

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Механіко – технологічний факультет**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри**

Технічного сервісу та інженерного

**(назва кафедри)**

менеджменту імені М.П. Момотенка

Руслан ШАТРОВ

(підпис)

**(ПІБ)**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

**БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему «Розробка технології технічного обслуговування контролю  
сервісного оглядання у ТОВ «Ківшовата» Київської області»**

**Спеціальність 208 «Агроінженерія»**

**Гарант освітньої програми**

Д.Т.Н., професор

**(науковий ступінь та вчене звання)**

(підпис)

Братішко Вячеслав Вячеславович

**(ПІБ)**

**Керівник дипломного проєкту бакалавра**

К.Т.Н., доцент

**(науковий ступінь та вчене звання)**

(підпис)

Соломка Олексій Валерійович

**(ПІБ)**

**Виконав**

(підпис)

Рудешко Володимир Ігорович

**(ПІБ)**

**КИЇВ – 2026**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Факультет** Механіко – технологічний

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

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

|                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| <u>К.Т.Н., доцент</u>            | <u>Шатров Р.В.</u> |
| (науковий ступінь, вчене звання) | (підпис) (ПІБ)     |

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту**

Рудешку Володимиру Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра «Розробка технології технічного  
обслуговування контролю сервісного оглядання у ТОВ «Ківшовата»  
Київської області»

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

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

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

Перелік питань, які потрібно розробити:

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

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

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Перелік графічних документів: Електронна презентація на 14 слайдів

Дата видачі завдання «10» вересня 2025 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра \_\_\_\_\_  
(підпис)

Соломка О.В.  
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рудешко В.І.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Проект 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. підрозділ, сільськогосподарські машини.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                                                                     | 7  |
| 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ .....                                                                                                       | 10 |
| 1.1 Сучасна гідрфікація мобільних машин сільськогосподарського призначення                                                                      | 10 |
| 1.2 Дослідження причин відмов гідравлічних агрегатів та напрямки підтримки та відновлення їх ресурсу.....                                       | 17 |
| 1.3 Комплексна система забезпечення роботоздатності гідроприводів .....                                                                         | 19 |
| 1.3.1 Задачі і методи виконання технічного обслуговування.....                                                                                  | 19 |
| 1.4.2 Стратегії і тактики забезпечення роботоздатності гідромашин.....                                                                          | 20 |
| 1.4 Моделі визначення періодичності технічного обслуговування .....                                                                             | 22 |
| 1.5 Висновки та завдання дослідження .....                                                                                                      | 24 |
| 1.Провести аналіз конструктивних особливостей агрегатів гідравлічних систем мобільних машин сільськогосподарського призначення.....             | 25 |
| 2. Аналітично визначити показники ремонтної технологічності гідравлічних агрегатів, що обумовлюють обмеження ресурсу гідравлічної системи. .... | 25 |
| 3. Розглянути методику визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування гідроагрегатів. ....                                      | 25 |
| 4. Обґрунтувати спосіб діагностування технічного стану гідроагрегатів вимірюванням градієнту тиску робочої рідини. ....                         | 25 |
| 2. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПІДТРИМАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ АГРЕГАТІВ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ.....                                       | 26 |
| 2.1. Оцінка ремонтної технологічності деталей гідророзподільника Р-80..                                                                         | 26 |
| 2.2 Оцінка ремонтної технологічності деталей аксіально-поршневих агрегатів гідравлічного приводу трансмісії мобільної машини .....              | 35 |
| 2.3 Методика розрахунку періодичності технічного обслуговування .....                                                                           | 43 |
| 2.4 Аналітичні дослідження з обґрунтування способів діагностування гідравлічних агрегатів .....                                                 | 50 |
| 2.4.1 Аналіз параметрів, що визначають технічний стан агрегатів гідроприводів .....                                                             | 50 |
| 2.4.2 Спосіб діагностування шестеренного насоса гідравлічної системи.                                                                           | 53 |

|                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.5.3 Спосіб діагностування технічного стану системи керування<br>робочого об'єму аксіально-поршневих гідромашин .....                   | 58  |
| 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ..                                                                                   | 61  |
| 3.1 Програма експериментальних досліджень .....                                                                                          | 61  |
| 3.2 Адаптована класифікація несправностей гідравлічних агрегатів<br>сільськогосподарської техніки .....                                  | 61  |
| 3.3 Методика визначення технічного стану насоса за градієнтом тиску в<br>нагнітаючій магістралі .....                                    | 64  |
| 3.4 Методика проведення досліджень з визначення технічного стану<br>системи керування робочим об'ємом аксіально-поршневого гідронасоса . | 65  |
| 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....                                                                                         | 68  |
| 4.1 Результати визначення технічного стану насоса за градієнтом тиску в<br>нагнітаючій магістралі .....                                  | 68  |
| 4.2 Результати досліджень з визначення технічного стану елементів<br>системи керування робочим об'ємом гідронасоса .....                 | 69  |
| 4.3 Засоби діагностування гідравлічного приводу в умовах експлуатації ..                                                                 | 72  |
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....                                                                                | 76  |
| 5.1 Охорона праці в товаристві з обмеженою відповідальністю.....                                                                         | 76  |
| 5.2. Аналіз умов праці та пожежної безпеки в майстерні з технічного<br>сервісу гідравлічних агрегатів.....                               | 77  |
| 5.3 Заходи поліпшення умов праці .....                                                                                                   | 81  |
| 5.4 Вимоги з охорони праці при проведенні технічного обслуговування<br>гідравлічних систем.....                                          | 84  |
| 5.5 Дії у надзвичайних ситуаціях. Порядок дій у разі пожежі.....                                                                         | 87  |
| 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ .....                                                                                | 89  |
| ВИСНОВКИ .....                                                                                                                           | 97  |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                                                          | 100 |

## 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 ремонтного устаткування 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 .

**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 жниварки [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 редукції; 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.

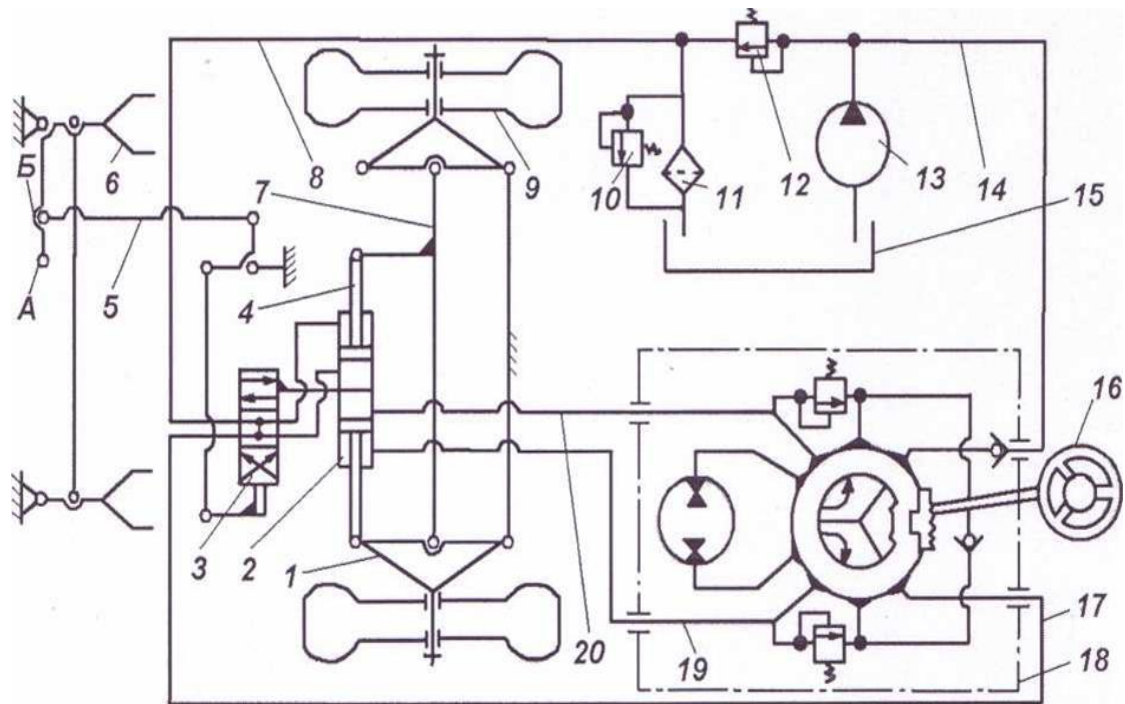


Рисунок 1.1 – Схема гідропривода рульового керування коренезбиральної (бурякозбиральної) машини КС-6Б: 1- поворотний кронштейн; 2 - основний гідроциліндр; 3 - розподільник; 4 - допоміжний гідроциліндр; 5 - тяга; 6 - копір-водій; 7 - балка переднього моста; 8 - зливний трубопровід; 9 - кероване колесо; 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 копирів 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.

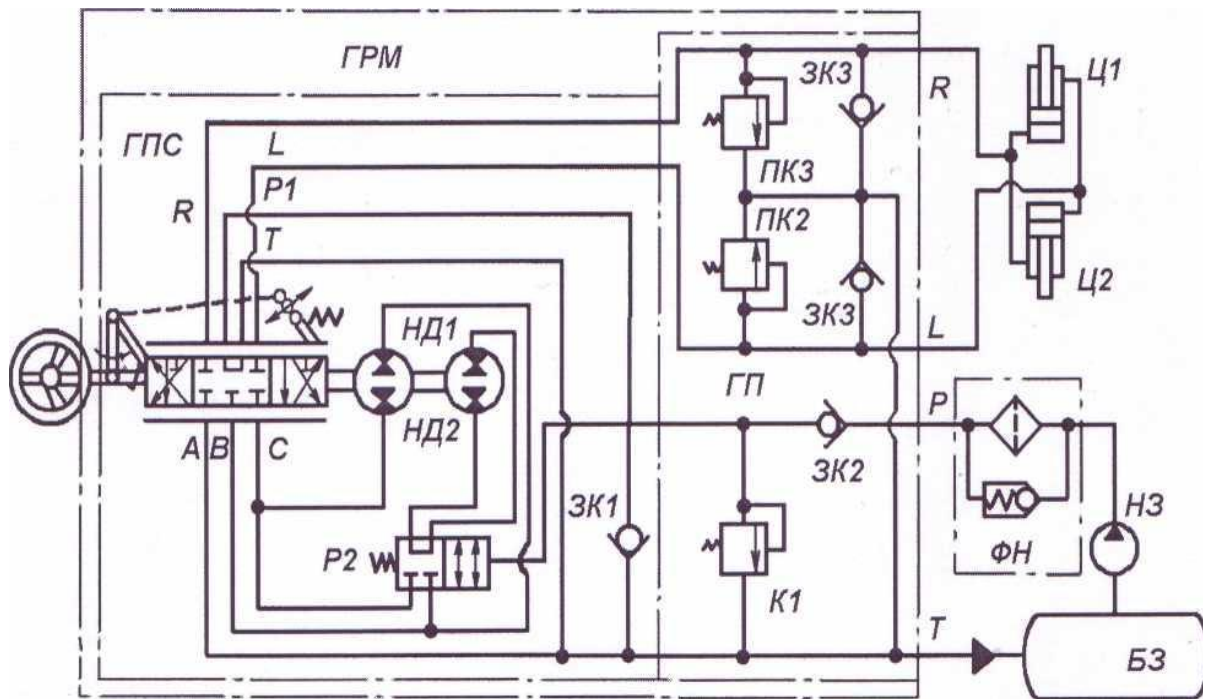


Рисунок 1.2 - Схема гідропривода рульового керування зернозбирального комбайна з автопілотом [6]: ГРМ - гідравлічний рульовий механізм; ГПС - гідропідсилювач; P1 і P2 — розподільники; НД1 і НД2 - насоси дозатори; К1 - запобіжний клапан; ПК2 і ПК3 - протиударні клапани; ЗК1, ЗК2, ЗК3 - зворотні клапани; 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 з боку 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 гідропривода 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.

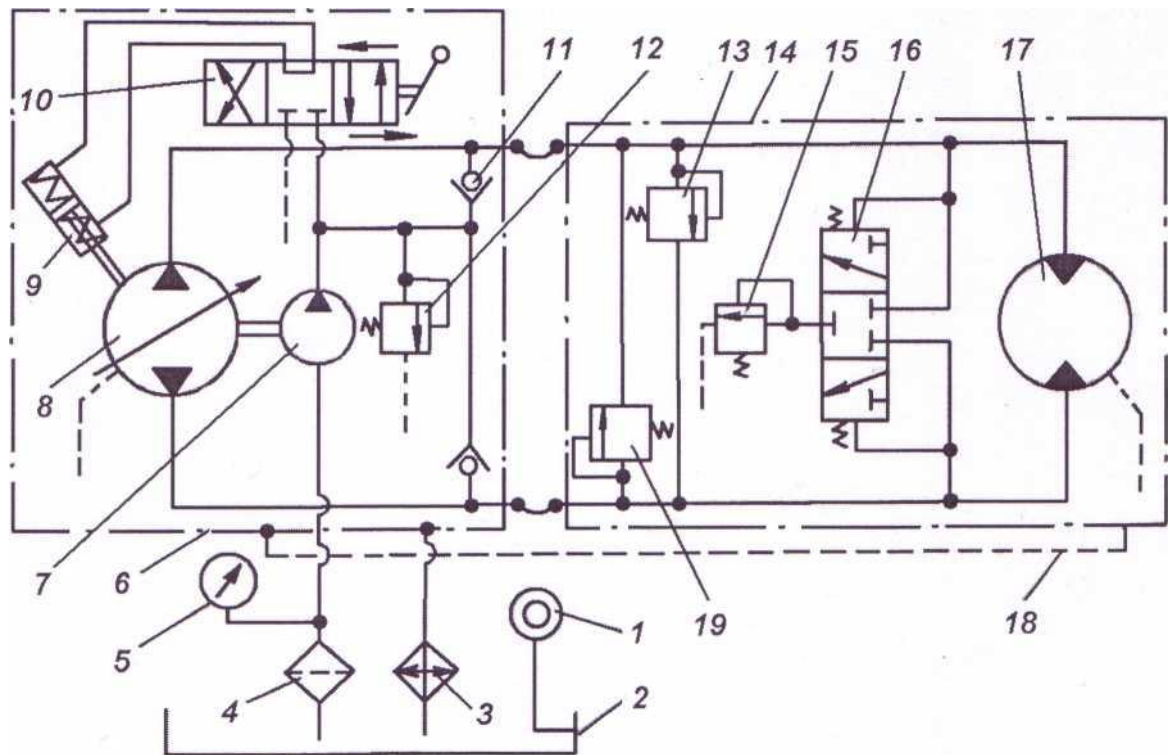


Рис. 1.3 - Схема гідрогіпривода ходової системи сільськогосподарських комбайнів [10]: 1 - показчик температури масла; 2 - бак; 3 - радіатор; 4 - фільтр; 5 - вакуумметр; 6 - гідронасос в зборі; 7 - насос підживлення; 8 - аксіально-плунжерний регульований насос; гідроциліндр керування похилим диском; 10 - 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].

