

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

УДК 681.518.54:631.3

ПОГОДЖЕНО  
Декан механіко - технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
технічного сервісу та інженерного  
(назва кафедри)  
менеджменту імені М.П. Момотенка

\_\_\_\_\_  
(підпис) Вячеслав БРАТІШКО  
(ПІБ)

\_\_\_\_\_  
(підпис) Іван РОГОВСЬКИЙ  
(ПІБ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему Удосконалення параметрів діагностування електрообладнання  
самохідних сільськогосподарських машин**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

Вячеславович

(науковий ступінь та вчене звання)

Братішко Вячеслав

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц. каф.

(науковий ступінь та вчене звання)

Іщенко Валерій Васильович

(підпис)

(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Климчук Роман Анатолійович

(ПІБ)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко–технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та  
інженерного менеджменту імені М.П. Момотенка

д.т.н., проф.  
(науковий ступінь, вчене звання)

Іван РОГОВСЬКИЙ  
(підпис) (ПІБ)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**  
Климчуку Роману Анатолійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208  
«Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-  
професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Удосконалення параметрів діагностування  
електрообладнання самохідних сільськогосподарських машин

затверджена наказом ректора НУБіП України від «07» грудня 2023 р. № 2223 «С»

Термін подання завершеної роботи на

кафедру \_\_\_\_\_

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Науково – технічна література;  
результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах по вивченню питання  
діагностування електрообладнання самохідних сільськогосподарських  
машин

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Стан питання та задачі дослідження \_\_\_\_\_

2. Теоретичне обґрунтування методу визначення періодичності технічного обслуговування елементів  
системи електроустаткування \_\_\_\_\_

3. Методичне забезпечення експериментальних досліджень та їх результати \_\_\_\_\_

4. Результати теоретичних і експериментальних досліджень \_\_\_\_\_

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях \_\_\_\_\_

6. Економічне обґрунтування роботи \_\_\_\_\_

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 19 слайдах

Дата видачі завдання «10» листопада 2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Іщенко В.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

Климчук Р.А.

(прізвище та ініціали)

Робота включає в себе шість розділів. В першому розділі розглянуто конструктивні особливості гідравлічних систем, причини відмов гідравлічних агрегатів та напрямки підтримки та відновлення їх ресурсу і обґрунтовано задачі досліджень.

В другому розділі розглядаються теоретичні питання з визначення ремонтної технологічності гідравлічних агрегатів, способів їх діагностування та методика розрахунку періодичності технічного обслуговування.

В третьому розділі наводиться програма і методики експериментальних досліджень з формування адаптованої класифікації несправностей гідравлічних агрегатів сільськогосподарської техніки та методики визначення технічного стану гідроагрегатів за градієнтом тиску.

В четвертому розділі представлені результати визначення технічного стану гідроагрегатів за градієнтом тиску в нагнітаючій магістралі.

В п'ятому розділі розглянуто питання з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

В шостому розділі представлені техніко-економічні розрахунки з ефективності реалізації запропонованих заходів.

**Ключові слова:** гідравлічна система, гідравлічні агрегати, ремонтна технологічність, технічне обслуговування, діагностування, сервісний підрозділ, сільськогосподарські машини.

ВСТУП .....	7
1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1. Актуальність проблеми дослідження.....	9
1.2. Аналіз робіт, присвячених дослідженню несправностей і відмов машин при їхній технічній експлуатації.....	11
1.3. Обґрунтування вибору об'єкта й предмета дослідження.....	17
1.4. Висновки по першому розділу. ....	22
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ .....	25
2.1. Аналітичне дослідження роботи електропроводів.....	25
2.2. Аналіз тактик забезпечення й підтримки в технічно справному стані автомобілів при технічній експлуатації.....	29
2.3. Вибір методу визначення періодичності технічного обслуговування сільськогосподарських машин .....	32
2.4. Розробка комплексного показника ефективності експлуатації.....	35
2.5. Висновки по другому розділу .....	40
3. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ.....	41
3.1. Мета і завдання методичного забезпечення експериментальних досліджень.....	41
3.2. Методика виміру температури в з'єднанні електричних дротів .....	41
3.3. Методика порівняльної оцінки стійкості ізоляції електропроводу до горіння .....	43
3.4. Висновки по третьому розділу .....	48
4. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	49
4.1. Вимір температури в з'єднанні електричних дротів.....	49
4.2. Визначення технічного стану ізоляції при тепловому впливі на жилу електропроводу .....	51

4.3.	Порівняльна оцінка стійкості ізоляції електропроводу до горіння.....	54
4.4.	Висновки по четвертому розділу .....	57
5.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..	59
5.1.	Організація охорони праці на підприємстві .....	59
5.2.	Аналіз виробничого травматизму на підприємстві.....	61
5.3.	Вимоги безпеки праці під час роботи з електроінструментом .....	63
5.4.	Заходи по поліпшенню умов праці.....	67
5.5.	Дії працівників при виникненні надзвичайної ситуації (пожежі).....	72
5.6.	Висновок .....	73
6.	ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ .....	74
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	82

## ВСТУП

Якісне та своєчасне проведення агротехнічних робіт в значній мірі обумовлюється кількісним складом сільськогосподарської техніки та її надійністю. На сьогоднішній день, в агропромисловому комплексі України спостерігаються тенденції до зменшення закупівлі імпоротної нової техніки, що обумовлюється значною вартістю машин, а також вітчизняних сільськогосподарських машин, в зв'язку з практичною відсутністю їх власного виробництва. Особливо це стосується кормо-та зернозбиральних комбайнів.

Експлуатаційна надійність імпортних зернозбиральних комбайнів формується за рахунок якісного виготовлення вузлів та агрегатів сільськогосподарської машини та налагодженої системи технічного сервісу своєї продукції, завдяки дилерським центрам. Особливо це стосується агрегатів гідравлічних систем зернозбиральних комбайнів, до яких в умовах експлуатації висуваються високі технічні вимоги за якістю робочої рідини, складом та об'ємом робіт з їх технічного сервісу.

Менша цінова політика вітчизняної техніки не забезпечила зростання її попиту у сільськогосподарських підприємств, в результаті відсутності розгалуженої системи філій та дилерських центрів, для проведення робіт з їх технічного сервісу, що характеризується значними витратами із-за простоювання техніки в результаті очікування сервісних робітників і запасних частин, якщо несправність усувається в польових умовах, та сервісних центрів, якщо несправність необхідно усунути безпосередньо в спеціалізованому підприємстві.

Найбільш популярною системою сервісного обслуговування є дилерська система [1, 2], яка передбачає проведення технічного обслуговування та ремонту в гарантійний і післягарантійний періоди експлуатації машини, діагностування ресурсного і заявочного, постачання запчастин та техніки, проведення консультацій та ін. Якісне проведення сервісних робіт дилерськими центрами забезпечує експлуатаційну надійність мобільних машин та їх складових і визначає конкурентоспроможність

виробника, який організував технічний сервіс своєї продукції, що забезпечує високу якість ремонтно-обслуговуючих робіт при мінімальних цінах.

В умовах агропромислового комплексу дуже складно забезпечити експлуатаційну надійність зернозбиральних комбайнів в відповідності до технічних вимог, що обумовлюється не достатньою кількістю спеціалізованих сервісних центрів, реалізацією функціональної діагностики для виявлення технічного стану агрегатів гідравлічних систем, що не завжди можливо і супроводжується значною трудомісткістю робіт. Відновлення роботоздатного стану машини в своїй більшості зводиться до заміни вузла або агрегату, який втратив роботоздатність, як правило власними силами. Отже питання організації технічного сервісу зернозбиральних комбайнів та їх гідравлічних систем являються актуальними і потребують детальних досліджень.

В зв'язку з цим **метою роботи являється** - забезпечення експлуатаційної надійності гідравлічних систем зернозбиральних комбайнів за рахунок удосконалення заходів з їх технічного обслуговування та діагностування.

В відповідності до мети ставляться наступні задачі дослідження:

1. Провести аналіз конструктивних особливостей агрегатів гідравлічних систем мобільних машин сільськогосподарського призначення.
2. Аналітично визначити показники ремонтної технологічності гідравлічних агрегатів, що обумовлюють обмеження ресурсу гідравлічної системи.
3. Розглянути методику визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування гідроагрегатів.
4. Обґрунтувати спосіб діагностування технічного стану гідроагрегатів вимірюванням градієнту тиску робочої рідини.
5. Розробити методику експериментальних досліджень по виявленню взаємозв'язку між технічним станом гідронасосу і градієнтом тиску робочої рідини.
6. Розробити заходи з удосконалення системи технічного сервісу гідроприводу комбайна для умов експлуатації.

**Об'єкт дослідження** – агрегати гідравлічної системи комбайна.

**Предмет дослідження** - процеси забезпечення функціонування агрегатів гідравлічної системи комбайна, як сукупність взаємоузгоджених зв'язків між параметрами технічного стану їх складових частин.



# 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Сучасна гідрофікація мобільних машин сільськогосподарського призначення

До мобільних машин сільськогосподарського призначення, які оснащені гідравлічними системами, слід віднести комбайни, трактори і автомобілі. При цьому найбільш гідрофікованими являються комбайни, що обумовлюється специфікою їх роботи.

Вперше в 1947 році на зернозбиральному комбайні С-4 застосували гідравлічний привод підймання жнивarki [3]. Враховуючи переваги гідроприводу [4]: стосовно малої ваги та об'єму, що припадає на одиницю потужності, що передається; простоти здійснення безступінчастого регулювання швидкостей і високого ступеня редукації; високого коефіцієнта корисної дії; надійності; стійкості заданих режимів роботи; простоти керування та обслуговування; незалежного розміщення складових частин; дистанційного керування; надійного захисту від перевантаження; автоматизації технологічних процесів, а також універсальності комбайнобудівники гідрофікації своїх виробів приділили належну увагу [5].

В сучасних комбайнах в залежності від їх призначення гідрофікованими є рульове керування, ходова система і більшість технологічних механізмів.

Гідроприводи рульового керування застосовують з дросельним і об'ємним регулюванням потоку робочої рідини. В гідроприводах з дросельним регулюванням існує механічний зв'язок між механічними елементами повертання напрямних коліс і елементами керування потоком робочої рідини. Об'ємне регулювання потоком робочої рідини здійснюється за допомогою спеціальної конструкції насоса-дозатора. На рисунку 1.1 представлена схема гідроприводу рульового керування коренезбиральної (бурякозбиральної) машини КС-6Б.

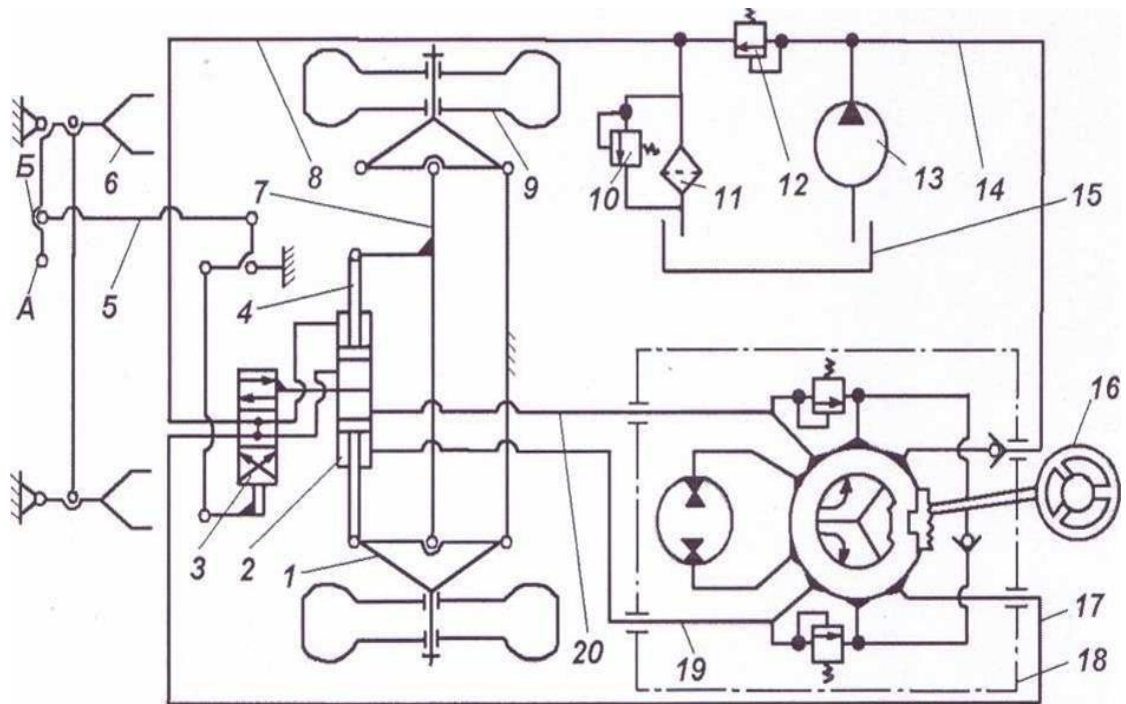


Рисунок 1.1 – Схема гідропривода рульового керування коренезбиральної (бурякозбиральної) машини КС-6Б: 1- поворотний кронштейн; 2 - основний гідроциліндр; 3 - розподільник; 4 - допоміжний гідроциліндр; 5 - тяга; 6 - копір-водій; 7 - балка переднього моста; 8 - зливний трубопровід; 9 - кероване колесо; 10 - запобіжний клапан фільтра; 11 - фільтр; 12 - запобіжний клапан гідроприводу; 13 - шестеренний насос; 14 - напірний трубопровід; 15 - бак; 16 - рульове колесо; 17, 19 і 20 - трубопроводи; 18 - насос-дозатор; А, Б - отвори у важелі

Цей гідропривід крім керування напрямними колесами машини в ручному оператором, забезпечує також автоматичне керування напрямними колесами машини з потрібною точністю уздовж збираних рядків. Оператор в ручному режимі керує машиною в разі транспортних переїздів, розворотів, відключеннях копіїв автоматичної системи, а також коригування напрямку руху коли гідропривід працює в автоматичному режимі.

Деякі зразки зернозбиральних комбайнів [6] комплектуються гідравлічним приводом з автопілотом (рис. 1.2). Такий гідропривід забезпечує прямолінійне переміщення комбайна, без коригування руху комбайнером, навіть на косогорі.

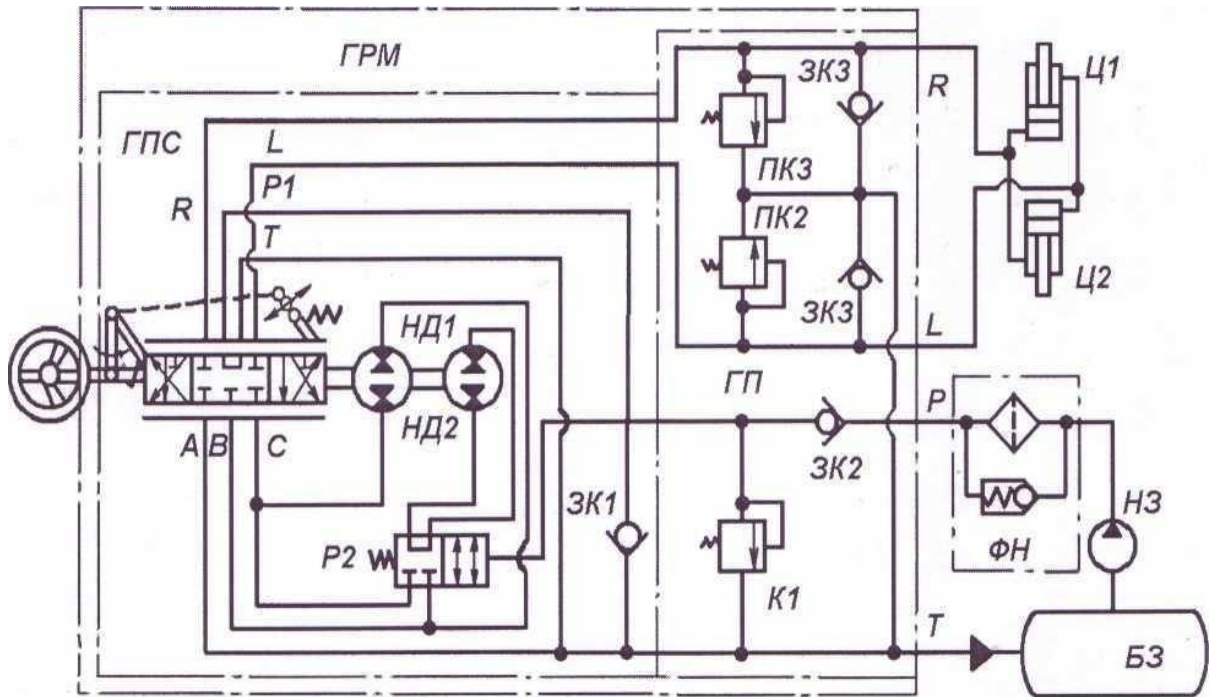


Рисунок 1.2 - Схема гідропривода рульового керування зернозбирального комбайна з автопілотом [6]: ГРМ - гідравлічний рульовий механізм; ГПС - гідропідсилювач; P1 і P2 — розподільники; НД1 і НД2 - насоси дозатори; К1 - запобіжний клапан; ПК2 і ПК3 - протиударні клапани; ЗК1, ЗК2, ЗК3 - зворотні клапани; НЗ - насос шестеренний (третя секція); БЗ - бак третій; ГП - гідропанель; ФН - фільтр напірний; Ц1 і Ц2 - гідроциліндри; А, В, С, Р, Т, L - гідролінії

Відхилення в роботі гідропривода рульового керування від зазначених вимог призводить до зниження техніко-економічних показників працездатності комбайнів аж до повного їх зупинення.

