

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА**  
Інженерно–технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту  
“    ”    2025 р.  
Зав. кафедри професор  
(науковий ступінь, вчене звання)  
В.В.Дідур  
(підпис)    (ініціали, прізвище)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломної роботи

магістр

(освітній рівень)

**тема роботи: «Підвищення експлуатаційної надійності  
сільськогосподарської техніки шляхом обґрунтування показників її  
безвідмовності і довговічності»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім  
освітньої програми магістр  
спеціальності Н7  
«Агроінженерія»  
Розборський Тарас Андрійович  
(прізвище та ініціали)

Керівник: професор Дідур В.В.  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА  
Інженерно–технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії

Освітня програма \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ Н7 «Агроінженерія» \_\_\_\_\_  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач \_\_\_\_\_ кафедри \_\_\_\_\_

В.В. Дідур

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

студенту \_\_\_\_\_ **Розборський Тарас Андрійович** \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення експлуатаційної надійності сільськогосподарської техніки шляхом обґрунтування показників її безвідмовності і довговічності»

керівник роботи \_\_\_\_\_ професор Дідур В.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“14” листопада 2025 р. № 01–06/261 \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 25.11.2025 р. \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: способи зниження коливань машинно–тракторних агрегатів; літературні джерела; шляхи підвищення тягово–зчіпних показників колісних тракторів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

- підвищити експлуатаційну надійність сільськогосподарської техніки шляхом обґрунтування показників її безвідмовності і довговічності;

- розглянути сучасний стан машинно–тракторного парку сільськогосподарських підприємств;

- проаналізувати рівень технічної експлуатації та надійності техніки;

- обґрунтувати актуальність досліджень, спрямованих на підвищення їх експлуатаційної надійності;

- провести аналіз основних факторів, що впливають на безвідмовність і довговічність тракторів та зернозбиральних комбайнів;

- розглянути показники надійності та методи їх визначення, а також оцінити вплив умов експлуатації, технічного обслуговування та якості ремонту на працездатність техніки;

- розробити програму та методику проведення досліджень;

- проаналізувати причини та характер відмов сільськогосподарської техніки, їх вплив на ефективність використання машинного парку;

- проведено комплексну оцінку рівня експлуатаційної надійності тракторів та комбайнів і запропоновано обґрунтовану стратегію технічного обслуговування й ремонту для підвищення їх безвідмовності та довговічності;

- розробити питання охорони праці;  
 - провести техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження запропонованих заходів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи; мета і завдання дослідження; конструктивне рішення встановлення здвоєних коліс на тракторі ХТЗ-242К; показники економічної ефективності;

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                           | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|----------------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                                  |                                           | завдання видав | Завдання прийняв |
| Охорона праці                    | Прокопенко Е.В.,<br>доцент                |                |                  |
| Техніко-економічне обґрунтування | Дідур В.В.,<br>професор                   |                |                  |

7. Дата видачі завдання 23 квітня 2025 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи                             | Строк виконання етапів роботи | При-мітка |
|-------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 1.    | Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу | 30.04.2025 р.                 |           |
| 2.    | Розділ 1.                                                 | 14.05.2025 р.                 |           |
| 3.    | Розділ 2.                                                 | 28.05.2025 р.                 |           |
| 4.    | Розділ 3.                                                 | 11.06.2025 р.                 |           |
| 5.    | Розділ 4.                                                 | 25.06.2025 р.                 |           |
| 6.    | Розділ 5.                                                 | 24.09.2025 р.                 |           |
| 7.    | Виконання ілюстративної частини роботи                    | 23.10.2025 р.                 |           |
| 8.    | Представлення роботи керівнику на перевірку               | 25.11.2025 р.                 |           |

Студент \_\_\_\_\_  
 ( підпис )

Розборський Т.А.  
 (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
 ( підпис )

Дідур В.В.  
 (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

У даній дипломній роботі розглянуто питання підвищення експлуатаційної надійності сільськогосподарської техніки шляхом обґрунтування показників її безвідмовності і довговічності. У першому розділі розглянуто сучасний стан машинно–тракторного парку сільськогосподарських підприємств, проаналізовано рівень технічної експлуатації та надійності техніки, а також охарактеризовано проблеми, пов'язані з безвідмовністю та довговічністю машин. Обґрунтовано актуальність досліджень, спрямованих на підвищення їх експлуатаційної надійності.

У другому розділі проведено аналіз основних факторів, що впливають на безвідмовність і довговічність тракторів та зернозбиральних комбайнів. Розглянуто показники надійності та методи їх визначення, а також оцінено вплив умов експлуатації, технічного обслуговування та якості ремонту на працездатність техніки.

У третьому розділі подано програму та методику проведення досліджень. Описано методи збору й обробки первинної інформації, способи оцінки втрат від простоїв машин, а також застосування експертних методів для визначення показників безвідмовності та довговічності.

Проаналізовано причини та характер відмов сільськогосподарської техніки, їх вплив на ефективність використання машинного парку. Проведено комплексну оцінку рівня експлуатаційної надійності тракторів та комбайнів і запропоновано обґрунтовану стратегію технічного обслуговування й ремонту для підвищення їх безвідмовності та довговічності.

У четвертому розділі висвітлено питання охорони праці та забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації, технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарських машин.