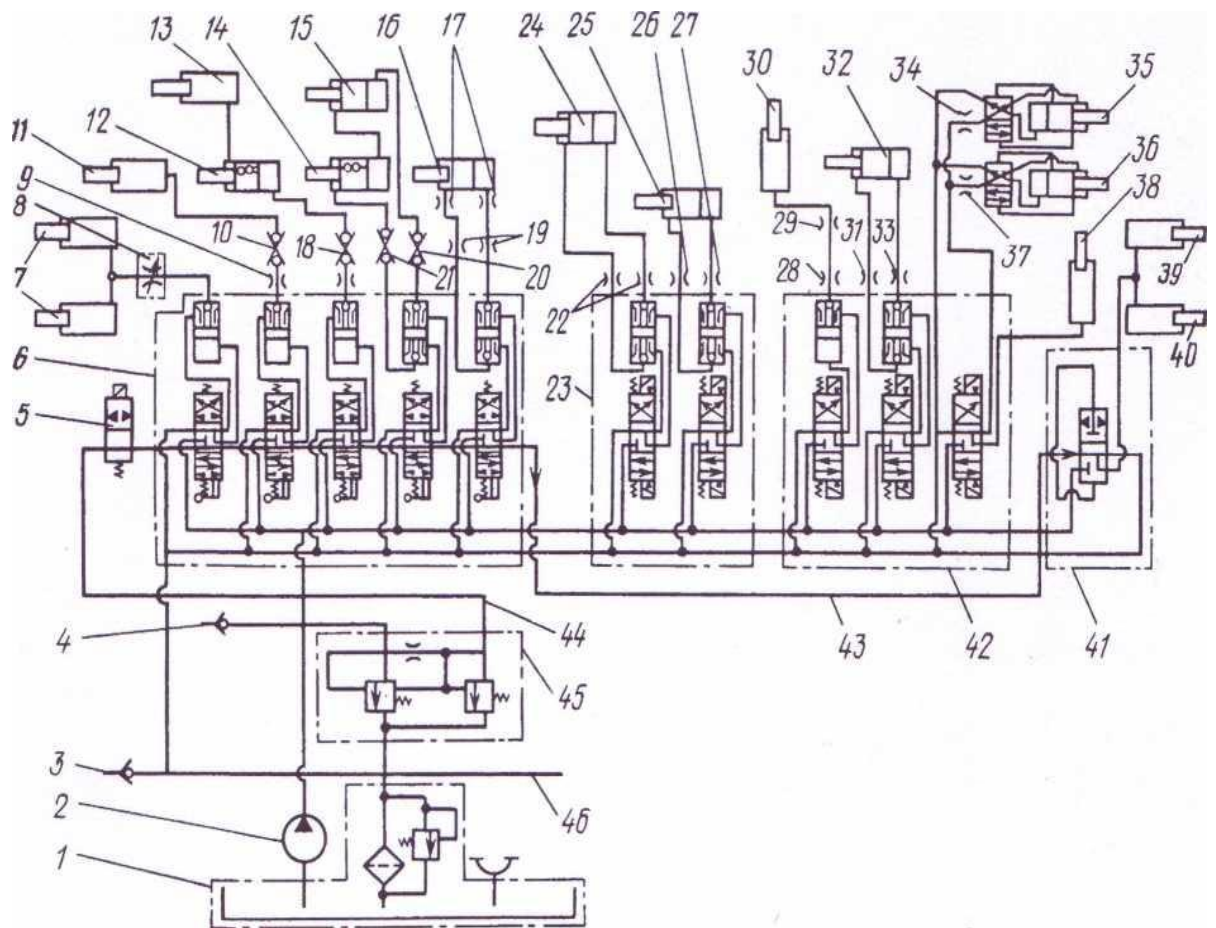


Рисунок 1.4 - Схема основного гідропривода зернозбирального комбайна [5]: I - бак; 2 - насос; 3,4 - зовнішні напівмуфти; 5 - гідроклапан з електромагнітним керуванням; 6 - гідророзподільник з ручним керуванням; 7 - гідроциліндри підйому і опускання жниварки; 8 - регульований дросель; 9,17,19,23,26,27,28,29,31,33,34,37,41 - 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 провертання 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; трубопровод каналу з'єднання з системою рульового керування

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

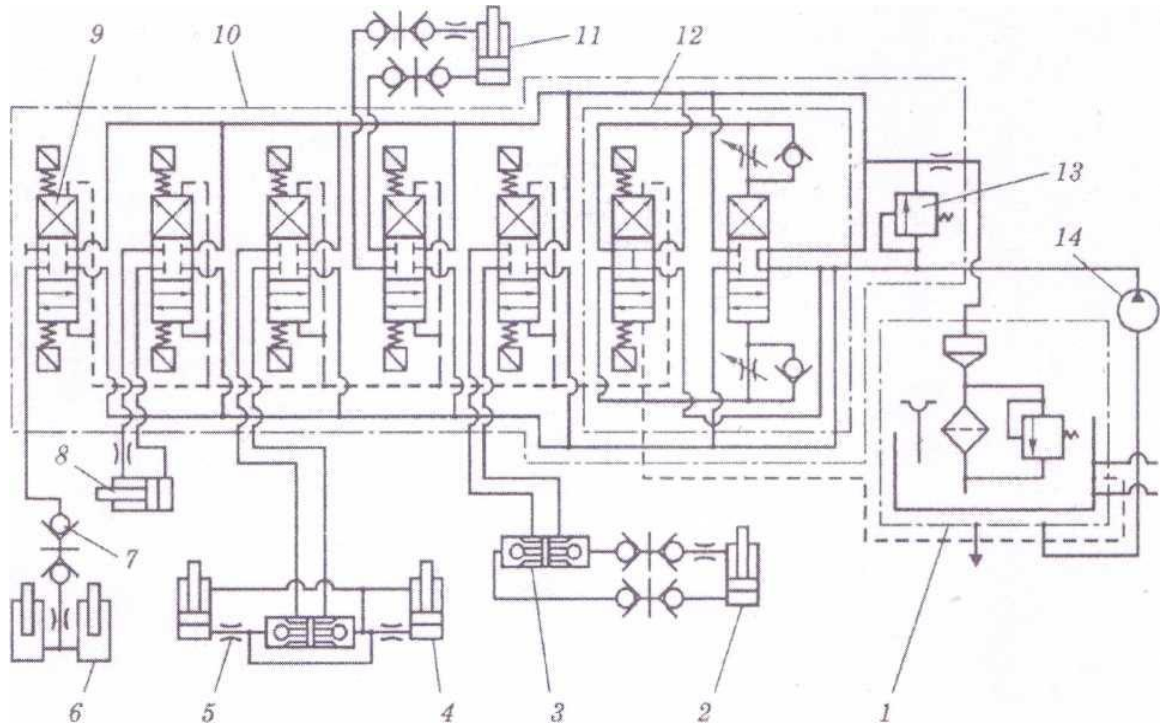


Рисунок 1.5 - Схема основного гідропривода кормозбирального комбайна КСК-100 [5]: 1 - бак; 2 - гідроциліндр повороту силосопроводу; 3 - гідрозамок; 4 - гідроциліндри піднімання та опускання підбирача жаток; 5 - дросель; 6 - гідроциліндри керування мотомилом жатки для збирання кукурудзи; 7 - розривна 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 sprzęженні) 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).

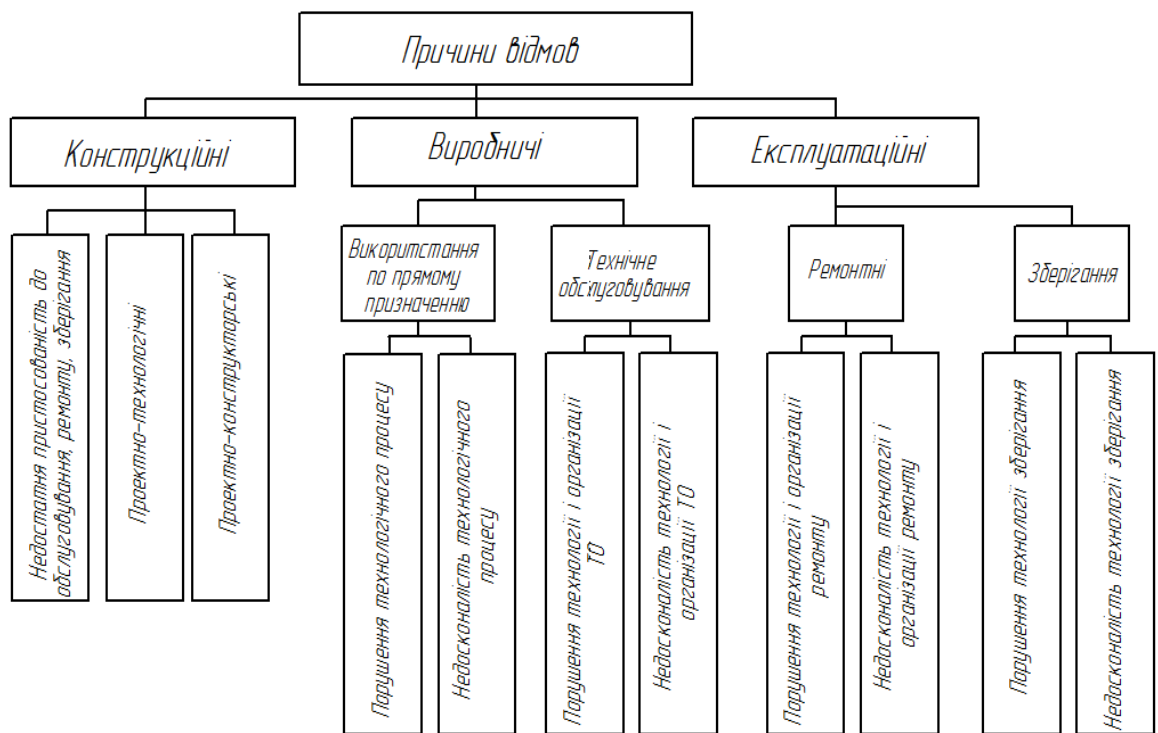


Рисунок 1.6 – Класифікація причин відмов [11]

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 гідроагрегаті, 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 простоєм 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: контрольно-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 «КЗС-9М» (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>                                                      | 10,0                                   | 20,1             | 30,1             |

#### 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].

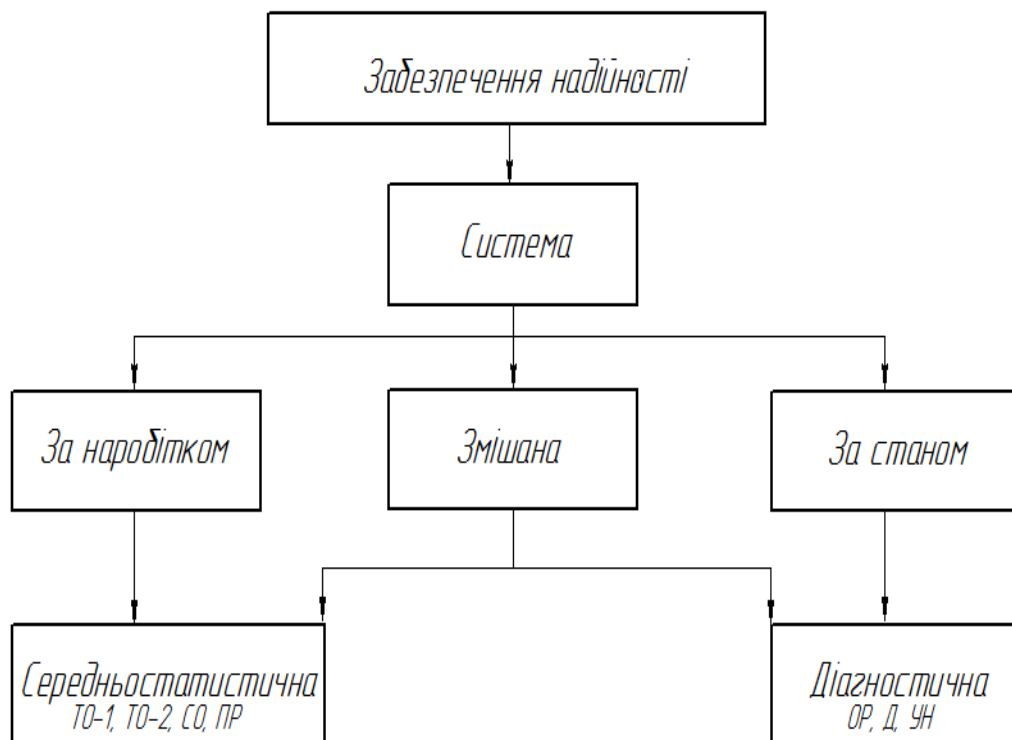


Рисунок 1.7 – Схема організації технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарських машин: ОР – обов’язкові роботи, Д – контрольно-діагностичні, УН – усунення виявлених несправностей

На сьогоднішній день в вітчизняних сільськогосподарських виробництвах застосовують тактики проведення профілактичних робіт за

Таблиця 1.4 – Тактики забезпечення роботоздатності

|          | ТО за наробітком                                                                                                                                                                                                                    | ТО за технічним станом                                                                                                                                                                                                               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Переваги | Простота застосування, 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 якість 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  $R_d = 0,8 \dots 0,5$ .

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).

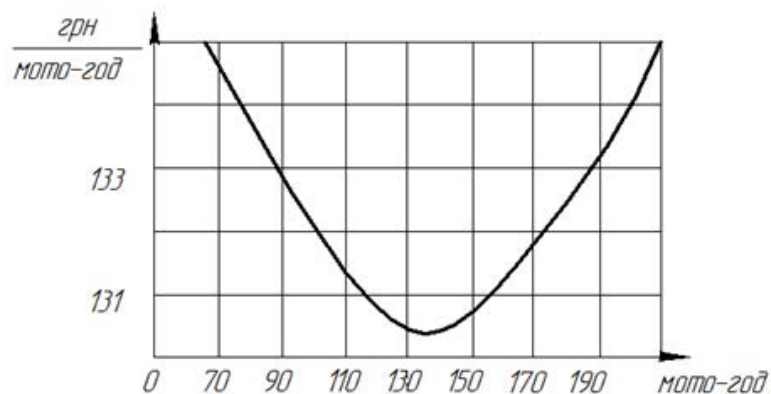


Рисунок 1.8 – Залежність сумарних питомих витрат від періодичності обслуговування підйомних агрегатів [17].

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.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

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

## 2. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПІДТРИМАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ АГРЕГАТІВ 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  $(t^{don.})$ .

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

$$t^{6.p} = t^{oc.} + t^{don.}, \quad (2.1)$$

де  $t^{6.p}$  - трудомісткість відновлення роботоzдатного стану деталі, люд. – год.;

$t^{oc.}$  - трудомісткість робіт, направлених на відновлення роботоzдатного стану деталі, які передбачені конструктивними особливостями деталі, люд. – год.;

$t^{don.}$  - трудомісткість робіт, що витрачається при відновленні роботоzдатного стану деталі, не передбачених конструкцією і технологією її виготовлення, 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  $P_n$ ; деталь потребує ремонту  $P_p$ ; деталь непридатна  $P_{nn}$ . Згідно теореми суми ймовірностей:  $P_n + P_p + P_{nn} = 1$ . Значення цих ймовірностей визначається за виразами [19]:

$$\left. \begin{aligned} P_n &= \frac{n_n}{n_3} \\ P_p &= \frac{n_p}{n_3} \\ P_{nn} &= \frac{n_{nn}}{n_3} \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

де  $n_3$  - загальна кількість деталей одного найменування, які поступають до ремонту, *од* ;

$n_n$  - кількість придатних без ремонту деталей, *од* ;

$n_p$  - кількість деталей, які потребують ремонту, *од* ;

$n_{nn}$  - 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

| №<br>п/п | Найменування деталі          | Деталь являється<br>придатною без<br>ремонту $P_n$ . | Деталь<br>потребує<br>ремонту $P_p$ . | Деталь<br>непридатна<br>$P_{nn}$ . |
|----------|------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1        | Корпус<br>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                               |

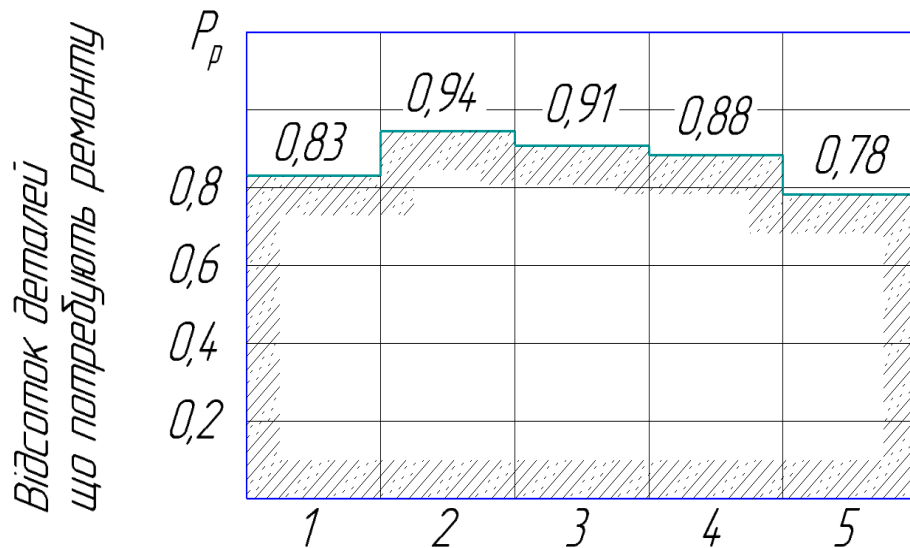


Рис. 2.1 – Ймовірність технічного стану ресурсолімітуючих деталей, які потребують ремонту: 1 – корпус гідророзподільника; 2 – золотник; 3 – перепускний клапан; 4 - гніздо клапана; 5 - важіль керування;

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 осталюванням або хромуванням з наступним шліфуванням), отвори корпуса оброблюються хонінгуванням до виведення слідів спрацювання. Деталі спряження «перепускний клапан-гніздо» відновлюються способом вільних ремонтних розмірів, який характеризується шліфуванням конусної поверхні клапана до

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]:

$$P_{p.m.}^{\partial} = P_n + P_p \frac{\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ki}}{\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ni} + \sum_{j=1}^z t_j^{\partial on} \cdot K_{kj}} K_o \cdot K_e, \quad (2.3)$$

- кількість основних операцій, які застосовуються для відновлення робото<sup>m</sup>здатності деталі, ;

- кількість допомі<sup>од</sup>жних операцій, які застосовуються для відновлення робото<sup>z</sup>здатності деталі, ;

$t_i^{oc}$  - трудомісткість <sup>од</sup> <sub>$i$</sub>  -ї основної операції з відновлення деталі, люд.-год.;

$t_j^{\partial on}$  - трудомісткість  <sub>$j$</sub>  -ї допоміжної операції з ремонту деталі, люд.-год.;

$K_{ki}$  - коефіцієнт кваліфікації робіт  <sub>$i$</sub>  -ї операції при ремонті деталі;

$K_o$  - коефіцієнт складності обладнання та оснастки;

$K_e$  - коефіцієнт економічної доцільності ремонту.