Такі високі вимоги до гідроприводів рульового керування обумовлені відповідними вимогами щодо керованості комбайнів: висока чутливість рульового керування при мінімальному зусиллі на рульовому колесі від моменту опору керованих коліс повороту [7, 8]; копіювання, як в ручному так і в автоматичному режимах керування, заданої траєкторії руху; стійкість заданої траєкторії руху незалежно від поштовхів та ударів на керовані колеса з боку нерівностей; недопущення передавання поштовхів та ударів, що діють на керовані колеса збоку рельєфу, через кінематичні елементи рульових механізмів на рульове колесо.

Застосування гідроприводів в ходових системах машин в порівнянні з механічними передачами має такі переваги [9]: питома маса гідроагрегатів складає

від 1 кг до 2 кг на один кВт потужності двигуна самохідної машини; коефіцієнт корисної дії гідروпривода не нижче 0,8; широкий діапазон зміни частоти обертання вала гідромотора, простота керування частотою і реверсування; строк служби гідроагрегатів перевищує строк служби двигуна машини; відсутність обмежень щодо компоновочного розміщення гідроагрегатів та їх складових частин; легко виконувати автоматизацію керування гідроприводом, що забезпечує підвищення продуктивності машини, оптимальний режим роботи двигуна і відповідно зменшення витрати палива. Завдяки таким перевагам гідропривід ходових систем знайшов широке застосування в сільськогосподарських комбайнах: зернозбиральних комбайнах “Дон-1500” і “Славутич”; кукурудзозбиральних комбайнах КСКУ-6АС, “Херсоніць-200”; коренезбиральних комбайнах КС-6Б-02 та КБ-6; кормозбиральних КСК-100, “Марал-125-Поділля”, “Полісся-250”; картоплезбиральних комбайнах КСК-4; льонозбиральних комбайнах ЛКВ-4Т. Переважна більшість гідроприводів ходової системи сільськогосподарських комбайнів є двомашинними з регульованим насосом і нерегульованим гідромотором (рис. 1.3) [10].

Гідропривід ходової системи працює з замкнутою циркуляцією робочої рідини від насоса до гідромотора і від гідромотора до насоса. Стосовно структурно-функціональних зв'язків складових частин гідропривод можна умовно розділити на дві системи: система низького тиску підживлення та керування; система високого тиску насос-гідромотор. До системи низького тиску відносяться: насос підживлення 7; розподільник 10 керування подачею робочої рідини з механізмом привода золотника та зворотного стеження за положенням нахилу похилого диску аксіально-поршневого насоса; гідроциліндри 9 сервомеханізму повертання похилого диску; зворотні клапани 11; запобіжний клапан 12 насоса підживлення.

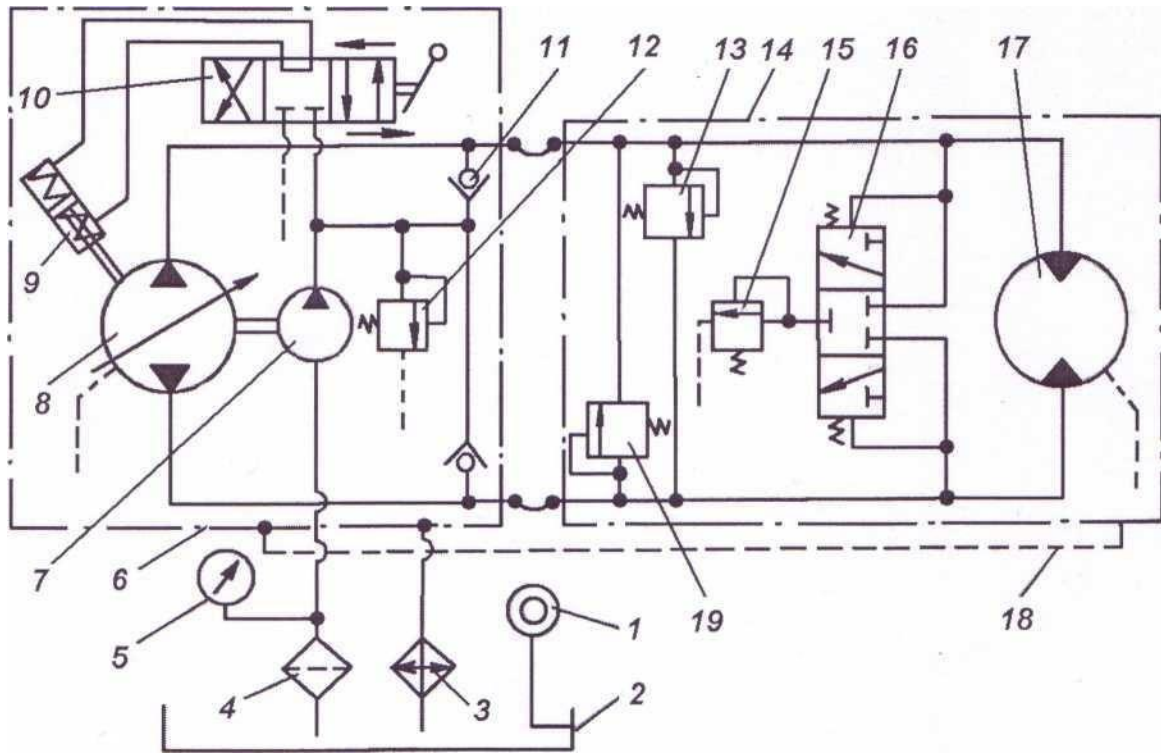


Рис. 1.3 - Схема гідропривода ходової системи сільськогосподарських комбайнів [10]: 1 - показник температури масла; 2 - бак; 3 - радіатор; 4 - фільтр; 5 - вакуумметр; 6 - гідронасос в зборі; 7 - насос підживлення; 8 - аксіально-плунжерний регульований насос; гідроциліндр керування похилим диском; 10 - сервомеханізм; 11 - зворотній клапан; 12 - запобіжний клапан лінії підживлювального насоса; 13, 19 - запобіжні клапани лінії високого тиску; 14 - гідромотор в зборі; 15 - переливний клапан; 16 - шунтувальний золотник; 17 - аксіально-плунжерний нерегульований гідромотор; 18 - дренажна лінія

В комбайнах, залежно від його призначення є ряд механізмів, які в процесі роботи комбайна потребують відповідного керування щодо їх переміщення, фіксування в заданих положеннях, зміни напрямку та позиції; привода робочих органів машини та інше. Для дистанційного керування цими процесами в комбайнах застосовуються гідроприводи, які умовно отримали назву основні. Склад основних гідроприводів визначається для конкретного типу комбайна його технологічними механізмами та відповідними технологічними операціями, які доцільно гідрофікувати. Кількість таких механізмів і технологічних операцій на зернозбиральному комбайні (рис. 1.4) більше двох десятків [5].



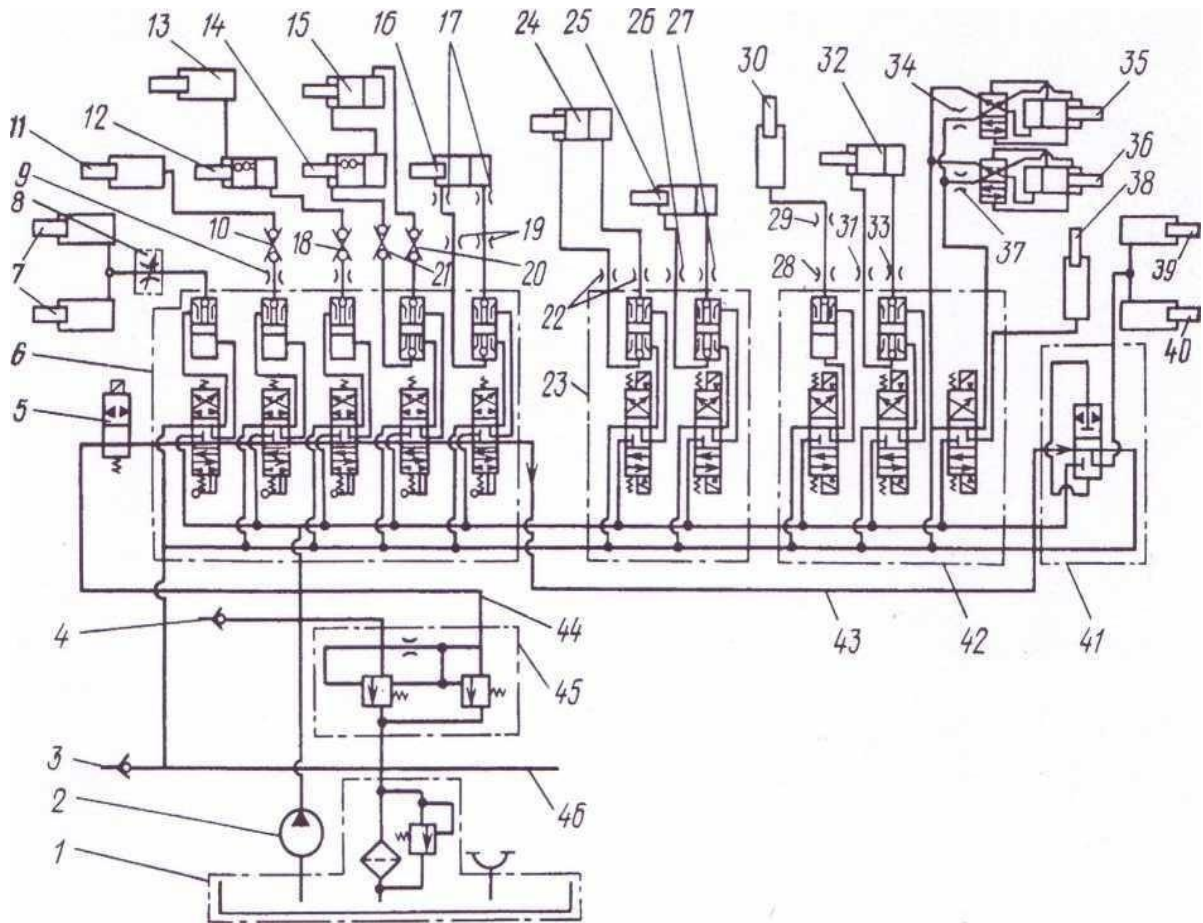


Рисунок 1.4 - Схема основного гідропривода зернозбирального комбайна

[5]: 1 - бак; 2 - насос; 3,4 - зовнішні напівмуфти; 5 - гідроклапан з електромагнітним керуванням; 6 - гідророзподільник з ручним керуванням; 7 - гідроциліндри підйому і опускання жниварки; 8 - регульований дросель; 9,17,19,23,26,27,28,29,31,33,34,37,41 - розподільники; 10,18,20,21 - муфти; II - гідроциліндр варіатора мотовила; 12,13 - гідроциліндри вертикального переміщення мотовила (лівий і правий); 14,15 - гідроциліндри горизонтального переміщення мотовила (лівий і правий); 16 - гідроциліндр механізму включення молотарки; 22 - двосекційний гідророзподільник з електромагнітним керуванням; 24 - гідроциліндр повертання похилої камери; 25 - гідроциліндр приводу вивантажувальних шнеків; 30 - гідроциліндр варіатора молотильного барабана; 32 - гідроциліндр поворота похилого вивантажувального шнека; 35,36 - гідродвигуни для вібрації стінок бункера; 38 - гідроциліндр відкриття копнувача; 39,40 - гідроциліндри закриття копнувача; 42 - трисекційний гідророзподільник з електромагнітним керуванням; 43,44 - трубопроводи каналу керування; 45 - запобіжно-переливний клапан основної гідросистеми; трубопровід каналу з'єднання з системою рульового керування

На кормозбиральних (рис. 1.5) [5] комбайнах таких механізмів значно менше.

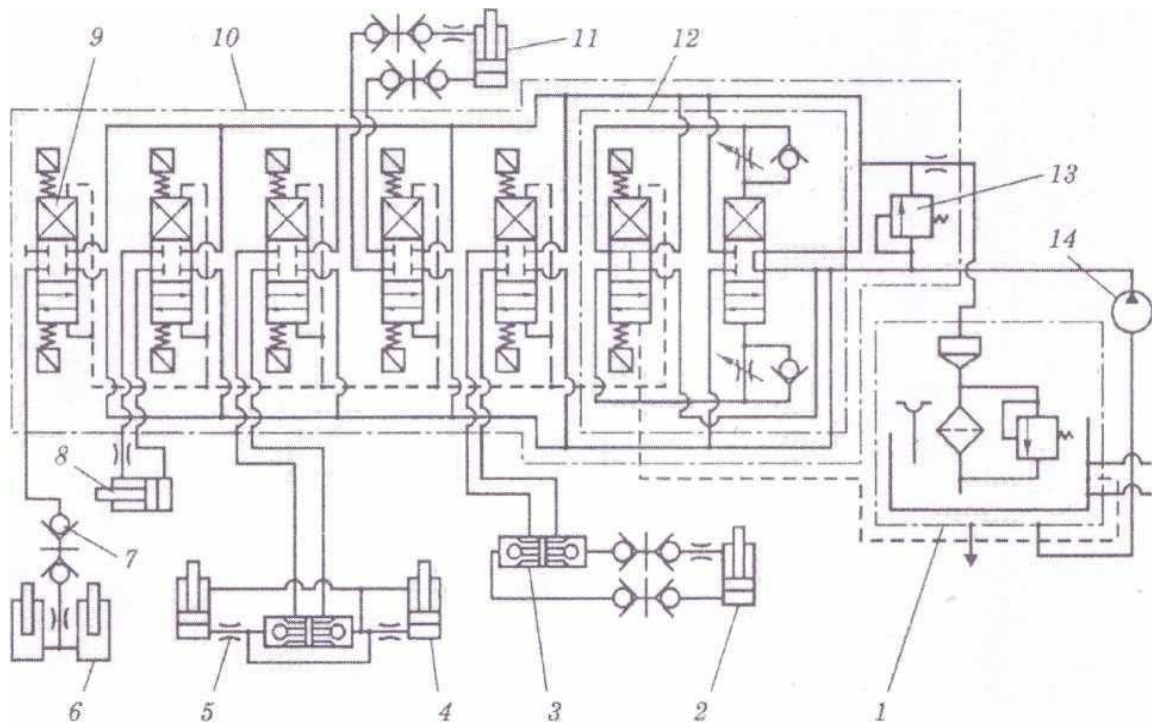


Рисунок 1.5 - Схема основного гідропривода кормозбирального комбайна КСК-100 [5]:

1 - бак; 2 - гідроциліндр повороту силосопроводу; 3 - гідрозамок; 4 - гідроциліндри піднімання та опускання підбирача жаток; 5 - дросель; 6 - гідроциліндри керування мотовилом жатки для збирання кукурудзи; 7 - розривна муфта; 8 - гідроциліндр керування муфтою приводу живильного апарата; 9 - робоча секція з електричним керуванням; 10 - секційний розподільник; 11 - гідроциліндр керування козирком силосопроводу; 12 - переливна секція розподільника; 13 - запобіжний клапан; 14 - насос.