У п'ятому розділі наведено техніко–економічні розрахунки ефективності впровадження запропонованих заходів, спрямованих на підвищення експлуатаційної надійності сільськогосподарської техніки.

Ключові слова: експлуатаційна надійність, безвідмовність, довговічність, машинно–тракторний парк, технічне обслуговування, ремонт, стратегія підвищення надійності, показники надійності.

## ЗМІСТ

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                         | 7  |
| 1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ .....                                                                  | 9  |
| 1.1 Машинно–тракторний парк сільськогосподарських підприємств на сучасному етапі розвитку АПК..... | 9  |
| 1.2 Характеристика надійності машин .....                                                          | 12 |
| 1.3 Технічний сервіс сільськогосподарських машин .....                                             | 17 |
| 1.4 Зниження втрат від дефіциту техніки.....                                                       | 22 |
| 1.5 Мета та задачі досліджень .....                                                                | 27 |
| 2 ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА.....                                                                          | 29 |
| 2.1 Показники безвідмовності і довговічності техніки.....                                          | 29 |
| 2.2 Показники ремонтпридатності трактора на прикладі гідравлічної системи                          | 32 |
| 3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....                                                                         | 41 |
| 3.1 Програма роботи.....                                                                           | 41 |
| 3.2 Методи збору та обробки первинної інформації.....                                              | 41 |
| 3.3 Визначення збитків від простоїв техніки .....                                                  | 46 |
| 3.4 Застосування експертних оцінок.....                                                            | 50 |
| 3.5 Відмови тракторів і комбайнів та їх значення для споживача.....                                | 52 |
| 3.6 Комплексна оцінка рівня технічної експлуатації тракторів та зернозбиральних комбайнів .....    | 55 |
| 3.7 Обґрунтування раціональної стратегії ремонтів тракторів.....                                   | 64 |
| 3.8 Техніко–економічна модель відновлення машин у процесі експлуатації .....                       | 68 |
| 3.9 Розроблення річного графіка завантаження майстерні .....                                       | 78 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....                                                                              | 83 |
| 4.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки в ремонтній майстерні .....                              | 83 |
| 4.2 Заходи з поліпшення умов праці в майстерні.....                                                | 84 |
| 4.3 Вимоги з охорони праці для слюсаря з ремонту та обслуговування паливної апаратури.....         | 87 |
| 4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Евакуація населення .....                                    | 88 |
| 5 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ .....                                                                 | 89 |

|                                                               |                                        |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                                                               | 6                                      |
| 5.1 Вихідні дані для економічного обґрунтування проекту ..... | 89                                     |
| ВИСНОВОК .....                                                | 97                                     |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                              | 99                                     |
| ДОДАТКИ .....                                                 | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |

## ВСТУП

У сучасних умовах сільське господарство України перебуває у складному становищі, що особливо позначається на рівні механізації та електрифікації аграрного сектору. Через різке скорочення постачання техніки, спричинене браком фінансових ресурсів у сільськогосподарських виробників, значно зросло навантаження на наявні машини та агрегати. У найближчій перспективі істотне збільшення виробництва техніки виглядає малоімовірним. Також створення системи прокатних пунктів не дало очікуваних результатів через низький рівень надійності машин: складну техніку неохоче передають у користування іншим господарствам, оскільки після короткочасної експлуатації вона часто потребує тривалого ремонту.

Перехід агропромислового комплексу України до ринкових умов господарювання на тлі гострого дефіциту сільськогосподарських машин, їх зношеності та зниження надійності висуває на перший план завдання забезпечення інтенсивного використання наявного машинно–тракторного парку. Ефективно вирішити це завдання можуть спеціалізовані підприємства, що надають комплексні послуги з технічного сервісу, ремонту та обслуговування техніки для агровиробників.

Важливим чинником, що вплинув на ситуацію, стало також розпаювання колективних господарств та утворення великої кількості фермерських і приватних підприємств, які часто не мають достатньої кількості технічних засобів, а отже, не можуть повноцінно функціонувати. В умовах становлення ринкових відносин проблема підвищення ефективності використання складних сільськогосподарських машин набуває особливого значення. Для її вирішення необхідно виявити та удосконалити фактори, які визначають рівень використання техніки, а також розробити науково обґрунтовані заходи щодо їх покращення.

Дана робота присвячена дослідженню впливу експлуатаційних умов роботи тракторів і зернозбиральних комбайнів на їх безвідмовність та довговічність, а також розробці практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності використання мобільних технічних засобів у ринковому середовищі сільськогосподарського виробництва.

Мета роботи – дослідження впливу показників експлуатаційної надійності тракторів і зернозбиральних комбайнів на ефективність їх використання, розроблення заходів щодо підвищення безвідмовності та довговічності машин, а також зменшення потреби у новій техніці.

Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:

1. Провести аналітичну оцінку факторів, що впливають на експлуатаційну надійність тракторів і зернозбиральних комбайнів.
2. Визначити методи оцінки економічних втрат, пов'язаних із простоєм техніки, залежно від її функціонального призначення.
3. Обґрунтувати раціональну стратегію технічного обслуговування та ремонту тракторів з урахуванням сучасних умов експлуатації.
4. Розробити організаційні заходи щодо підвищення ефективності використання машинно–тракторного парку в умовах конкретного господарства.
5. Провести техніко–економічну оцінку ефективності запропонованих заходів.

Об'єкт дослідження – експлуатаційна надійність тракторів та зернозбиральних комбайнів.