Трудомісткість основних операцій для відновлення корпусу гідророзподільника (має найбільший показник непридатних до відновлення деталей) склале  $t^{oc} = 2.37$  –

дефектувальні, відновлювальні). Трудомісткість допоміжних операцій, яка включає в себе притирку золотника до отвору корпусу складе  $t_j^{don} = 0,7 \text{ люд.} - \text{год.}$

Коефіцієнт кваліфікації робіт ( $K_{ki}$ ) визначається за виразом [19]:

$$K_{ki} = \frac{S_c^H}{S_c^\phi}, \quad (2.4)$$

де  $S_c^H$  - тарифна вартість робіт за найнижчим розрядом кожної спеціальності, *грн*;

$S_c^\phi$  - тарифна вартість робіт за фактичним розрядом відповідно технологічному процесу ремонту деталі, *грн*.

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  $S_c^H = 4,65 \text{ грн.}$  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  $S_c^\phi = 7,95 \text{ грн.}$

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

$$K_k = \frac{4,65}{7,96} = 0,58$$

Коефіцієнт складності обладнання та оснастки визначається за виразом [19]:

$$K_o = \frac{S_o^H}{S_o^P}, \quad (2.5)$$

де  $S_o^n$  - вартість обладнання для обробки поверхонь, які відновлюються, при виготовленні нової деталі (відновлювальними вважаються ті поверхні, які оброблюються для усунення дефекту при ремонті даної деталі), *грн*;

$S_o^p$  - вартість ремонтного обладнання для відновлення роботоздатності деталі згідно технологічного процесу ремонту, *грн*.

Розглянемо коефіцієнт складності обладнання для відновлення корпусу гідророзподільника, який має найбільшу ймовірність непридатного стану деталі

( $P_{н.п} = 0,17$ ). Робоча поверхня отвору корпусу працює з поясками золотника для забезпечення герметичності потоку робочої рідини при її розподіленні до гідроциліндра. 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  $S_o^n = 64500 \text{ грн}$ .

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  $S_p^n = 45000 \text{ грн}$

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

$$K_o = \frac{64500}{45000} = 1,43$$

Коефіцієнт економічної доцільності відновлення деталі визначається за виразом:

$$K_e = \frac{S_{\delta}^H}{S_{\delta}^H + S_{\delta}^P}, \quad (2.6)$$

де  $S_{\delta}^H$  - прејскурантна вартість нової деталі, грн (вартість корпусу гідророзподільника в  $S_{\delta}^H = 470 \text{ грн}$ );

$S_{\delta}^P$  - витрати на ремонт деталі, грн (обумовлюються технологією, яка застосовується для ремонту деталі, рекомендується  $S_{\delta}^P < 0,7 S_{\delta}^H$ ), за запропонованою технологією  $S_{\delta}^P = 329 \text{ грн}$ .

Тоді коефіцієнт економічної доцільності відновлення деталі складе:

$$K_e = \frac{470}{470 + 329} = 0,60$$

Підставимо отримані значення до виразу (2.3) і визначимо показник ремонтної технологічності корпусу гідророзподільника ( $P_{p.m.}^{\delta}$ ):

$$P_{p.m.}^{\delta} = 0 + 0,83 \cdot \frac{2,37 \cdot 0,58}{2,37 \cdot 0,58 + 0,7 \cdot 0,58} \cdot 1,43 \cdot 0,60 = 0,55$$

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.

Таблиця 2.2 – Результати оцінки ремонтної технологічності деталей

| Найменування деталі  | Критерії, які характеризують ремонтну технологічність |       |                                      |                                             |       |       |       |                     |
|----------------------|-------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------|---------------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------|
|                      | $P_n$                                                 | $P_p$ | $\sum_{i=1}^m t_i^{oc} \cdot K_{ki}$ | $\sum_{j=1}^z t_j^{\delta on} \cdot K_{kj}$ | $K_k$ | $K_o$ | $K_e$ | $P_{p.m.}^{\delta}$ |
| 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                |

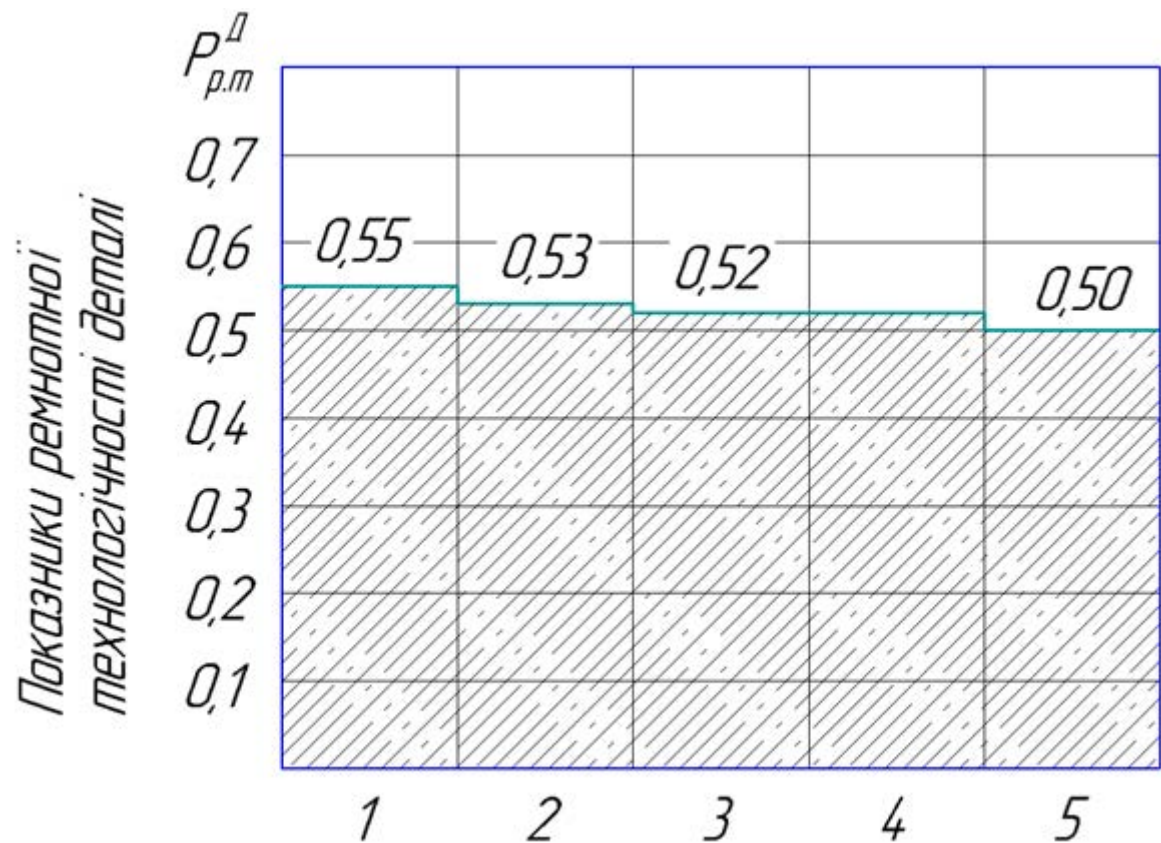


Рис. 2.2 – Показники оцінки ремонтної технологічності деталей гідророзподільника, які потребують ремонту: 1 – корпус гідророзподільника; 2 – золотник; 3 – перепускний клапан; 4 - гніздо клапана; 5 - важіль керування;

Аналіз отриманих результатів показує, що найменшу ремонтну технологічність ( $P_{p.m}^D = 0,50$ ) має важіль керування, що обумовлюється конструктивними особливостями даної деталі (зношується сферична поверхня важеля керування, відновлення якої характеризується складністю механічних операцій).

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.

В цілому проведені дослідження оцінки ремонтної технологічності деталей гідравлічних розподільників Р-80 дають можливість зробити наступні висновки:

1. Найменшу ремонтну технологічність ( $P_{p.m.}^0 = 0,50$ ) має важіль керування, що обумовлюється конструктивними особливостями даної деталі (зношується сферична поверхня важеля керування, відновлення якої характеризується складністю механічних операцій).

2. 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.

## 2.2 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

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.

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

| №<br>п/п | Найменування деталі                 | Деталь являється<br>придатною без<br>ремонту $P_n$ . | Деталь потребує<br>ремонту $P_p$ . | Деталь<br>непридатна<br>$P_{н.п}$ . |
|----------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 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<br>втулка ущільнення | 0                                                    | 0,76                               | 0,24                                |
| 7        | Ротаційна втулка<br>ущільнення      | 0                                                    | 0,77                               | 0,23                                |

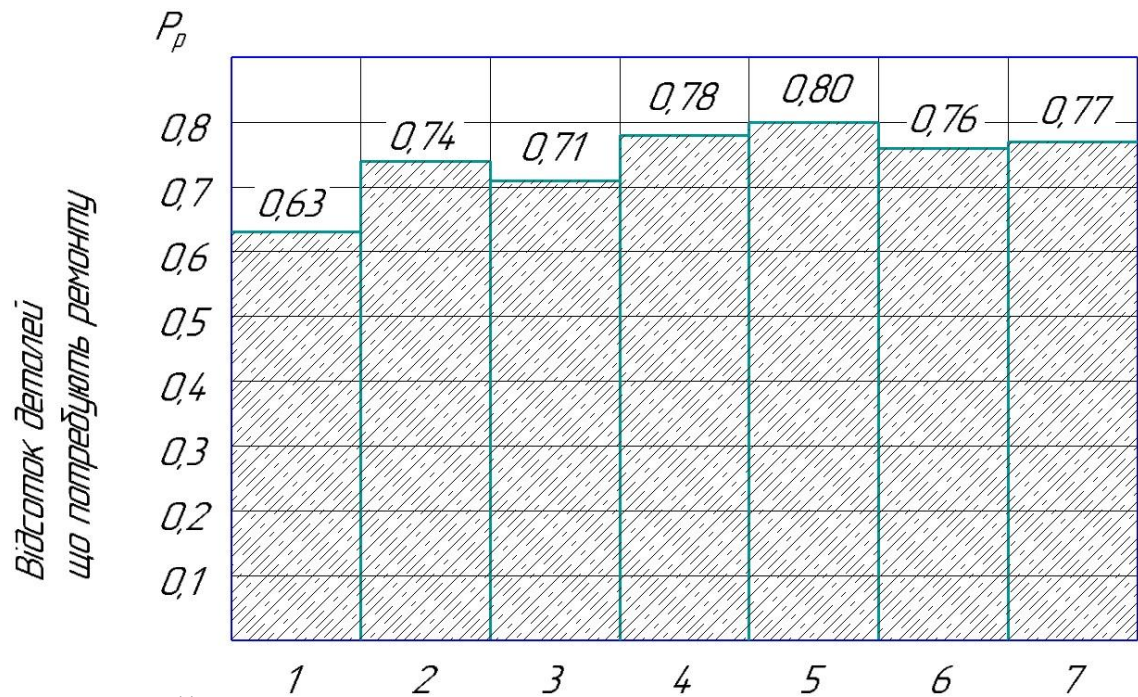


Рис. 2.3 – Ймовірність технічного стану ресурсолімітуючих деталей, які потребують ремонту: 1 - приставне дно; 2 – розподільник; 3 - п'ята плунжера; 4 - опора люльки; 5 - похила шайба; 6 - стабілізаційна втулка ущільнення; 7 - ротаційна втулка ущільнення.

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 осевого люфта валу постановкою регулювальних кілець. Це також дає пояснення наявності такої кількості деталей, що вибраковуються. Наприклад наявність слідів захоплення на робочих поверхнях деталей спряження «приставне дно-розподільник» характеризується значним відхиленням їх від неплоскостності, або наявності

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).

Трудомісткість основних операцій для відновлення приставного дна (має найбільший показник непридатних до відновлення деталей) складе  $t_i^{oc} = 3,27 \text{ люд.} - \text{год.}$  (включають в себе очисні операції, дефектовочні, відновлювальні). Трудомісткість допоміжних операцій включає в себе відновлення деформованої (не робочої поверхні приставного дна в якості бази для установки деталі в пристрої на столі плоскошліфувального верстату) складе  $t_j^{don} = 0,7 \text{ люд.} - \text{год.}$

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  $S_c^n = 4,65 \text{ грн.}$  Найвищий (фактичний) розряд відповідає п'ятому (слюсар проводить дефектацію деталей, відновлення робочих поверхонь, складання агрегатів, випробування агрегатів та ін.). Тарифна вартість робіт для даного

Тоді коефіцієнт кваліфікації робіт ( $K_{\kappa i}$ ) визначається:

$$K_{\kappa} = \frac{4,65}{7,96} = 0,58$$

Коефіцієнт складності обладнання та оснастки визначається за виразом (2.5).

Розглянемо коефіцієнт складності обладнання для відновлення приставного дна, яке має найбільшу ймовірність непридатного стану деталі ( $P_{н.н} = 0,37$ ). Робоча поверхня деталі служить для забезпечення герметичності потоку робочої рідини при її розподіленні до надплунжерних камер високого і низького тиску блоку качаючого вузла. 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 захоплення робочої поверхні. Отже для відновлення робочої поверхні приставного дна необхідно усунути неплоскостність 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 частинок не більше  $3\text{мкм}$ . Вартість даного обладнання складе  $S_o^n = 145000\text{грн.}$  На спеціалізованому ремонтному підприємстві при наявності значної неплоскостності поверхні деталі та ерозійних каналів глибиною більше  $150\text{мкм}$  застосовують також плоскошліфувальні верстати для основної обробки поверхні, а кінцеві-притирочні операції проводять в більшості застосовуючи ручне притирання на притирочних плитах, застосовуючи чорнове притирання (розмір абразивних частин притирочної пасти до  $35\text{мкм}$ ) та чистове (розмір абразивних частин притирочної пасти до  $5\text{мкм}$ ). Вартість обладнання для даної технології складе  $S^n = 105000\text{грн.}$

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

$$K_o = \frac{145000}{105000} = 1,38$$

Коефіцієнт економічної доцільності відновлення деталі визначається за виразом (2.6). Нехай преїскурантна вартість нової деталі, приставного дна становить  $S_o^H = 270 \text{ грн}$ , а витрати на ремонт деталі обумовлюються технологією, яка застосовується для ремонту деталі, рекомендується ( $S_o^P < 0,7 S_o^H$ ), за запропонованою технологією  $S_o^P = 81,0 \text{ грн}$ .

Тоді коефіцієнт економічної доцільності відновлення деталі складе:

$$K_e = \frac{270}{270 + 81} = 0,77$$

Підставимо отримані значення до виразу (2.3) і визначимо показник ремонтної технологічності для приставного дна ( $P_{p.m.}^D$ ):

$$P_{p.m.}^D = 0 + 0,63 \cdot \frac{3,27 \cdot 0,58}{3,27 \cdot 0,58 + 0,7 \cdot 0,58} \cdot 1,38 \cdot 0,77 = 0,55$$

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         |

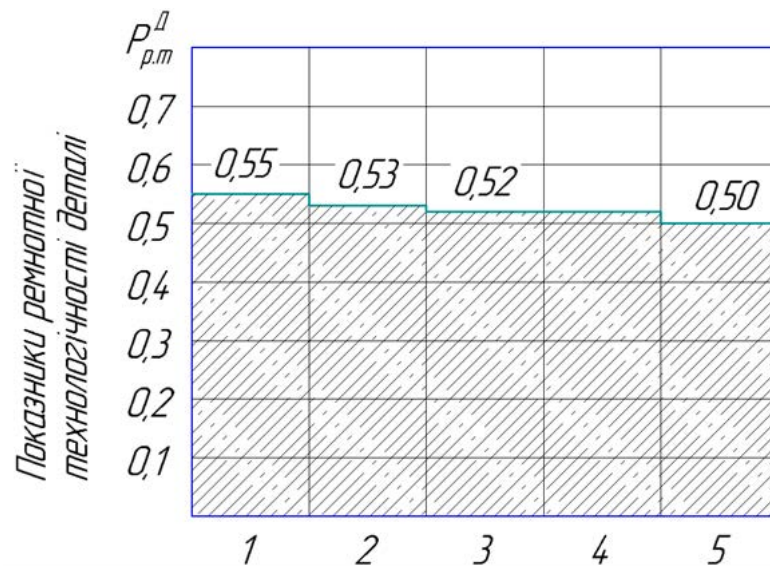


Рис. 2.4 – Показники оцінки ремонтної технологічності деталей аксіально-поршневої гідромашини, які потребують ремонту: 1 - приставне дно; 2 – розподільник; 3 - п'ята плунжера; 4 - опора люльки; 5 - похила шайба; 6 - стабілізаційна втулка ущільнення; 7 - ротаційна втулка ущільнення.