Проведений аналіз конструктивних особливостей мобільних машин сільськогосподарського призначення показав, що зростання їх технічного рівня обумовлюється ступенем їх гідрофікації.

Являється очевидним, що кожен з розглянутих гідроприводів комбайнів представляє собою складну систему функціонально взаємопов'язаних і взаємозалежних створювачів (насосів) і споживачів (гідромоторів) гідравлічної енергії потоку робочої рідини, а також контрольно-регулюючої апаратури. Тому виникнення відмови в окремому гідроагрегаті або його складовій частині (деталі чи спряженні) призводить до часткової або повної втрати роботоздатності відповідного гідроагрегату зокрема і гідроприводу в цілому.

При цьому необхідно також врахувати високі вимоги до чистоти робочої рідини гідравлічних систем, дотримання умов експлуатації, та своєчасного

проведення обслуговуючих робіт. Не складно бачити, що дані вимоги являються невід’ємною складовою технічного сервісу гідравлічних систем мобільних машин сільськогосподарського призначення.

Таким чином проведений аналіз конструкцій гідравлічних систем вказав на актуальність питань організації їх технічного сервісу.

## 1.2 Дослідження причин відмов гідравлічних агрегатів та напрямки підтримки та відновлення їх ресурсу

Причини, що призводять до втрати роботоздатності мобільних машин і ресурсній відмові, також як і шляхи підвищення довговічності техніки поділяються на три групи: конструкторський, експлуатаційний та технологічний (рис. 1.6).

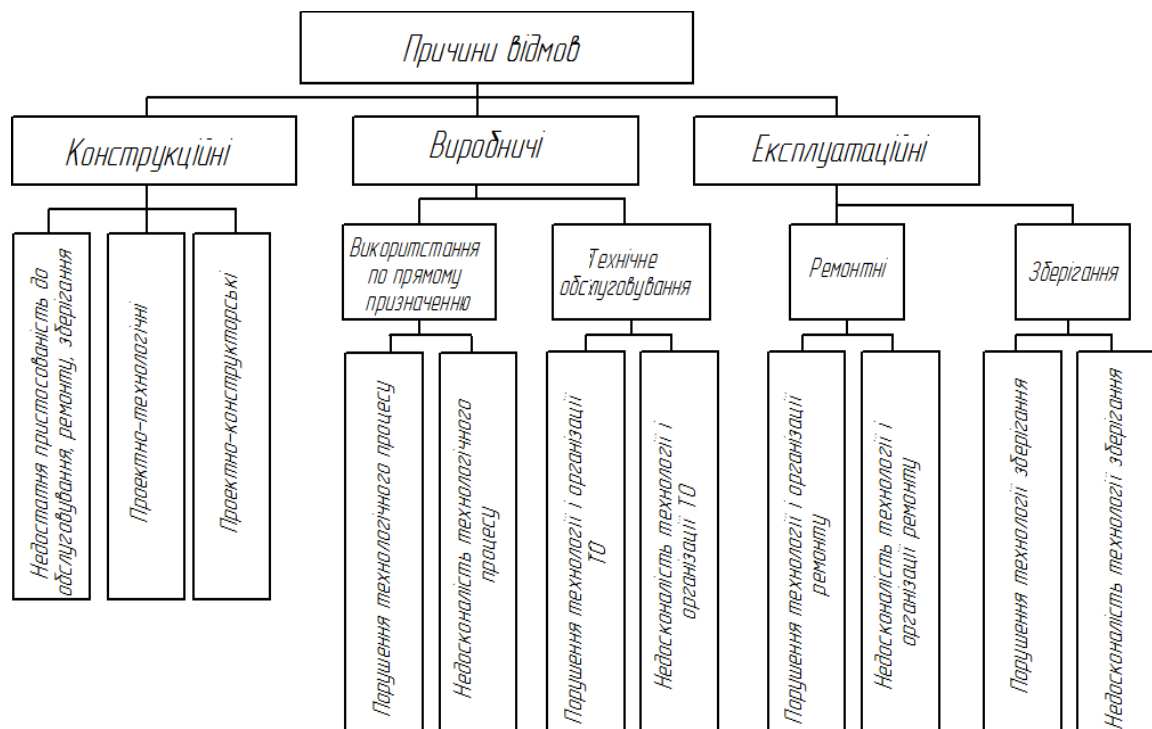


Рисунок 1.6 – Класифікація причин відмов [11]

Аналіз представленої схеми показує, що до конструктивних причин, які впливають на надійність гідравлічних агрегатів слід віднести в першу чергу пристосованість гідравлічних агрегатів до проведення ремонтно-обслуговуючих дій, тобто їх ремонтпридатність. Вона може проявлятися наприклад в можливості підключення вимірювальних пристроїв до



технологічних отворів в гідроагрегату, технологічній доступності до агрегату при проведенні демонтажних робіт, легкоз'ємності агрегату, встановлення в з'єднаннях гідравлічних рукавів швидкоз'ємних муфт та ін. Як правило в умовах експлуатації на конструктивні відмови гідравлічних агрегатів припадає не більше 5%, що вказує на відносно вдалі конструктивні рішення, що реалізуються в гідравлічних системах.

На відмови, що обумовлюються виробничими причинами, припадає до 10%, які характеризуються в основному порушеннями в технологічному процесі. Наприклад порушенням хімічного складу шихти при виготовленні корпусних деталей способом лиття, що приводить до появи тріщин в деталях в умовах експлуатації. Наявності раковин в корпусних деталях в результаті відхилення від технології лиття, а також зміщення робочих поверхонь від заданих умов, які вказані в технічних умовах. Відхилення від геометричної форми при виготовленні деталі, а також не дотримання класу шорсткості робочої поверхні.

До 85% відмов гідравлічних припадає на експлуатаційні причини, які в основному характеризуються реалізацією планово-запобіжної системи для підтримання та відновлення роботоздатного стану гідравлічних агрегатів. При цьому необхідно врахувати, що планово-запобіжна система являється основною складовою системи технічного сервісу гідравлічних агрегатів.

Всі вище наведені відмови в цілому приводять до: зниження продуктивності енергетичного засобу; порушення термінів і якості виконання виробничих процесів; збільшення витрат на паливо; витрати, викликані простоем техніки; витрати на ремонт та запасні частини агрегатів трансмісії.

### 1.3 Комплексна система забезпечення роботоздатності гідроприводів

#### 1.3.1 Задачі і методи виконання технічного обслуговування

Система технічного обслуговування і ремонту сільгосптехніки – сукупність взаємопов'язаних засобів, нормативної документації і виконавців, необхідних для підтримки і відновлення технічного ресурсу [12].

Технічне обслуговування призначене для підтримки енергетичних засобів в роботоздатному стані й належному зовнішньому вигляді; зменшення інтенсивності зносу деталей; попередження відмов і несправностей, також виявлення їх з ціллю своєчасного усунення. ТО повинно забезпечувати безвідмовну роботу агрегатів і вузлів в встановлених межах по впливам, включеним в обов'язковий перелік операцій [13].

Основні задачі ТО і методи їх виконання описано в таблиці 1.1 [14].

Таблиця 1.1 – Класифікація методів розв'язання задач технічного обслуговування

Задачі ТО	Методи розв'язання задач
Попередження відмов і несправностей	Повернення системи в початковий або близький до нього технічний стан
Віддалення моменту досягнення системою Критичного стану, тобто збільшення ресурсу	Зменшення інтенсивності зміни параметрів технічного стану об'єкта – застосування, більш якісних матеріалів, дотримання правил експлуатації, якісне обслуговування
Підтримка санітарно-гігієнічного стану і задовільного зовнішнього вигляду техніки, створення умов для ефективного проведення робіт з технічного обслуговування і ремонту	Прибирання, мийка, санітарна обробка, очистка, фарбування

До типових робіт ТО відносять: контрольні-діагностичні, електротехнічні, кріпильні, регулювальні, заправочні, мастильні, операції з мийки та прибирання [14].

Наприклад для об'ємного гідроприводу ГСТ-90 визначені наступні види технічного обслуговування [15]: перше технічне обслуговування (ТО-1) через 60 мото-год; друге технічне обслуговування (ТО-2) через 240 мото-год. Перше технічне обслуговування включає в себе в більшій мірі роботи пов'язані з перевіркою герметичності та усуненню підтікання робочої рідини, рівня робочої рідини в баку, перевірка механізму керування швидкістю руху, показників вакуумметра в забірній магістралі [15].

Друге технічне обслуговування включає в себе перелік робіт які входять

до (ТО-1) і крім того заміна робочої рідини та фільтруючого елементу.

За результатами експериментальних досліджень необхідна інформація з тривалості проведення робіт з технічного обслуговування ТО-2 по агрегатам та складовим наводиться в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Значення тривалості робіт при проведенні ТО-2 гідравлічної трансмісії комбайна «Дон – 1500» (за даними експериментальних досліджень)

Найменування агрегатів та складових трансмісії, які обслуговуються	Тривалість технологічних операцій, хв.		
	$T_{\text{дод}}$	$T_{\text{осн}}$	$T_{\text{сум}}$
1. Насос аксіально-плунжерний	2,8	5,2	8,0
2. Мотор аксіально-плунжерний	1,7	3,2	4,9
3. Гідравлічний бак	2,3	5,5	7,8
4. Фільтруючий елемент	1,8	4,2	6,0
5. Гідравлічна арматура	1,4	2,0	3,4
<b>Всього</b>	<b>10,0</b>	<b>20,1</b>	<b>30,1</b>

1.4.2 Стратегії і тактики забезпечення роботоздатності гідромашин

Стосовно сільськогосподарської техніки стратегія забезпечення роботоздатності може бути сформульована наступним чином: необхідна така спрямованість планування, організація та управління технічними впливами, яка в деяких умовах роботи і при заданому рівні експлуатаційної надійності забезпечує мінімум трудових та матеріальних затрат на підтримку технічного стану у справному стані [16]. Види стратегій описано в табл. 1.3 [14].

Таблиця 1.3 – Стратегії забезпечення роботоздатності

Номер стратегії	Дії	Спосіб реалізації
1	Підтримка заданого рівня робото здатності(попередження відмов і несправностей)	ТО, ресурсне та заявочне діагностування
2	Відновлення втраченої робото здатності	Ремонт
3	Поєднання стратегій 1 та 2	ТО, діагностування і ремонт

Система забезпечення надійності енергетичних засобів переслідує ціль розробки нових ефективних форм і методів розвитку і керування, направлених на розв'язання основних задач, сформульованих в стратегіях [16].

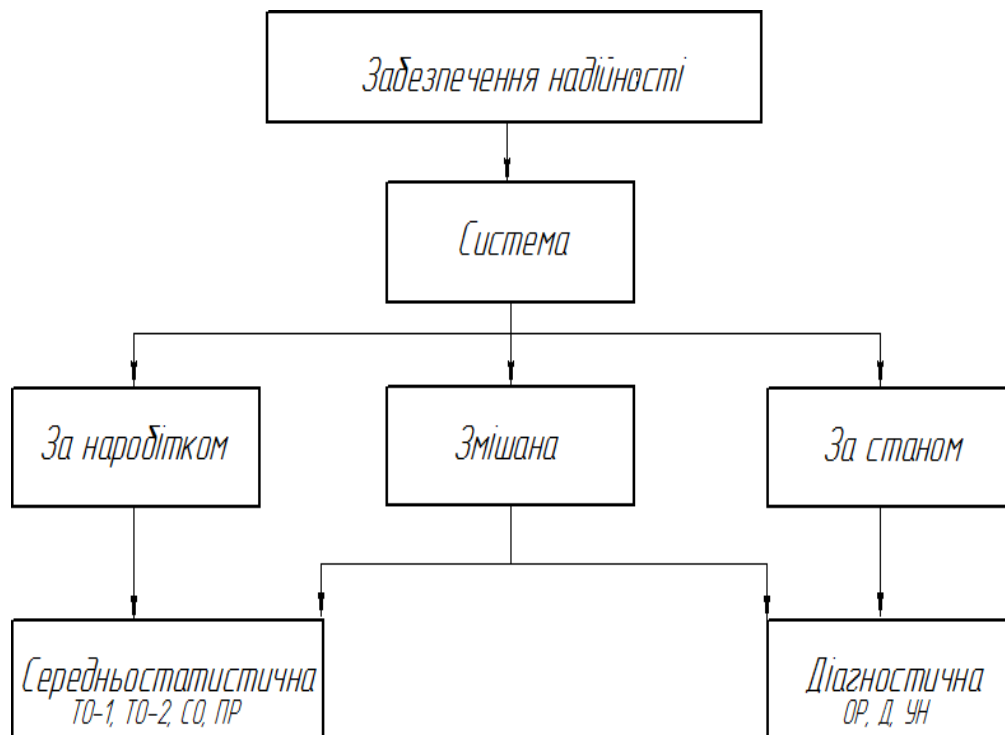


Рисунок 1.7 – Схема організації технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарських машин: ОР – обов’язкові роботи, Д – контрольно-діагностичні, УН – усунення виявлених несправностей

На сьогоднішній день в вітчизняних сільськогосподарських виробництвах застосовують тактики проведення профілактичних робіт за наробітком і за технічним станом (табл. 1.4) [14, 16].

Таблиця 1.4 – Тактики забезпечення роботоздатності

	ТО за наробітком	ТО за технічним станом
Переваги	Простота аastosування, гарантія досягнення заданої імовірності безвідмовної роботи.	Економічність, більш повне використання ресурсу.
Недоліки	Неповне використання ресурсу, додаткові затрати.	Ретельний і дорогий контроль технічного стану всіх елементів системи при кожному ТО.
Опис	Всім агрегатам при досягненні визначеного наробітку виконується встановлений об’єм профілактичних робіт, а параметри технічного обслуговування чи матеріалів відновлюється до номінального (чи близького до нього) значення.	При кожному ТО перевіряється технічний стан всіх агрегатів. Агрегати, які здатні за своїм технічним станом працювати до наступного ТО – не обслуговуються. Якщо стан агрегату близький до критичного,

		ТО обслуговування виконується.
--	--	--------------------------------

Отже, при виборі тактик та стратегій виконання підтримки ресурсу агрегатів гідравлічних систем необхідно виходити з складності ремонту, діагностики та вартості виконання нормативних операцій з ТО.

#### 1.4 Моделі визначення періодичності технічного обслуговування

Методи визначення періодичності ТО поділяються на аналітичні, імітаційні.

До аналітичних відносять наступні методи: визначення періодичності ТО за допустимим рівнем безвідмовності; визначення періодичності ТО за допустимим значенням та закономірностями зміни параметрів технічного стану; техніко-економічний метод; економіко-імовірнісний метод.

Метод визначення періодичності ТО за допустимим рівнем безвідмовності залежить від вибору такої періодичності, при якій імовірність відмови елемента не перевищує заданої величини, що називається ризиком. Допустима імовірність безвідмовної роботи приймається для систем і агрегатів систем  $R_D$

Метод визначення за допустимим значенням та закономірностями зміни параметрів технічного стану використовується для об'єктів обслуговування, параметр технічного стану яких змінюється неперервно, монотонно, що поступово призводить до відмови. Оскільки інтенсивність зміни параметрів технічного стану – випадкова величина, що залежить від багатьох факторів, то в даному методі враховується випадковий характер цієї закономірності.

Техніко-економічний метод оснований на визначенні сумарних затрат на ТО та ремонт. Оптимальна періодичність ТО відповідає мінімальним

сумарним питомим затратам [14]. Недолік методу – низька чутливість затрат до зміни періодичності технічного обслуговування. В багатьох випадках при зміні періодичності ТО в широких рамках затрати змінюються в границях похибки їх визначення. Наприклад, при зміні періодичності ТО в границях 70...230 мото-год питомі затрати зміняться в границях 130...137 грн / мото год, що не перевищує 7% на визначеному проміжку наробітку в 110% від оптимального значення періодичності ТО (рис. 1.8).