Предмет дослідження – організаційно–технологічні заходи підвищення безвідмовності та довговічності сільськогосподарської техніки.

Методи досліджень – системний аналіз, експертні оцінки, статистичний аналіз, теорія випадкових процесів, методи математичного моделювання.

## 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Машинно-тракторний парк сільськогосподарських підприємств на сучасному етапі розвитку АПК

Агропромисловий комплекс (АПК) України є стратегічною галуззю національної економіки, що забезпечує виробництво життєво важливої продукції для населення та концентрує значний економічний потенціал держави. Рівень розвитку АПК значною мірою залежить від його матеріально-технічного забезпечення, яке визначається обсягами придбання сучасної сільськогосподарської техніки, паливно-енергетичних та інших ресурсів.

За останні десятиліття спостерігається критичне скорочення кількості сільськогосподарської техніки. За оцінками науковців, наявний машинно-тракторний парк задовольняє лише близько 50 % від технологічно необхідної потреби. При цьому рівень фізичного зносу значної частини машин сягає 70–80 %. Дефіцит техніки призводить до суттєвого зростання навантаження на наявні машини: за останні 15 років обсяг робіт, що припадає на один трактор, зріс майже на 80 %, а на один зернозбиральний комбайн – приблизно на 71 %.

Окрім кількісного скорочення, техніка в господарствах швидко морально та фізично застаріває. Так, понад 40 % комбайнів експлуатуються понад 10 років, аналогічна ситуація спостерігається і з тракторним парком. Через нестачу зернозбиральних машин, їх високий ступінь зношеності та низьку надійність аграрії щорічно зазнають значних втрат урожаю. Однією з основних причин такої ситуації є недостатній рівень ремонтно-технічного обслуговування та відсутність належного сервісу.

Важливим чинником, що зумовив кризу технічного забезпечення аграрного сектору, є складне фінансово-економічне становище більшості сільськогосподарських підприємств. Скорочення обсягів придбання техніки призвело до занепаду вітчизняного машинобудування, зупинки виробництв і втрати технологічного потенціалу галузі. Цьому сприяла і непродумана приватизація підприємств сільськогосподарського машинобудування.

Наслідком скорочення та старіння машинно-тракторного парку стало зменшення оброблюваних площ, погіршення родючості ґрунтів і зниження

врожайності сільськогосподарських культур. Додатковим дестабілізуючим фактором є неефективна система ціноутворення на паливно–мастильні матеріали, тепло– та електроенергію, що збільшує витрати виробників і знижує конкурентоспроможність аграрної продукції.

Підвищення ефективності аграрного виробництва нерозривно пов'язане з розвитком системи технічного сервісу та забезпеченням належного рівня агротехнічного обслуговування. Цій проблемі присвячено значну кількість наукових досліджень. Ще в середині XX століття було сформульовано основні закономірності раціонального використання сільськогосподарських машин, а пізніше – обґрунтовано необхідність переходу системи технічного обслуговування на індустріальні засади. Окремі дослідження були присвячені вдосконаленню ремонтного обслуговування техніки, методам діагностування її технічного стану та скороченню обсягів капітальних ремонтів шляхом використання результатів ресурсної діагностики. Значну увагу науковці також приділяли економічним аспектам організації ремонту та експлуатації машин.

Незважаючи на створену наукову базу, частина розробок не була реалізована або виявилася малоефективною на практиці. Зокрема, метод знеособленого капітального ремонту не виправдав очікувань: якість таких ремонтів виявилася у 1,5–2 рази нижчою за нормативну. Перспективний метод агрегатного ремонту не набув поширення через економічну не вигідність для підприємств. Суттєві проблеми спостерігалися і в забезпеченні сільськогосподарських товаровиробників запасними частинами.

Не дала очікуваних результатів і спроба машинобудівних заводів взяти на себе функції технічного сервісу власної продукції. Хоча до кінця 1990–х років в Україні було створено понад 300 фірмових технічних центрів, більшість із них обмежилася продажем техніки та виконанням гарантійних зобов'язань, оскільки саме торгівля забезпечувала основні прибутки.

У період економічних реформ становище сервісних підприємств значно ускладнилося. Отримавши самостійність, вони почали орієнтуватися переважно на отримання прибутку шляхом підвищення тарифів, що на тлі загальної економічної кризи призвело до зниження попиту на їхні послуги. Частина підприємств змінила профіль діяльності, інші – припинили існування.

Організація системи агротехнічного сервісу істотно залежить від економічної та соціальної ситуації в країні, фінансового стану сільськогосподарських товаровиробників, структури та технічного рівня їхнього машинно–тракторного парку та багатьох інших факторів. Усі ці чинники формують єдину систему виробничих зв'язків, потреб і можливостей учасників ринку, що визначає ефективність технічного забезпечення сільського господарства (рис. 1.1).