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 контакт 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

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 складностями 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.

В цілому проведені дослідження оцінки ремонтної технологічності деталей качаючих вузлів аксіально-поршневих агрегатів НП-90 та МП-90 дають можливість зробити наступні висновки:

1. Найбільший показник ймовірності не придатності деталі припадає на приставне дно, який становить  $P_{н.п} = 0,37$ , що обумовлюється конструктивними особливостями деталі (значними вимоги до неплоскості робочої поверхні, високого класу чистоти робочої поверхні, наявності гострих кромek для відсікання потоку робочої рідини при його розподіленні), а також умовами роботи, які спричиняють появу на робочій поверхні гідроабразивних рисок різної глибини і профілю, ерозійних каналів між зонами високого і низького тиску, слідів захоплення поверхонь деталей

2. 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.

### 2.3 Методика розрахунку періодичності технічного обслуговування

Нехай в системі гідравлічної трансмісії мобільної машини є елемент, схильний до відмов. Потік відмов – Пуасонівський з параметром  $\lambda$  (інтенсивність відмов). Тоді середній наробіток на відмову визначиться:

$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda}, \quad (2.7)$$

Припустимо, що через деякий час  $t_{np}$  роботоздатність елемента відновлюється повністю за рахунок технічного обслуговування, ремонту чи заміни на новий, так, що починається новий відлік експлуатаційного ресурсу.

Для Пуасонівського потоку відмов розподіл часу між відмовами – експоненціальний, тобто щільність імовірності [22]:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (2.8)$$

Імовірність відмови к моменту часу  $t_{np}$  складе:

$$Q(t_{np}) = (1 - \lambda e^{-\lambda t_{np}}), \quad (2.9)$$

а імовірність безвідмовної роботи:

$$P(t_{np}) = 1 - Q(t_{np}) = \lambda e^{-\lambda t_{np}}. \quad (2.10)$$

Для поточного наближення будемо вважати, що час відродження

відновлення виправдано, якщо спостереження за елементом гідравлічної трансмісії відбувається впродовж тривалого інтервалу часу  $T \geq t_{np}$ . В цьому випадку  $Q(t_{np})$  набуває нульового значення, після чого процес експлуатації елемента продовжується й імовірність його відмови знов визначається формулою (2.9). Далі представимо, що за інтервал часу  $[t_{np}; t_{np(i+1)}]$  ( $i = 1..n-1$ , де  $n$  – число інтервалів відновлення за час  $T$ ) відмов не відбувається. Для випадку, коли відмова відбувається на інтервалі  $[t_{np}; t_{np(i+1)}]$  вид формули розрахунку оптимальної періодичності зміниться і буде розглянутий нижче.

Зміна імовірності  $Q$  відмови в процесі експлуатації системи у відповідності з припущеннями представлено на (рис 2.6).

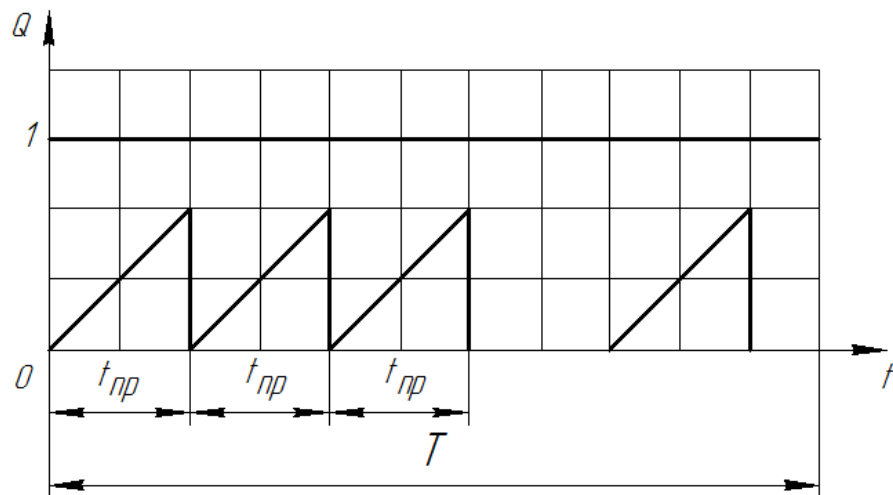


Рисунок 2.6 – Залежність періодичності технічного обслуговування від імовірності відмови

Нехай  $P_0$  – задана імовірність безвідмовної роботи елемента. Тоді з урахуванням (2.10) повинна виконуватись умова:

$$P(t_{np}) = \lambda e^{-\lambda t_{np}} \geq P_0. \quad (2.11)$$

$$\frac{t_{np}}{t_{cp}} \leq -\ln P_0. \quad (2.12)$$

Однак, розрахунок за даною формулою дає незадовільну оцінку тривалості роботи агрегату системи між ТО. Якщо  $P_0 = 0,95$ , то  $t_{np} \leq 0,05t_{cp}$ , тобто тривалість інтервалу між ТО повинно бути не менше 0,05 від середнього наробітку агрегату на відмову.

Для отримання більш оптимістичної оцінки розглянемо випадок, коли інтервал часу  $T \leq t_{np}$ . Цю оцінку можна отримати наступним чином:

$$\tilde{Q} = \frac{1}{T} \left( \left[ \frac{T}{t_{np}} \right] \int_0^{t_{np}} (1 - e^{-\lambda t}) dt + \partial \right), \quad (2.13)$$

де  $\left[ T / t_{np} \right]$  - ціла частина, а  $\partial$  - дробова частина відношення  $T / t_{np}$ .

Так як робиться припущення, що  $T / t_{np} \leq 1$  і  $\partial = 0$ , отримаємо:

$$\tilde{Q} = \frac{1}{t_{np}} \int_0^{t_{np}} (1 - e^{-\lambda t}) dt = 1 - \frac{t_{cp}}{t_{np}} (1 - e^{-\frac{t_{cp}}{t_{np}}}). \quad (2.14)$$

З виразу (2.14) маємо, що середня імовірність безвідмовної роботи на проміжку  $0; T$  дорівнює:

$$\tilde{P} = \frac{t_{cp}}{t_{np}} (1 - e^{-\frac{t_{cp}}{t_{np}}}), \quad (2.15)$$

Для визначення величини  $t_{np}$  необхідно розв'язати нерівність:

$$\frac{t_{cp}}{t_{np}}(1 - e^{-\frac{t_{cp}}{t_{np}}}) \geq P_0. \quad (2.16)$$

З огляду на складність аналітичного розв'язання нерівності розкладемо експоненціальну функцію в степеневий ряд, утримуючи три члена цього ряду (похибка розкладання  $\partial = (t_{np} / t_{cp})^3$ ). Тоді отримаємо:

$$1 - \left[ 1 - \frac{t_{np}}{t_{cp}} + \frac{1}{2} \left( \frac{t_{np}}{t_{cp}} \right)^2 \right] \geq \frac{t_{np}}{t_{cp}} P_0. \quad (2.17)$$

$$\frac{t_{np}}{t_{cp}} \leq 2(1 - P_0). \quad (2.18)$$

Отримуємо, що при  $P_0 = 0,95$ ,  $t_{np} \leq 0,1t_{cp}$ , тобто інтервал часу між технічними обслуговуваннями, більше в два рази, ніж в формулі (2.12). Похибка розрахунку складе  $0,1^3 = 0,1\%$ , що цілком задовільно.

Розглянемо випадок, коли у проміжку між технічними обслуговуваннями виникає відмова. Нехай  $t_{від}$  – момент настання відмови. Після відмови також відбувається відновлення, а після відновлюється процес експлуатації з початковими характеристиками надійності. Ситуація представлена графічно на рис. 2.7.

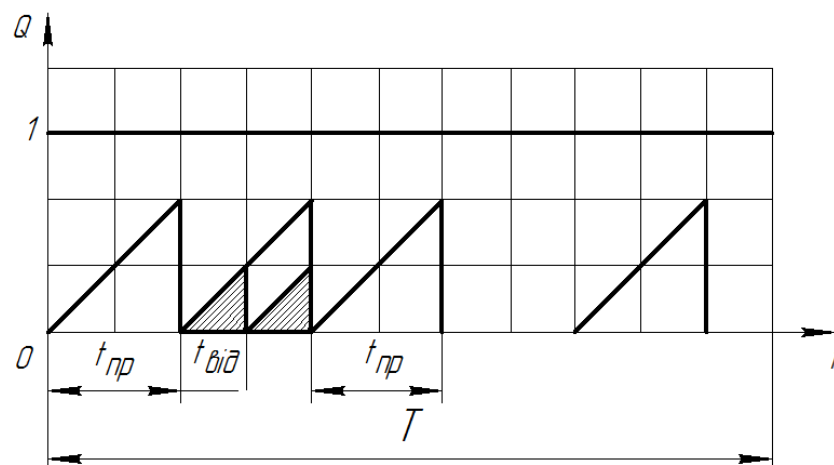


Рис. 2.7 – Зміна періодичності технічного обслуговування при виникненні

Для проміжку  $t_{np}$ , на якому виникла відмова визначимо середню імовірність відмови:

$$\tilde{Q}(t_{np}) = \frac{1}{t_{cp}} S_1 + S_2, \quad (2.19)$$

де  $S_1 = \frac{t_{eid}^2}{2t_{cp}}$  - площа лівого трикутника,

$S_2 = \frac{(t_{np} - t_{eid})}{2t_{cp}}$  - площа правого трикутника.

Нехай  $t_{eid} = kt_{np}, (k \leq 1)$ , то виконавши підстановку в (2.19) і провівши елементарні перетворення отримаємо:

$$\tilde{Q}(t_{np}) = \frac{t_{np}}{t_{cp}} \gamma_1, \quad (2.20)$$

де

$$\gamma_1 = 2k(k-1) + 1, \gamma_1 \in [0,5;1] \quad (2.21)$$

Припустимо, що на інтервалі  $0;T$  є  $n$  інтервалів тривалістю  $t_{np}$  і на  $m \leq n$  з цих інтервалів відбувається по одній відмові й відновлення відбувається по вищеописаній схемі. Тоді середня імовірність відмов на інтервалі  $0;T$ .

$$\hat{Q} = \frac{1}{n} \left[ m \gamma_1 \frac{t_{np}}{2t_{cp}} + (n-m) \frac{t_{np}}{2t_{cp}} \right] = \left[ 1 - \frac{m}{n} (1 - \gamma_1) \right] \frac{t_{np}}{2t_{cp}}, \quad (2.22)$$

Середня імовірність безвідмовної роботи:

$$\hat{P} = 1 - \hat{Q} = 1 - \left[ 1 - \frac{m}{n} (1 - \gamma_1) \right] \frac{t_{np}}{2t_{cp}} \geq P_0, \quad (2.23)$$

Звідки:

$$\frac{t_{np}}{t_{cp}} \leq \left[ \frac{2(1-P_0)}{1 - \frac{m}{n}(1-\gamma_1)} \right], \quad (2.24)$$

Оскільки знаменник правої частини (2.24) менше або дорівнює 1, то  $\hat{Q} \leq \tilde{Q}$ ,  $\hat{P} \geq \tilde{P}$ . Це означає, що час  $t_{np}$  знайдений за формулою (2.48), буде більше, ніж розрахований за формулою (2.18). При  $P_0 = 0,95$ ,  $k = 0,4$ ,  $\gamma_1 = 0,52$ ,  $(m/n) = 0,5$ ,  $t_{np} = 0,263t_{cp}$ , тобто на 38% більше, ніж за формулою (2.18).

Також розглянемо останній випадок, коли відмова відбувається біля границі правого інтервалу  $t_{np}$ . (рис. 2.8)

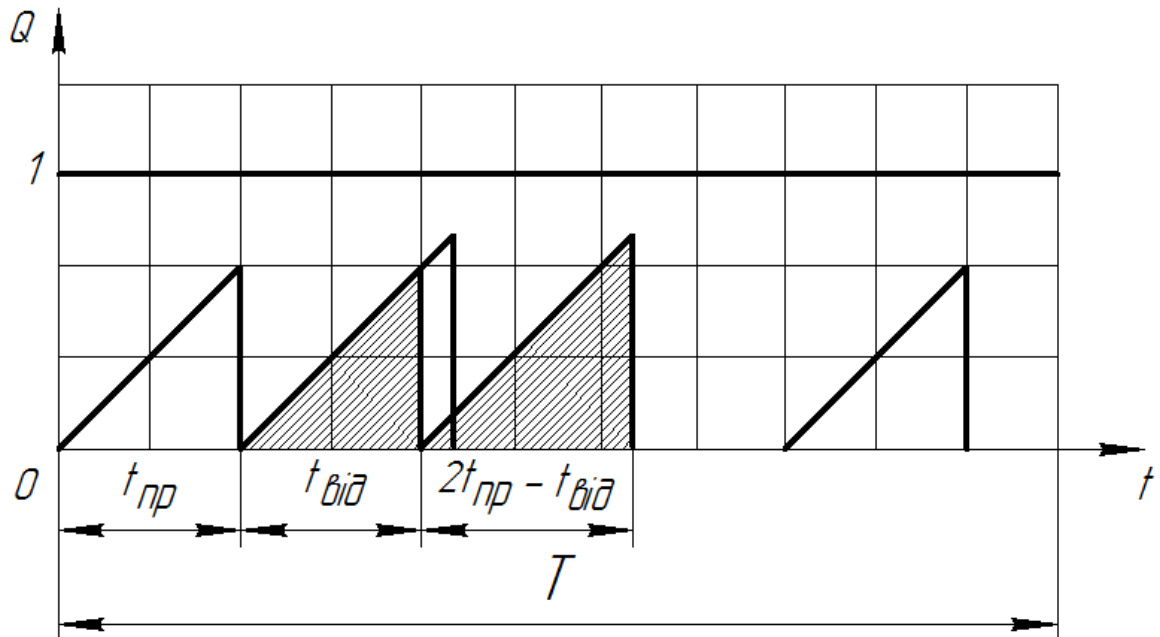


Рисунок 2.8 – Зміна періодичності технічного обслуговування при

$$t_{від} \rightarrow t_{np}$$

В цьому випадку нераціонально проводити заміну (відновлення) елемента гідравлічної трансмісії в кінці поточного інтервалу і сенс змістити його на початок наступного інтервалу  $t_{np}$ . В цьому випадку середня

$$\hat{Q}_{2np} = \frac{t_{np}}{2t_{cp}} \gamma_2, \quad (2.25)$$

де:

$$\gamma_2 = (k-1)^2 + 1 \geq 1, \quad (2.26)$$

Тоді, якщо на інтервалі  $0;T$  таких випадків  $m$  і вони охоплюють  $2m \leq n$  інтервалів, то:

$$\hat{Q} = \left[ 1 + \frac{2m}{n} (\gamma_2 - 1) \right] \frac{t_{np}}{2t_{cp}}, \quad (2.27)$$

$$\hat{P} = 1 - \hat{Q} = 1 - \left[ 1 + \frac{2m}{n} (\gamma_2 - 1) \right] \frac{t_{np}}{2t_{cp}} \geq P_0, \quad (2.28)$$

$$\frac{t_{np}}{t_{cp}} \leq \frac{2(1 - P_0)}{\left[ 1 + \frac{2m}{n} (\gamma_2 - 1) \right]}. \quad (2.29)$$

Формулу (2.29) потрібно використовувати при  $k > 0,5$ . Нехай  $k = 0,7$ ,  $\gamma_2 = 1,09$ ,  $P_0 = 0,95$ ,  $(m/n) = 0,5$ . Тоді  $t_{np} \leq 0,183t_{cp}$ . Враховуючи, що в реальних умовах можлива комбінація з всіх трьох розглянутих вище випадків, можна без великої похибки користуватися формулою (2.18) або проводити розрахунки при комбінації всіх трьох методів.

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.

## 2.4 Аналітичні дослідження з обґрунтування способів діагностування гідравлічних агрегатів

### 2.4.1 Аналіз параметрів, що визначають технічний стан агрегатів гідроприводів

Гідравлічні системи сільськогосподарських машин призначені в основному для механізації процесів. Конструктивний опис гідроагрегатів, принцип роботи й використання гідроприводів робочого обладнання (РО) машин сільськогосподарського призначення викладені в роботах [23, 24].

У гідроприводах (РО) потужність ( $N$ ), яка передається насосом робочою рідиною, перетвориться у поступальний рух поршня і в роботу підйому навішаної складової. Однак внаслідок неминучих втрат тиску ( $P$ ) і подачі ( $Q$ ) не вся потужність передається виконавчому механізму.

