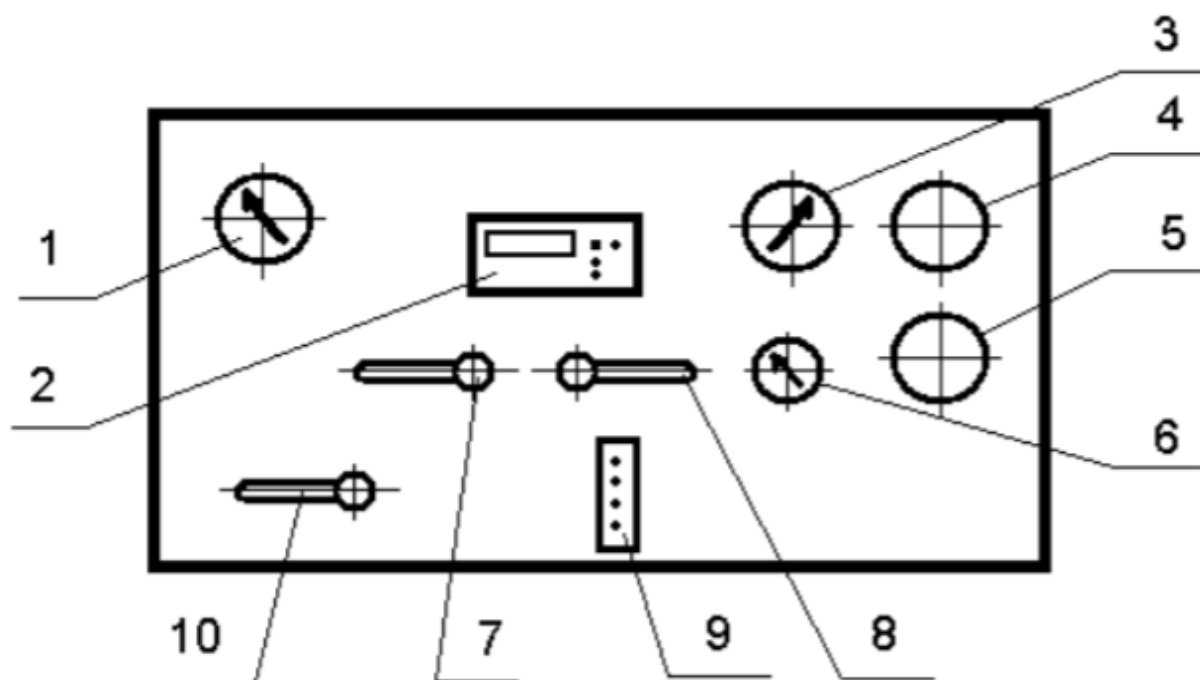


Рис. 3.2. Панель керування стенда

1 – манометр тиску навантаження; 2 – електронний лічильник обертів; 3 – манометр тиску відцентрового фільтра; 4, 5 – лічильники витрати рідини; 6 – термометр; 7 – рукоятка включення лічильників витрати рідини; 8 – рукоятка перемикачів лічильників; 9 – кнопкова станція електропривода; 10 – рукоятка керування дроселем

Система містить у собі регулятор температури 6 (ТР-15), який подає необхідна кількість води в охолодний будова 19. У зливальному патрубку бака гідросистеми встановлений датчик 5 регулятора температури, який обмивається робочою рідиною, що надходить із охолодного пристрою. У цьому ж патрубку знизу встановлений датчик дистанційного термометра 15.

Принципову гідравлічна схема стенда КІ-4815М наведено на рис. 3.3. Установлений на стенді випробуваний насос забирає робочу рідину з гідробака по усмоктувальному гумовому рукавові. Нагнітальна порожнина насоса гнучким шлангом високого тиску приєднується до штуцера входу в гідравлічний блок із дроселем ручного керування.

Манометр МН2 показує тиск, що відповідає ступені відкриття дроселя. Робоча рідина проходить через фільтр Ф1 і краном Р, що мають два переми-

качі, може бути спрямована або на тонке очищення у відцентровий фільтр Ф2, або на вимір через один із двох лічильників СЧ1 або СЧ2. Редукційний клапан РК забезпечує режим роботи відцентрового фільтра, контрольований по манометру МН1. Робоча рідина проохолоджується до температури, заданої регулятором РТ, в охолодному пристрої АТ. Температура рідини вимірюється термометром Т.

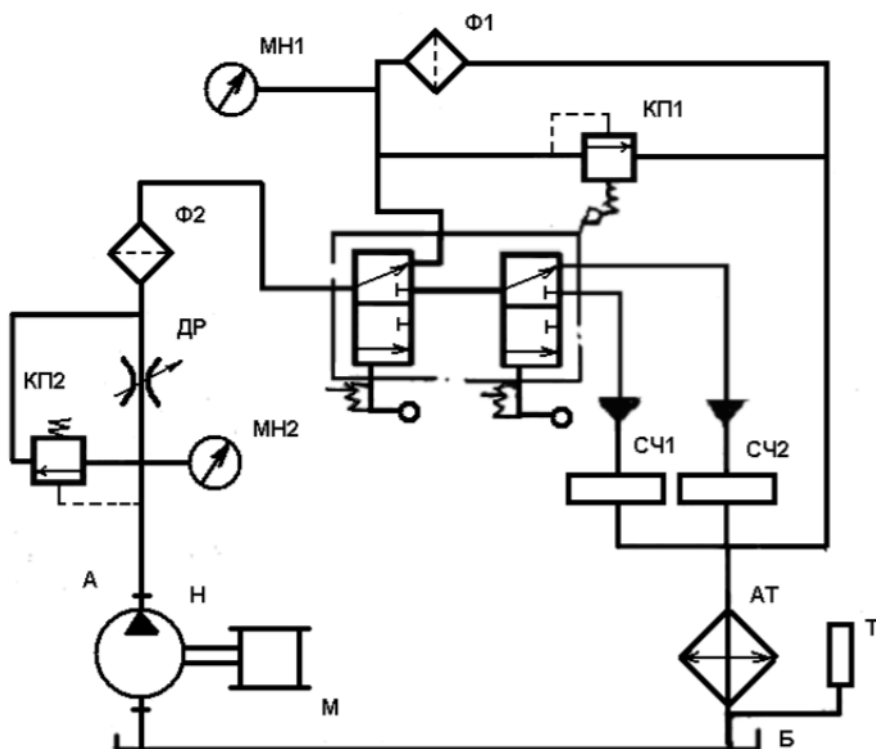


Рис. 3.3. Принципова гідравлічна схема стенда

АТ – будова охолодний; Б – бак; ДР – дросель; КП1, КП2 – клапани запобіжні; М – електромотор; МН1, МН2 – манометри; Н – досліджуваний насос; Р – досліджуваний розподільник; СЧ1, СЧ2 – лічильники витрати рідини; Т – термометр; Ф1, Ф2 – фільтри. Приєднувальні отвори: А – гідросистеми стенда; В – усмоктувального патрубку бака

3.3. Методика дослідження залежності втрат робочої рідини від зазорів в спряженні корпус – золотник

Як показав аналіз причин надходження розподільників в ремонт основним вузлом який визначає роботу здатність розподільника є з'єднання корпус розподільника – золотник.

Тому при проведенні перед ремонтного діагностування замірявши втрати рідини через це з'єднання можна дати якісну оцінку технічного стану розподільника.

Дослідження проводились таким чином.

Брався еталонний (з незношеними отворами під золотники) корпус, а процес зносу моделювався зміною розмірів золотників. Золотники підбирались зі зносом через кожні 5 мкм [15].

Зібраний розподільник встановлювався на стенд КИ – 4815М дроселем стенду встановлювався тиск 7 МПа, як вимагають технічні вимоги на випробування розподільника.

Вихідний отвір секції розподільника заглушувався заглушкою, а в вхідний отвір вкручувалась заглушка з вмонтованою в неї трубою.