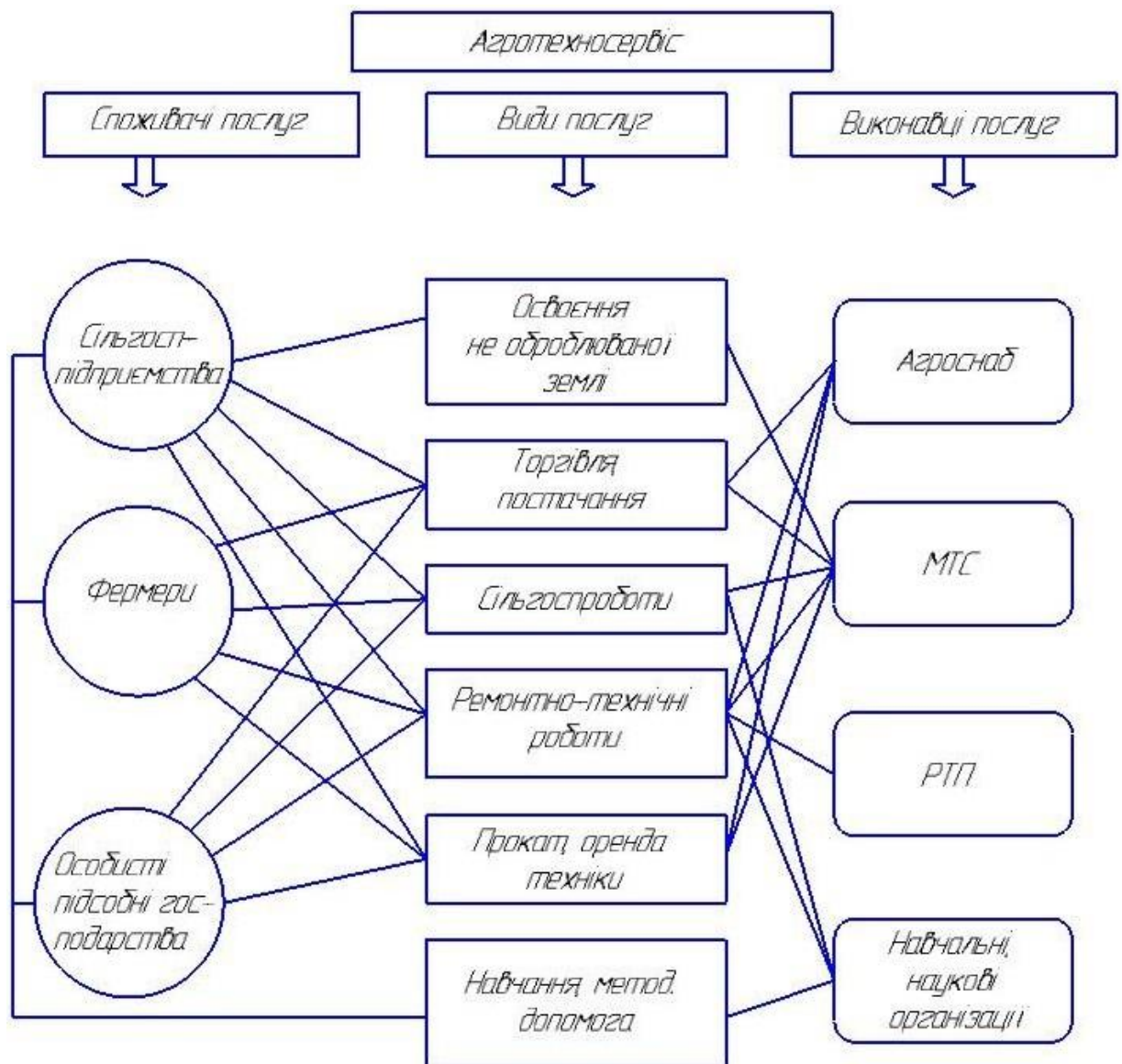


Рисунок 1.1 – Структурна схема системи агротехнічного сервісу в агропромисловому комплексі

На думку багатьох фахівців аграрної галузі, система технічного сервісу не зможе ефективно функціонувати без залучення зовнішньої підтримки та кооперації з іншими учасниками ринку. В умовах трансформації аграрного сектору в Україні за останні роки почали активно з'являтися нові типи сервісних підприємств –

дилерські центри, які можуть бути як фірмовими (створеними при машинобудівних заводах), так і незалежними, що співпрацюють з одним або кількома виробниками техніки на договірних засадах.

Незалежно від форми власності чи організаційної структури, дилери покликані виконувати широкий спектр функцій, серед яких:

- реалізація сільськогосподарської техніки, запасних частин та витратних матеріалів;
- проведення технічного обслуговування, поточних і гарантійних ремонтів, а також усунення складних одноразових відмов;
- викуп техніки, що була у використанні, відновлення її працездатності та продаж на вторинному ринку;
- організація прокату та оренди машин і обладнання;
- підготовка кадрів – навчання механізаторів та забезпечення їх необхідними методичними матеріалами.

Водночас виконання капітальних ремонтів складних агрегатів – таких як двигуни, турбокомпресори, гідростатичні трансмісії тощо – доцільно залишати за спеціалізованими ремонтними підприємствами, які мають відповідну технічну базу, досвід і кваліфікований персонал.

Проаналізовані в цьому розділі матеріали повною мірою відображають гострий дефіцит технічних засобів у сільськогосподарських виробників, а також окреслюють сучасний стан і ключові недоліки існуючої системи агротехнічного сервісу. Проведений аналіз наукових розробок дозволяє зробити висновок, що одним із найефективніших шляхів виходу із кризової ситуації є оптимізація процесів експлуатації техніки та підвищення ефективності її використання, що в комплексі сприятиме зростанню надійності машинно–тракторного парку та покращенню результатів аграрного виробництва.