Виходячи з функціонального призначення гідроприводу його потужність є вихідним базовим, ресурсним параметром, на якому повинні ґрунтуватися діагностичні параметри й методи діагностування гідроприводу та способи відновлення агрегатів при їх ремонті.

Однак діагностування гідроприводу по потужності вимагає застосування складної апаратури і різних по призначенню датчиків для виміру потужності, що віддається приводним двигуном і гідравлічної потужності гідронасоса, а також виміру її в перетинах гідроприводу й на виконавчому органі при навантаженнях відповідних до номінального режиму роботи гідроприводу. Це приводить до певних труднощів при створенні й підтримці постійного навантаження, оскільки воно залежить від маси використовуваної машини, опору ґрунту й інших умов.

Гідравлічну потужність визначає подача (витрата) робочої рідини в одиницю часу через контрольований перетин гідроприводу ( $Q$ ) і тиск ( $P$ ) у перетині гідроприводу:

Отже, для визначення потужності гідроприводу необхідний вимір подачі  $Q$  і тиску  $P$  в контрольованому перетині. При вимірі потужності гідроприводів навантаження (тиск  $P$ ) звичайно створюють дроселюванням робочої рідини. При однаковій навантаженні перевірка технічного стану агрегатів гідроприводу зводиться до визначення величини подачі  $Q$  (витрат) робочої рідини, оскільки потужність перетворюється в цьому випадку у функцію подачі (витрат):

$$N = f \ Q, \quad (2.31)$$

Враховуючи, що втрати тиску в гідроприводі залишаються практично постійними за термін служби машини, то зміна потужності гідроприводу відбувається через зменшення подачі робочої рідини, що відбувається внаслідок її перетікання через ущільнення деталей що зношуються.

Подачу робочої рідини в гідроприводах здійснюють гідронасоси різних конструкцій, перетворюючи потужність двигуна в гідравлічну. Величина подачі гідроприводу залежить від конструктивних розмірів деталей вузла, що качає, гідронасоса, які визначають робочий об'єм ( $q_m$ ) за один оберт. Отже, подача насоса залежить від частоти обертання вала привода ( $n$ ), і визначають її по формул:

$$Q = q_m \cdot n, \quad (2.32)$$

Однак сама подача не містить інформації про технічний стан гідроагрегату. Для цього її необхідно порівнювати з вихідною, зазначеною в технічній документації й оцінювати втрати подачі в гідроагрегатах.

Інформація про технічний стан гідроагрегату, як це підтверджується дослідженнями [20, 25], а також аналізом зношень, включає в себе величини витоків робочої рідини ( $\Delta Q$ ):

$$\Delta Q = Q_T - Q_D, \quad (2.33)$$

де  $Q_T$  і  $Q_D$  - номінальна (теоретична) і дійсна (вимірювана) подачі.

Витоки робочої рідини гідроприводу (РО) відбуваються в сполученнях деталей качаючого вузла гідронасоса  $\Delta Q_n$ , у клапанних і золотникових сполученнях розподільника  $\Delta Q_p$ , а також в ущільненнях поршня й штока циліндра  $\Delta Q_u$ , отже величина загальних витоків у гідроприводі (РО) може бути визначена наступним вираженням:

$$\sum \Delta Q = \Delta Q_n + \Delta Q_p + \Delta Q_u, \quad (2.34)$$

Витоку робочої рідини в гідроагрегатах ( $\Delta Q$ ) залежать від розмірів щілин (зазорів), які збільшуються в результаті зношування сполучених деталей. Теоретичні й практичні дослідження [19, 26], показали наступний характер залежностей:

для плоских щілин

$$\Delta Q = \frac{\pi \cdot d \cdot \Delta p \cdot \delta^3}{12 \cdot \nu \cdot \rho \cdot l}, \quad (2.35)$$

де  $\Delta p$  - перепад тиску в щілині довжиною  $l$  і шириною  $b$ ,

$\delta, d$  - зазор між сполученими площинами і середній діаметр щілини циліндричних поверхонь;

$\nu, \rho$  - кінематична в'язкість і щільність робочої рідини.

Із цих формул випливає, що величини витоків робочих рідин в агрегатах гідроприводів в основному залежать від величини зазору в деталях, що сполучаються, а також від тиску ( $P$ ), в'язкості ( $\nu$ ) і щільності ( $\rho$ ) робочої рідини. Витоки робочої рідини в гідроагрегатах різні по своїй величині й стосовно величин подач на різних марках тракторів. Велике значення для аналізу технічного стану гідроагрегатів мають кількісні співвідношення внутрішніх втрат (витоків) у гідроагрегатах. Для порівняльної оцінки об'ємних втрат гідроприводу і його складових частин у технічній літературі [19, 26] передбачене визначення коефіцієнта подачі, який визначають за формулою:

$$K_Q = \frac{Q_n}{Q_p} = \frac{Q_n - \sum \Delta Q}{Q_p}, \quad (2.36)$$

де  $Q_p$  і  $Q_n$  - розрахункова (теоретична) і вимірювана(фактична) подача гідроприводу (агрегату).

Коефіцієнт подачі є найбільш інформативним параметром, оскільки він характеризує технічний стан різних по конструкціях агрегатів і гідроприводів у цілому, що дозволяє скоротити кількість необхідної інформації для постановки діагнозу й установаження подальшої доцільності експлуатації гідроприводу або окремого агрегату.

У якості об'єкта дослідження нами прийнятий гідропривід робочого встаткування зернозбирального комбайна. Гідропривід комбайнів найбільш навантажений у режимі виконання сільськогосподарських операцій.

З наведеного вище аналізу випливає, що для розв'язку технічних питань, пов'язаних з надійністю гідроприводів, а також з організацією їх технічного сервісу необхідне вивчення зміни об'ємних втрат агрегатів гідроприводів у процесі експлуатації і їх впливу на роботоздатність машини. Основні параметри - подача ( $Q$ ) і її втрати в гідроагрегатах ( $\Delta Q$ ), які характеризуються коефіцієнтом подачі ( $K_Q$ ) при робочому тиску ( $P$ ) (для визначених робочих рідин в'язкістю ( $\nu$ ) та щільністю ( $\rho$ )), необхідно використовувати в якості основних ресурсних параметрів у документації на діагностування та відновлення гідроагрегатів.

#### 2.4.2 Спосіб діагностування шестеренного насоса гідравлічної системи зернозбирального комбайна

Найбільш складними за конструкцією і в обслуговуванні зернозбиральних комбайнів («Дон-1500», «Славутич» та ін.) є системи гідравліки. За деякими даними на гідроприводи припадає близько 40% від

загального числа відмов складових частин самохідних машин [27], а на гідравлічні трансмісії – близько 25 % [28].

Гідравлічна система комбайна «Славутич» складається з трьох підсистем: основної гідросистеми, об'ємної гідросистеми рульового управління, гідросистеми об'ємного привода ходової частини [29, 30].

Основна гідросистема комбайна «Славутич» призначена для виконання наступних функцій: підйом та опускання жатки; зміна частоти обертання мотовила; вертикальне переміщення мотовила; горизонтальне переміщення (винесення) мотовила; включення та вимикання приводу молотарки; зміна частоти обертання молотильного барабана; поворот вивантажного шнека; відкриття та закриття копичника; активізація вивантаження зерна з бункера; включення та вимикання приводу вивантажувального пристрою; реверсування похилої камери; включення та вимикання приводу жнивної частини та ін.[29, 30].

Являється очевидним, що втрата роботоздатності одного із гідравлічних агрегатів основної системи, обумовлює втрату роботоздатності комбайна. Час простоювання комбайна буде визначатися тривалістю діагностичних операцій пошуку причини несправності і часу її усунення.

Є очевидним, що питання розроблення ефективних способів діагностування гідравлічних систем комбайна в умовах експлуатації являється актуальними.

Для їх вирішення необхідно обґрунтувати інформативні діагностичні параметри для контролю технічного стану шестеренного насоса, який працює в найбільш навантаженому режимі, що суттєво впливає на його довговічність і роботоздатність.

Відомо, що визначення діагностичних параметрів здійснюється на основі функціональної залежності між структурними параметрами технічного стану, які обумовлюють технічний стан агрегату, з врахуванням енергетичних, статичних та динамічних його характеристик.

Для насоса математична (діагностична) модель описується такими

$$M_H = q_H \cdot f \cdot q \cdot P_1 - P_2 + a_\omega \frac{\omega_H}{U_D} + a_p \cdot P_1 - P_2 + a, \quad (2.37)$$

$$Q_1 = q_H \cdot \omega_H - K_{BT} \cdot P_1, \quad (2.38)$$

$$Q_2 = q_H \cdot \omega_H - K_{BT} \cdot P_2, \quad (2.39)$$

де  $M_H$  - крутний момент на приводному валу насоса, Н/м;

$q_H$  - робочий об'єм насоса, см<sup>3</sup>;

$P_1$  - тиск робочої рідини на виході із насоса, МПа;

$P_2$  - тиск робочої рідини на вході в насос, МПа;

$a_\omega$  - коефіцієнт гідромеханічних втрат, в залежності від кутової швидкості;

$\omega_H$  - кутова швидкість (частота обертання) валу насоса, хв<sup>-1</sup>;

$U_D$  - передаточне число редуктора приводу валу насоса;

$a_p$  - коефіцієнт гідромеханічних втрат, залежний від тиску робочої рідини;

$K_{BT}$  - коефіцієнт об'ємних втрат;

$Q_1$  - витрати робочої рідини на виході із насоса, см<sup>3</sup>/с;

$Q_2$  - витрати робочої рідини на вході в насос, см<sup>3</sup>/с;

$f \cdot q$  - параметр регулювання частоти обертання валу, хв<sup>-1</sup>;

$a$  - постійна гідродинамічних втрат.

На початковому етапі функціонування, насосом всмоктується робоча рідина із баку з параметрами  $P_2$ ,  $Q_2$ ,  $v_2$  ( $P_2$  - тиск або вакуум,  $Q_2$  - витрати робочої рідини на вході в насос,  $v_2$  - швидкість робочої рідини в всмоктуючій магістралі), і подається в нагнітаючу магістраль з параметрами ( $P_1$  - тиск в нагнітаючій магістралі,  $Q_1$  - подача насоса,  $v_1$  - швидкість робочої рідини в нагнітаючій магістралі).

Детальний аналіз параметрів нагнітаючої магістралі показує, що в

як тиск і швидкість робочої рідини в нагнітаючій магістралі можуть бути застосовані в якості діагностичних. Застосування подачі насоса в якості діагностичного параметра ускладнюється тим, що для її контролю необхідно проводити розгерметизацію гідравлічної системи і забезпечити номінальний режим роботи насоса.

Із аналізу динамічних характеристик гідронасоса випливає, що для забезпечення ефективності його діагностування, необхідно розглянути в якості діагностичних параметрів тиск ( $P_1$ ) і швидкість робочої рідини ( $v_1$ ) в нагнітаючій магістралі.

В зв'язку з цим, для контролю технічного стану шестеренного насоса, пропонується вимірювати градієнт тиску робочої рідини в нагнітаючій магістралі гідросистеми за часом, від початку запуску насоса до виведення його на режим холостого ходу, який забезпечується визначеною частотою обертання приводного валу.

Графічне пояснення способу діагностування шестеренного насоса представлено на (рис. 2.9.).

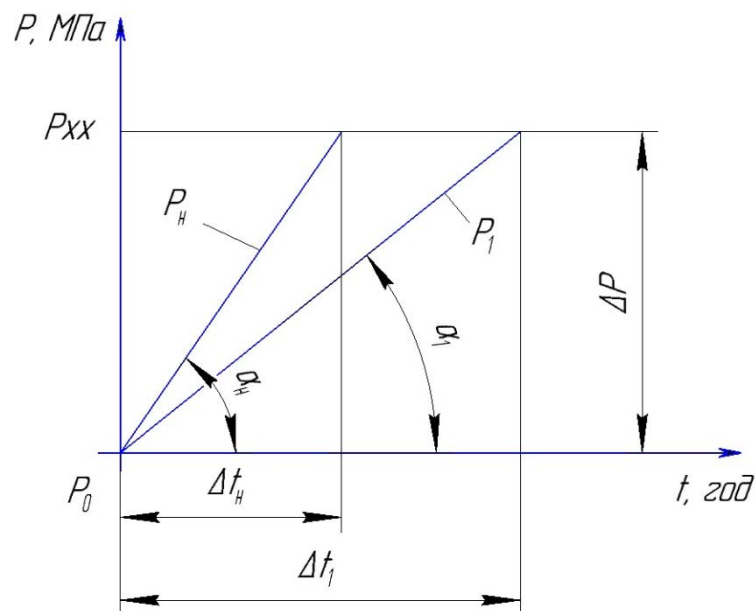


Рисунок 2.9 – Залежність тиску робочої рідини в нагнітаючій магістралі насоса за часом

На рис. 2.9 величина  $P_{x.x.}$  характеризує значення тиску в нагнітаючій

Тоді величина  $\Delta P_H / \Delta t_n$  буде характеризувати зміну тиску робочої рідини в нагнітаючій магістралі насоса, що знаходиться в функціональній залежності від об'ємних втрат робочої рідини, які в свою чергу обумовлюються структурними параметрами технічного стану деталей качаючого вузла насоса, і закладені в його конструкцію і забезпеченні при виготовленні (насос новий). Величина  $\Delta P_1 / \Delta t_1$  буде характеризувати зміну тиску робочої рідини для насоса, що знаходився в експлуатації, і його об'ємні втрати рідини будуть більшими в результаті зміни структурних параметрів деталей качаючого вузла в результаті їх зношення.

Таким чином, для нового насоса будемо мати  $\tan \alpha_n = \Delta P_H / \Delta t_n$ , а для насоса, що знаходився в експлуатації  $\tan \alpha_1 = \Delta P / \Delta t_1$ .

Гradient тиску робочої рідини в нагнітаючій магістралі насоса становиться основним критерієм, в визначенні дійсного технічного стану насосу, який обумовлюється зміною структурних параметрів деталей.

Крім того, реалізація даного способу значно спрощується в результаті застосування для контролю величини  $\Delta P_H / \Delta t_n$  швидкокороз'ємної муфти, яка передбачена в даному контурі гідравлічної системи комбайна, що також усуває втрати робочої рідини, при встановленні діагностичного приладу.

Проведені дослідження з удосконалення способу діагностування шестеренного насоса основної гідравлічної системи комбайна дають можливість зробити наступні висновки.

1. Для контролю технічного стану шестеренного насоса, пропонується застосовувати в якості діагностичного параметра gradient тиску робочої рідини в нагнітаючій магістралі гідросистеми за часом, від початку запуску насоса до виведення його на режим холостого ходу, який характеризується визначеною частотою обертання приводного валу.

2. Реалізація запропонованого способу контролю технічного стану насоса значно спрощується, в результаті застосування швидкокороз'ємної муфти, яка передбачена в даному гідравлічному контурі, що усуває втрати

робочої рідини, при встановленні діагностичного приладу і в цілому зменшує тривалість діагностичних операцій.

### 2.5.3 Спосіб діагностування технічного стану системи керування робочого об'єму аксіально-поршневих гідромашин

На основі аналізу існуючих способів діагностування системи керування робочого об'єму аксіально-поршневого гідронасоса нами розроблено спосіб 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-поршковий гідронасос встановлюють еталонний насос підживлення з запобіжним клапаном, а на аксіально-поршковий гідромотор еталонну клапанну коробку з перепускним клапаном.

Даний спосіб пояснюється графічно на (рис.2.10.), де зображено залежність тиску робочої рідини в дренажній магістралі за часом при діагностуванні аксіально-поршкової гідромашини запропонованим способом.

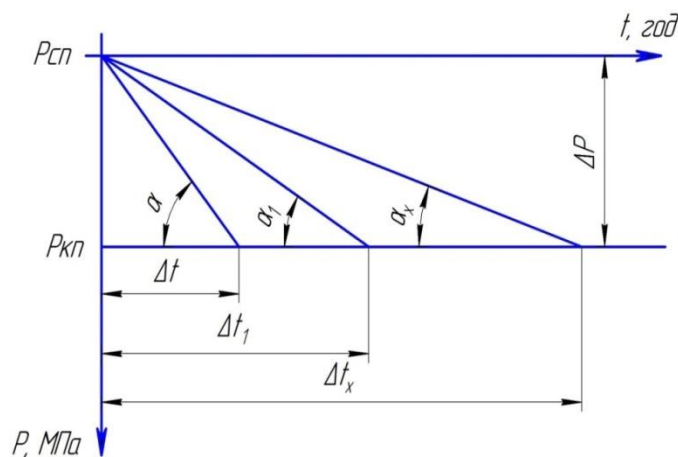


Рис. 2.10 – Залежність зміни тиску робочої рідини в системі керування робочого об'єму за часом, після миттєвого переміщення важеля

Нехай на новому аксіально-поршневому гідронасосі, за час  $\Delta t$ , після миттєвого переміщення важеля гідророзподільника в одне з крайніх положень, тиск змінився з величини тиску робочої рідини, яка обмежується запобіжним клапаном системи підживлення  $P_{cn}$ , до величини тиску в системі керування робочого об'єму, який обмежується спрацьовуванням перепускного клапана клапанної коробки  $P_{kn}$ , величина  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ , буде характеризувати зміну тиску робочої рідини в системі керування робочого об'єму аксіально-поршневого гідронасоса, яка знаходиться в функціональній залежності від структурних параметрів технічного стану деталей системи керування робочого об'єму, які закладені в його конструкцію і обумовлюють визначені об'ємні витрати.