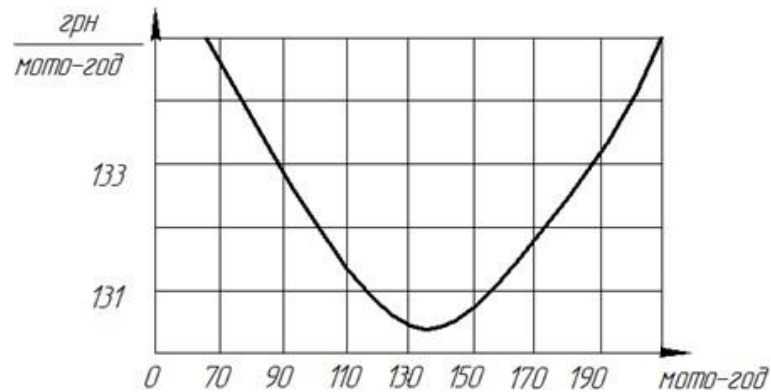


Рисунок 1.8 – Залежність сумарних питомих витрат від періодичності обслуговування підйомних агрегатів [17].

Економіко-імовірнісний метод можна розглядати як модифікацію техніко-економічного методу. Він враховує як питомі затрати, так і випадкові фактори. Крім того, він дає змогу порівняти стратегії і тактики забезпечення роботоздатності машин [14].

Метод визначення періодичності ТО за допомогою імітаційного моделювання оснований на моделюванні наробітку на відмову і наробіток на випадок ТО, що дозволяє прискорити випробування, зменшити вартість експериментів, розглянути декілька можливих варіантів [18]. В якості вхідних даних слугують фактичні наробітки на відмову, а також закони розподілу величин, що розглядаються.

Недоліком методу є використання повного масиву даних наробітків на відмову, що на практиці не реалізується, так як частина відмов попереджається при проведенні профілактичних робіт.

Усі перераховані методи мають істотні обмеження.

По-перше, періодичність ТО вважається постійною, а фактична періодичність зазвичай відрізняється від нормативної. На варіацію наробітків

до технічних обслуговувань впливають також такі фактори, як пробіг за добу та умови експлуатації.

По-друге, доцільно використовувати методи обробки цензурованих масивів, так як при ТО більша частина відмов попереджається.

### 1.5 Висновки та завдання дослідження

Проведений аналіз існуючої планово-попереджувальної системи з підтримання та відновлення роботоздатного стану агрегатів гідравлічних систем мобільних машин сільськогосподарського призначення показав, що на сьогоднішній день в більшості підприємств виконанням ТО проводиться не в відповідності з напрацюванням машини та з відхиленнями від наповнення видів робіт, характерних для даного виду технічного обслуговування. Про це свідчить відсутність чітко визначених періодів для виконання технічних обслуговувань. Такий стан обумовлюється недостатністю статистичних даних, на основі яких можна регламентувати технічні операції для ТО об'ємних гідроприводів і що призводить до передчасної втрати роботоздатного стану гідромашин.

В зв'язку з цим **метою роботи являється** - забезпечення експлуатаційної надійності гідравлічних систем зернозбиральних комбайнів за рахунок удосконалення заходів з їх технічного обслуговування та діагностування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: Провести аналіз конструктивних особливостей агрегатів гідравлічних систем мобільних машин сільськогосподарського призначення.

1. Аналітично визначити показники ремонтної технологічності гідравлічних агрегатів, що обумовлюють обмеження ресурсу гідравлічної системи.

2. Розглянути методика визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування гідроагрегатів.

3. Обґрунтувати спосіб діагностування технічного стану гідроагрегатів вимірюванням градієнту тиску робочої рідини.

4. Розробити методику експериментальних досліджень по виявленню взаємозв'язку між технічним станом гідронасосу і градієнтом тиску робочої рідини.

4. Розробити заходи з удосконалення системи технічного сервісу гідроприводу комбайна для умов експлуатації.



## 2. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПІДТРИМАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ АГРЕГАТИВ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ

### 2.1. Оцінка ремонтної технологічності деталей гідророзподільника Р-80

Гідророзподільники виконують функцію керування гідравлічним приводом, забезпечуючи розподілення потоку робочої рідини від насосу до силових гідроциліндрів. В роздільно-агрегатних гідравлічних системах вітчизняних тракторів застосовуються розподільники Р-80 та Р-160 (з пропускною здатністю відповідно 80 л/хв. та 160 л/хв. ) [10].

Вихід з ладу гідравлічного розподільника, як правило супроводжується значними втратами часу в зв'язку з простоюванням мобільної машини в очікуванні усунення несправності. Являється явним, що втрати часу пов'язані з відновленням роботоздатного стану гідророзподільника в значній мірі будуть обумовлюватися ремонтною технологічністю його деталей, технічною підготовкою виробничого підрозділу, який спеціалізується по ремонту гідравлічних розподільників, а також прийнятими технологічними процесами для ремонту та відновлення їх деталей.

Аналіз технологічних процесів, які реалізуються для відновлення роботоздатного стану гідророзподільників, проводиться в роботах [19, 20]. Авторами в основному розглядаються загальні технологічні процеси, які знайшли реалізацію на ремонтних підприємствах, їх ефективність з точки зору довговічності. При цьому не достатньо звернуто увагу на функціональну залежність між ремонтною технологічністю деталей і способами їх ремонту, які забезпечують необхідну післяремонтну довговічність.

Оцінка ремонтної технологічності деталей характеризується пристосованістю їх до відновлення роботоздатного стану. На ремонтну технологічність деталей впливають конструктивні і технологічні особливості, ступінь зношення і пошкодження.

Для визначення критеріїв оцінки ремонтної технологічності деталей розглянемо наступні види ремонтних дій. Роботи пов'язані з відновленням робочих поверхонь деталей (технологічні процеси підготовки деталі до нарощування нового шару метала, механічна обробка для придання деталі необхідного розміру та фізико-механічних властивостей і якості робочій поверхні тертя. Ці операції являються основними, а трудомісткість їх виконання склад ( $t^{oc}$ ). Одночасно в процесі ремонту деталей виникають допоміжні операції, проведення яких обумовлено необхідністю створення нових установчих баз, допоміжних контрольних операцій пов'язаних з особливістю конструкції деталі, і які не передбачені технологією їх виготовлення. Їх трудомісткість складе ( $t^{доп}$ ).

Для визначення впливу конструкції і технології виготовлення деталі на її ремонтну технологічність представимо всю трудомісткість з відновлення роботоzдатності в наступному вигляді [6]:

$$t^{в.р.} = t^{oc} + t^{доп}$$

де  $t^{в.р.}$  - трудомісткість відновлення роботоzдатного стану деталі, люд-год

Для виявлення впливу технічного стану деталей, які поступають до ремонту, на ремонтну технологічність необхідно визначити ймовірність появи наступних несумісних дій: деталь являється придатною без ремонту

$$\left. \begin{aligned} P_n &= \frac{n_n}{n_3} \\ P_p &= \frac{n_p}{n_3} \\ P_{нп} &= \frac{n_{нп}}{n_3} \end{aligned} \right\}$$

кількість придатних без ремонту деталей, од ;

кількість деталей, які потребують ремонту, од ;

кількість непридатних деталей, які потребують заміни, од .

В процесі ремонту гідравлічних розподільників модифікації Р-80, основний об'єм робіт припадає на відновлення деталей спряжень «золотник-корпус», «перепускний клапан-гніздо», а також сферичної поверхні важелів

керування.

В зв'язку з цим, нами проводився аналіз технічного стану гідравлічних розподільників Р-80, які поступали до ремонту. Ймовірність технічного стану деталей визначалася, проведенням дефектувальних робіт, за відомими методиками [19,21]. Результати ймовірностей технічного стану деталей гідравлічних розподільників Р-80 представлені в табл.2.1. і на рис.2.1.

Таблиця 2.1

Ймовірності технічного стану деталей гідравлічних розподільників Р-80

№ п/п	Найменування деталі	Деталь являється придатною без ремонту $P_n$ .	Деталь потребує ремонту $P_p$ .	Деталь непридатна $P_{н.п}$ .
1	Корпус гідророзподільника	0	0,83	0,17
2	Золотник	0	0,94	0,06
3	Перепускний клапан	0	0,91	0,09
4	Гніздо клапана	0	0,88	0,12
5	Важіль керування	0,14	0,78	0,08

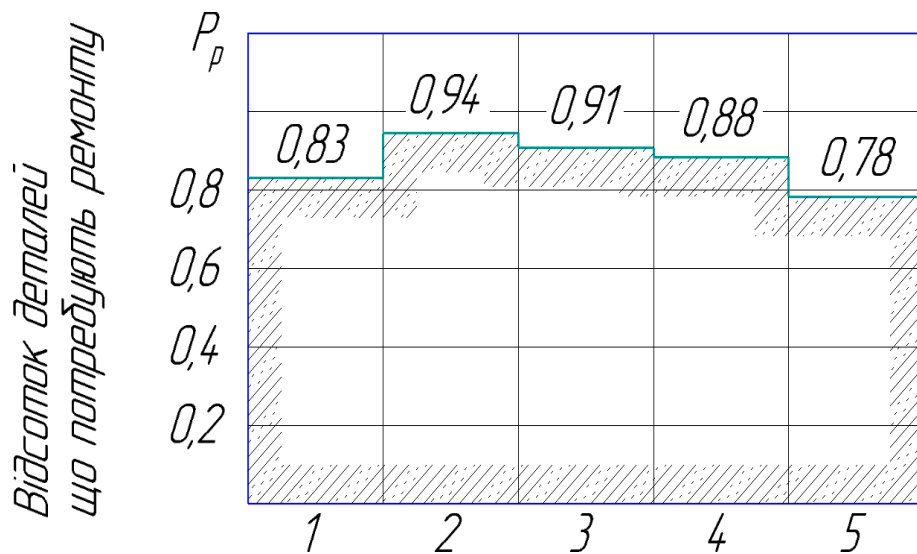


Рис. 2.1 – Ймовірність технічного стану ресурсолімітуючих деталей, які потребують ремонту: 1 – корпус гідророзподільника; 2 – золотник; 3 – перепускний клапан; 4 - гніздо клапана; 5 - важіль керування;

Проведений аналіз табл.2.1 показує, що практично всі деталі гідравлічного розподільника потребують ремонту. Це обумовлюється тим, що

на робочих поверхнях всіх деталей мають місце сліди гідроабразивного спрацювання, для усунення яких необхідне застосування шліфувальних операцій при відновленні деталей способом ремонтних розмірів, або відновлювальних операцій з послідуною механічною обробкою.

Кількість деталей, технічний стан яких відновлюється, обумовлюється технологією відновлювальних робіт. На спеціалізованих підприємствах для відновлення робочих поверхонь деталей застосовується спосіб ремонтних розмірів для деталей спряження «корпус-золотник» (пояски золотників з невеликими зносами відновлюють шліфуванням до виведення спрацювання, а із значним зношенням золотників – нарощуванням поясків осталуванням або хромуванням з наступним шліфуванням), отвори корпуса оброблюються хонінгуванням до виведення слідов спрацювання. Деталі спряження «перепускний клапан-гніздо» відновлюються способом вільних ремонтних розмірів, який характеризується шліфуванням конусної поверхні клапана до видалення слідов спрацювання та шліфуванням гнізда на плоскошліфувальному верстаті до утворення гострої кромки. Сферичну поверхню важеля керування відновлюють при незначному спрацюванні механічним обробленням на токарному верстаті з застосуванням фігурного різця, а при значному зношенні сферичної поверхні – нарощуванням сферичної поверхні гальванічним способом з наступною механічною обробкою.

Кількісна оцінка ремонтної технологічності деталі визначеного найменування буде формуватися з врахування її технічного стану при потраплянні до ремонту, пристосованості їх конструкції і технології виготовлення до відновлення, складності ремонтного обладнання та економічної доцільності ремонту. З врахуванням вище наведених факторів показник ремонтної технологічності можна визначити за виразом [19]

Технологічний процес ремонту гідравлічних розподільників характеризується застосуванням робітників високої кваліфікації – слюсарі п'ятого розряду за тарифною сіткою, що обумовлюється складністю

конструкції агрегатів, а також виготовленням деталей за високими класами чистоти поверхні.

Найменший розряд при ремонті гідроагрегатів відповідає третьому (слюсар виконує зовнішню очистку агрегату, очистку деталей, підрозбирання та розбирання агрегатів), тарифна вартість робіт складає 4,65грн.

Найвищий (фактичний) розряд відповідає п'ятому (слюсар проводить дефектацію деталей, відновлення робочих поверхонь, складання агрегатів, випробування агрегатів та ін.). Тарифна вартість робіт для даного розряду складає 7,95грн .

Тоді коефіцієнт кваліфікації робіт (  $K_{кі}$  ) визначається:

Коефіцієнт складності обладнання та оснастки визначається за виразом

Втрата роботоздатності даної деталі характеризується гідроабразивним зношенням робочої поверхні отвору, що приводить до зростання зазору в з'єднанні «корпус-золотник» і зростанню витоків робочої рідини. Отже для відновлення робочої поверхні отвору корпусу гідророзподільника необхідно відновити геометричну форму отвору і клас чистоти робочої поверхні не нижче дев'ятого. На заводах-виробниках для основної обробки отвору корпусу застосовують вертикально-хонінгувальні верстати 3Б-833 з алмазними брусками. Вартість даного обладнання складе На спеціалізованому ремонтному підприємстві при наявності значного зношення поверхні отвору застосовують електроіскрове наплавлення з наступним хонінгуванням під номінальний розмір. Вартість обладнання для даної реалізації даної технології складе

Отже згідно виразу (2.5) коефіцієнт складності обладнання та оснастки буде дорівнювати:

Аналогічні розрахунки проводяться для інших деталей, ймовірності технічного стану яких представлені в табл.1, а отримані результати наводяться в табл. 2.2. і рис.2.2.

## Результати оцінки ремонтної технологічності деталей

Найменування деталі	Критерії, які характеризують ремонтну технологічність							
	$P_n$	$P_p$	$\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ki}$	$\sum_{j=1}^z t_j^{don} \cdot K_{kj}$	$K_x$	$K_o$	$K_e$	$P_{p.m.}^d$
Корпус розподільника	0	0,83	1,38	0,41	0,58	1,43	0,60	0,55
Золотник	0	0,94	1,31	0,41	0,58	1,23	0,60	0,53
Клапан перепускний	0	0,91	0,70	0,17	0,58	1,21	0,59	0,52
Гніздо клапана	0	0,88	0,64	0,12	0,58	1,18	0,59	0,52
Важіль керування	0,14	0,78	0,65	0,14	0,58	1,20	0,48	0,50

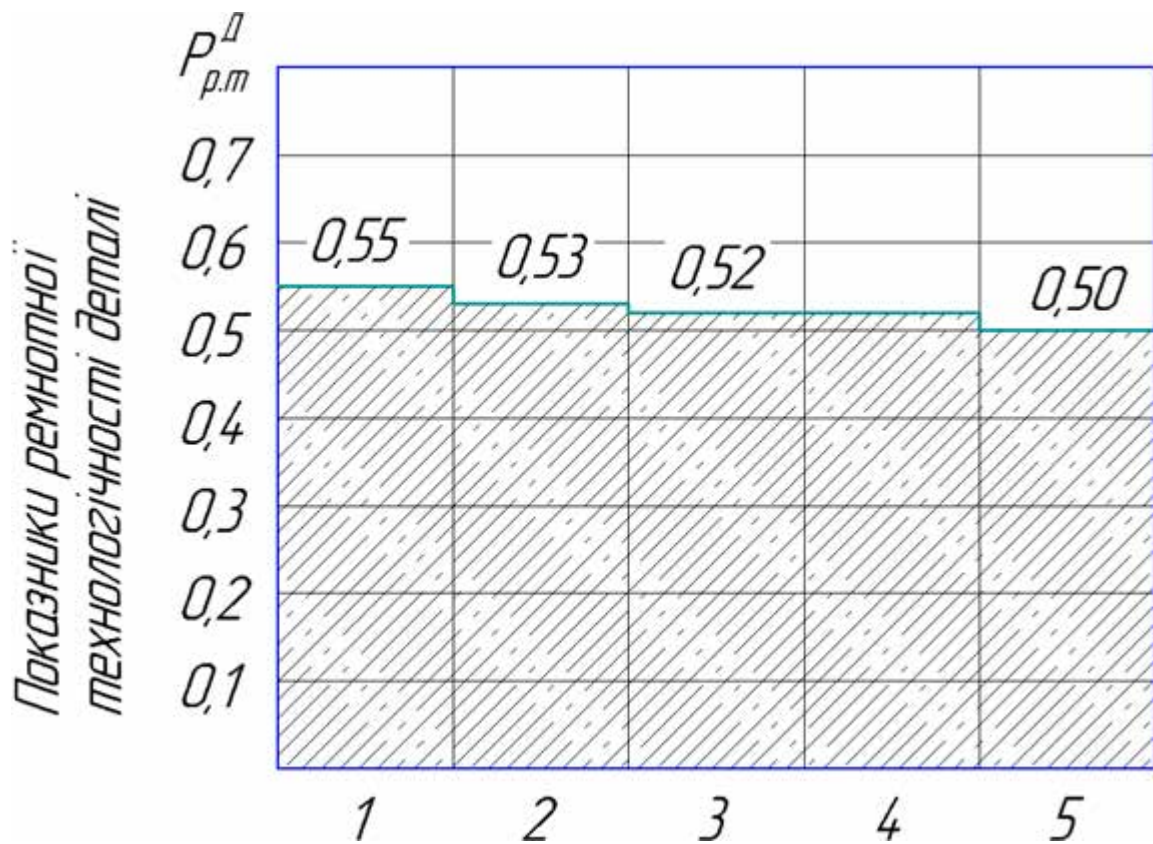


Рис. 2.2 – Показники оцінки ремонтної технологічності деталей

гідророзподільника, які потребують ремонту: 1 – корпус гідророзподільника; 2 – золотник; 3 – перепускний клапан; 4 - гніздо клапана; 5 - важіль керування;

Також на ремонтну технологічність впливають показники ймовірності непридатності деталей, які обумовлюються конструктивними особливостями деталей та прийнятою технологією їх ремонту.