## **1.2 Характеристика надійності машин**

Основні наукові дослідження, присвячені проблемам надійності машин різного призначення, у тому числі й сільськогосподарської техніки, викладені в працях [12, 13, 21–26] та інших авторів. Саме вони заклали фундамент сучасної термінології в галузі надійності, сформулювали наукові уявлення про закономірності

та статистичні залежності, які визначають вплив різних факторів на працездатність технічних систем і агрегатів.

Згідно з цими науковими підходами, надійність є однією з ключових складових якості технічного виробу. У нормативному документі ГОСТ 27.002–89 [27] вона визначається як «властивість об'єкта зберігати в часі в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують його здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання і транспортування».

Надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення машини та умов її експлуатації може включати такі складові, як:

- безвідмовність – здатність технічного об'єкта працювати без відмов протягом певного часу або напрацювання;
- довговічність – спроможність зберігати працездатність до настання граничного стану, тобто необхідності капітального ремонту чи заміни;
- ремонтпридатність – здатність виробу до відновлення працездатності, яка характеризується тривалістю, трудомісткістю та вартістю ремонтних і сервісних операцій;
- збережуваність – властивість технічного засобу зберігати свої параметри не лише під час роботи, а й у періоди зберігання чи простою, коли він не експлуатується.

У сільськогосподарській техніці найважливішими показниками надійності вважаються безвідмовність і довговічність, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність виробництва. Безвідмовність характеризується кількістю відмов за певний період експлуатації, тоді як довговічність визначає загальний ресурс роботи машини або її вузлів до капітального ремонту чи повної заміни.

Для техніки, яка підлягає ремонту, особливого значення набуває ремонтпридатність, оскільки саме вона визначає витрати часу, коштів і ресурсів на підтримання працездатності машинного парку. Ще однією важливою характеристикою є збережуваність, що має значення для виробів, схильних до старіння під час зберігання. До таких належать, зокрема, шини, гумові ущільнювачі, кислотні акумулятори, а також зернозбиральні комбайни, які експлуатуються лише обмежений період часу на рік.

Якщо необхідно оцінити надійність техніки комплексно, застосовують інтегральні показники, серед яких найпоширенішим є коефіцієнт готовності ( $K_e$ ). Він відображає частку часу, протягом якого машина виконує свої функції (включно з періодами планового технічного обслуговування) без зупинок, спричинених відмовами. Цей показник є важливим критерієм ефективності технічних систем і широко використовується при аналізі експлуатаційних характеристик сільськогосподарської техніки, розраховується за формулою 1.1.

де  $t_p$  – час роботи машини;

$t_{у.в.}$  – час на усунення відмов.

До недоліків використання коефіцієнта готовності належить його низька чутливість до змін показників безвідмовності техніки. Наприклад, навіть при зменшенні кількості відмов на 20 % за 1000 годин роботи (що є суттєвим покращенням), значення коефіцієнта готовності  $K_r$  зросте лише на незначні соті частки відсотка. Саме через це застосування цього показника для оцінки надійності тракторів або інших складних машин не вважається доцільним [28].

Альтернативою, яка має значно більший потенціал у сучасних умовах ринкової економіки, є комплексний показник надійності, що базується на витратах на підтримання техніки в працездатному стані, віднесених до її напрацювання за тривалий період експлуатації (середній ресурс або строк служби). Цей підхід охоплює всі основні властивості надійності – безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережуваність, є чутливим до кожної з них та відображає загальні експлуатаційні витрати, пов'язані з технічним обслуговуванням, ремонтами та зберіганням техніки.

Попри свою високу інформативність, широке впровадження цього показника стримується складністю постійного ведення обліку витрат, необхідного для точних розрахунків. Водночас саме експлуатаційні витрати є одним із найважливіших критеріїв для споживачів техніки при оцінці її надійності, що робить цей показник перспективним для практичного застосування в аграрному секторі.

Важливий внесок у розвиток сучасних уявлень про надійність техніки зробили дослідження [29, 30], у яких було розроблено класифікатори відмов основних моделей сільськогосподарських тракторів. Ці класифікатори дозволяють

систематизувати відмови за ступенем складності усунення, що має важливе практичне значення при плануванні ремонтів, організації технічного обслуговування та оцінці експлуатаційних витрат.

Відповідно до класифікації, усі відмови тракторів та самохідних комбайнів поділяються на три групи складності за ознаками доступності до місця ремонту та складності заміни несправних деталей (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Класифікація відмов тракторів і самохідних комбайнів за групами складності