При переведенні золотника в робоче положення рідина проходить по щилині між корпусом та золотником і витікає по трубочці в мірну ємність. Час випробування одна хвилина.

Через одну хвилину стенд вимикається. І експеримент повторюється три рази. Після чого фіксується кількість рідини в мірній ємності.

І таким чином проводимо інші вимірювання змінюючи золотники.

Заміри золотників проводяться мікрометром важільного типу. Схема проведення замірів приведена на фото 3.4. та на рис 3.5., 3.6.

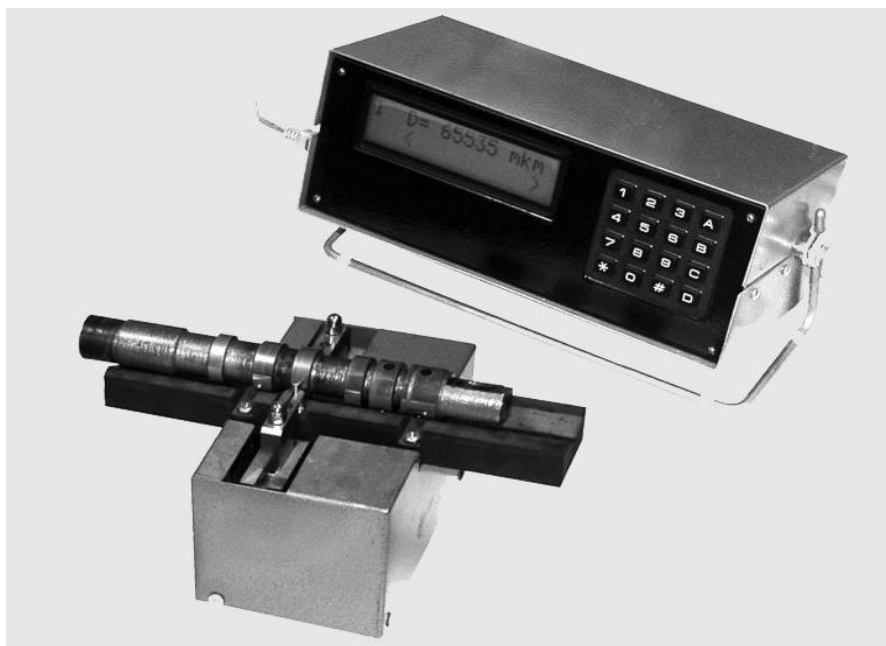


Фото.3.4. Замір діаметру поясків золотника

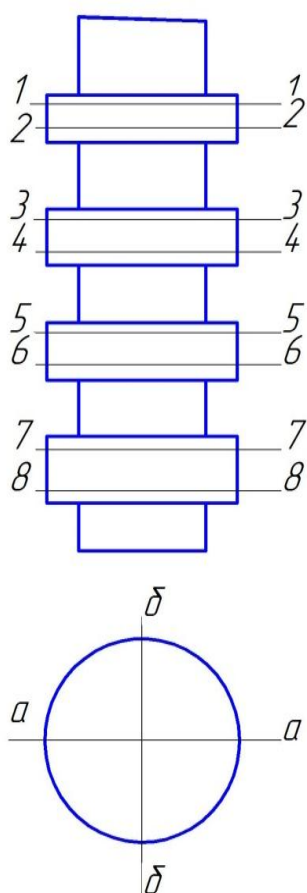


Рис.3.5. Схема заміру поясків золотника

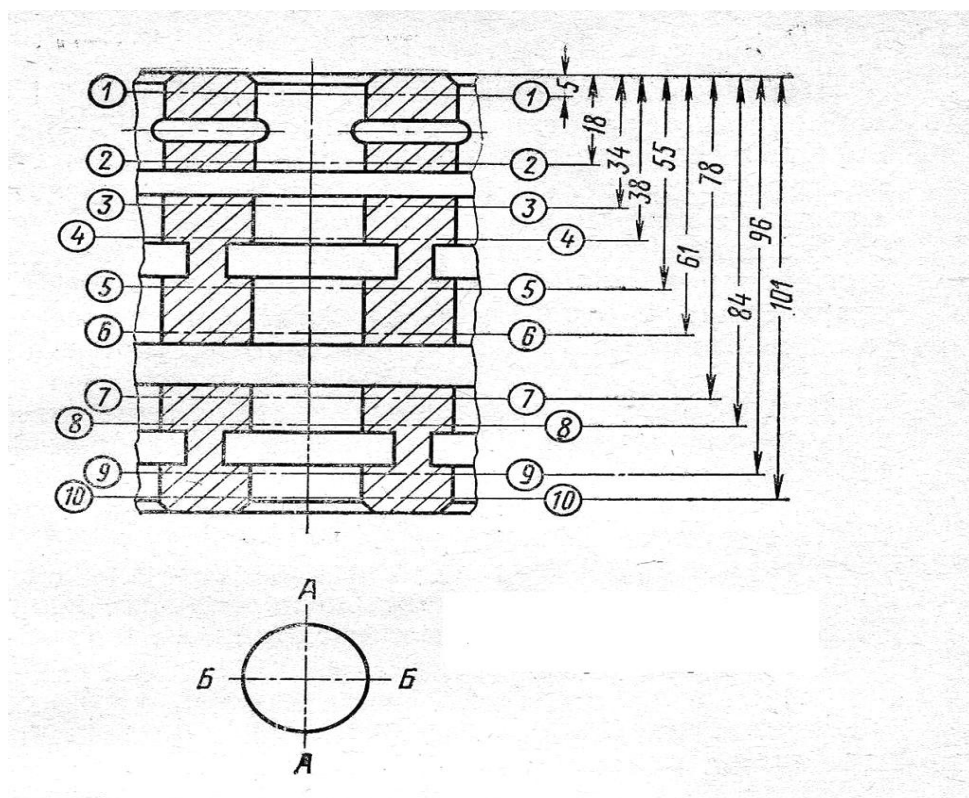


Рис.3.6. Схема заміру діаметру поясків корпусу розподільника



Фото 3.7. Забір отворів корпусу розподільника

3.4. Результати експериментальних досліджень

3.4.1. Оцінка характеру та динаміки зносу з'єднань розподільника

Для деталей гідроагрегатів характерні наступні види зносу: схваткування спряжених металевих поверхонь, знос при фретингу, гідро ерозійний знос, контактний втома, мікроцарапання в наслідок потрапляння контр тіл до пари тертя.

Кожен з видів зносу має свої умови виникнення, наслідки для робото-здатності пар тертя і характерні зовнішні та структурні признаки.

Результати розбирання гідро розподільників та візуальний огляд з'єднань показали. Що характер зносу має різну фізичну основу та обумовлений особливостями експлуатації.

3.4.2. Знос з'єднання корпус розподільника – золотник

В гідро розподільниках для розподілення потоку робочої рідини використовується золотники.

Хоча використання циліндричних золотників і має ряд переваг все одно стан деталей після розбирання розподільників потрапивши в ремонт показує, що переваги золотникового розподілення не завжди реалізуються.

Деталі зношуються по колу та по довжині тому мають такі характерні зноси як овальність та конусність.

Із аналізу зносу деталей видно, що втрати робочої рідини проходять по каналам із зони високого тиску в дренажну магістраль, кількість яких визначається не глибиною їх зносу, а сумарною площею зносу, яка визначається методом числового інтегрування профілограф.

Таким чином при діагностуванні гідро розподільників в якості структурного параметра для з'єднання корпус – золотник, слід вважати сумарну площу зносу деталей.

Динаміка зносу з'єднання корпус – золотник приведено на рис 3.8.