В цілому майже всі деталі гідророзподільника Р-80 мають відносно високий показник ремонтної технологічності, що обумовлюється величиною

допоміжної трудомісткості, яка додатково застосовує при ремонті даних деталей. Зниження кількості непридатних деталей та збільшення кількості деталей, які можуть бути відремонтовані, в значній мірі обумовлюється прийнятою технологією ремонту з врахуванням способів відновлення робочої поверхні деталі.

Проведені дослідження оцінки ремонтної технологічності деталей гідравлічних розподільників Р-80 базуються на основі статистичного аналізу гідравлічних агрегатів, які поступали на спеціалізоване ремонтне підприємство, та прийнятої технології відновлення роботоздатності деталей. Водночас отримані результати досліджень можуть мати не значні відхилення на які може впливати прийнята технологія ремонту деталей на підприємстві, оснащеність його обладнанням та ін.

1. На оцінку ремонтної технологічності деталей гідравлічних розподільників Р-80 основний вплив мають показники ймовірності придатності деталі та відновлення її роботоздатного стану, при цьому, останній буде впливати на показник технологічності через трудомісткість допоміжних операцій, які застосовуються при ремонті деталі і при цьому не передбачені в технологічному процесі виготовлення даної деталі.

1.2 Оцінка ремонтної технологічності деталей аксіально-поршневих агрегатів гідравлічного приводу трансмісії мобільної машини

В наш час парк кормо-та зернозбиральних комбайнів представляють мобільні машини, як вітчизняного так і закордонного виробництва, які оснащені гідравлічним приводом трансмісії. До основних агрегатів гідравлічної трансмісії, які передбачаються конструкцією належать аксіально-поршневі гідронасоси (НП-90) та гідромотори з похилою шайбою (МП-90) або корпусом. Конструктивна реалізація гідравлічної трансмісії в мобільних машинах такого класу обумовлена рядом переваг в порівнянні з механічними трансмісіями і постійно її складові конструктивно удосконалюються з метою покращення не тільки вихідних параметрів трансмісії, а також і їх експлуатаційної надійності.

2. В процесі ремонту агрегатів гідравлічних трансмісій, основний об'єм робіт припадає на відновлення деталей спряжень качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин: «розподільник-приставне дно», «п'ята плунжера- опора люльки», «п'ята плунжера-похила шайба», робочі поверхні стабілізаційної та ротаційної втулок торцевого ущільнення. В зв'язку з цим, нами проводився аналіз технічного стану гідравлічних агрегатів ГСТ-90 виробництва Кіровоградського заводу «Гідросила», а також агрегатів фірми «Sauer», які поступили на ремонт до спеціалізованого ремонтного підрозділу. Кількість гідравлічних трансмісій, які підпадали контролю склала сто два комплекта. Ймовірний стан технічного стану деталей визначався, проведенням дефектувальних робіт, за відомими методиками. Результати ймовірностей технічного стану деталей качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин представлені в табл.2.3

Таблиця 2.3

Ймовірності технічного стану деталей качаючих вузлів

№ п/п	Найменування деталі	Деталь являється придатною без ремонту $P_n$ .	Деталь потребує ремонту $P_p$ .	Деталь непридатна $P_{н.п}$ .
1	Приставне дно	0	0,63	0,37
2	Розподільник	0	0,74	0,26
3	П'ята плунжера	0	0,71	0,29
4	Опора люльки	0	0,78	0,22
5	Похила шайба	0	0,80	0,20
6	Стабілізаційна втулка ущільнення	0	0,76	0,24
7	Ротаційна втулка ущільнення	0	0,77	0,23



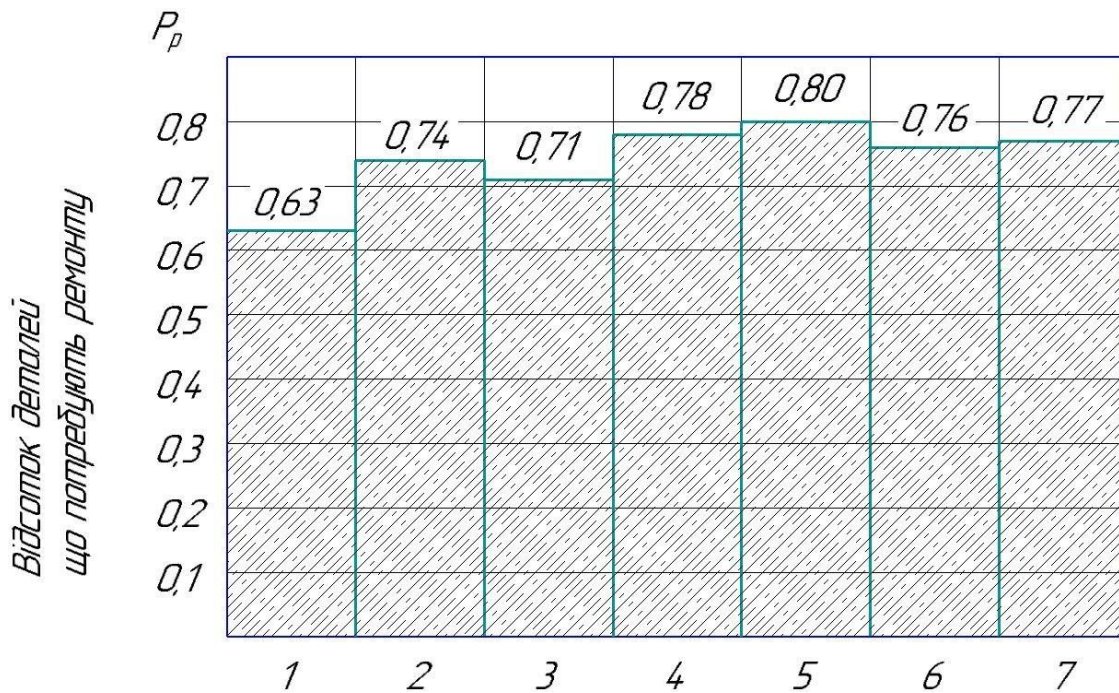


Рис. 2.3 – Ймовірність технічного стану ресурсолімітуючих деталей, які потребують ремонту: 1 - приставне дно; 2 – розподільник; 3 - п’ята плунжера; 4 - опора люльки; 5 - похила шайба; 6 - стабілізаційна втулка ущільнення; 7 - ротаційна втулка ущільнення.

Проведений аналіз табл.2.3 показує, що всі деталі качаючого вузла потребують ремонту. Це обумовлюється тим, що на робочих поверхнях всіх деталей мають місце сліди гідроабразивного спрацювання, для усунення яких необхідне застосування притирочних операцій, які відносяться до відновлювальних операцій.

Кількість деталей, технічний стан яких відновлюється, обумовлюється технологією відновлювальних робіт. На розглянутому підприємстві для відновлення робочих поверхонь деталей застосовується спосіб вільних ремонтних розмірів, який характеризується притиранням робочої поверхні деталі до видалення слідів спрацювання, а розмірний ланцюг качаючого вузла відновлюється регулюванням осьового люфта валу постановкою регулювальних кілець. Це також дає пояснення наявності такої кількості деталей, що вибраковуюються. Наприклад наявність слідів захоплення на робочих поверхнях деталей спряження «приставне дно-розподільник» характеризується значним відхиленням їх від неплоскостності, або наявності

слідів температурного впливу на робочі поверхні деталей, що не дає можливості реалізувати спосіб вільних ремонтних розмірів для відновлення їх роботоздатного стану притиранням. Або наявність глибоких рисок на кільцевій опорі п'яти плунжера, яка забезпечує роботу гідростатичного підшипника, видалення яких не можливе в процесі притирання із-за їх розміру і може привести до порушення роботи п'яти в режимі гідростатичного підшипника.

Кількісна оцінка ремонтної технологічності деталі визначеного найменування буде формуватися з врахування її технічного стану при потраплянні до ремонту, пристосованості їх конструкції і технології виготовлення до відновлення, складності ремонтного обладнання та економічної доцільності ремонту визначалась з виразу (2. 3).

Коефіцієнт кваліфікації робіт ( $K_{ki}$ ) визначається за виразом (2.4). Технологічний процес ремонту аксіально-поршневих гідромашин класу НП-90, МП-90 характеризується застосуванням робітників високої кваліфікації – слюсарі п'ятого розряду за тарифною сіткою, що обумовлюється складністю конструкції агрегатів, а також виготовленням деталей за високими класами чистоти поверхні. Найменший розряд при ремонті гідроагрегатів відповідає третьому (слюсар виконує зовнішню очистку агрегату, очистку деталей, підрозбирання та розбирання агрегатів), тарифна вартість робіт складає

Втрата роботоздатності даної деталі характеризується гідроабразивним зношенням робочої поверхні, появи ерозійних каналів в перемичках по зовнішньому і внутрішньому колу серповидних отворів розподілення рідини, втрата площинності в результаті порушення температурного режиму та схоплювання робочої поверхні. Отже для відновлення робочої поверхні приставного дна необхідно усунути неплоскісність робочої поверхні, яка повинна не перевищувати  $0,002\text{мм}$  і забезпечити клас чистоти робочої поверхні не нижче десятого. На заводі-виробникові для основної обробки поверхні застосовують плоскошліфувальні верстати з послідуною фінішною обробкою робочої поверхні її притиранням з застосуванням притирочних паст з розміром абразивних частиць не більше  $3\text{мкм}$ .

Аналогічні розрахунки проводяться для інших деталей, ймовірності технічного стану яких представлені в табл.1, а отримані результати наводяться в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Результати оцінки ремонтної технологічності деталей

Найменування деталі	Критерії, які характеризують ремонтну технологічність							
	$P_n$	$P_p$	$\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ki}$	$\sum_{j=1}^z t_j^{don} \cdot K_{kj}$	$K_k$	$K_o$	$K_e$	$P_{p.m.}^d$
Приставне дно	0	0,63	1,90	0,406	0,58	1,38	0,77	0,55
Розподільник	0	0,74	2,00	0,464	0,58	1,45	0,78	0,65
П'ята плунжера	0	0,71	0,812	0,292	0,58	1,53	0,71	0,57
Опора люльки	0	0,78	1,91	0,261	0,58	1,45	0,80	0,80
Похила шайба	0	0,80	1,97	0,348	0,58	1,25	0,76	0,64
Стабілізаційна втулка ущільнення	0	0,76	1,04	0,203	0,58	1,15	0,67	0,49
Ротаційна втулка ущільнення	0	0,77	0,928	0,220	0,58	1,20	0,69	0,51

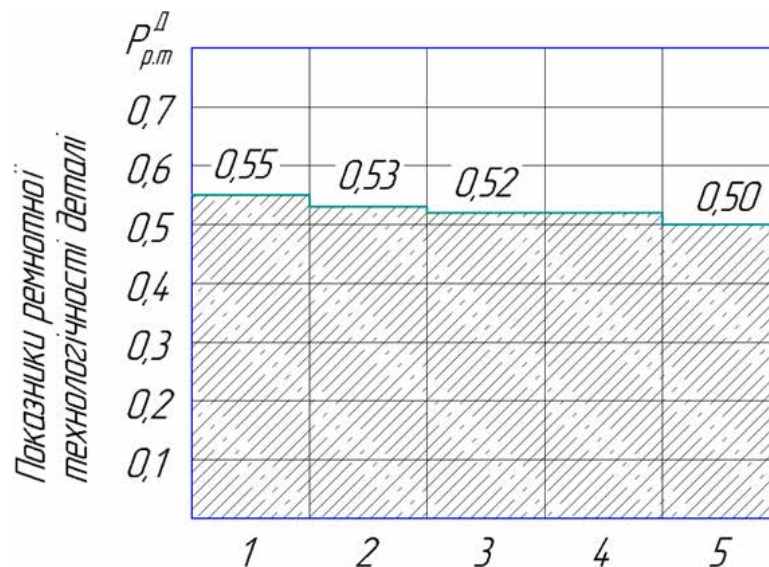


Рис. 2.4 – Показники оцінки ремонтної технологічності деталей аксіально-поршневої гідромашини, які потребують ремонту: 1 - приставне дно; 2 – розподільник; 3 - п'ята плунжера; 4 - опора люльки; 5 - похила шайба; 6 - стабілізаційна втулка ущільнення; 7 - ротаційна втулка ущільнення.

Аналіз отриманих результатів показує, що найменшу ремонтну технологічність мають стабілізаційна та ротаційна втулки торцевого ущільнення валу аксіально-поршневої гідромашини, що обумовлюється конструктивними особливостями даних деталей (не значна ширина робочої

поверхні стабілізаційної втулки збільшує питомий тиск в контакті з робочою поверхнею ротаційної втулки і обумовлює їх зношення), а також умови роботи даних деталей, які характеризуються наявністю швидкісного режиму валів гідромашин та вібраційних навантажень, які передаються через підшипники від валів. Також на ремонті технологічність впливають показники ймовірності непридатності деталей, які також обумовлюються конструктивними особливостями деталей та прийнятою технологією їх ремонту.

Відносно низька оцінка ремонтної технологічності таких деталей як приставне дно та п'ята плунжера характеризується високими показниками ймовірності непридатності деталей, відповідно 0,37 та 0,29, а також величиною допоміжної трудомісткості, яка додатково застосовує при ремонті даних деталей. Зниження кількості непридатних деталей та збільшення кількості деталей, які можуть бути відремонтовані, в значній мірі обумовлюється прийнятою технологією ремонту з врахуванням способів відновлення робочої поверхні деталі.

Високі показники ремонтної технологічності таких деталей, як розподільник, опора люльки, похила шайба обумовлюються конструктивними особливостями деталей (відносно значні площі робочих поверхонь, високий клас чистоти робочої поверхні, покращення фізико- механічних властивостей робочих поверхонь обробкою струмом високої частоти та ін.). Трохи нижчий показник похилої шайби обумовлюється трудомісткістю допоміжних операцій, величина яких обумовлена габаритними розмірами деталі та складнощами її установки в процесі проведення відновлювальних робіт.

Проведені дослідження оцінки ремонтної технологічності деталей аксіально-поршневих гідромашин ГСТ-90 та «Sauer» гідравлічних трансмісій мобільних машин базуються на основі статистичного аналізу гідравлічних агрегатів, які поступали на спеціалізоване ремонтне підприємство, та прийнятої технології відновлення роботоздатності деталей. Водночас отримані результати досліджень можуть мати не значні відхилення на які може впливати прийнята технологія ремонту деталей на підприємстві, оснащеність його обладнанням та ін.

### 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Програма експериментальних досліджень

Програма експериментальних досліджень визначається в основному необхідними даними для реалізації математичних моделей представлених в другому розділі.

Враховуючи загальний характер дослідження відповідно до сервісних центрів, не було необхідності тісної прив'язки досліджень до якогось окремого регіону або міста. Виходячи із цього, збирання даних і дослідження проводилися в різних підприємствах як сільськогосподарських, так і сервісних. Частина досліджень в області технічної експлуатації машин проводилася на базі сервісних підприємств, що обслуговують зернові комбайни закордонного виробництва, як найбільш складні, з точки зору оснащенням їх гідравлічними системами та методами їх діагностування й обслуговування.