| Класифікація відмов тракторів і самохідних комбайнів за групами                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | II                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | III                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <p>Ремонт або заміна деталей, розташованих ззовні, без розбирання вузлів і агрегатів – це найпростіший та найшвидший вид ремонтно–обслуговуючих робіт, який не потребує складного демонтажу чи спеціалізованого обладнання. До таких робіт належать заміна окремих кріпильних елементів, шлангів, фільтрів, прокладок, електричних з'єднань та інших елементів, що знаходяться у вільному доступі. Перевагою цього виду ремонту є мінімальні витрати часу та ресурсів, а також можливість виконання робіт безпосередньо на місці експлуатації техніки.</p> <p>Проведення позачергових технічних обслуговувань (ЩТО, ТО–1 та ТО–2) – це комплекс регламентних робіт, які виконуються у разі потреби поза плановим графіком для підтримання техніки у працездатному стані та запобігання відмовам.</p> | <p>Ремонт або заміна легкодоступних деталей, у тому числі з частковим розкриттям (але без повного розбирання) агрегатів – це ремонтно–обслуговуючі операції середнього рівня складності, які передбачають доступ до внутрішніх елементів машин без повного демонтажу вузлів. До таких робіт належать заміна підшипників, сальників, ущільнювачів, прокладок, клапанів, частин гідравлічних чи паливних систем, що потребують відкриття корпусів або зняття кришок агрегатів. Цей вид робіт вимагає певної кваліфікації персоналу та застосування спеціального інструменту, проте може бути виконаний без транспортування машини на спеціалізовану ремонтну базу.</p> <p>Проведення позачергових технічних обслуговувань ТО–3 – це комплексний вид сервісного обслуговування підвищеної складності, який виконується для відновлення оптимального технічного стану машини при інтенсивній експлуатації або за наявності ознак зниження надійності. Роботи ТО–3 включають поглиблену діагностику основних вузлів і систем, контроль і регулювання параметрів,</p> | <p>Ремонт і заміна деталей із розбиранням або розчленуванням основних агрегатів – це найскладніший і найбільш трудомісткий вид ремонтно–обслуговуючих робіт, який передбачає повне або часткове розбирання ключових вузлів машини для доступу до внутрішніх деталей та їх подальшої заміни чи відновлення. Такі операції виконуються, коли несправність не може бути усунена простими методами або коли окремі елементи вузлів досягли граничного ступеня зносу.</p> |

|  |                                                                                                                                            |  |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | заміну зношених деталей, оновлення мастильних матеріалів, а також часткове розкриття агрегатів для огляду та ремонту внутрішніх елементів. |  |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

Запропонована класифікація відмов тракторів і самохідних комбайнів є простою у використанні та зручною для практичного застосування. Однак її головним недоліком є те, що вона лише частково відображає реальну значущість відмов для користувача техніки. У ній не враховано низку важливих чинників, таких як витрати на усунення несправностей, тривалість простою техніки під час ремонту, можливості виконання відновлювальних робіт у господарських умовах тощо. Саме ці обставини зумовили необхідність створення більш досконалої класифікації відмов тракторів, яка б комплексно враховувала вплив різних факторів на експлуатаційну надійність. Проте нова класифікація ще не отримала широкого практичного застосування, а для комбайнів вона потребує подальшого вдосконалення.

Одним із недоліків досліджень минулого періоду було те, що надійність машин офіційно оцінювалась лише за умов суворого дотримання всіх вимог, викладених у нормативно-методичних документах. Водночас через об'єктивні причини – зокрема дефіцит ресурсів і недостатній рівень кваліфікації інженерно-технічного персоналу – більшість господарств не могла виконати ці вимоги повною мірою.

Суттєвий вплив на ефективність сільськогосподарської техніки мають непланові простої, пов'язані з ліквідацією наслідків відмов. За результатами численних спостережень, оперативний час самого ремонту трактора зазвичай не перевищує кількох годин, проте загальна тривалість простою часто збільшується до кількох діб або навіть тижнів через очікування запасних частин та їхню доставку.

Під час економічної оцінки тракторів, комбайнів та іншої техніки такі простої або взагалі не враховуються, або беруться до уваги лише частково. У науковій та практичній діяльності застосовують три основні підходи до визначення втрат від простою техніки:

- втрати, пов'язані з порушенням агротехнічних строків і зниженням

урожайності культур [31];

- амортизаційні відрахування за час простою та недоотримання прибутку, що є найпоширенішим методом серед економістів;
- витрати на утримання резервної техніки для заміни машин, які вийшли з ладу [32].

Перший підхід вважається найточнішим, оскільки найповніше відображає сутність збитків від простою. Однак отримання необхідної інформації для його застосування часто є складним або навіть неможливим. Другий метод рекомендований до використання, хоча прибуток залежить від багатьох факторів, і виділити вплив простою окремо буває непросто. Третій підхід є найпростішим, проте підходить переважно для загальних економічних розрахунків і не дозволяє точно оцінити збитки від простою конкретної машини. Отже, питання вибору оптимальної методики для визначення втрат від простою техніки залишається відкритим і потребує подальшого опрацювання.

### **1.3 Технічний сервіс сільськогосподарських машин**

Аналіз сучасних тенденцій забезпечення агропромислового комплексу технічними засобами свідчить про необхідність формування та реалізації єдиної державної технічної та технологічної політики як для вирішення поточних завдань, так і для визначення стратегічних пріоритетів розвитку.

Поточні завдання, закладені у державних програмах розвитку аграрного сектору, полягають насамперед у підтриманні на мінімально допустимому рівні технічного забезпечення виробництва, яке здебільшого здійснюється за традиційними технологіями. Стратегічні пріоритети передбачають перехід на новий якісний рівень аграрного виробництва шляхом впровадження прогресивних технологій та сучасних технічних засобів.

За останні десять років рівень технічного оснащення сільського господарства суттєво знизився. Середній вік машин становить 12–14 років, причому понад 75 % тракторів і зернозбиральних комбайнів уже виробили свій нормативний ресурс. Це призвело до того, що в пікові періоди польових робіт технічна готовність машин становить лише 50–70 % при нормативному значенні 85–92 %.