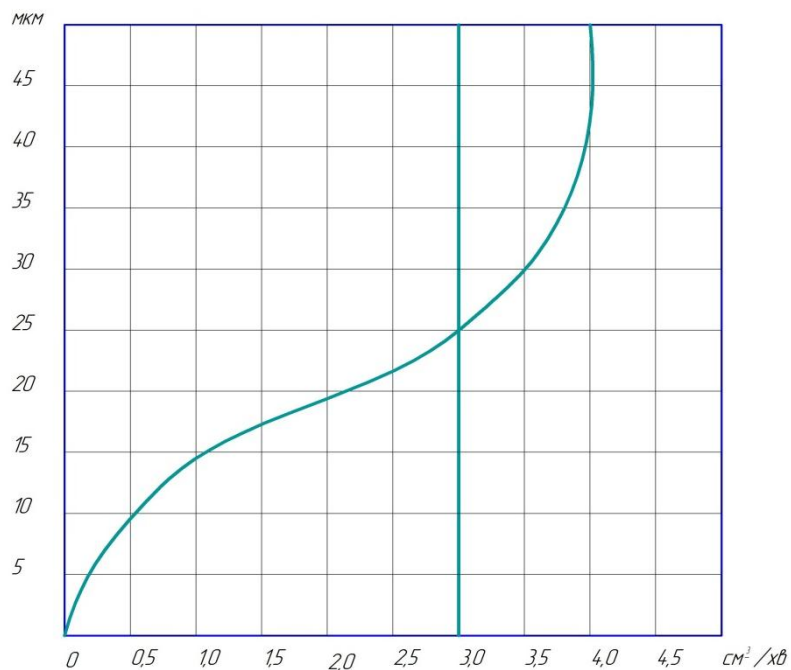


Рис.3.8. Динаміка зносу деталей спряження корпус розподільника - золотник

3.4.3. Вплив зносу з'єднання «корпус розподільника – золотник» на втрати робочої рідини

Вплив зносу з'єднання «корпус розподільника – золотник» на втрати робочої рідини представлені на рис.3.9.

Результати досліджень показали що при зазорі 25 мкм втрати робочої рідини сягають граничної межі $3 \text{ cm}^3/\text{хв}$.

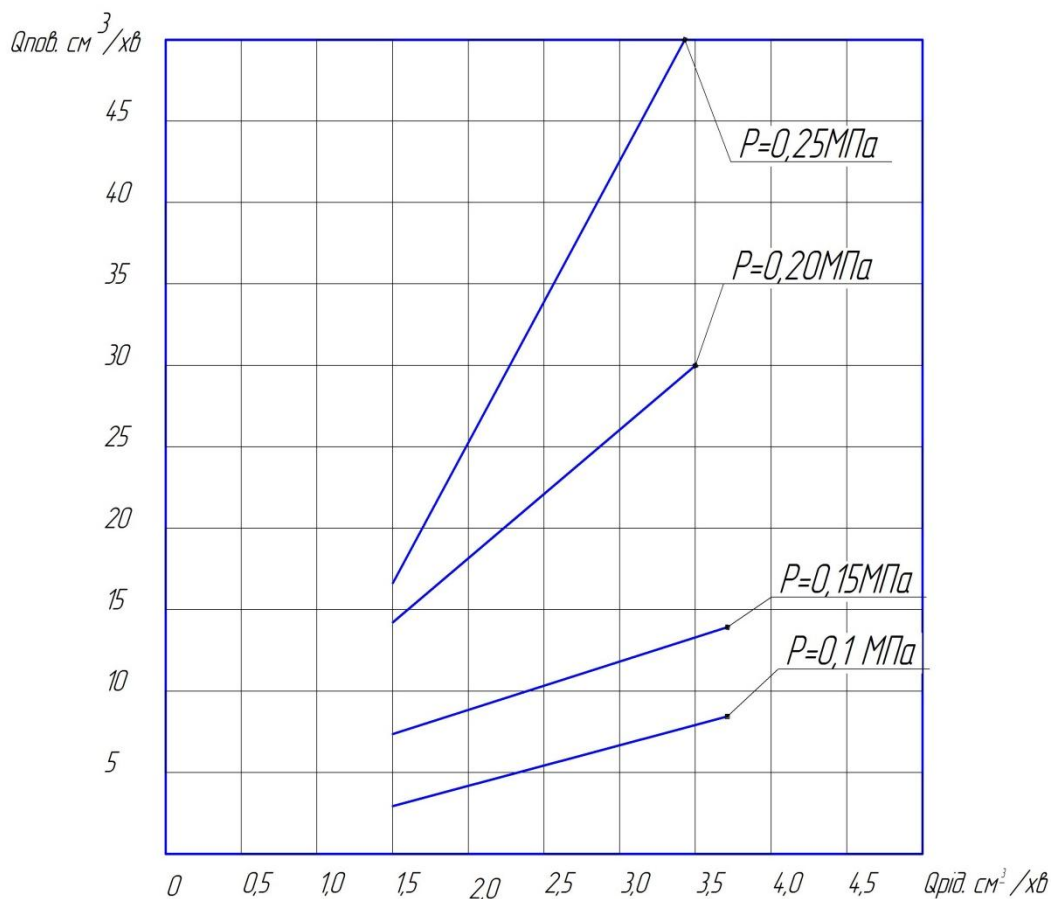


Рис 3.9. Вплив зносу з'єднання «корпус розподільника – золотник» на втрати робочої рідини

3.5. Діагностування гідророзподільників за допомогою стисненого повітря

У роботі запропонований спосіб діагностування гідророзподільників за допомогою стисненого повітря. Як відзначалося вище стосовно до діагностування гідромашин в умовах експлуатації у порівнянні з іншими цей спосіб відрізняється простотою реалізації й високою точністю виміру, низьким вартістю, енергоємністю й компактністю устрою для його реалізації. Спосіб діагностування гідророзподільників полягає у вимірі витрати стисненого повітря через зазори в сполученнях „корпус розподільника-золотник” [23].

Будова для діагностування розподільників забезпечує вимір витрати стисненого повітря через зазори в сполученнях „корпус розподільника-золотник”, у заданому режимі діагностування.

Таблиця 3.1-Технічна характеристика:

джерело стисненого повітря	компресор
потужність приводу , кВт	1,5
блок фільтра зі стабілізатором тиску повітря	ФСВ-6- -337
тиск стисненого повітря на вході в стабілізатор тиску, МПа	0,3.... 0,6
тиск стисненого повітря у вимірювальній лінії, МПа	0,15
ротаметр	РМ-6,3 ГУЗ
діапазон виміру витрати, м ³ /год	0,15· 1,7
відносна похибка виміру витрати, %	±2,5
габаритні розміри вимірювального устрою (без джерела стисненого повітря), мм	250x200x500

Будова пристосування для діагностування (фото 3.10., мал. 3.11) складається із джерела стисненого повітря 1 і, послідовно з'єднаних з ним, блоку фільтра зі стабілізатором тиску 2 і манометром 3, ротаметра 4 і розподільника що діагностується 5, рукоятки 7. Блок фільтра зі стабілізатором тиску 2 призначений для очищення повітря, настроювання й автоматичної підтримки постійним заданого значення тиску у вимірювальній лінії. Ротаметр 4 забезпечує вимір поточних значень витрати стисненого повітря, а також реєстрацію пульсацій витрат , що виникають при обертанні валу гідромашини.

Методикою діагностування гідромашин передбачалося вимірювання поточних значень витрати стисненого повітря через зазори при заданому режимі діагностування й визначення середнього значення витрати.

Це досягалося послідовним виконанням наступних операцій:

* підключити напірну магістраль розподільника до вимірювальної лі-

- * перевірити герметичність з'єднань;
- * відкрити усмоктувальні й дренажну магістралі, забезпечивши тим самим вільний вихід стислого повітря з корпусу гідромашини в атмосферу;
- * регулятором стабілізатора тиску підняти тиск стисненого повітря у вимірювальній лінії до значення 0,3-0,4 МПа й з метою витиснення залишків робочої рідини із зазорів на протязі 30-60 с.
- * знизити тиск стисненого повітря у вимірювальній лінії до значення 0,15 МПа;
- * записати показання ротаметра;
- побудувати графічну залежність зміни витрати стисненого повітря від зазорів у з'єднанні корпус розподільника - золотник ;
- визначити значення діагностичних параметрів .