#### 3.2 Адаптована класифікація несправностей гідравлічних агрегатів сільськогосподарської техніки

Відповідно до запропонованої системи організації технічного сервісу на регіональному рівні, несправності гідравлічних агрегатів сільськогосподарської будуть підрозділятися на три групи.

Вихід з ладу окремих вузлів і деталей гідравлічних агрегатів, що вимагає їхньої заміни або ремонту, і не передбачає повного розбирання агрегату і застосування спеціалізованого обладнання, а також інші незначні несправності, усуваються силами сервісних бригад, для чого в кожному опорному пункті є певна номенклатура запасних гідравлічних агрегатів для сільськогосподарської техніки, яка відповідає найпоширенішим видам несправностей. Несправності даної групи усуваються безпосередньо в умовах сільськогосподарського підприємства в мінімально можливий термін.

Відмови першої групи усуваються заміною або ремонтом

легкодоступних складальних одиниць і агрегатів гідравлічної системи з розкриттям внутрішніх порожнин основних агрегатів, заміною або ремонтом деталей, розташованих зовні агрегатів або складальних одиниць; проведенням операцій позачергового технічного обслуговування (ТО-1, ТО- 2, ТО-3, залежно від складності несправності).

1. Вихід з ладу окремих вузлів гідравлічної системи, що вимагає його повного розбирання або проведення глибокого системного моніторингу сільськогосподарської техніки для виявлення даної несправності. На даному рівні ремонт гідроагрегату, який втратив робоздатність, здійснюється сервісною бригадою регіонального дилерського центру, якій повідомляються основні параметри несправності, яка виникла.

Сервісна бригада регіонального дилерського центру має більш високий рівень підготовки фахівців, а також спеціалізоване обладнання для проведення діагностики і ремонту гідравлічних агрегатів сільськогосподарської техніки. У випадку якщо проведення ремонту в умовах опорного пункту не представляється можливим або не вдається виявити характер несправності, яка виникла, гідравлічний агрегат транспортується в ремонтну майстерню регіонального дилерського центру.

Відмови другої групи складності усувають в умовах регіональних ремонтно-технічних підприємств із застосуванням спеціалізованого обладнання, шляхом повного розбирання основних гідравлічних агрегатів з наступною заміною несправних деталей, а також шляхом їхнього часткового відновлення із застосуванням сучасних технологій.

Особливо складні несправності, заводські дефекти, вихід з ладу гідравлічних агрегатів вузькоспеціалізованих машин і обладнання, усунення яких силами регіонального дилерського центру не представляється можливим. Гідравлічний агрегат, який втратив робоздатність, направляється на завод-виробник для повної заміни або відновлення. При цьому, у випадку, якщо втрата робоздатності агрегату виникла в результаті заводського браку і не по причині користувачів сільськогосподарської техніки, завод-виробник усуває причину за рахунок власних коштів.

Запропоновану методику співвідношення несправностей гідравлічних агрегатів сільськогосподарської техніки з різними рівнями організації регіонального технічного сервісу можна представити у вигляді наступного алгоритму (рис. 3.1).

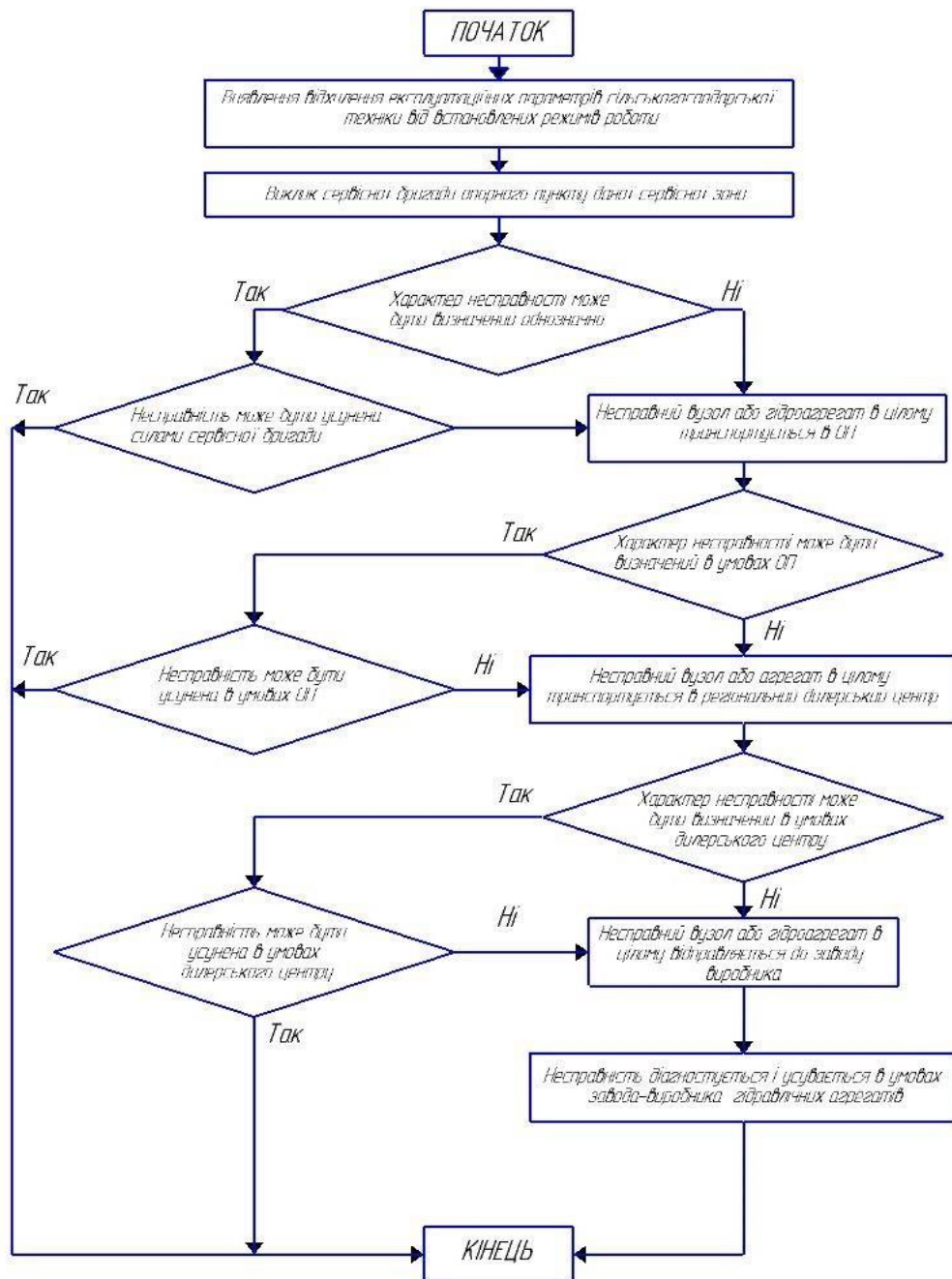


Рисунок 3.1 - Алгоритм співвідношення несправностей сільськогосподарської техніки з різними рівнями організації технічного сервісу

### 3.3 Методика визначення технічного стану насоса за градієнтом тиску в нагнітаючій магістралі

На першому етапі експериментальних досліджень по результатам



передремонтного діагностування вибиралися шестеренні насоси з різним коефіцієнтом подачі. Так формувався статистичний ряд насосів з різним технічним станом. В зв'язку з тим, що в роботі розглядаються питання з удосконалення діагностування гідравлічної системи комбайна. На даному етапі досліджень нас цікавить вплив технічного стану насоса гідравлічної системи комбайна на її роботоздатність. Тому нам необхідно було по результатам стендових випробувань вибрати насоси з різним коефіцієнтом подачі.

На другому етапі досліджень, насоси з визначеним коефіцієнтом подачі, встановлювалися повторно на стенд (рис. 3.2, 3.3) і проводився контроль їх технічного стану за швидкістю наростання тиску в нагнітаючій магістралі при виводі його на заданий режим функціонування. Даний параметр являється діагностичним при проведенні діагностування агрегатів гідравлічної системи комбайна.



Рисунок 3.2 – Експериментальний насос НШ-32-К встановлений на стенді КИ-4815М для проведення експериментальних досліджень

3.4 Методика проведення досліджень з визначення технічного стану системи керування робочим об'ємом аксіально-поршневого гідронасоса



Для проведення експериментальних досліджень з виявлення функціональних залежностей між структурними параметрами технічного стану складових системи керування робочим об'ємом аксіально-поршневого гідронасоса і трансмісії в цілому та діагностичними параметрами розроблюється натурний комплексний стенд (рис.3.4.). Основним агрегатом стенда являється серійний зразок гідравлічної трансмісії ГСТ-90, який складається із аксіально-плунжерного гідронасоса (3) та аксіально-поршневого гідромотора (7).

Привід гідронасоса здійснюється за допомогою електродвигуна АКБ-82-4 потужністю 7,5 кВт (1), частота обертання якого становить  $600...1500 \text{ хв}^{-1}$ .

Корпус гідронасоса з'єднаний з корпусом гідромотора рукавами високого тиску, що являється характерним для замкнених гідравлічних систем і дає можливість підключати до них датчики тиску, манометри або інші пристрої.

Стабілізація температурного режиму робочої рідини (РР) здійснюється системою охолодження, який складається із водяного теплообмінника та гідравлічного насоса НШ-10Е з автономним приводом, що дає можливість контролювати температурний режим роботи стенда.

На основі аналізу існуючих способів діагностування системи керування робочого об'єму аксіально-поршневого гідронасоса нами розроблено методику контролю технічного стану системи керування робочого об'єму, шляхом вимірювання градієнту тиску робочої рідини в магістралі керування робочого об'єму за часом, від початку закриття запобіжного клапану насоса підживлення до моменту відкриття перепускного клапану клапанної коробки, після миттєвого переміщення важеля гідророзподільника з нейтрального положення до встановленого крайнього, при цьому попередньо на аксіально-поршневий гідронасос встановлюють еталонний насос підживлення з запобіжним клапаном, а на аксіально-поршневий гідромотор еталонну клапанну коробку з перепускним клапаном.

Для проведення експериментальних досліджень проводилося

модельовання об'ємних втрат робочої рідини і проводився контроль градієнту тиску робочої рідини у гідролінії сервомеханізму після миттєвого переміщення важеля в одне з крайніх положень, до початку обертання вихідного валу гідромотору і спрацювання перепускного клапану його клапанної коробки.

Висновки по розділу.

Розроблена експериментальна установка забезпечує роботу гідравлічної трансмісії на основних режимах, що дає можливість відтворити модельовання фізичних процесів в відповідності до експлуатаційних умов. Водночас дана установка може бути реалізована для передремонтного діагностування агрегатів гідравлічних трансмісій в технічних сервісних центрах.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

##### 4.1. Результати визначення технічного стану насоса за градієнтом тиску в нагнітаючій магістралі

В відповідності до методики представленої в третьому розділі, дослідження проводилися в два етапи. На першому етапі було знайдено функціональну залежність між технічним станом насоса і його подачею.

На другому етапі досліджень, насоси з визначеною функціональною залежністю між структурними параметрами і вихідними (функціональними), встановлювалися повторно на стенд і проводився контроль їх технічного стану за швидкістю наростання тиску в нагнітаючій магістралі при виводі його на заданий режим функціонування.

Отримані результати зведені в таблицю 4.1 і представлені графічно на рис. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати дослідження залежності між технічним станом насоса і часом на протязі якого насос виходить на робочий тиск

№ з/п	Об'ємний ККД гідронасоса ( $\eta$ )	Загальний зазор, ( $\delta_3$ ), мм	Тиск робочої рідини в нагнітаючій магістралі, Р, МПа	Час встановлення робочого тиску в нагнітаючій магістралі насоса, с
1	0,94	0,12	12,0	0,41
2	0,89	0,24	12,0	0,45
3	0,71	0,36	12,0	0,64
4	0,59	0,48	12,0	0,75
5	0,58	0,60	12,0	1,05
6	0,41	0,72	12,0	1,45
7	0,27	0,84	6,0	-

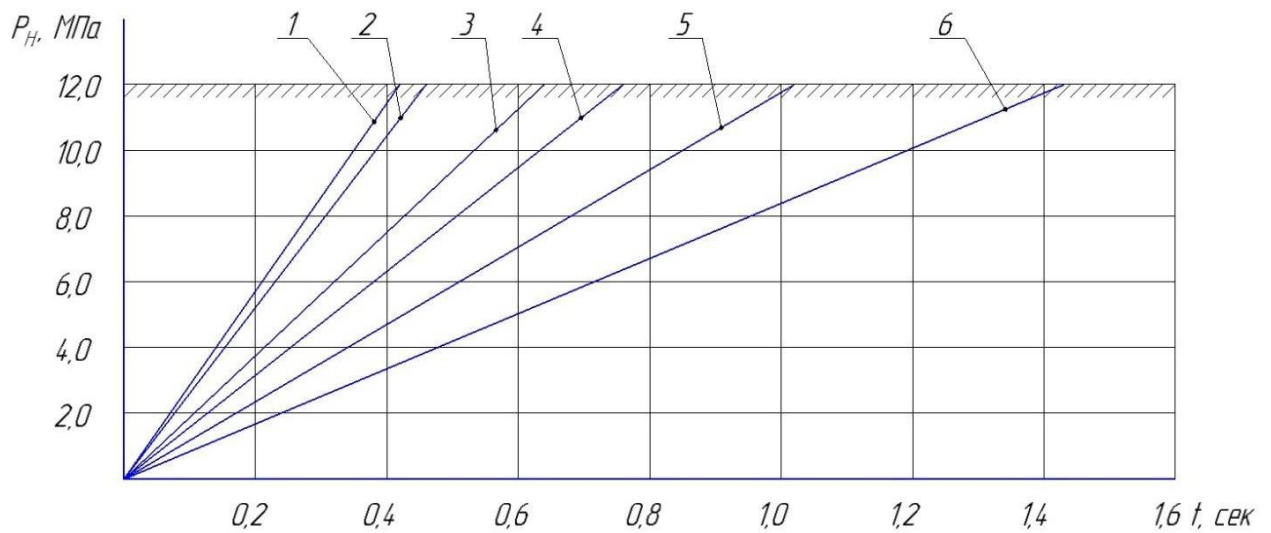


Рисунок 4.1 – Залежність між технічним станом шестеренного насоса і часом наростання тиску в нагнітаючій магістралі при значенні зазору: 1- 0,12 мм; 2- 0,24 мм; 3 – 0,36 мм; 4 – 0,48 мм; 5 – 0,60 мм; 6 – 0,72 мм; 7 – 0,84 мм

Отримані результати показують, зменшення об'ємної подачі насоса з 0,94 до 0,41 привело до збільшення часу виходу насоса на заданий тиск в нагнітаючій магістралі відповідно з 0,41 с до 1,45 с.

При зменшенні об'ємної подачі до 0,27 насос не зміг вийти на заданий режим роботи за тиском. Насос підтримував в гідравлічній системі тиск на рівні 0,6 МПа.

Таким чином технічний стан насоса можна визначити по швидкості наростання тиску в його нагнітаючій магістралі без проведення розбиральних робіт.

#### 4.2. Результати досліджень з визначення технічного стану елементів системи керування робочим об'ємом гідронасоса

Для підтвердження теоретичних досліджень з обґрунтування способу контролю технічного стану системи керування робочим об'ємом аксіально-поршневого гідронасоса проводилися експериментальна оцінка взаємозв'язку між структурними параметрами технічного стану, які були представлені об'ємними втратами робочої рідини, і діагностичними, в якості яких застосувався градієнт тиску робочої рідини у гідролінії сервомеханізму після

миттєвого переміщення важеля гідророзподільника в одне з крайніх положень.

Дослідження проводилися згідно розроблених методик представлених в третьому розділі. Результати проведених досліджень представлені в табл. 4.2. і графічно на рис.4.2, де показана залежність градієнту тиску робочої рідини у гідролінії сервомеханізму після миттєвого переміщення важеля гідророзподільника в одне з крайніх положень від об'ємних втрат робочої рідини, які обумовлюються технічним станом структурних параметрів складових системи керування робочим об'ємом аксіально-поршневого гідронасоса.