Значна тривалість експлуатації техніки зумовила вичерпання ресурсу

основних вузлів і агрегатів, що, у свою чергу, викликало суттєве зростання потреби в ремонтно–обслуговуючих роботах. Проте рівень сервісного забезпечення істотно знизився. Єдиним шляхом підтримання працездатності машин у таких умовах є якісне технічне обслуговування та своєчасне проведення ремонтів.

Основним завданням інженерної служби нині є забезпечення техніки працездатністю, яка дозволяє виконувати основні агротехнічні операції якісно та в оптимальні терміни. Для цього необхідно адаптувати основні елементи планово–попереджувальної системи технічного обслуговування та ремонту до нових економічних умов. Особливу увагу слід приділити діагностуванню технічного стану машин, адже аналіз показує, що своєчасне технічне обслуговування і діагностика можуть запобігти до 70 % можливих відмов техніки [6].

Створена ще в радянський період ремонтно–обслуговуюча база була орієнтована переважно на виконання складних капітальних ремонтів. Сьогодні вона практично зруйнована через подорожчання запасних частин, ремонтних матеріалів, енергоносіїв, а також підвищення витрат на амортизацію обладнання та виробничих площ. Унаслідок цього вартість трудомістких і матеріаломістких ремонтних робіт стала економічно не вигідною для власників техніки.

Структура ремонтно–обслуговуючої бази зазнала суттєвих змін: нині відсутні підприємства районного та обласного рівнів, а до 90 % ремонтних робіт виконуються в майстернях великих господарств, які здебільшого не мають повного комплексу спеціалізованого обладнання та оснащення для проведення ремонтів відповідно до технічних вимог.

Ремонтно–обслуговуючі впливи відрізняються за складністю та змістом, що зумовлює необхідність багаторівневої й розгалуженої структури ремонтної бази. Її стратегічна мета полягає у забезпеченні максимального використання ресурсу машин та підвищенні їхньої надійності. У цьому контексті зростає значення незнеособленого ремонту, який дозволяє враховувати індивідуальні особливості кожної машини й підвищувати ефективність її використання.

Важливим резервом зниження витрат і зменшення дефіциту запасних частин є відновлення зношених деталей, адже більшість із них потребує заміни через знос, що не перевищує навіть десятих чи сотих часток міліметра. В умовах високої вартості техніки саме цей підхід є найбільш доступним способом підтримання

машинно–тракторного парку у працездатному стані.

Важливу роль у підвищенні працездатності техніки відіграє підготовка висококваліфікованих кадрів для ремонтно–обслуговуючих підрозділів. Реалізація цього напрямку, разом із іншими заходами, сприятиме створенню в Україні ефективно діючої системи технічного сервісу та вирішенню проблеми технічного забезпечення аграрного виробництва.

Розвиток мережі сервісних підприємств нині відбувається відповідно до зростання попиту на агротехнічні послуги та змін, зумовлених переходом до ринкової економіки. Це передбачає формування нових, гнучких та більш ефективних організаційних структур, здатних забезпечити комплексне технічне обслуговування.

Учасниками системи технічного та технологічного сервісу (включно з машинно–тракторними станціями) виступають виробники сільськогосподарської продукції, підприємства технічного сервісу та виробники машин, взаємодія яких відображена на рисунку 1.2