Фото 3.10. Загальний вигляд установки для контролю витрат стисненого повітря

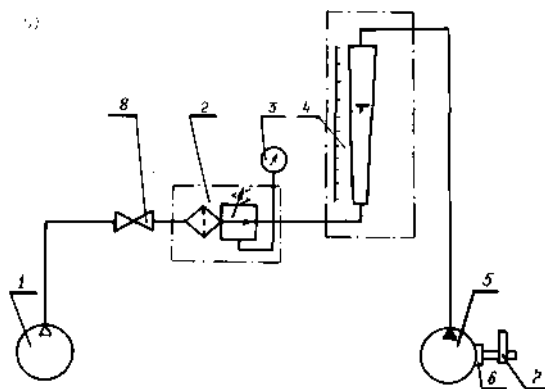


Рис. 3.11. Устрій для діагностування розподільників стисненим повітрям
схема підключення при діагностуванні

Методикою передбачалося діагностування розподільників при рівнях стисненого повітря у вимірювальній лінії рівних 0,1, 0,15, 0,20, 0,25 МПа. Для виміру поточних значень витрати стисненого повітря використовувався набір ротаметрів типу РМ із різними межами виміру.

3.6. Дослідження залежності між витратою робочої рідини й витратою стисненого повітря через зазори в сполученнях розподільника

У другому розділі зроблений висновок про існування однозначної залежності між витратою робочої рідини й витратою стисненого повітря через зазори в сполученнях розподільника. Наявність такої залежності дозволяє використовувати стиснене повітря при діагностуванні розподільників. З метою перевірки можливості практичної реалізації способу діагностування розподільників за допомогою стисненого повітря проведена серія експериментальних досліджень, завданням яких було встановлення залежності між витратою стисненого повітря й витратою робочої рідини через зазори в сполученнях розподільника.

Дослідження базувались на послідовному вимірі витрати робочої рідини й витрати стисненого повітря через зазори в сполученнях розподільника. Витрати робочої рідини визначалися шляхом діагностування гідромашин на стенді КІ-4815 й за методикою, описаною у п.п.3.4.3. Після цього гідророз-

подільник знімався зі стенда, і шляхом прокачування видалялася робоча рідина й за допомогою устрою для виміру витрати стисненого повітря й за методикою, наведеної в п.п.3.5 визначалась витрата стисненого повітря через зазори в спряженні корпус-золотник.

Витрата визначалась при тиску стисненого повітря у вимірювальній лінії рівному 0,1, 0,15, 0,20 і 0,25 МПа [23]. Усього випробуванням було піддано 15 гідророзподільників. Дані випробувань представлені в таблиці 3.2. При обробці експериментальних даних з метою зменшення обсягу розрахунків дані всіх досвідів були згруповані в три інтервали. Виходячи із припущення про нормальний закон розподілу даних у кожному інтервалі були визначені середні значення параметрів в інтервалах.

Надалі при обробці даних вони розглядалися як результати послідовних і незалежних дослідів. Результати дослідів, що потрапили в певний інтервал, розглядалися як результати паралельних дослідів. Розрахунок середніх значень параметрів по відомих залежностях [15] і із застосуванням угруповання даних показав, що похибка розрахунку становить не більше 1%.

Таблиця 3.2-Данні експериментальних досліджень по встановленню залежності між витратою робочої рідини та витратою стисненого повітря через зазори в спряженні „корпус розподільника-золотник”

№ п/п	Витрата робочої рідини, см ³ /хв. при 8 МПа	Витрата стисненого повітря через зазори, см ³ /хв			
		P=0,1МПа	P=0,15МПа	P=0,2МПа	P=0,25МПа
1	1,5	3,17	7,5	14	17
2	2,33	5,67	10	17,5	27,5
3	2,83	6,0	12	26	33
4	2,83	7,0	15	28	37,5
5	3,0	7,5	18	25	40
6	3,0	8,33	15	25	42,5
7	3,17	7,5	17,5	25	44
8	3,17	7,0	18	25	42,5

9	3,17	7,5	17,5	24	45
10	3,17	6,67	17,5	27,5	40
11	3,33	8,0	18	28	50
12	3,33	7,0	18	26	47,5
13	3,33	7,0	18	30	52
14	3,5	6,33	12	27,5	48
15	3,5	7,0	12,5	30	51

Обробка результатів експерименту по методу найменших квадратів показала наявність істотного кореляційного зв'язку між витратою робочої рідини й витратою стисненого повітря через зазори в сполученнях розподільника. Для всіх рівнів тиску стисненого повітря у вимірювальній лінії коефіцієнт кореляції перебуває в межах 0,97-0,98, що підтверджує припущення про те, що випадкові величини $q_{\text{втр}}$, $Q_{\text{в}}$ корельовані й залежні одна від іншої. Дані, необхідні для розрахунку коефіцієнтів кореляції, представлені в табл. 3.2.

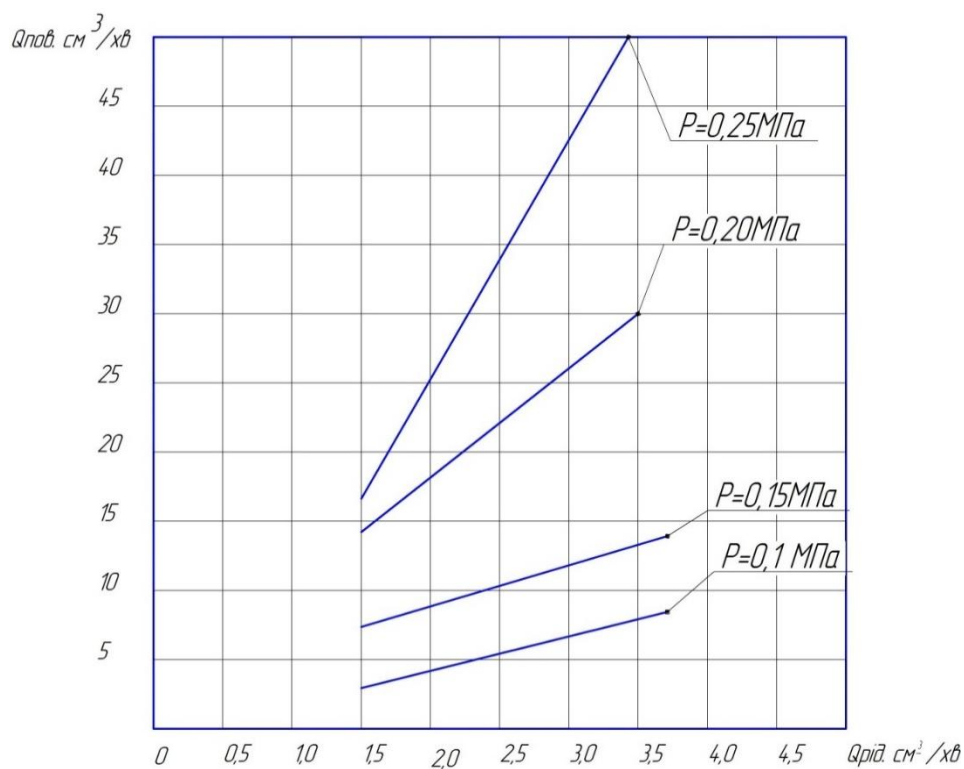


Рис. 3.12. Графічна залежність між витратою робочої рідини й витратою стисненого повітря через зазори в спряженнях „корпус розподільника – золотник”, при різних рівнях тиску у вимірювальній лінії

Таким чином, аналітична залежність, призначена для визначення витрати робочої рідини при тиску 8 МПа й температурі 50°C через зазори в сполученнях розподільника по величині витрати стисненого повітря в діапазоні тиску повітря у вимірювальній лінії 0,1...0,25 МПа, буде мати вид:

$$Q_{\text{вт}} = (1,2525 - 9,9214 \cdot P_{1\text{в}} + 20,9282 \cdot P_{1\text{в}}^2) \cdot Q, \quad (3.1)$$

Результати, отримані з використанням залежності (3.1) задовільно погодяться з результатами, отриманими при розрахунку витрати робочої рідини за допомогою формули (2.4) , отриманої теоретичним шляхом. Максимальні розбіжності між теоретичною й експериментальною залежностями в діапазоні тиску стисненого повітря у вимірювальній лінії 0,1-0,25 МПа не перевищують 10% .