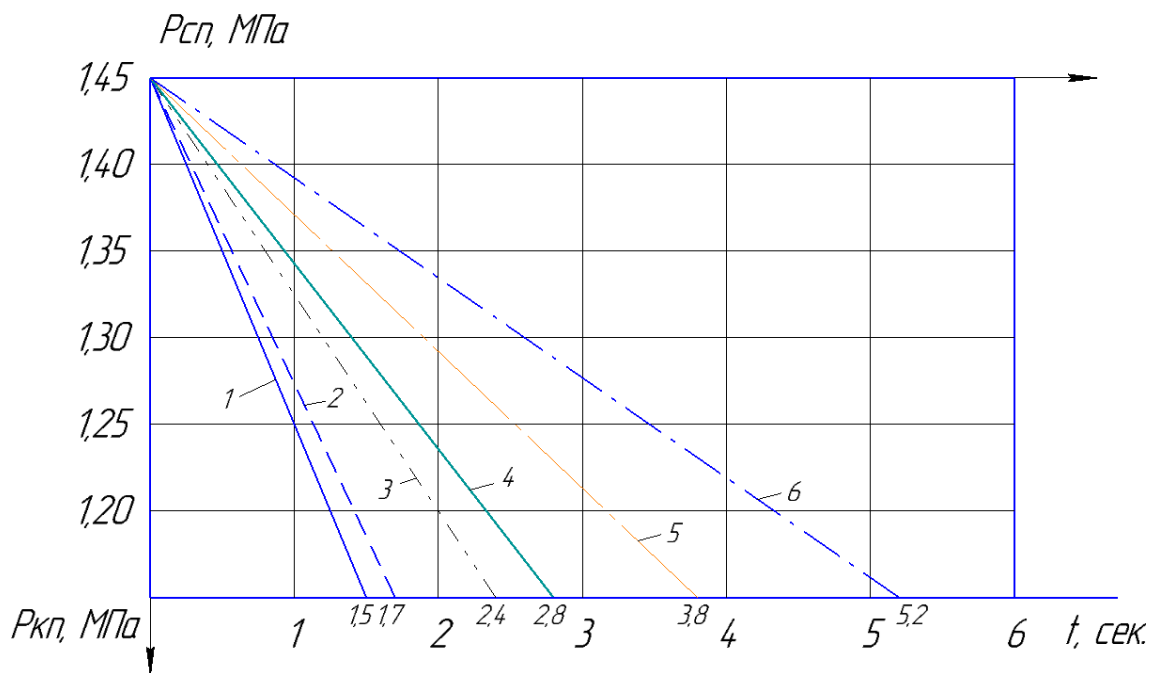


Рис.4.2 - Залежність зміни тиску робочої рідини в системі керування робочого об'єму за часом, після миттєвого переміщення важеля гідророзподільника з нейтрального положення до встановленого крайнього при сумарних витоках робочої рідини: 1. -  $QV=50$  см<sup>3</sup>/с; 2. -  $QV=100$  см<sup>3</sup>/с; 3. -  $QV=200$  см<sup>3</sup>/с; 4 -  $QV=250$  см<sup>3</sup>/с; 5 -  $QV=300$  см<sup>3</sup>/с; 6. -  $QV=400$  см<sup>3</sup>/с;

За величиною куту нахилу графіка, для аксіально-поршневого гідронасоса, який проходить контроль технічного стану, можливо зробити висновок про фактичний стан його системи керування робочого об'єму, величину зношення деталей системи керування робочого об'єму, які обумовлюють об'ємні витрати робочої рідини і прогнозують його залишковий ресурс.

#### 4.3. Засоби діагностування гідравлічного приводу в умовах експлуатації

Технічний стан гідравлічної трансмісії визначається за числовими значеннями його параметрів. Для кожного гідрообладнання існують свої основні діагностичні параметри. При цьому для визначення технічного стану гідравлічної трансмісії та її складових необхідно вимірювати декілька параметрів. Сукупність параметрів, які вимірюються, повинна бути мінімальною але достатньою для об'єктивної оцінки технічного стану гідроагрегатів і гідравлічної системи в цілому. Разом з тим, в зв'язку з постійним конструктивним удосконаленням гідравлічних машин ускладнюються також і задачі діагностування.

Проведені дослідження підтвердили ефективність застосування для визначення технічного стану агрегатів гідравлічних систем стато-параметричного методу діагностування, які характеризуються контролем вимірюванням розходів робочої рідини, тиску, частоти обертання валів та ін.

Вимірювання подачі (PP) в залежності від тиску в гідросистемі являється важливим показником технічного стану гідронасоса, що характеризує ступінь зношення спряжень качаючого вузла. Дана залежність включена в якості стандартного методу випробування в гідро тестер ДНМ403.

Принципова схема застосування портативного цифрового гідротестера ДНМ403 для діагностування аксіально-поршневого насоса представлена на (рис.4.3).

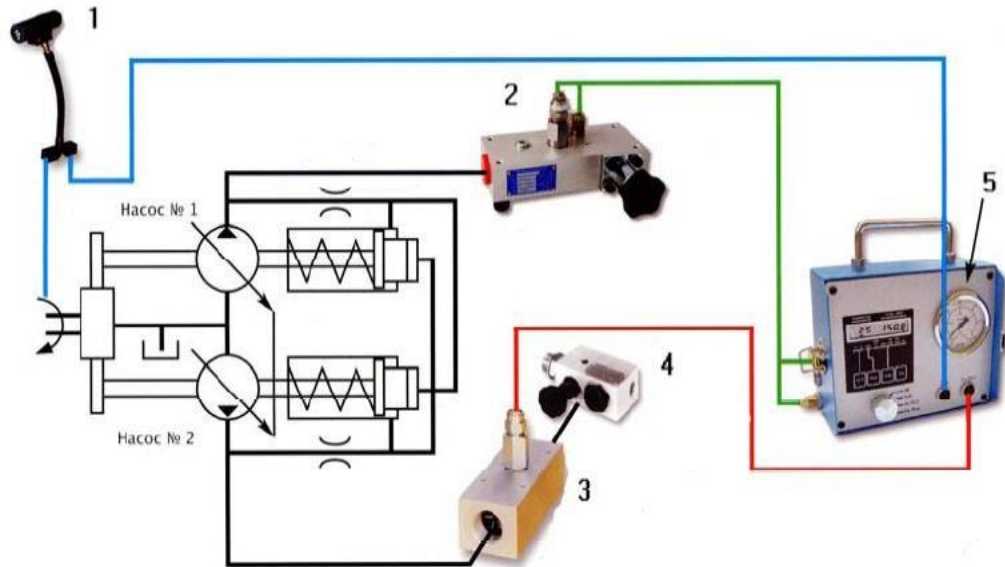


Рис. 4.3. – Принципова схема діагностування технічного стану двухпоточного аксіально-поршневого насоса: 1-фототахометр; 2- турбінний розходомір з встроєним навантажуючим клапаном і запобіжною системою від випадкового підвищення тиску в обох напрямках потоку (РР); 3 – турбінний розходомір з отвором для вимірювання тиску і температури; 4 – окремий навантажуючий клапан для імітації роботи машини; 5 – цифровий зчитуючий пристрій для виміру подачі насосом (РР), температури і частоти обертання приводного вала насоса.

Гідротестер забезпечений системою захисту від значного підвищення тиску – Interpass. Встроєні захисні диски навантажуючого клапана забезпечують безпечне переливання (РР) по внутрішньому каналу через навантажуючий клапан на злив в бак без витрат рідини із гідросистеми, виключая забруднення навколишнього середовища. Блок витрат через навантажуючий клапан дає можливість поступово обмежувати витрати (РР) гідролінії після розходоміра.

Реалізація даного гідротестера дає можливість забезпечити максимальну точність вимірювання для широкого діапазона розходу робочої рідини в обох напрямках потоку (РР), оперативність контролю технічного стану, високий технічний рівень і ефективність технічного діагностування гідравлічного приводу на місці експлуатації машини.

Висновок по розділу.

1. Запропонована методика співвідношення несправностей гідравлічних агрегатів сільськогосподарської техніки з різними рівнями організації регіонального технічного сервісу, яка реалізована в якості алгоритму для виявлення відповідності несправності агрегату до рівня виробничого підрозділу сервісного підприємства і відновлення його роботоздатності або усунення справності.

2. Результати дослідження залежності між технічним станом насоса і часом на протязі якого насос виходить на робочий тиск, показують, що зменшення об'ємної подачі насоса з 0,94 до 0,41 привело до збільшення часу виходу насоса на заданий тиск в нагнітаючій магістралі відповідно з 0,41 с до 1,45 с. При зменшенні об'ємної подачі до 0,27 насос не зміг вийти на заданий режим роботи за тиском. Таким чином технічний стан насоса можна визначити по швидкості наростання тиску в його нагнітаючій магістралі без проведення розбиральних робіт.



## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Охорона праці

Прийняття рішень і повну відповідальність за дотриманням вимог охорони праці на спеціалізованому підприємстві несе директор. У перелік його обов'язків з питань охорони праці відносяться: організація служби охорони праці на підприємстві; призначення й звільнення посадових осіб, виконуючих обов'язки служби охорони праці; контроль з допомогою служби охорони праці підприємства за дотриманням на виробництві вимог чинного законодавства, загальних, галузевих й спеціальних нормативних актів у галузі охорони праці; прийняття рішень щодо проведення заходів, спрямованих на дотримання чи покращення стану охорони праці на підприємстві.

Нормативною основою системи керування охороною праці на підприємстві є Конституція України, Закони України "Про охорону праці", "Про загальнообов'язкове державне страхування від нещасного випадку на виробництві і професійного захворювання, котрі стали причиною втрати працездатності", Кодекс законів України про працю, законодавчі акти Верховної Ради України, накази і розпорядження Президента України, постанови, розпорядження Кабінету Міністрів України, а інформаційною основою – колективний договір і угода з охорони праці, матеріали перевірки органів нагляду, матеріали розслідування нещасних випадків і професійних захворювань.

Служба охорони праці підприємства вирішує такі основні задачі: навчання безпечним методам праці; забезпечення безпеки обладнання і виробничих процесів; забезпечення належного утримання будівель і споруд; доведення санітарно-гігієнічних умов праці до вимог нормативних актів; забезпечення працівників засобами індивідуального і колективного захисту; оптимізація режимів роботи і відпочинку.

5.2. Аналіз умов праці та пожежної безпеки в майстерні з технічного сервісу гідравлічних агрегатів

Майстерня з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем, являється одним із основних виробничих підрозділів товариства, і призначена для проведення робіт з технічного обслуговування та капітального і поточного ремонту гідравлічних агрегатів в гарантійний і післягарантійний період експлуатації мобільних машин сільськогосподарського призначення.

Майстерня представляє собою капітальну одно етажну будівлю, загальна площа якої становить 2160 м<sup>2</sup>.

Спеціалізована дільниця з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем мобільних машин розміщується в зоні капітального ремонту спеціалізованої майстерні. Робочі місця спеціалізованої дільниці забезпечені необхідним основним та допоміжним обладнанням: мийна машина для зовнішнього очищення агрегатів – ОМ-5359; стенд для розбирання та складання гідроагрегатів – ОР-1959-11-14; стенд для притирки деталей – ОР-8488-01; стенд для обкатки та випробовування гідравлічних систем – ОР-92303, верстак слюсарний - ОРГ - 1461-01А. На дільниці згідно технології робіт організовано чотири робочих місця. Основне та допоміжне обладнання розташоване згідно технічних вимог. Відстань між обладнанням та колонами становить 0,3 м., а між стінкою сягає 0,5...0,8 м., між обладнанням складає від 0,8 м. до 2,0 м. В цілому обладнання розмішене таким чином, що на дільниці зберігаються вимоги для проходів робочих, а також транспортування візків, в відповідності до ДБН В.2.2-28:2010 [32].

В майстерні також є загальна припливно-витяжна вентиляція, що забезпечує необхідний температурний режим в виробничому підрозділі, та чистоту повітря в відповідності до загальних санітарно-гігієнічних вимог згідно ДБН В.2.5-67:2013 [33].

Оформлення інтер'єру спеціалізованої дільниці виконане в світлих тонах: на висоту 1,8 м. стіни облицьовані керамічною плиткою білого кольору, а вище пофарбовані фарбою білого кольору. В білий колір забарвлена і стеля приміщення. Підлога виконана із керамічної напільної плитки світло-коричневого кольору. Ворота пофарбовані в світло-синій колір, що в цілому відповідає вимогам згідно з ДБН В.2.2-28:2010 [32].

Параметри мікроклімату на дільниці з технічного сервісу гідравлічних агрегатів наведено в таблиці 5.1 згідно ДСН 3.3.6.042-99 [34].

Таблиця 5.1

Допустимі та оптимальні параметри мікроклімату в робочій зоні спеціалізованої дільниці

Кліматичний показник	Холодна пора року		Тепла пора року	
	допустима на постійному місці	оптимальна	допустима на постійному місці	оптимальна
Температура, °С	13-19	14-18	15-26	23-25
Вологість, %	75	65	70 при 24 <sup>0</sup> С	60
Швидкість руху повітря, м/с	не більш 0,5	0,4	0,6-0,5	0,4-0,5

Аналіз табл.5.1 показує, що параметри мікроклімату знаходяться у допустимих нормах.

У зв'язку з специфікою виробничої діяльності дільниці з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем, на ній мають місце небезпечні виробничі та шкідливі фактори.

При виконанні робіт в відділенні з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем мають місце фізичні та хімічні небезпечні виробничі фактори за ГОСТ 12.0.003-74 [35]: випадання агрегатів гідравлічної трансмісії (аксіально-поршневого гідронасоса та гідромотора) з пристроїв для їх кантування при проведенні розбирально-складальних робіт; падіння вузлів складових аксіально-поршневих гідромашин з технологічних підставок; не ефективний захист рухомих частин стендів для обкатки та випробовування гідроагрегатів; термічні фактори (пожежі при зливанні мастильних матеріалів з картерів гідромашин; очистки (знежирення) деталей бензином; поява осколків металу деталей при проведенні пресових операцій; наявність гострих кромок у деталей, вузлів, агрегатів, інструменту та ін.

Більшість виробничих процесів на дільниці з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем супроводжується виділенням у повітря виробничих приміщень токсичних речовин, які потрапивши до організму людини, навіть в невеликих дозах, викликають отруєння організму.

У таблиці 5.2 наведена фактична і гранично допустима концентрація токсичних речовин, а також клас небезпеки речовин для ділянки з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем відповідно з ГН 3.3.5- 8.6.6.1-2002 [36] і ГОСТ 12.1.005-88 [37].

Таблиця 5.2

ГДК та фактичні значення шкідливих речовин в повітрі ділянки з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем

Найменування речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки	Фактичні значення
1	2	3	4
Бензин-розчинник	300	4	210
Бензин паливний	100	4	87
Мастила мінеральні	5	3	4,9
Сода кальцинована	2	3	1,9

Проведений аналіз показників таблиці 5.2 показує, що фактичні значення концентрації шкідливих речовин у повітрі не перевищують гранично допустимі значення в відповідності до ГОСТ 12.1.005-88 [37].

На ділянці з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем мають місце шуми і вібрації. Джерелами шуму та вібрацій на ділянці є: механізовані стенди, інструмент та обладнання; аксіально-поршневі агрегати, які проходять обкатку та випробування. В відповідності до ДСН-3.3.6.037-99 [38] рівень звукового тиску у приміщеннях не перевищує 80 дБА.

При проведенні ремонтно-обслуговуючих робіт задіяні стенди, які в процесі роботи являються джерелом не тільки шуму, а також і вібрації. За детальним складом рівень вібрації в октанових полосах підрозділяються на: низькочастотні з рівнем 8 і 16 Гц, середньо частотні – 31,5 і 63 Гц, високочастотні – 125,250,500 і 1000Гц. Згідно з [38] загальні вібрації не перевищують норму.

Проведений аналіз умов праці згідно з ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 [36] дає можливість зробити висновок, що умови роботи на робочих місцях та постах ділянки з ремонту гідравлічних систем зони капітального ремонту відносяться до другого класу «Допустимі», які характеризуються рівнями

факторів виробничого середовища і трудового процесу, що не перевищують встановлених гігієнічних нормативів.