Для аксіально-поршневого гідронасоса, який був у експлуатації, за час  $\Delta t_1$ , після миттєвого переміщення важеля гідророзподільника в одне з крайніх положень, тиск змінився з величини тиску робочої рідини, яка обмежується запобіжним клапаном системи підживлення  $P_{cn}$ , до величини тиску в системі керування робочого об'єму, який обмежується спрацьовуванням перепускного клапана клапанної коробки,  $P_{kn}$ , а величина  $\frac{\Delta P}{\Delta t_1}$  буде характеризувати зміну тиску робочої рідини в системі керування робочого об'єму аксіально-поршневого гідронасоса, яка знаходиться в функціональній залежності від об'ємних витрат робочої рідини, обумовлених технічним станом деталей системи керування робочого об'єму в залежності від умов експлуатації, при цьому градієнт  $tg\alpha = \frac{\Delta P}{\Delta t}$ , а  $tg\alpha_1 = \frac{\Delta P}{\Delta t_1}$  градієнт тиску робочої рідини в магістралі керування робочого об'єму за час, після миттєвого переміщення важеля гідророзподільника в одне з крайніх положень, становиться основним критерієм в аналізі технічного стану деталей системи керування робочого об'єму аксіально-поршневого гідронасоса.

За величиною  $\alpha_x$ , 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.

Проведені дослідження з обґрунтування ефективного способу діагностування технічного стану системи керування робочого об'єму аксіально-поршневих гідромашин гідравлічних трансмісій мобільних машин дозволяють зробити наступні висновки:

1. Запропонований спосіб діагностування технічного стану системи керування робочого об'єму аксіально-поршневого гідронасоса, 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, дає можливість 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.

2. Для забезпечення точності діагностування системи керування робочого об'єму аксіально-поршневого гідронасосу попередньо необхідно встановити еталонний насос підживлення з запобіжним клапаном, а на аксіально-поршневий гідромотор еталонну клапанну коробку з перепускним клапаном.

### 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.

1. 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).

2. 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 роботоздатність, 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.

3. 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 роботоздатність,

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).

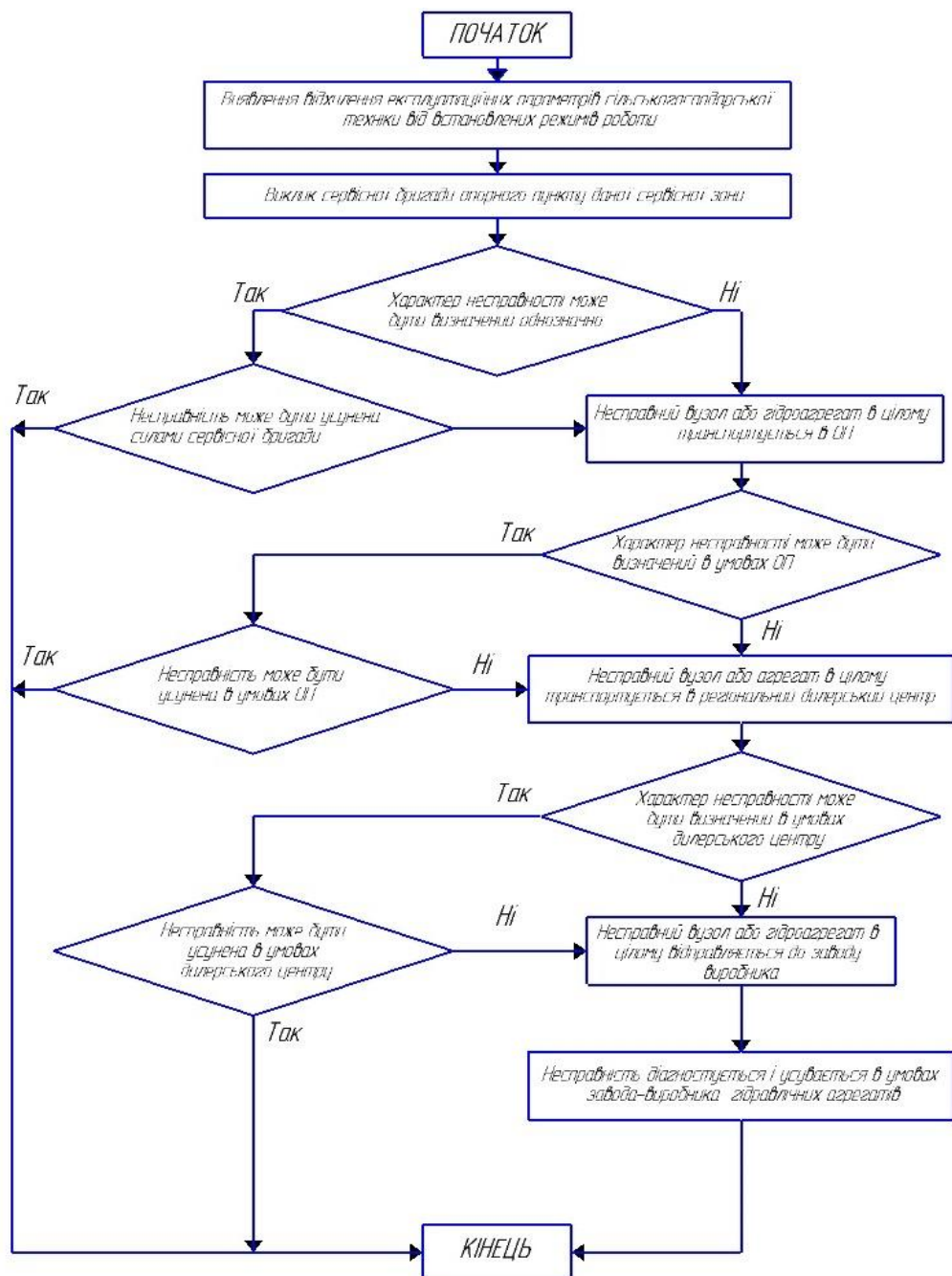


Рисунок 3.1 - Алгоритм співвідношення несправностей сільськогосподарської техніки з різними рівнями організації технічного

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

На першому етапі експериментальних досліджень по результатах 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 НПП-32-К встановлений на



Рисунок 3.3 – Загальний вид панелі керування і контролю показників стенда КИ-2815М

#### 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 замкнутих гідравлічних

систем і дає можливість підключати до них датчики тиску, манометри або інші пристрої.

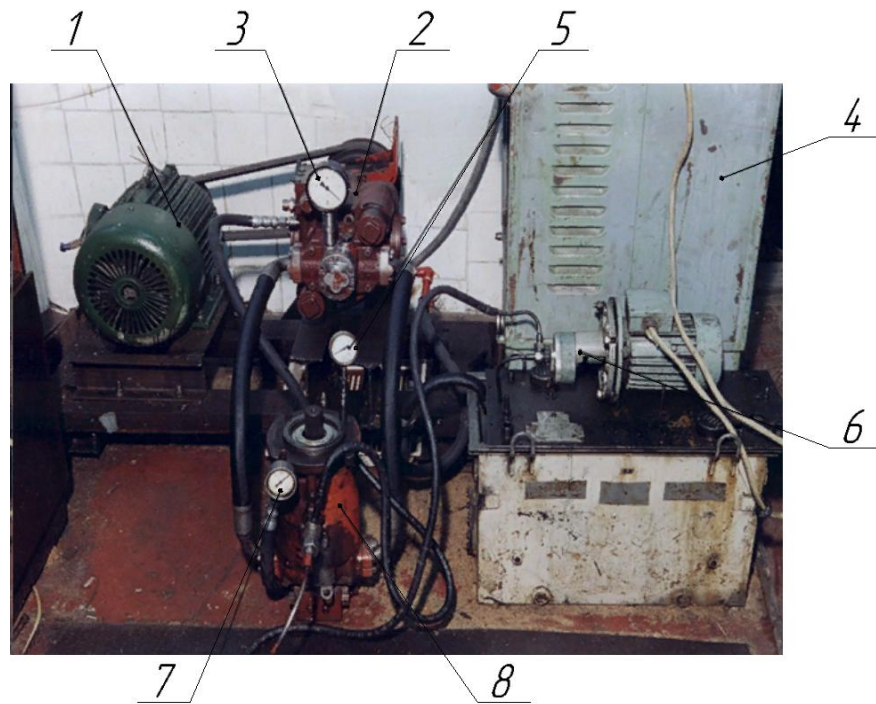


Рис. 3.4 – Загальний вид експериментальної установки: 1 – електродвигун; 2 – аксіально-поршневий насос; 3 – манометр 0 – 1,6 МПа; 4 – фільтрувальний блок; 5 – манометр 0 – 0,235 МПа; 6 – заправочна гідравлічна станція; 7 – манометр 0 – 25 МПа; 8 – аксіально-поршневий гідромотор.

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.

Для контролю переміщення рычага гідророзподільника керування робочим об'ємом гідронасоса здійснюється спеціальним пристроєм. Який дозволяє змінювати кут нахилу рычага від  $-30^{\circ}$  до  $+30^{\circ}$  відносно нейтрального положення і фіксувати його в будь-якому положенні, а також різко переміщати рычаг на будь-який фіксуємий кут в вказаному діапазоні.

На основі аналізу існуючих способів діагностування системи керування робочого об'єму аксіально-поршневого гідронасоса нами розроблено

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 моделювання 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 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. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

### 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                                                  | -                                                                  |

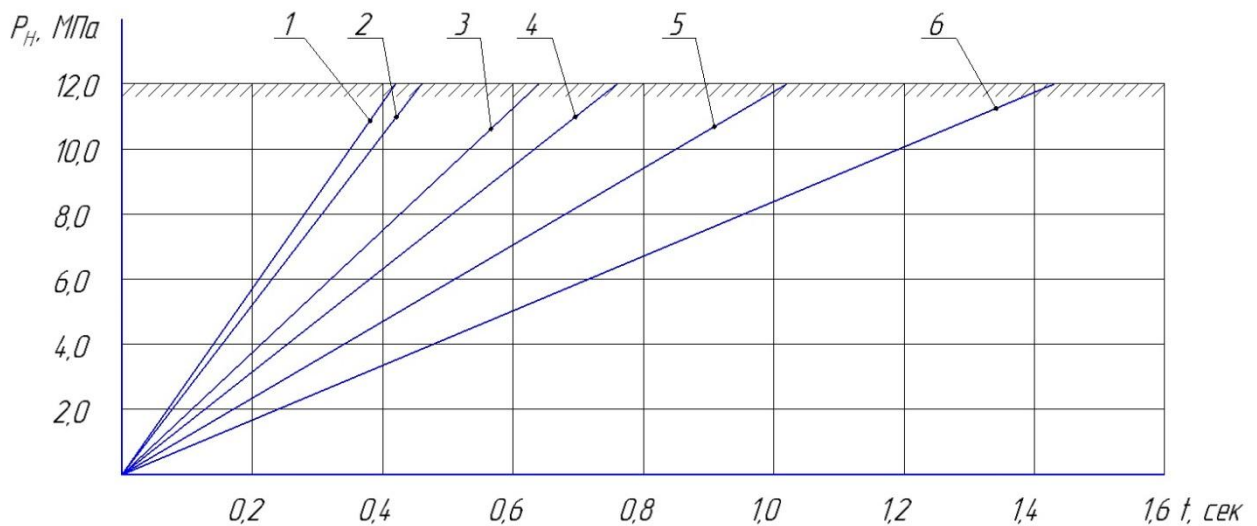


Рисунок 4.1 – Залежність між технічним станом шестеренного насоса і часом наростання тиску в нагнітаючій магістралі при значенні зазору: 1- 0,12 мм; 2- 0,24 мм; 3 – 0,36 мм; 4 – 0,48 мм; 5 – 0,60 мм; 6 – 0,72 мм; 7 – 0,84 мм

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

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.

Таблиця 4.2 – Результати досліджень залежності градієнту тиску робочої рідини у гідролінії сервомеханізму від сумарних втрат робочої рідини

| № п/п | Сумарні втрати робочої рідини,<br>$\sum Q_v, \text{см}^3/\text{с}$ | Тиск спрацювання запобіжного клапана насоса підживлення,<br>$\text{МПа}$ | Тиск спрацювання перепускного клапана клапанної коробки $\text{МПа}$ | Час від закриття запобіжно клапана $P_{зп}$ до відкриття клапана перепускного $P_{кп}, t, \text{с.}$ |
|-------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 50,0                                                               | 1,50                                                                     | 1,20                                                                 | 1,5                                                                                                  |
| 2     | 100,0                                                              | 1,50                                                                     | 1,20                                                                 | 1,7                                                                                                  |
| 3     | 200,0                                                              | 1,50                                                                     | 1,20                                                                 | 2,4                                                                                                  |
| 4     | 225,0                                                              | 1,50                                                                     | 1,20                                                                 | 2,8                                                                                                  |
| 5     | 300,0                                                              | 1,50                                                                     | 1,20                                                                 | 3,8                                                                                                  |
| 6     | 400,0                                                              | 1,50                                                                     | 1,20                                                                 | 5,2                                                                                                  |

Аналіз результатів експериментальних досліджень показує, що при сумарних втратах робочої рідини, які не перевищують граничні значення ( $Q < 225 \text{см}^3/\text{с}$ ), проміжок часу, після миттєвого переміщення ричага гідророзподільника керування робочим об'ємом гідронасоса знаходиться в інтервалі  $t = 1,5 \dots 2,8 \text{ с.}$  При цьому триразові дослідження для кожного значення сумарних витоків робочої рідини показали, що проміжок часу спрацювання клапанів системи керування робочим об'ємом не перевищує 3

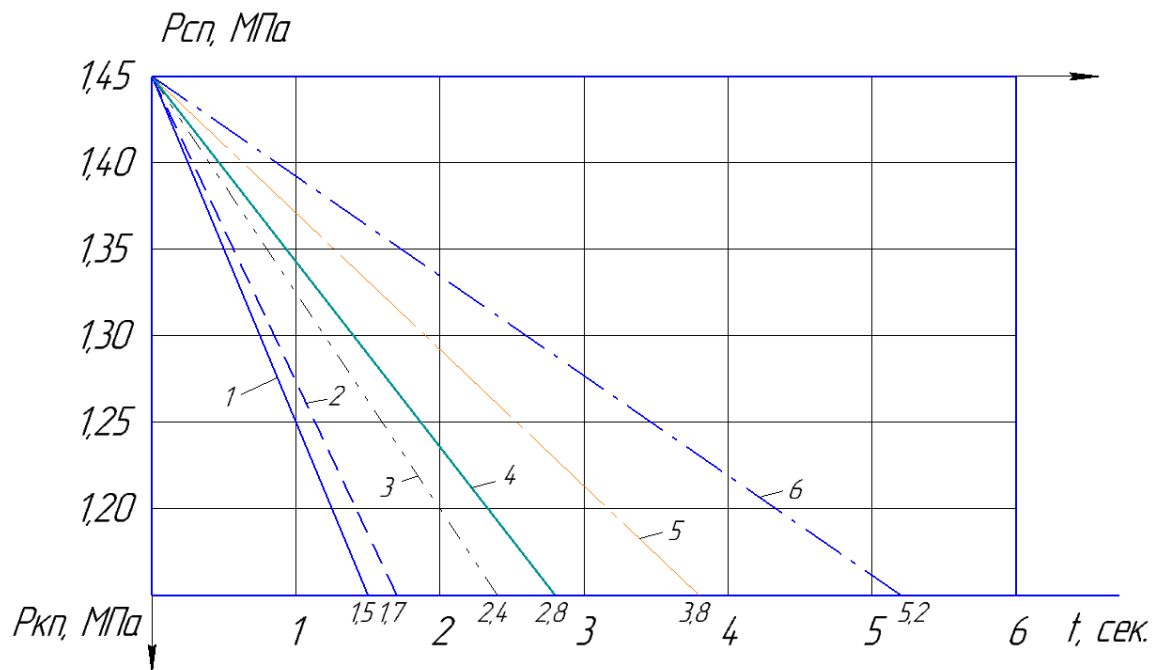


Рис.4.2 - Залежність зміни тиску робочої рідини в системі керування робочого об'єму за часом, після миттєвого переміщення важеля гідророзподільника з нейтрального положення до встановленого крайнього при сумарних витоках робочої рідини: 1. -  $Q_v=50 \text{ см}^3/\text{с}$ ; 2. -  $Q_v=100 \text{ см}^3/\text{с}$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

Дане значення можна вважати як кількісну оцінку для контролю технічного стану системи керування робочим об'ємом гідронасоса, коли він знаходиться в роботоздатному стані і його об'ємні витрати не досягли граничного значення  $Q < 225 \text{ см}^3/\text{с}$ .