3.7. Висновок

Таким чином, результати експериментальних досліджень підтвердили припущення про можливість використання стисненого повітря при діагностуванні розподільників. Установлений тісний кореляційний зв'язок між витратою робочої рідини й витратою стисненого повітря через зазори в сполученнях корпусу розподільника-золотника, що дозволяє використовувати останній у якості діагностичного параметра загального технічного стану розподільників.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

"Охорона праці – обов'язковий та важливий елемент організації ремонтного виробництва, необхідна умова та складова частина наукової організації праці" [28, 29].

В сучасних умовах зростає роль головних спеціалістів, їх відповідальність за проведення заходів щодо профілактики виробничого травматизму, покращання умов праці та дотримання техніки безпеки при проведенні ремонтних робіт сільськогосподарської техніки.

Інженерно-технічні працівники зобов'язані проводити перевірки виконання вимог актів, приписань, наказів по охороні праці. Покращувати умови труда, проводити санітарно-оздоровчі заходи, впроваджувати нову техніку, яка дозволить знизити виробничий травматизм та професійні захворювання.

4.1. Організація охорони праці на підприємстві

За роботу по охороні праці на ТОВ «Гарант» відповідає керівник. В своїй діяльності по охороні праці він керується законодавчими та нормативними актами, наказами та розпорядженнями, типовими правилами пожежної безпеки та іншими документами.

Керівником підприємства призначається спеціаліст по охороні праці. Він проводить роботу за планами, затвердженими керівником підприємства у відповідності з законодавчими актами та іншими нормативними документами.

На нього покладена координація діяльності усіх підрозділів підприємства та організація контролю роботи по створенню безпечних умов праці [29].

Керівники ділянок, цехів проводять роботу по охороні праці у відповідності з актами, наказами, розпорядженнями та вказівками керівника

підприємства, інженера по охороні праці та приймають міри, направлені на запобігання нещасних випадків, професійних захворювань і пожеж, несуть відповідальність за стан охорони праці на закріпленій ділянці.

Охороні праці на підприємстві приділяється багато уваги, так створено відділ з охорони праці та учбову кімнату яка оснащена наглядними засобами та методичною літературою.

4.2. Стан охороні праці

Стан охорони праці на підприємстві знаходиться на задовільному рівні. Але є і багато порушень. Із всіх необхідних інструктажів проводиться лише вступний при прийнятті працівника на роботу. Не має фахівців з охорони праці із – за низької заробітної плати молоді, енергійні спеціалісти довго не працюють на підприємстві. На даний момент інженер з охорони праці пенсійного віку і працює за сумісництвом.

Машини та обладнання знаходиться в аварійному стані тому інколи трапляються порушення в їх роботі які можуть призвести до травматизму працюючого.

Але на ряду з цими недоліками є і позитивні напрямки до підвищення рівня охорони праці на підприємстві.

Робітникам які знаходяться на пенсії виділяються не значні кошти на лікування.

Дітей працівників відправляють в літку до піонерського табору, їх відпочинок частково фінансує підприємство.

Із-за сезонності робіт в зимовий період більшість працівників йдуть у відпустку (інколи неоплатну), тому більша кількість травм припадає на літній період коли робітникам приходится працювати по 12 годин так як є замовлення.

4.3. Аналіз виробничого травматизму

Найбільш поширеним методом аналізу виробничого травматизму на ремонтних підприємствах є: статичний монографічний, топографічний, економічний, спостереження, анкетування, груповий, сіткового моделювання.

Статичний метод аналізу виробничого травматизму на ремонтних підприємствах призначений для визначення кількісних показників, які характеризують загальний рівень виробничого травматизму. Для цього застосовують відносні величини –показники частоти, важкості і втрат (непрацездатності).

Показник частоти травм (K_q) характеризує кількість травм, що припадає на 1000 працюючих за певний період

$$K_q = \frac{1000 \cdot T}{\Pi} . \quad (4.1)$$

Показник важкості травматизму (K_T) характеризує загальну важкість травм, що виникла протягом звітного періоду. Він показує скільки днів втрати працездатності в середньому припадає на одну травму

$$K_T = \frac{D}{T} . \quad (4.2)$$

Показник втрат (K_H) характеризується кількістю днів непрацездатності, що припадає на 1000 працюючих за звітний період

$$K_H = K_q \cdot K_T = \frac{1000 \cdot D}{\Pi} , \quad (4.3)$$

де Т –загальна кількість травм, що виникла в майстерні за звітний період;

П –середня кількість працюючих в майстерні за той же період;

Д –сумарна кількість днів тимчасової непрацездатності по всіх нещасних випадках, що враховані за звітний період.

Ці показники розраховуються за даними річних звітів підприємства форми №7 ТВН.

Результати аналізу виробничого травматизму в господарстві приведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1-Аналіз виробничого травматизму в господарстві

Показники	Рік		
	2019	2020	2021
Середньосписочна кількість робітників	412	412	390
Кількість нещасних випадків	1	2	1
Кількість днів непрацездатності	7	10	8
Коефіцієнт частоти травматизму	2,4	4,8	2,6
Коефіцієнт тяжкості травматизму	7	5	8
Коефіцієнт втрати робочого часу	17	24,2	20,5

З табл. 4.1 видно, що в 2025 році спостерігається тенденція до зниження показників травматизму. Але це не говорить про покращення стану питань охорони праці на виробництві. Це пов'язано з зниженням в декілька разів обсягу робіт на підприємстві, в порівнянні з попередніми роками, через те, що робітники знаходилися позачерговій відпустці.

Проведений аналіз травматизму в майстерні показує, що основними причинами виникнення травматизму є організаційні та технічні.

Найбільш частіші –незадовільне навчання правилам безпеки праці , недостатній контроль з боку керівників середньої ланки, зниження вимогливості в дотриманні техніки безпеки.

До технічних причин можна віднести роботу на несправній техніці, не вистачання достатньої кількості допоміжних пристроїв, робота з несправним інструментом, відсутність огорожень небезпечних зон.

Технологічні причини – порушення технології проведення робіт, низька кваліфікація, особиста необережність.

4.4. Заходи по поліпшені умов праці

Розрахунок вентиляції та освітленості

Визначаємо величину повітрообміну по формулі [30, 31]:

$$W_B = V \cdot k, \quad (4.4)$$

де W_B – повітрообмін для загально-обмінної вентиляції, $\text{м}^3/\text{ч}$;

V – об'єм приміщення м^3 ; ($V=2916$)

k – кратність повітрообміну ($k=2 \dots 3$).

$$W_B = 2916 \cdot 2 = 5832 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Визначаємо потужність двигуна для приводу вентилятора по формулі:

$$N_3 = 1,2 \dots 1,5 \cdot \frac{W_B \cdot H_3}{3600 \cdot 10^2 \cdot \eta_B \cdot \eta_{\pi}}, \quad (4.5)$$

де H_3 – напір повітряного потоку, Нм^2 ($H_3=68$);

η_B – КПД вентилятора, $\eta_B=0,55$;

η_{π} – КПД передачі, $\eta_{\pi}=0,4$;

$1,2 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує втрати повітряного потоку.

$$N_s = 1,2 \dots 1,5 \cdot \frac{5832 \cdot 68}{3600 \cdot 10^2 \cdot 0,55 \cdot 0,4} = 6 \text{ кВт.}$$

Данні розрахунків зводимо в табл. 4.2.