Для живлення електроприймачів в майстерні застосовуються мережі на 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю з системою заземлення TN-C-S. В виробничих підрозділах підприємства використовується напруга: 380 В; 220 В; 36 В. Згідно з «Правилами устрою електроустановок» (ПУЕ) [40], НПАОП 40.1-1.32-01 [41] виробничі приміщення зони капітального ремонту майстерні мають токопровідні поли, що виділяють токопровідний пил при виконанні технологічних операцій, який може осідати на проводах і потрапляти усередину обладнання. Це дає можливість зробити висновок, що виробничі приміщення зони капітального ремонту майстерні відносяться до класу приміщень з підвищеною небезпекою згідно з ГОСТ 12.1.038-82 [42].

Загальний виробничий процес на дільниці за вибуховою, вибухово-пожежною та пожежною небезпекою, згідно НАПБ Б.03.002-2007 [43] відноситься до категорії «В - Пожежонебезпечна», так як в приміщенні знаходяться легкозаймаючі, горючі і важкогорючі речовини і матеріали, питома пожежна навантаження кожного з яких перевищує 180 МДж/м<sup>2</sup> на окремих дільницях площею не менше 10 м<sup>2</sup>.

Зовнішні стіни будівлі майстерні виконані з залізобетону та червоної цегли, а внутрішні стіни та перегородки лише з червоної цегли. Дані матеріали відносяться до негорючих, що дає можливість віднести будівлю в відповідності з ДБН В.1.1-7-2002, до II ступеню вогнестійкості [44].

Пожежі на дільниці можуть виникнути в результаті: спалах паливно-мастильних матеріалів при попаданні на них іскр електричного механічного походження, дія тепла від нагрітих предметів, під впливом відкритого вогню (клас пожежі - В); спалах електроустаткування при перевантаженнях, перегрівих і коротких замиканнях (клас пожежі - Е); самозаймання промасленого дрантя (клас пожежі - А).

Заходи поліпшення умов праці

Реалізації результатів досліджень з удосконалення технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем мобільних машин потребує технологічного перепланування виробничої ділянки спеціалізованої майстерні, що обумовлює розроблення додаткових заходів з поліпшення умов праці робочих.

Для покращення умов праці робочих і запобігання травматизму на робочих місцях ділянки з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем пропоную: технологічні підставки для зберігання ремонтного фонду гідравлічних агрегатів забезпечити спеціальними фіксаторами для утримання агрегатів; забезпечити місцевою вентиляцією робоче місце з механізованого миття агрегатів та деталей та робоче місце з обкатки та випробування гідравлічної трансмісії; забезпечити обслуговування робочих місць з розбирання та складання аксіально-поршневих гідромашин та їх випробування під'ємно-транспортним обладнанням (електротельфер, консольно-поворотний кран); забезпечити зменшення викидів шкідливих парів паливно-мастильних матеріалів та технічних рідин, створивши умови для їх зберігання в спеціальній тарі; передбачити повне заземлення споживачів електроенергії; забезпечити зменшення рівня вібрації і шуму при роботі механізованого обладнання постановкою його на віброізоляційні амортизатори; технологічне планування робочих місць проводити в відповідності до вимог з організаційно-технічних вимог; забезпечити робоче місце з контролю технічного стану деталей місцевим освітленням.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На оцінку ремонтної технологічності деталей агрегатів гідравлічних систем основний вплив мають показники ймовірності придатності деталі та відновлення її роботоздатного стану, при цьому, останній буде впливати на показник технологічності через трудомісткість допоміжних операцій, які застосовуються при ремонті деталі і не передбачені в технологічному процесі виготовлення даної деталі.

1. Ремонтна технологічність деталей качаючих вузлів гідромашин також залежить від експлуатаційних факторів, до яких слід віднести своєчасність та якість проведення технічних обслуговувань, технічний стан робочої рідини гідравлічної трансмісії, які обумовлюють ймовірність технічного стану деталей за яким оцінюється їх подальший життєвий цикл.

2. Побудована методика дозволяє визначити оптимальну періодичність технічного обслуговування для агрегатів гідростатичних трансмісій на основі даних про відмови агрегатів. Візуалізація вищеописаної методики дозволить наочно та зручно визначати необхідні параметри надійності агрегатів гідравлічних систем.

3. Розроблена експериментальна установка забезпечує роботу гідравлічної трансмісії на основних режимах, що дає можливість відтворити моделювання фізичних процесів в відповідності до експлуатаційних умов. Водночас дана установка може бути реалізована для передремонтного діагностування агрегатів гідравлічних трансмісій в технічних сервісних центрах.

4. Запропонована методика співвідношення несправностей гідравлічних агрегатів сільськогосподарської техніки з різними рівнями організації регіонального технічного сервісу, яка реалізована в якості алгоритму для виявлення відповідності несправності агрегату до рівня виробничого підрозділу сервісного підприємства і відновлення його роботоздатності або усунення справності.

5. Результати дослідження залежності між технічним станом насоса і часом на протязі якого насос виходить на робочий тиск, показують, що

зменшення об'ємної подачі насоса з 0,94 до 0,41 привело до збільшення часу виходу насоса на заданий тиск в нагнітаючій магістралі відповідно з 0,41 с до 1,45 с. При зменшенні об'ємної подачі до 0,27 насос не зміг вийти на заданий режим роботи за тиском. Таким чином технічний стан насоса можна визначити по швидкості наростання тиску в його нагнітаючій магістралі без проведення розбиральних робіт.

1. Реалізація гідротестера DNM403 дає можливість забезпечити максимальну точність вимірювання для широкого діапазону розходу робочої рідини в обох напрямках її потоку, оперативність контролю технічного стану, високий технічний рівень і ефективність технічного діагностування гідравлічного приводу на місці експлуатації машин.

2. Проведений аналіз організації охорони праці в господарстві показав, що для покращення умов праці робочих і попередження травматизму на робочих місцях необхідно: забезпечити робочі місця обладнанням для проведення розбирально-складальних робіт, розробити організаційно-технічні заходи з покращення умов праці робочих, відновити роботу куточка з охорони праці.

3. Проведені розрахунки техніко-економічної ефективності показують, що при запланованій програмі технічного обслуговування 900 одиниць на рік, рівень рентабельності складе 38,0 %, річний економічний ефект становить 107422,4 грн, а термін окупності матеріальних затрат 0,9 року, що вказує на доцільність проведених досліджень з покращення технології ресурсного і заявочного діагностування агрегатів гідравлічної системи комбайна при проведенні технічних обслуговувань.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Губаревич О. В. Надійність і діагностика електрообладнання: Підручник/О.В. Губаревич – Сєвєродонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 248 с.
2. Чорний О.П. Моніторинг і діагностика електромеханічних об'єктів : навчальний посібник / О. П. Чорний, Ю. В. Зачепа, В. К. Титюк, О. А. Чорна – Кременчуг : ЧП Щербатых А. В., 2019. – 122 с
3. Калетнік Г. М. Поняття альтернативних джерел енергії та їх місце в реалізації політики енергоефективності України/ Г. М. Калетнік, М. В. Пиндик// Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики». – 2016. – №8. – С. 7-16.
4. Калетнік Г. М. Екологічна енергетика – основа розвитку економіки держави/ Г. М.Калетнік, О. В.Климчук// Збалансоване природокористування. – 2015. – №2-3. – С. 14-17.
5. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість/ Г. М. Калетнік, М. Г. Чаусов, В. М. Швайко. – Київ: «Хайт-Тек Прес», 2013. – 528 с.
6. Кудря С. О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні/ С.О.Кудря// Вісник НАН України. – 2015. – №12. – С. 19-26.
7. Рубаненко О. Є. Визначення дефектів трансформаторного обладнання з використанням частотних діагностичних параметрів / О. Є. Рубаненко, М. П. Лабзун, М. О. Грищук// Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ "ХПІ", 2017. – № 23 (1245). – С. 41-46.
8. Грищук М. О. Дослідження пошкодження силового трансформатора на фотовольтаїчній електростанції/ М. О. Грищук, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько// Вісник Хмельницького національного університету: технічні науки. – Х.; Видавництво ХНУ, 2019. – С. 178-183.

9. Rubanenko O. Determination of optimal transformation ratios of EES transformers in conditions of incomplete information regarding the values of diagnostic parameters / O. Rubanenko, O. Kazmiruk, V. Bandura, V. Matvijchuk O. Rubanenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technology. – 2017. – №4. – P. 66 - 79.

10. Матвійчук В. А. Визначення якості функціонування ділянки із зниженим опором ізоляції мережі оперативного постійного струму за допомогою нейро-нечіткого моделювання/ В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, О. О. Рубаненко// Вісник Хмельницького національного університету. – 2015 – №3. – С. 187-195.

11. Матвійчук В. А. Технології наукових досліджень: навчальний посібник / В. А. Матвійчук, П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко. – Вінниця: ВНАУ, 2015. – 190 с.

12. Гобрей Р. М. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації. Частина 1./ Р. М. Гобрей, О. Є. Рубаненко та ін. – К.: «ДП НТУКЦ», 2008. – 524 с.

13. Коновалюк О. В. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник/ О. В. Коновалюк, В. М. Кіяшко, М. В. Колісник. – К.: Аграрна освіта, 2018. – 404 с.

14. Bulyhyn S. Yu., Belolynskiy V. A. (2015). Soil and water optimisation of agricultural landscapes. Kyiv: Ahrarna nauka [in Russian].

15. Velychko V. A. (2020). Ecology of soil fertility. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].

16. Pichura V. I. (2016). Geomodelling of water-erosion processes in the Dnipro River basin. Ahroekolohichniy zhurnal 4, 66-73 [in Ukrainian].

17. Balabukh V. O. (2018) Variability of rains and downpours in Ukraine. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 257, 61- 72 [in Ukrainian].

18. Bulyhin S. Yu. (2015) Land quality as a basis for land use control. Ahroekolohichniy zhurnal 1, 26-46 [in Ukrainian]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].

19. Zubov A. O., Ilienکو T. V., Bilokin O. A. Assessment of the environmental danger of natural dumps for agricultural land in agro-industrial landscapes. A. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
20. The concept of soil erosion protection in Ukraine. (2018). za red. S. A. Baliuka, L. L. Tovakhnianskoho Kharkiv: NNTs «Instytut hruntoznavstva i ahro-khimii [in Ukrainian].
21. Krasovskyi H. Ya., Petrosov. V. A. (2023). Information technologies for space-based monitoring of aquatic ecosystems and forecasting urban water consumption. Kyiv: Naukova Dumka [in Ukrainian].
22. Popov M. A., Stankevych S. A., Kozlova A. A. (2022) Remote land degradation risk assessment using space images and geospatial modelling. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 6,100-104 [in Ukrainian].
23. Weslati O., Serbaji, MM. (2024). Spatial assessment of soil erosion by water using RUSLE model, remote sensing and GIS: a case study of Mellegue Watershed, Algeria–Tunisia. *Environ Monit Assess* 196, 14. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12163-z>
24. Aiello A., Adamo M., & Canora F. (2015). Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy. *Catena*, 131, 174–185 [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.04.003>
25. Allafta H., & Opp C. (2022). Soil erosion assessment using the RUSLE model, Remote Sensing, and GIS in the Shatt Al-Arab Basin (Iraq-Iran). *Applied Sciences*, 12(15), 7776. <https://doi.org/10.3390/app12157776>
26. Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E.; Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro V. (2013) An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nat. Commun.* 2017, 8
27. El Jazouli A.; Ghafiri A.; El Moutaki S.; Eттаqy A.; Khellouk R. (2017) Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: A case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco). *Geosci. Lett.*, 4, 25.
28. Şenol C., & Taş M. A. (2023). Trends of changing land use dynamics in the Terkos Lake basin between 1980 and 2023 and their impact on natural

ecosystems. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*, 4(1), 20-31 [in English]. <https://doi.org/10.51753/flsrt.1250948>

29. Panagos P., Borrelli P., Meusburger C., Alewell C., Lugato E., Montanarella L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at European scale. *Land Use policy journal*. 48, 38-50.

30. Lialko V. I., Yelistratova L. O., Apostolov O. A. (2018). Rapid assessment of erosion-prone areas of soil cover on the territory of Ukraine using remote sensing data with consideration of climatic factors and vegetation. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 3, 87-94 [in Ukrainian].

31. Lialko V. I., Yelistratova L. O., Apostolov O. A., Chekhni V. M. (2017). Analysis of soil-erosion processes in Ukraine based on the use of remote sensing data. *Visnyk NAN Ukrainy*, 10, 34-41 [in Ukrainian]. doi: [org/10.15407/visn2017.10.034](https://doi.org/10.15407/visn2017.10.034)

32. Lialko V., Popov M., Stankevych S. (2014). Remote sensing polygons in Ukraine: current status and directions for further research and development. *Ukrainian Metrological*, 2, 15-26 [in Ukrainian].

33. Lialko V.I., Yelistratova L.O., Apostolov O.A. (2018). Rapid assessment of erosion-prone areas of soil cover on the territory of Ukraine using remote sensing data with regard to climatic factors and vegetation. *Dopovid Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* 3, 87-94 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.03.087>

34. Kaminskyi V., Kolomiiets L., Bulgakov V., Olt J. (2021) An investigation into the state of agricultural lands under water erosion conditions. *Agronomy Research*. 19, 2, 458 – 471. doi: [10.15159/AR.21.029](https://doi.org/10.15159/AR.21.029)

35. Rucins A., Kaminskyi V., Kolomiiets L., Bulgakov V., Jyri Olt, Kaminska V., Shevchenko I., Ihnatiev Y. (2024). Research into soil resource management technologies in context of aggravating exogenic processes. *Journal of Ecological Engineering (JEE)*, 25(6), 128–143. <https://doi.org/10.12911/22998993/186950>

36. Zuazo, V.H.D., Pleguezuelo, C.R.R. (2009). Soil-Erosion and Runoff Prevention by Plant Covers: A Review. In: Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke,

P., Véronique, S., Alberola, C. (eds) Sustainable Agriculture. Springer, Dordrecht.  
<https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8> 48

37. Shuang Wu, Chao Zhang, Changxu Lv, Zhurong Xing. (2018) Study on Soil erosion Dynamic monitoring Based on “3S” technology. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 208 (2018) 012088. doi:10.1088/1755-1315/208/1/012088

38. Скляр Р. В., Комар А. С. Визначення заходів з підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва. Міжн. ел. наук.-пр. журнал WayScience. Дніпро, 2020. Т.1. С. 118-121.

39. Болтянська Н.І. Підвищення довговічності вузлів тертя мобільної сільськогосподарської техніки застосуванням нанотехнологій. Вісник ХНТУСГ. 2016. Вип.128. С. 132-137.

40. Komar A. S. Analysis of the design of presses for the preparation of feed pellets and fuel briquettes. TDATU Scientific Bulletin. 2018. Issue 8. Vol. 2. Pp. 44–56.

41. Болтянська Н.І. Зміни техніко-експлуатаційних показників МЕЗ під впливом на них надійності. Вісник ХНТУСГ. 2019. Вип.89. С. 106- 111. 5. Sklar O. G. Fundamentals of designing livestock enterprises: a textbook. Condor Publishing House. 2018. 380 p.

42. Болтянський О.В., Екологічна безпека виробництва та зменшення витрат матеріальних і енергетичних ресурсів для отримання сільськогосподарської продукції. Науковий вісник НУБіП. Серія Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип.212, ч.1. С. 275-283.

43. Skliar A. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. Modern Development Paths of Agricultural Production. Springer Nature Switzerland AG. 2019. P. 249- 258.

44. Komar A. S. Processing of poultry manure for fertilization by granulation. Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference «Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production». 2019. Uman. 18-20

45. Sklar O. Mechanization of technological processes in animal husbandry: a textbook. manual. Melitopol: Color Print. 2012. 720 p.
46. Рубльов В.І., Войтюк В.Д. Управління якістю технічного сервісу і сільськогосподарської техніки при постачанні: посібник. – 2-е видання доп. – К.: Видав НАУ, 2016. – 236 с.
47. Войтюк Д.Г., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник /За ред. Д.Г.Войтюка. – К.: Вища освіта, 2014. – 544 с.
48. Лауш П.В., Василенко І.Ф., Лесюк Т.П. та ін. Технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки: підручник в 2-х ч. /За редакцією П.В.Лауша та І.Ф.Василенка. – Кіровоград: ПОЛІМЕД-Сервіс, 2017.
49. Головчук А.Ф. Марченко В.І. , Орлов В.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: підручник / За ред. А.Ф. Головчука. – Кн. 3: Машини сільськогосподарські. – К.: Грамота, 2015. – 576 с.
50. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації. – К.: «ДП НТУКЦ», - 2021. – 1008с.