Збільшення об'ємних втрат робочої рідини приводить до зростання часу на спрацювання клапанів і при витратах  $Q \geq 400 \text{ см}^3/\text{с}$  час ( $t$ ) складає  $t = 5,2 \text{ с}$ . Такий стан справи обумовлюється тим, що насос підживлення в основному працює на компенсацію об'ємних втрат робочої рідини і його продуктивності не достатньо для створення необхідного тиску в системі керування робочим об'ємом гідронасоса. В таких випадках тиск в системі керування являється випадковою величиною і переміщення сервопоршнів і відповідно кут нахилу люльки качаючого вузла гідронасоса також будуть мати якесь визначене значення, яке встановилося в системі керування. Для такого випадку при проведенні експериментальних досліджень поршні

самовільно переміщувалися в сторону зменшення робочого об'єму гідронасоса і не відтворювали положення задане оператором.

Таким чином результати експериментальних досліджень показали, що після миттєвого переміщення важеля гідророзподільника в одне з крайніх положень, тиск змінився з величини тиску робочої рідини, яка обмежується запобіжним клапаном системи підживлення  $P_{cn}$ , до величини тиску в системі керування робочого об'єму, який обмежується спрацьовуванням перепускного клапана клапанної коробки,  $P_{kn}$ , а величина  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$  буде характеризувати зміну тиску робочої рідини в системі керування робочого об'єму аксіально-поршневого гідронасосу, яка знаходиться в функціональній залежності від об'ємних витрат робочої рідини, обумовлених технічним станом деталей системи керування робочого об'єму в залежності від умов експлуатації, при цьому градієнт  $tg\alpha = \frac{\Delta P}{\Delta t}$ , становиться основним критерієм в аналізі технічного стану деталей системи керування робочого об'єму аксіально-поршневого гідронасоса.

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

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 метода випробування в гідро тестер DNM403.

Принципова схема застосування портативного цифрового гідротестера DNM403 для діагностування аксіально-поршневого насоса представлена на (рис.4.3).

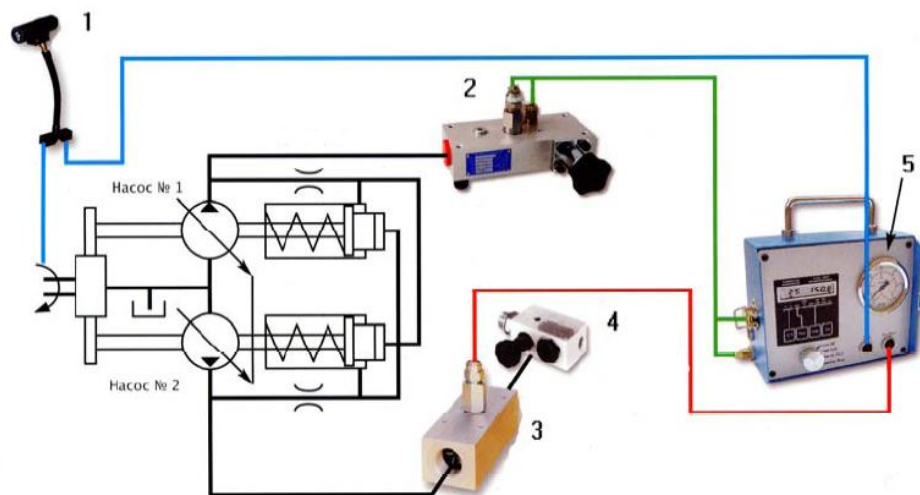


Рис. 4.3. – Принципова схема діагностування технічного стану двухпоточного аксіально-поршневого насоса: 1-фототахометр; 2- турбінний розхідомір з в стросним навантажуючим клапаном і запобіжною системою від випадкового підвищення тиску в обох напрямках потоку (PP); 3 – турбінний розхідомір з отвором для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

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.

3. При сумарних втратах робочої рідини, які не перевищують граничні значення ( $Q < 225 \text{ см}^3/\text{с}$ ), проміжок часу між закриттям запобіжного клапана

коробки, після миттєвого переміщення ричага гідророзподільника керування робочим об'ємом гідронасоса знаходиться в інтервалі  $t = 1,5 \dots 2,8$  с. Дане значення можна вважати як кількісну оцінку для контролю технічного стану системи керування робочим об'ємом гідронасоса, коли він знаходиться в роботоздатному стані і його об'ємні витрати не досягли граничного значення.

4. 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

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Охорона праці в товаристві з обмеженою відповідальністю «Сільськогосподарське підприємство Саланг Агро»

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

кольору, а вище пофарбовані фарбою білого кольору. В білий колір забарвлена і стеля приміщення. Підлога виконана із керамічної напільної плитки світло-коричньового кольору. Ворота пофарбовані в світло-синій колір, що в цілому відповідає вимогам згідно з ДБН В.2.2-28:2010 [32].

Параметри мікроклімату на ділянці 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 ділянки

| Кліматичний показник        | Холодна пора року             |            | Тепла пора року               |            |
|-----------------------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|------------|
|                             | допустима на постійному місті | оптимальна | допустима на постійному місті | оптимальна |
| Температура, °C             | 13-19                         | 14-18      | 15-26                         | 23-25      |
| Вологість, %                | 75                            | 65         | 70 при 24°C                   | 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 ділянки 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 ДСТУ 12.0.003: 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 кромки у деталей, вузлів, агрегатів, інструменту та ін.

Шкідливі виробничі фактори: наявність у повітрі парів бензину, мазуту, оливи, пилу та вібрації від роботи агрегатів, механізованих

стендів, та інструменту, працюючих агрегатів, що знаходяться на випробуванні.

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 дільниці з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем відповідно з ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 і ДСТУ12.1.003.

Таблиця 5.2 – ГДК та фактичні значення шкідливих речовин в повітрі дільниці з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем

| Найменування речовини | ГДК,<br>мг/м <sup>3</sup> | Клас<br>небезпеки | Фактичні<br>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 ДСТУ 12.1.004.

На дільниці з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем мають місце шуми і вібрації. Джерелами шуму та вібрацій на дільниці 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

В відповідності до ДБН В.2.5-28-2006 [39] на виробничих постах і робочих місцях дільниці повинне бути природне і штучне освітлення. Відділення з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем відноситься до розряду зорової роботи  $IV_e$  - середньої точності. Для якої найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення знаходиться в інтервалі - більше 0,5мм і до 1,0 мм. Нормована освітленість при загальному освітленні становить 200 лк. Сукупність нормованих величин показника осліпленості становить – 40 і коефіцієнта пульсації – 20%. Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості при верхньому і комбінованому освітленні дорівнює-2,4%, а для бокового освітлення -0,9% .

Проведений аналіз умов праці згідно з ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 дає можливість зробити висновок, що умови роботи на робочих місцях та постах дільниці 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 - Пожежнебезпечна», так як в приміщенні знаходяться легкозаймаючі, горючі і важкогорючі речовини і матеріали,

питоме пожежне навантаження кожного з яких перевищує  $180 \text{ МДж/м}^2$  на окремих ділянках площею не менше  $10 \text{ м}^2$ .

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 ділянці 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 дроту (клас пожежі - А).

### 5.3 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

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.

В зв'язку з тим, що проводиться технологічне перепланування виробничого підрозділу, проведемо перевірочні розрахунки вентиляції для дільниці.

Визначимо величину повітрообміну загальнообмінної вентиляції за формулою:

$$W_{\Pi} = V \cdot \kappa, \quad (5.1)$$

де  $W_{\Pi}$  – повітрообмін для загальнообмінної вентиляції,  $\text{м}^3/\text{год.}$ ;

$V$  – об'єм приміщення  $\text{м}^3$ ,  $V = 778,0 \text{ м}^3$ ;

$\kappa$  – кратність повітрообміну ( $\kappa = 2..3$ ).

Тоді

$$W_{\Pi} = 778,0 \cdot 2,7 \approx 2101 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Величина повітрообміну для місцевих витяжних вентиляційних установок розраховується за виразом:

$$W_3 = V_3 \cdot F \cdot 3600, \quad (5.2)$$

де  $W_3$  – повітрообмін для місцевої вентиляції типу «Зонт»  $\text{м}^3/\text{год.}$ ;

$V_3$  – середня швидкість в приймальній частині «Зонта»  $\text{м/с}$ , ( $V_3 = 0,15..0,25$ );

$F$  – площа приймальної частини «Зонта», (в відділенні передбачається два «Зонта»  $F_1 = 0,70 \text{ м}^2$ ,  $F_2 = 0,9 \text{ м}^2$ ).

Тоді повітрообмін для місцевої вентиляції визначиться:

$$W_3 = 0,2 \cdot 1,60 \cdot 3600 = 1152 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Визначимо потужність електродвигуна для приводу вентилятора за формулою:

$$N_e = \frac{(1,2..1,5) \cdot W_3 \cdot H_n}{3600 \cdot 10^2 \cdot \zeta_B \cdot \zeta_H}, \quad (5.3)$$

де  $H_n$  тиск повітряного потоку,  $H/m^2$ , ( $H_n = 68 H/m^2$ );

$\zeta_B$  – коефіцієнт корисної дії вентилятора,  $\zeta_B = 0,55$ ;

$\zeta_H$  – коефіцієнт корисної дії передач,  $\zeta_H = 0,4$ ;

1,2..1,5 - коефіцієнт, що враховує втрати напору повітряного потоку.

Тоді

$$N_e = \frac{1,4 \cdot 1152 \cdot 68}{3600 \cdot 0,55 \cdot 0,4 \cdot 100} \approx 1,4 \text{ кВт}$$

Таким чином для місцевих витяжних установок типу «Зонт» застосуємо електродвигун потужністю 1,4 кВт.

Організацію робочих місць зони капітального ремонту майстерні і безпосередньо дільниці з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем необхідно забезпечити ергономічними вимогами згідно з ДСТУ 12.2.033 [45].

Вибір (ЗІЗ) і розрахунок річної потреби в них виконується на основі НПАОП 0.00-3.07-09 «Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам загальних професій різних галузей промисловості» [46].

Робітники та службовці, що отримують засоби індивідуального захисту, повинні проходити спеціальний інструктаж з правил використання та перевірки справності засобів індивідуального захисту. Адміністрація підприємства повинна стежити за тим, щоб робітники користувалися отриманими засобами захисту, що являється запорукою покращенням умов праці робочого та попередженням їх травмування.

Небезпека виникнення пожежі на дільниці зменшена наступними розробленими заходами: електродвигуни закриті захисними кожухами, що

ремонтних операцій всі деталі проходять ретельне очищення від нафтопродуктів, і інших легкозаймистих матеріалів; паливно-мастильні матеріали зберігаються в спеціально обладнаних місцях далеко від ремонтних ділянок, і подаються туди тільки в міру необхідності; промаслене ганчір'я після використання збирається в металеві ящики з герметичними кришками, а в кінці зміни вивозиться з ділянки і спалюється в спеціально відведеному місці; статичний заряд відводиться в землю по мережі заземлення.

На випадок виникнення пожежі для його гасіння використовуються первинні засоби пожежогасіння відповідно до норм. Ці норми затверджують вищестоящі організації. Для гасіння пожеж використовується вода технічна, вогнегасники.

При пожежі, евакуація людей повинна проходити по справних шляхах евакуації. При цьому не допускається загородження проходів, переходів.

На дільниці з технічного сервісу агрегатів гідравлічних систем розроблені система протипожежного захисту та організаційно-технічні заходи, а саме – параметри евакуаційних шляхів та виходів, розташування пожежних сходів, кранів та гідрантів згідно з ДБН В.1.1.7-2002 [47].

Системи автоматичного гасіння пожежі та сигналізації в приміщенні відсутні. Тому для гасіння пожеж водою використовується пожежний водопровід. В приміщенні дільниці встановлений пожежний кран з брезентовим рукавом і відведенням. Зовні будівлі по його периметру в підземних колодязях розміщені пожежні гідранти.

#### 5.4 Вимоги з охорони праці при проведенні технічного обслуговування гідравлічних систем

**Загальні положення.** До самостійної роботи з ремонту, складання, випробування й обслуговування агрегатів гідравлічних систем допускаються особи, що пройшли професійне навчання (слюсарі-ремонтники, слюсарі

вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці по даному виду робіт і мають першу групу по електробезпеці. Повторний інструктаж з охорони праці проводиться не рідше одного разу в 3 місяця, інструктаж з електробезпеки - не рідше одного разу на рік.

При виконанні виробничих завдань із ремонту, випробуванню, складанню і обслуговуванню гідросистем на працівника можливий вплив наступних небезпечних і шкідливих факторів:

*фізичних* - гострі краї, заусениці, шорсткість на поверхнях інструменту обладнання, поразка електричним струмом при роботі на випробувальних стендах, підвищений шум і вібрація, машини та механізми, які рухаються, рухливі частини встаткування, вироби що пересуваються, викиди мастила під тиском через розрив гідросистеми;

*хімічних* - наявність аерозолів і рідин, що можуть викликати алергійні наслідки, а також поразка внутрішніх органів і шкірні захворювання.

Працівник повинен негайно сповіщати свого або вищого керівника про нещасний випадок, що відбувся на виробництві або про погіршення стану свого здоров'я, про несправності встаткування, пристосувань і інструмента до початку роботи або під час робочого дня після виявлення несправності.

***Вимоги охорони праці перед початком роботи.*** Перед початком роботи робочий повинен одягти чисті і справні засоби індивідуального захисту. Захисні окуляри повинні бути підібрані по розміру, чистими і не мати тріщин та подряпин.

Робоче місце повинне бути оснащене необхідним устаткуванням, пристосуваннями і інструментом. Проходи бути вільними.

Необхідно провести перевірку зовнішнім оглядом справності обладнання і місцевого освітлення, вентиляції, відсутності оголених кінців електропроводки, наявності на своїх місцях огорожень та інших засобів колективного захисту.

Матеріали, деталі, вироби, вузли трубопроводів, які використовуються в роботі, повинні бути розміщені безпечно та зручно, не перекриваючи

вимірювальних приладів (манометрів, витратомірів, термометрів, частотомірів).

**Вимоги охорони праці під час виконання роботи.** При виконанні робіт зі складання, випробування, ремонту й обслуговуванню агрегатів гідравлічних систем, з використанням технологічного обладнання, необхідно виконувати вимоги, які викладені в експлуатаційній документації заводу-виготовлювача, а також інструкції з охорони праці.

Необхідно деталі, вузли і елементи гідросистем в процесі роботи складувати в стійкому положенні. Пробний пуск гідравлічної системи слід робити тільки після перевірки всіх монтажних робіт. Перед запуском гідронасоса після закінчення його ремонту і монтажу слід переконатися в правильності з'єднання трубопроводів та гнучких шлангів.

Отвори штуцерів і напірних рукавів, через які можливе витікання робочої рідини при перемиканнях, у тому числі помилкових, повинні бути спрямовані убік або вниз від перевіряючого і при необхідності прикриті, від розбризкування робочої рідини, спеціальними щитками.

У процесі роботи, перед початком випробування системи і обладнання слід виконати наступні вимоги: установити органи керування у вихідні позиції; максимально розслабити регулюючі пружини запобіжних клапанів; перевірити надійність закріплення виробу в установочних пристосуваннях; перевірити наявність і надійність закріплення передбачених огорожень; зовнішнім оглядом перевірити стан манометрів і наявність пломб; перевірити наявність заземлення електроустаткування; перевірити правильність обертання насосів короткочасним включенням; перевірити відсутність підтікання робочої рідини в гідравлічній системі. При випробуваннях під час проведення контролю з'єднань і стиків виробу, який перебуває під тиском, необхідно використовувати щиток для захисту обличчя.

При проведенні випробувань систему відключити в наступних випадках: при руйнуванні або загорянні її елемента; при спрацьовуванні аварійної сигналізації; при відмові вимірювальних приладів; при зростанні

витоків робочої рідини, які перевищують норму, установлену в технічній характеристиці; з появою підвищеного шуму, стукоту, вібрації.

Забороняється усувати витoki, підтягувати болти, гайки і інші з'єднання на гідросистемі, яка перебуває під тиском і під час її роботи.

Перед ремонтом або демонтажем гідросистеми необхідно: повністю розвантажити систему від тиску, у тому числі і ділянки, які відсічені гідрозамками, розподільниками; відключити систему від енергоджерела.

**Вимоги охорони праці по закінченню роботи.** По закінченню роботи необхідно зібрати інструмент і пристрої, привести їх у належний порядок і скласти у відведене для них місце.