Таблиця 4.2-Характеристика вентиляційної системи ремонтної майстерні

Найменування приміщення, робочого місця	Вид вентиляції	Продуктивність, м ³ /ч	Марка вентилятора	Потужність електродвигуна, кВт	Норма годинної кратності повітрообміну
Приміщення дільниці	Загальнообмінна	1800	ЦЧ-70	6	2...3

Кількість світильників типу ПУ-200 для загального освітлення приміщення відділення визначаємо за формулою:

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot z \cdot k_s}{\Phi \cdot \eta}, \quad (4.6)$$

де Φ – світловий потік одного світильника, Лм ($\Phi=20000$)

E_n – нормативна освітленість, лк ($E_n=200 \dots 500$);

S – площа майстерні, м² ($S=864$ м²);

z – коефіцієнт, що враховує відношення середньої освітленості до мінімальної, $z=1,1 \dots 1,15$;

η – коефіцієнт використання світового потоку, ($\eta=0,5$);

κ_3 – коефіцієнт запасу, що враховує забрудненість повітря в приміщенні, ($\kappa_3=1$).

$$N = \frac{500 \cdot 864 \cdot 1,1 \cdot 1}{20000 \cdot 0,5} = 35,6$$

Приймаємо $N=36$.

Таким чином освітлювальна система відділення складається з 36-ти світильників типу ПУ-200, загальна потужність яких складає 7200 Вт, що відповідає вимогам охорони праці.

4.5. Охорона навколишнього середовища

Екологізація виробництва – це система заходів направлених на підтримку раціонального взаємозв'язку між діями людини і оточуючим природнім середовищем забезпечуючи зберігання і відновлення природних ресурсів, попереджуючих шкідливий вплив результатів діяльності суспільства на природу і здоров'я людини. Ці міроприємства повинні науково обґрунтовуватись і можуть здійснюватись на різних рівнях. Територію ремонтно-обслуговуючої бази ПП «Рівнянське» добре озеленено. Зелені насадження очищають повітря від шкідливих домішок пилу, знімають рівень шуму, покращують мікроклімат.

Однак цього недостатньо для підтримання мікроклімату, особливо в районі МТП. В ній діє багато ділянок з шкідливими викидами в воду, повітря і територію господарства.

В ділянках: миття і очистки, діагностиці, ковальській використовується вода для очистки, охолодження машин і деталей. Після використання її слід очистити для подальшого використання. Для цього необхідно спорудити систему очисних споруд, щоб вода з шкідливими домішками розчинників,

мастил не забруднювали ґрунтові води та водойми. Після відстою і фільтрації її можливо використовувати в виробничих дільницях.

Бруд з відстійників необхідно вивозити у віддалені для відходів місця, територія і земля якого не можуть бути використані для сільського виробництва.

На таких дільницях, як зварювальна, ковальська під час роботи виділяється багато чадного диму.

В дільниці зарядки і зберігання АКБ виділяються пари шкідливих сполук, сірчаної кислоти.

При фарбуванні деталей і машин в повітря попадають шкідливі пари розчинників. Також випаровуються бензин та солярка в дільницях випробування паливної апаратури.

В мідницько-жестяницькій дільниці при пайці радіаторів виділяються пари свинцю, припою і каніфолі.

Всі ці шкідливі викиди повинні пройти через систему фільтрів для очищення повітря. Всі шкідливі сполуки необхідно нейтралізувати.

При ремонті паливної апаратури необхідна чітка і точна її наладка. Від роботи паливної апаратури залежить подача і якість спалювання робочої суміші, що впливає на кількість шкідливих викидів при роботі двигунів автомобілів, тракторів, комбайнів.

Охорона природного середовища залежить не тільки від професійної підготовки спеціалістів, але і від рівня їх загальної економічної культури.

Природоохоронний комплекс ремонтної майстерні підприємства включає:

1. Маловідходне-безвідходне виробництво:

- а) слюсарно-механічна дільниця;
- б) ковальська дільниця;
- в) зварювальна дільниця;

2. Замкнутий цикл використання води:

- а) дільниця миття і очистки;

б) дільниця діагностики;

в) вулканізаційна дільниця;

г) ковальська дільниця.

3. Очищення повітря від шкідливих домішок:

а) дільниця зарядки АКБ;

б) мідницько-жестяницька дільниця;

в) вулканізаційна дільниця;

г) зварювальна дільниця;

д) ковальська дільниця;

ж) дільниця по ремонту електрообладнання;

з) дільниця по ремонту і регулюванню паливної апаратури;

к) слюсарно-механічна дільниця.

4. Очищення повітряного басейну в районі МТП:

а) створення зеленого насадження навколо МТП;

б) озеленення місць відпочинку механізаторів.

4.6. Розробка організаційно-технологічної карти по охороні праці

Для забезпечення нормальних умов праці і зниження шкідливих і небезпечних факторів нами розроблена організаційно технологічна карта з охорони праці, яка представлена в табл.4.3

таблиця 4.3 - Карта небезпечних зон та вимоги безпечної роботи на установці

№ п/п	Небезпечна зона	Небезпечний фактор	Вимоги безпечної роботи
1	Електродвигун	Ураження електричним струмом	1.Забороняється обслуговувати електродвигун якщо він увімкнений в мережу; 2.Не допускати потрапляння оливи в отвори для охолодження.

			3.Стенд повинен бути заземлений.
2	Муфта з'єднання електродвигуна з гідронасосом	Травмування кінцівок	1.Муфта повинна бути закрита захисним кожухом.
3	Агрегат, що випробовується	Травмування кінцівок	1.При встановленні агрегатів використовувати під'ємно – транспортні механізми. 2.Агрегати надійно кріпити до установочних плит стенду.
4	Дросель високого тиску	Ураження робочою рідиною	1.Забороняється включати стенд при закритому дроселі. 2.Дросель необхідно повільно закривати навантажуючи стенд
5	Насосна станція	Ураження електричним струмом та робочою рідиною	1.Забороняється обслуговувати електродвигун якщо він увімкнений в мережу; 2.Не допускати потрапляння оливи в отвори для охолодження. 3.Забороняється експлуатація станції без робочої рідини.
6	Гідравлічні шланги	Ураження робочою рідиною	1.Пред початком роботи перевірити надійність кріплення шлангів.
7	Пневмосистема	Травмування внаслідок викиду шлангів	1. Перед початком роботи перевірити надійність кріплення. 2. У разі виникнення витoku повітря припинити випробування та усунути виток повітря.
8.	Компресор	Травмування внаслідок розри-	1. Перед початком роботи перевірити роботу здатність манометру

		ву пневмобалону	та запобіжного клапану. 2. Дотримуватись правил та норм технічного обслуговування компресорної установки. 3. Забороняється працювати з компресором у якого несправний запобіжний клапан.
--	--	-----------------	--

4.7. Висновок

При дотриманні вимог безпечної роботи на установці можна уникнути травмувань та зробити процес діагностування швидким, безпечним, високотехнологічним з мінімальним використанням ручної праці.

5. ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконана робота є дослідженням спрямованим на розробку нових, ефективних способів і засобів діагностування гідророзподільників типу Р- 80 та його модифікацій. Практичним результатом роботи є розробка конструкції стенда й методики діагностування гідроагрегатів за допомогою стисненого повітря.

Техніко - економічне обґрунтування результатів виконаних досліджень містить у собі наступні етапи:

- виявлення прогресивності рішення;
- вибір базисного варіанта ;
- розрахунок економічної ефективності.

Впровадження в практику діагностування розподільників способів, заснованих на використанні стисненого повітря дозволяє знизити енергоємність і собівартість процесу діагностування, а також підвищує точність і глибину постановки діагнозу, завдяки використанню додаткових діагностичних параметрів. Використання стисненого повітря характеризується підвищенням продуктивності праці за рахунок зниження трудомісткості діагностування й супроводжується поліпшенням розумів праці й безпеки роботи.

Для порівняння ефективності запропонованого способу діагностування гідромашин з існуючими як базовий варіант, прийнятий стенд для діагностування гідроагрегатів, розроблений ГОСНИТИ. Конструкція й принцип роботи стенда типові, для більшості стендів, що використовуються на даний годину при діагностуванні гідромашин.

Економічна ефективність від впровадження у виробництво розробленого способу діагностування гідромашин і стенда для його реалізації обумовлена наступними факторами:

- підвищенням продуктивності праці, викликаним скороченням тривалості діагностування;

- зниженням собівартості діагностування однієї гідромашини внаслідок зниження поточних витрат;
- зниженням коефіцієнта питомих капітальних вкладень;
- підвищенням точності діагностування й вірогідності прогнозування стану.

Річний економічний ефект від впровадження результатів дослідження відповідно до методики [32] може бути розрахований по формулі :

$$E = A_n \cdot [(C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n \cdot K_2)], \quad (5.1)$$

де A_n - кількість перевірок гідроагрегатів на рік;

C_1, C_2 - собівартість діагностування одного розподільника на базовому й новому обладнанні;

K_1, K_2 - питомі капітальні витрати при впровадженні базового і нового обладнання;

E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності $E_n = 1,15$.

Розрахунок річного економічного ефекту виконаємо для випадку використання стенда на ремонтному підприємстві середньої потужності (число ремонтів (діагностувань) не перевищує 400...500 штук).

Собівартість діагностування одного розподільника визначається по формулі:

$$C = C_3 + C_e + C_m + C_{\text{п}}, \quad (5.2)$$

де C_3 - витрати на основну й додаткову заробітну плату робітників;

C_e - вартість витраченої енергії;

C_m - вартість допоміжних матеріалів;

$C_{\text{п}}$ - інші грошові витрати.

Витрати на основну й додаткову заробітну плату визначимо виходячи із трудомісткості процесу діагностування й кваліфікаційного складу робітників, зайнятих при цьому. Трудомісткість діагностування одного розподільника на базовому встаткуванні становить 2 людино-години, а при впровадженні нового обладнання скорочується до 0,5 людино-години на розподільник.

Годинна тарифна ставка слюсаря 4-го розряди дорівнює 85 грн., а отже з врахуванням 40 % преміальних, витрати на заробітну плату робітників складуть 238 грн для базового варіанта і 59,5 грн. для нового.

Вартість витраченої енергії визначимо множенням потужності приводного двигуна на тривалість діагностування розподільника. Тривалість діагностування розподільника (без обліку часу на її установку й зняття) становлять орієнтовно 40 % від всієї тривалості діагностування для базового обладнання й близько 60 % для нового.

Потужність приводу та загальна споживана енергія базового стенда дорівнює 18,6 кВт , нового - 1,27 кВт . Отже вартість витраченої енергії при діагностуванні одного розподільника на базовому й новому обладнанні складе відповідно 60,6 грн. і 4,2 грн. (1 кВт = 3,26 грн.).

Вартість допоміжних матеріалів при діагностуванні гідророзподільників на базовому обладнанні визначається в основному вартістю робочої рідини. Витрата робочої рідини становить приблизно 160 літрів на рік, отже його вартість, віднесена до процесу діагностування одного розподільника дорівнює:

$$C_m = \frac{160 \cdot 54}{400} = 21,6 \text{ грн.} \quad (5.3)$$

де 160 – річний об'єм масла, л;

54 - вартість 1 літра масла, грн.;

400 – річна програма ремонту, шт.

Інші грошові витрати становлять орієнтовно 10% від витрат на основну й додаткову заробітну плату і для базового й нового варіантів відповідно рівні 23,8 грн. і 5,95 грн.

Таким чином, собівартість діагностування одного розподільника на новому обладнанні дорівнює 69,7 грн., а на базовому 344 грн.

Питомі капітальні витрати на діагностування одного розподільника можуть бути розраховані по формулі:

$$K = \frac{B}{A_n \cdot t}, \quad (5.4)$$

де B - капітальні вкладення при впровадженні базового й нового облад-

нання; орієнтовно $B_1 = 125000$ грн; $B_2 = 12500$ грн;

t - термін служби обладнання (10 років).

В результаті питомі капітальні вкладення при впровадженні базового й нового обладнання відповідно рівні:

$$K_{\phi} = \frac{125000}{400 \cdot 10} = 31,25 \text{ грн.}$$

$$K_{np} = \frac{12500}{400 \cdot 10} = 3,12 \text{ грн.}$$

Підставляючи отримані дані у формулу (5.1) визначимо річний економічний ефект від впровадження результатів досліджень:

$E = 400 [(344 + 1,15 \cdot 31,3) - (69,7 + 1,15 \cdot 3,12)] = 122678$ грн. на 400 розподільників.

$$T = \frac{B_2}{E} = \frac{12500,0}{122678,0} = 0,1 \text{ року} \quad (5.5)$$

Результати техніко-економічної оцінки роботи наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1- Результати техніко-економічної оцінки роботи

Найменування показника	Значення показника	
	Стенд КИ4815М	Пневматичний метод
Вид робіт	Діагностування	Діагностування
Марка гідророзподільника	P-80	P-80
Програма ремонту, шт	400	400
Розряд діагноста	4	4
Потужність установок, кВт.	22	1,5
Трудомісткість діагностування, люд.-год.	2	0,5
Капіталовкладення, грн.	125000	12500
Поточні витрати на один розподільник, грн.	344	69,7
- основна та додаткова заробітна плата, грн.	238	59,5
- вартість витраченої електроенергії, грн.	60,6	4,2
- вартість допоміжних матеріалів, грн. (ро- боча рідина стану)	21,6	-
- інші витрати, грн.	23,8	3,12
Питомі капіталовкладення на діагносту- вання одного розподільника, грн.	31,25	3,12
Річний економічний ефект, грн.	-	122678,0
Термін окупності капіталовкладень, років	-	0,1

Висновок. У такий спосіб річний економічний ефект від впровадження стенда для діагностування технічного стану розподільника за допомогою стисненого повітря становить 122678,0 грн. на один стенд. Це значення може бути збільшене при застосуванні стенда на більш потужних підприємствах, що забезпечують повне його використання за часом.

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу основних несправностей гідророзподільників й способів визначення їх технічного стану встановлено:

- у більшості випадків процес діагностування гідромашин зводиться до визначення параметрів внутрішньої негерметичності;
- в умовах експлуатації гідро розподільників найбільш ефективними є способи контролю негерметичності, засновані на використанні стисненого повітря.

2. Розроблено теоретичні передумови для створення способу діагностування гідро розподільників стисненим повітрям, доведені можливість і доцільність його застосування.

3. Аналіз процесу функціонування гідро розподільників дозволив встановити зв'язок параметрів робочого процесу з параметрами внутрішньої негерметичності, а також визначити комплекс діагностичних параметрів, що найбільше повно відображають технічний стан гідро розподільників при діагностуванні їх стисненим повітрям:

- витрата стисненого повітря через зазори за одну хвилину;
- поточне значення витрати стисненого повітря ;
- різниця поточних значень витрати, обмірюваних при подачі стисненого повітря в зону з'єднання золотника з корпусом розподільника.

4. Теоретично обґрунтована й експериментально підтверджена залежність між витратою робочої рідини й витратою стисненого повітря через зазори в сполученнях гідро розподільників.

5. Виведені залежності, що встановлюють зв'язок між параметрами, що характеризують процес втрати стисненого повітря через зазори й конкретні несправності в сполученнях деталей розподільника. Теоретичні висновки підтверджені результатами експериментальних досліджень.