Знеструмити установку, і вивісити плакат шляхом «Не включати! Працюють люди!», та провести очищення установки, а при необхідності змащення. Використаний протиральний матеріал зібрати в металевий ящик, який закривається кришкою і слідкувати за його видаленням. Скласти спецодяг у спеціально відведене місце, вимити з милом обличчя і руки теплою водою або прийняти душ.

При передачі зміни повідомити змінника або майстра про всі несправності в роботі обладнання і про вжиті заходи по їх усуненню.

## 5.5 Дії у надзвичайних ситуаціях. Порядок дій у разі пожежі.

Для випадку пожежонебезпечної ситуації на території майстерні чи на прилеглий до неї території розроблено регламент по усуненню загрози для життя.

1. У випадку виявлення пожежі кожен робітник зобов'язаний: негайно повідомити про це по телефону пожежну охорону (101). При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище; прийняти заходи до евакуації людей, локалізації пожежі та збереження матеріальних цінностей; повідомити директора про

рятувальні служби (медичну, газорятувальну тощо); у разі загрози життю людей негайно організувати їх рятування (евакуацію), використовуючи для цього наявні сили і засоби; здійснити в разі необхідності відключення електроенергії, зупинення транспортуючих пристроїв, агрегатів, апаратів, зупинку систем вентиляції в аварійному та суміжних з ним і здійснити інші заходи, що сприяють запобіганню розвитку пожежі і задимлення будівлі; організувати зустріч підрозділів пожежної охорони.

2. З прибуттям пожежних підрозділів повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх на територію об'єкта, за винятком випадків, коли відповідними державними нормативними актами встановлений особливий порядок допуску.

3. Після прибуття пожежного підрозділу адміністрація та технічний персонал підприємства, будівлі або споруди зобов'язані брати участь у консультуванні керівника гасіння про конструктивні і технологічні особливості об'єкта, де виникла пожежа, прилеглих будівель та пристроїв, організувати залучення до вжиття необхідних заходів, пов'язаних з ліквідацією пожежі та попередженням її розвитку, сил і засобів об'єкта.

#### Висновки по розділу.

1. 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.

2. Детальний розгляд заходів з охорони праці при проведенні робіт зі складання, випробування, ремонту і обслуговування агрегатів гідравлічних систем, дав в можливість виявити шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які можуть мати місце і вказати на заходи, які дають можливість їх усунути, що також покращить умови роботи та попередить травматизм на робочому місці.

## 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Економічна оцінка проектних рішень розраховується з врахуванням робіт з технічного сервісу гідравлічних агрегатів мобільних машин.

За результатами проведених досліджень виникає необхідність провести технологічне переоснащення сервісного підрозділу з технічного обслуговування і діагностування гідравлічних агрегатів.

Техніко-економічну оцінку виконаних дій будемо визначати з врахуванням того, що в процесі технічного переозброєння будівельні роботи не велись, а капітальні вкладення визначаються вартістю придбаного додаткового обладнання.

Розрахуємо поточні витрати на роботи з технічного сервісу гідравлічних агрегатів, які складаються із заробітної плати з нарахуваннями, витрат на амортизацію приміщення та обладнання, витрат на запасні частини, вузли і ремонтні матеріали, електроенергію, паливо та інше.

Для впровадження запропонованих заходів необхідно придбати основне обладнання яке наводиться в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Марка та вартість додаткового основного обладнання

| № п/п | Найменування обладнання                                                 | Тип, марка            | К-ть | Вартість, грн. |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------|----------------|
| 1     | Стенд для випробовування та контролю аксіально-поршневих гідроагрегатів | Власного виготовлення | 1    | 25 000         |
| 2     | Установка для внутрішньої промивки агрегатів                            | ОМ-2287               | 1    | 18 000         |
| 3     | Стенд для випробовування та контролю гідравлічних агрегатів             | КИ-4815М              | 1    | 45000          |
| 4     | Комплект майстра - діагноста                                            | ОРГ-4679              | 1    | 12000          |
| -     | <b>Всього</b>                                                           | -                     | 4    | 100000         |

Вихідні данні для обґрунтування економічної ефективності роботи наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Вихідні данні для розрахунку проекту

| Показники                                                      | Значення показників |          |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|----------|
|                                                                | базові              | проектні |
| Річна програма техн. обслуговування, шт.                       | 500                 | 900      |
| Кількість слюсарів, осіб                                       | 1                   | 2        |
| Середньомісячна заробітна плата робітника, грн.                | 4500                | 5500     |
| Вартість діючого обладнання для проведення обслуговувань, грн. | 160000              | -        |
| Вартість придбаного обладнання, грн.                           | -                   | 100000   |
| Річні витрати електроенергії, кВт/год                          | 26000               | 37000    |
| Ціна 1 кВт/год. електроенергії, грн.                           | 1,96                | 1,96     |
| Вартість од. діагностування, грн.                              | 650                 | 650      |

Для проведення економічної оцінки роботи необхідно визначити наступні показники:

1. Вартість проведених технічних обслуговувань.

Вартість проведених технічних обслуговувань розраховується з врахуванням річної програми технічних обслуговувань насосів та вартості одного технічного обслуговування за виразом:

$$B_p = \eta \cdot B_{op}, \quad (6.1)$$

де  $\eta^B, \eta^П$  - відповідно базова і проектна річна програма технічного обслуговування ( $\eta^B = 500 \text{обсл.}$ ,  $\eta^П = 900 \text{обсл.}$ );

$B_{op}$  - вартість одного обслуговування, грн.;

$$B_p^B = 500 \cdot 650 = 325000 \text{грн.}$$

$$B_p^П = 900 \cdot 650 = 585000 \text{грн.}$$

2. Експлуатаційні витрати (ЕВ) визначаються за виразом:

$$EB = 3\Pi + A + B_{ел} + B_{рем} + IB, \quad (6.2)$$

$A$  – амортизаційні відрахування, грн.;

$B_{\text{ел}}$  – вартість електроенергії, грн.;

$B_{\text{рем}}$  - витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування приміщення та обладнання, грн.;

$IB$  - інші витрати складають 3% від загальної суми експлуатаційних витрат, грн.

Заробітна плата основних робочих для базового і проектного варіанту з нарахуваннями визначається за виразом:

$$ЗП = ЗП_{\text{ср}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot 12 + ЗП_{\text{н}}, \quad (6.3)$$

де  $ЗП_{\text{ср}}$  - середньомісячна заробітна плата робітника, грн.

( $ЗП_{\text{ср}}^{\text{б}} = 4500 \text{ грн.}$ ,  $ЗП_{\text{ср}}^{\text{п}} = 5500 \text{ грн.}$ );

$K_{\text{пр}}$  - кількість основних робітників, чол. (для базового варіанту  $K_{\text{пр}}^{\text{б}} = 1 \text{ чол.}$ , для проектного варіанту  $K_{\text{пр}}^{\text{п}} = 2 \text{ чол.}$ );

$ЗП_{\text{н}}$  - нарахування на зарплату, грн. ( $ЗП_{\text{н}} = 0,22 \cdot ЗП$ ).

$$ЗП^{\text{б}} = 4500 \cdot 1 \cdot 12 = 54000 \text{ грн.}$$

$$ЗП^{\text{п}} = 5500 \cdot 2 \cdot 12 = 132000 \text{ грн.}$$

Відповідно нарахування на зарплату визначаються:

$$ЗП_{\text{н}}^{\text{б}} = 0,22 \cdot 54000 = 11880,0 \text{ грн.}$$

$$ЗП_{\text{н}}^{\text{п}} = 0,22 \cdot 132000 = 29040,0 \text{ грн.}$$

Тоді заробітна плата з нарахуваннями буде становити:

$$ЗП^{\text{б}} = 54000 + 11880 = 65880,0 \text{ грн.}$$

$$ЗП^{\text{п}} = 132000,0 + 29040,0 = 161040,0 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування включають в себе витрати на амортизацію обладнання і приміщення.

Витрати на амортизацію обладнання розраховуються за формулою:

$$A_{OB} = \frac{B_{OB} \cdot H_A}{100}, \quad (6.4)$$

де  $B_{OB}$  – балансова вартість обладнання, грн. (базова -  $B_{OB}^B = 160000 \text{ грн}$ , проектна -  $B_{OB}^П = B_{OB}^П + B_{OB}^B = 100000 + 160000 = 260000 \text{ грн.}$ );  
 $H_A$  – норма амортизації, % ( $H_A = 21,93\%$ ).

$$A_{OB}^B = \frac{160000 \cdot 21,93}{100} = 35088,0 \text{ грн.}$$

$$A_{OB}^П = \frac{260000 \cdot 21,93}{100} = 57018,0 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію будівлі визначаються за формулою:

$$A_B = \frac{B_B \cdot H_B}{100}, \quad (6.5)$$

де  $B_B$  – балансова вартість будівлі, грн. ( $B_B = 950000 \text{ грн.}$ , як для базового так і для проектного варіанту);

$H_B$  – нормативний коефіцієнт амортизаційних відрахувань на приміщення, ( $H_B = 7,76\%$ ).

Тоді

$$A_B = \frac{950000 \cdot 7,76}{100} = 73720,0 \text{ грн.}$$

Загальна вартість амортизаційних відрахувань складе:

$$A = A_{OB} + A_B, \quad (6.6)$$

Тоді

для базового варіанту

$$A^B = 35088,0 + 73720,0 = 108808,0 \text{ грн.}$$

і проектного

$$A^P = 57018 + 73720 = 130738,0 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію визначаються, виходячи із загальної потужності обладнання і часу його роботи на рік, а також потужності освітлювальних приладів, які працюють на протязі всього робочого дня за виразом:

$$B_{EL} = Q_{EL} + C_{EL}, \quad (6.7)$$

де  $Q_{EL}$  - річні витрати електроенергії,  $кВт/год.$  (для базового варіанту  $Q_{EL}^B = 26000 кВт/год.$ , для проектного варіанту  $Q_{EL}^P = 37000 кВт/год.$ );

$C_{EL}$  - ціна 1 кВт/год. електроенергії, грн. ( $C_{EL} = 1,96 \text{ грн.}$ ).

$$B_{EL}^B = 26000 \cdot 1,96 = 50960,0 \text{ грн.}$$

$$B_{EL}^P = 37000 \cdot 1,96 = 72520,0 \text{ грн.}$$

Витрати ( $B_{РЕМ}$ ) на поточний ремонт (ПТ) та технічне обслуговування (ТО) складають 30% від суми амортизаційних відрахувань і визначаються за виразом:

$$B_{рем} = \frac{A \cdot 30}{100}, \quad (6.8)$$

Тоді

$$B_{\text{рем.}}^{\text{Б}} = \frac{108808 \cdot 30}{100} = 32642,4 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{рем.}}^{\text{П}} = \frac{130738 \cdot 30}{100} = 39221,4 \text{ грн.}$$

Інші витрати (ІВ) включають в себе витрати на спецодяг, інструменти, заходи з охорони праці, протипожежні заходи і складають 3% від загальної суми експлуатаційних витрат:

$$IB = \frac{3П + А + B_{\text{ЕЛ}} + B_{\text{РЕМ}} \cdot 3}{100}, \quad (6.9)$$

$$IB^{\text{Б}} = \frac{65880,0 + 108808,0 + 50960,0 + 32642,4 \cdot 3}{100} = 7748,7 \text{ грн.}$$

$$IB^{\text{П}} = \frac{161040,0 + 130738,0 + 72520,0 + 39221,4 \cdot 3}{100} = 12105,6 \text{ грн.}$$

Тоді експлуатаційні витрати згідно виразу (6.2) складуть:

$$EB^{\text{Б}} = 65880,0 + 108808,0 + 50960,0 + 32642,4 + 7748,7 = 266039,1 \text{ грн.}$$

$$EB^{\text{П}} = 161040,0 + 130738,0 + 72520,0 + 39221,4 + 12105,6 = 415625,0 \text{ грн.}$$

3. Повна собівартість (ПС) проведених технічних обслуговувань визначиться за виразом:

$$ПС = EB \cdot 1,02, \quad (6.10)$$

$$ПС^{\text{Б}} = 266039,1 \cdot 1,02 = 271359,9 \text{ грн.}$$

$$ПС^{\text{П}} = 415625,0 \cdot 1,02 = 423937,5 \text{ грн.}$$

4. Загальний прибуток (П) визначиться за виразом:

$$П = B_{\text{ПР}} - ПС, \quad (6.11)$$

$$\Pi'' = 585000 - 423937,5 = 161062,5 \text{ грн.}$$

5. Рівень рентабельності (P) буде дорівнювати:

$$P = \frac{\Pi}{\Pi C} \cdot 100\%, \quad (6.12)$$

$$P^B = \frac{53640,1}{271359,9} \cdot 100\% = 19,7\%$$

$$P'' = \frac{161062,5}{423937,5} \cdot 100\% = 38,0\%$$

6. Додаткові капітальні вкладення (Б) визначаються:

$$B = B_{\text{пр}} - B_{\text{д}}, \quad (6.13)$$

де  $B_{\text{пр}}$  - вартість обладнання придбаного і діючого, грн.,

$$(\text{ } B_{\text{пр}} = 260000 \text{ грн.});$$

$B_{\text{д}}$  - вартість діючого обладнання, грн., ( $B_{\text{д}} = 160000 \text{ грн.}$ ).

$$B = 260000 - 160000 = 100000 \text{ грн.}$$

7. Річний економічний ефект ( $E_p$ ) визначиться за виразом:

$$E_p = \Pi'' - \Pi^B, \quad (6.14)$$

$$E_p = 161062,5 - 53640,5 = 107422,4 \text{ грн.}$$

8. Термін окупності додаткових вкладень ( $T_o$ ) буде дорівнювати:

$$T_o = \frac{B}{E_p}, \quad (6.15)$$

$$T_o = \frac{100000}{107422,4} = 0,9 \text{ року}$$

Таблиця 6.3 – Техніко-економічні показники впроваджуваного проекту

| Показники                                      | Базовий<br>варіант | Проектний<br>варіант |
|------------------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Вид робіт                                      | Техн. обслуг.      | Техн. обслуг.        |
| Обсяг робіт, од.                               | 500                | 900                  |
| Кількість основних робітників, осіб            | 1                  | 2                    |
| Обсяг додаткових капіталовкладень, грн.        | -                  | 100000               |
| Експлуатаційні витрати всього, грн.:           | 266039,1           | 415625,0             |
| - заробітна плата з нарахуваннями,<br>грн.     | 65880,0            | 161040,0             |
| - амортизаційні відрахування, грн.             | 108808,0           | 130738,0             |
| - вартість електроенергії, грн.                | 50960,0            | 72520,0              |
| - витрати на ПР та ТО, грн.                    | 32642,4            | 39221,4              |
| - інші витрати, грн.                           | 7748,7             | 12105,6              |
| Повна собівартість продукції, грн.             | 271359,9           | 423937,5             |
| Загальний прибуток, грн.                       | 53640,1            | 161062,5             |
| Річний економічний ефект, грн.                 | -                  | 107422,4             |
| Рівень рентабельності, %                       | 19,7               | 38,0                 |
| Термін окупності додаткових вкладень,<br>років | -                  | 0,9                  |

## Висновок по розділу.

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.

## ВИСНОВКИ

1. 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.

2. Найменшу ремонтну технологічність ( $P_{p.m.}^0 = 0,50$ ) має важіль керування гідророзподільника, що обумовлюється конструктивними особливостями даної деталі (зношується сферична поверхня важеля керування, відновлення якої характеризується складністю механічних операцій).

3. Найбільший показник ймовірності не придатності деталі припадає на приставне дно, який становить  $P_{н.п} = 0,37$ , що обумовлюється конструктивними особливостями деталі, а також умовами роботи, які спричиняють появу на робочій поверхні гідроабразивних рисок різної глибини і профілю, ерозійних каналів між зонами високого і низького тиску, слідів схоплювання поверхонь деталей спряження «розподільник-приставне дно».

4. 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.

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

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. При сумарних втратах робочої рідини, які не перевищують граничні значення ( $Q < 225 \text{ см}^3/\text{с}$ ), проміжок часу між закриттям запобіжного клапана насоса підживлення та початком відкриття перепускного клапану клапанної коробки, після миттєвого переміщення ричага гідророзподільника керування робочим об'ємом гідронасоса знаходиться в інтервалі  $t = 1,5 \dots 2,8 \text{ с}$ . Дане значення можна вважати як кількісну оцінку для контролю технічного стану системи керування робочим об'ємом гідронасоса, коли він знаходиться в роботоздатному стані і його об'ємні витрати не досягли граничного значення.

10. Реалізація гідротестера DNM403 дає можливість забезпечити максимальну точність вимірювання для широкого діапазону розходу робочої

високий технічний рівень і ефективність технічного діагностування гідравлічного приводу на місці експлуатації машин.

11. 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.

12. 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 ЛІТЕРАТУРИ

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

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

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