6. На підставі експериментальних досліджень розроблені рекомендації з вибору оптимального режиму діагностування розподільників за допомо-

гою стисненого повітря й запропоновані заходи щодо зниження впливу залишків робочої рідини, що знаходиться в зазорах, на точність діагностування.

7 . З використанням методів теорії статистичних рішень визначені граничні значення витрати стисненого повітря, що розмежовують область справних і несправних станів розподільника і забезпечуючі мінімальне число помилкових рішень при діагностуванні.

8 . На підставі виконаних досліджень розроблена методика діагностування розподільників стисненим повітрям. Запропоновано конструкцію стенда для діагностування гідророзподільників, а також створений комплект переносних діагностичних приладів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- . Liu Z., Cao S., Sun Z., etc. Tillage effects on soil properties and crop yield after land reclamation. *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, pp. 4611, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84191-z>.
- . Turebayeva S., Zhapparova A., Yerkin A., etc. Productivity of rainfed winter wheat with direct sowing and economic efficiency of diversified fertilization in arid region of South Kazakhstan. *Agronomy*, 2022, vol. 12, pp. 111, <https://doi.org/10.3390/agronomy12010111>.
- . Piao L., Li M., Xiao J., etc. Effects of soil tillage and canopy optimization on grain yield, root growth, and water use efficiency of rainfed maize in Northeast China. *Agronomy*, 2019, vol. 9, pp. 339, <https://doi.org/10.3390/agronomy9060336>.
- . Rogovskii I.L., Titova L.L., Gumenyuk Yu.O., etc. Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 839, pp. 052055, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
- . Murillo J., Moreno F., Madejón E., etc. Improving soil surface properties: a driving force for conservation tillage under semi-arid conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2016, vol. 4(1), pp. 97-104.
- . Feng X., Hao Y., Latifmanesh H., etc. Effects of subsoiling tillage on soil properties, maize root distribution, and grain yield on mollisols of Northeastern China. *Agronomy Journal*, 2018, vol. 110(4), pp. 27-41, <https://doi.org/10.2134/agronj2018.01.0027>.
- . Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., etc. Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 677, pp. 022100, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022100>.
- . Dahiya R., Singh S. First total synthesis and biological potential of a heptacyclopeptide of plant origin. *Chinese Journal of Chemistry*, 2016, vol. 34(11), pp. 419-432, <https://doi.org/10.1002/cjoc.201600419>.
- . Bazaluk O., Havrysh V., Fedorchuk M., etc. Energy assessment of sorghum cultivation in Ukraine. *Agriculture*, 2021, vol. 11, pp. 695, <https://doi.org/10.3390/agriculture11080695>.
- 0. Rogovskii I., Titova L., Trokhaniak V., etc. Experimental study of the process of grain cleaning in a vibro-pneumatic resistant separator with passive weeders. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, 2020, vol. 13 (62), no 1, pp. 117-128. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.1.11>.
- 1. Cherniavskii V.I., Dumacheva E.V., Marinich M.N., etc. The role of perennial grasses in the accumulation of organic matter in soil-saving agriculture. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 901(1), pp. 012056, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012056>.
- 2. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., etc. Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. *INMATEH. Agricultural*

- Engineering, 2020, vol. 60, no 1, pp. 45-52. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-60-05>.
3. Xia P., Guo H., Ru M., etc. Accumulation of saponins in *Panax notoginseng* during its growing seasons. *Industrial Crops and Products*, 2017, vol. 104, pp. 287-292, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.045>.
 4. Carter J., Petersenn R., Cochran B. Designing exhaust systems to minimize energy costs. *Ashrae Journal*, 2015, vol. 47(7), pp. 18-22.
 5. Moraru P., Rusu T. Effect of tillage systems on soil moisture, soil temperature, soil respiration and production of wheat, maize and soybean crops, *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2012, vol. 10(2), pp. 445-448.
 6. David A., Voicu G., Duțu M. The dynamics of the deep soil loosening machine – tractor unit. *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, 2015, vol. 77, iss. 4, pp. 275-286.
 7. Forgó Z., Tolvaly-Rosca F., Pásztor J., Kovari A. Energy consumption evaluation of active tillage machines using dynamic modelling. *Application Science*, 2021, vol. 11, pp. 6240.
 8. Tarasenko B.F., Orlenko S.Y., Kuzmin V.V. Universal tillage unit. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 666(3), pp. 032092.
 9. Sarkar P., Upadhyay G., Raheman H. Active-passive and passive-passive configurations of combined tillage implements for improved tillage and tractive performance. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2021, vol. 19(4), pp. e02R01-e02R01.
 0. Bayan Kh., Shogenov Yu., Starovoytov S. Tillage unit with new design working bodies for minimal tillage. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 937(3), pp. 032049, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032049>.
 1. Carmona I.G., Colado J. (2016) Control of a two wired hammerhead tower crane. *Nonlinear Dynamics*. 84(4). pp. 2137-2148. <http://dx.doi.org/10.1007/s11071-016-2634-3>.
 2. Fonteijn H., Afonso M., Lensink D., Mooij M., Faber N., Vroegop A., Polder G., Wehrens R. (2021) Automatic phenotyping of tomatoes in production greenhouses using robotics and computer vision : from theory to practice. *Agronomy*. 11(8). pp. 1599. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11081599>.
 3. Hrynkyi A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. (2020) Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3(105). pp. 19-29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
 4. Kostikov A.A., Perig A.V., Larichkin O.V., Stadnik A.N., Gribkov E.P. (2019) Research into payload swaying reduction through cable length manipulation during boom crane motion. *FME Transactions*. 47(3). pp. 464-476. <http://dx.doi.org/10.5937/fmet1903464K>.
 5. Kuzmich I.M., Rogovskii I.L., Titova L.L., Nadtochiy O.V. (2021) Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 677. pp. 052002.

6. Lysenko V., Bolbot I., Lendiel T., Nurseitova K., Amirgaliyev Y. (2021) Mobile robot with optical sensors for remote assessment of plant conditions and atmospheric parameters in an industrial greenhouse. *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*. 12040. pp. 80-89. <https://doi.org/10.1117/12.2613975>.
7. Mozharivskiy D.M., Titova L.L., Nadtochiy O.V., Dasic P. (2022) Aspects of expert system of engineering management of technical condition of grain harvesters. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. 13(1). pp. 60-66. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2022.01.060>.
8. Najafi P., Asoodar M., Marzban A., Hormozi M. (2017) Reliability analysis of agricultural machinery: a case study of sugarcane chopper harvester. *AgricEngInt: CIGR Journal*. March 17(1)1. pp. 158-165.
9. Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L. (2020) Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 6(7–108). pp. 71-79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
0. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskiy M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. (2021) Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4(7(112)). pp. 41-49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
1. Revathi S., Radhakrishnan T., Sivakumaran N. (2017) Climate control in greenhouse using intelligent control algorithms. Paper Presented at the Proceedings of the American Control Conference. pp. 887-892. <http://dx.doi.org/10.23919/acc.2017.7963065>.
2. Rogovskii I., Titova L., Sivak I., Berezova L., Vyhovskyi A. (2022) Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. *Engineering for Rural Development*. 21. pp. 884-890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
3. Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Troyanovskaya I.P., Sokolova V.A. (2021) Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 720. pp. 012110 doi: 10.1088/1755-1315/720/1/012110.
4. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. (2019) Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*. 18. pp. 291-298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
5. Vlăduț D., Biriș S., Vlăduț V., Cujbescu D., Ungureanu N., Găgeanu I. (2018) Experimental researches on the working process of a seedbed preparation equipment for heavy soils. *INMATEH. Agricultural Engineering*. 55(2). pp. 27-34.
6. Voinalovych O., Aniskevych L., Motrich M., Titova L. (2020) Rationale of acceptable risk of using tractors with operational damages of responsible parts. *Engineering for Rural Development*. 19. pp. 784-792.

ДОДАТКИ