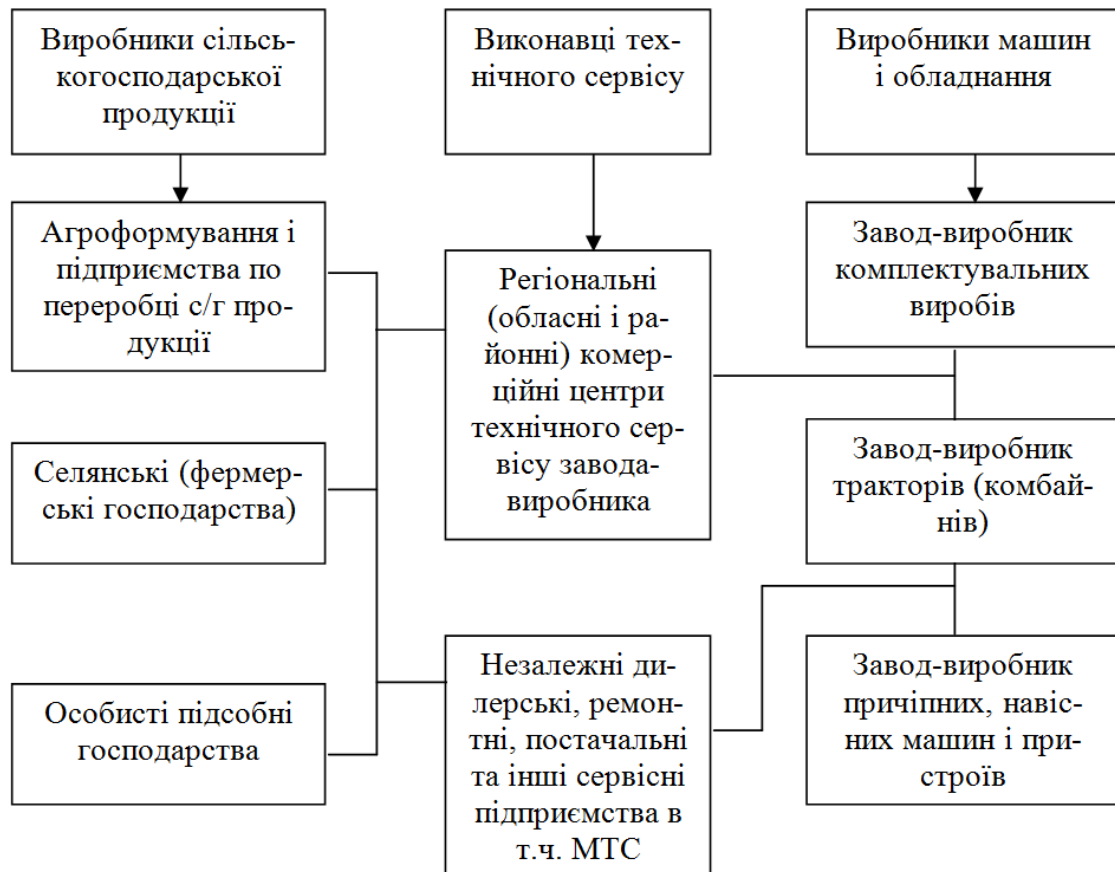


Рисунок 1.2 – Структурна схема організації технічного і технологічного сервісу сільськогосподарської техніки

Різноманітність підприємств технічного сервісу визначається широким спектром робіт і послуг, спрямованих на забезпечення споживачів промисловою продукцією, зокрема технікою, а також на ефективне її використання та підтримання у працездатному стані протягом усього строку експлуатації [12]. Проте на практиці розвиток цієї сфери відбувається переважно стихійно, не завжди враховуючи співвідношення попиту й пропозиції – ключовий механізм ринкової економіки. Основним фактором, що визначає масштаби діяльності підприємств технічного сервісу, залишається платоспроможність сільськогосподарських виробників, через що спостерігається нерівномірність розвитку господарств, обсягів виробництва та структури сільськогосподарської продукції.

За видом виконуваних робіт (надаваних послуг) підприємства та організації технічного сервісу умовно поділяють на кілька основних груп:

- постачальницькі, які займаються реалізацією машин, запасних частин, паливно–мастильних матеріалів, будівельних ресурсів, електроенергії, добрив тощо;
- ремонтні та ремонтно–технічні, що виконують технічне обслуговування, поточні та капітальні ремонти;
- монтажно–налагоджувальні, які забезпечують установаження, регулювання та введення в експлуатацію техніки;
- прокатно–підрядні (МТС, автотранспортні, збирально–транспортні загони), які надають техніку в оренду або виконують комплексні механізовані роботи.

При формуванні виробничих програм, орієнтованих на умови ринкової економіки, необхідно враховувати низку важливих особливостей організації технічного сервісу:

- пріоритет власника техніки у виборі партнерів для обслуговування;
- підпорядкованість технічного сервісу завданням виробництва сільськогосподарської продукції;
- відповідальність виробників техніки за забезпечення її працездатності протягом гарантійного періоду;
- оптимальний розподіл робіт з технічного обслуговування та ремонту між сервісними центрами.

Стабільна й прибуткова робота підприємств технічного сервісу можлива лише за умов стійкого попиту на їхні послуги. Для прогнозування цього попиту слід враховувати такі чинники: технологічний рівень і продуктивність аграрного виробництва в регіоні, розмір посівних площ господарств–споживачів, рівень забезпеченості технікою та її технічний стан, а також наявну структуру ремонтно–обслуговуючої бази.

При оцінці реального попиту важливо також порівняти економічну доцільність використання послуг сервісних підприємств із можливістю виконання робіт власними силами, з урахуванням ресурсів і платоспроможності господарств. Часто саме брак фінансових можливостей змушує аграріїв відмовлятися від необхідних послуг, навіть коли потреба в них очевидна. Це питання особливо актуальне сьогодні, коли можливість своєчасної оплати послуг багато в чому залежить від загальноекономічної ситуації в АПК.

Дослідження свідчать, що попит на ремонтні послуги тісно пов'язаний з економічним станом господарств, продуктивністю виробництва та рівнем цін на сільськогосподарську продукцію. На початковому етапі зростання продуктивності потреба в таких послугах підвищується, далі настає період стабілізації (насичення ринку), після чого можливе поступове зниження попиту. Стабільний попит, як правило, формують господарства, які з об'єктивних причин не можуть оновлювати свій машинно–тракторний парк – передусім це фермерські та дрібні приватні господарства.

Багаторічний досвід експлуатації техніки показує, що ремонтні майстерні господарств доцільно використовувати для виконання таких робіт:

- періодичне та сезонне технічне обслуговування й діагностування машин;
- усунення несправностей і поточні ремонти із застосуванням нових або відремонтованих вузлів та агрегатів;
- ремонт деталей, вузлів і агрегатів за допомогою універсального металорізального й зварювального обладнання.

Подальший розвиток системи технічного сервісу пов'язаний із значними інвестиціями. У науковому аспекті важливим напрямом є підвищення безвідмовності техніки та економічної ефективності ремонтів шляхом

удосконалення нормативів технічного обслуговування, діагностування й ремонту, зокрема уточнення допустимих і граничних значень зносу деталей, з'єднань, вузлів та агрегатів. Раніше встановлені нормативи мають усереднений характер і не враховують специфіку ґрунтово-кліматичних та експлуатаційних умов роботи техніки [13].

Сьогодні практично не застосовується метод прогнозування залишкового ресурсу елементів машин під час технічного діагностування, хоча його використання дозволяє збільшити фактичний ресурс деталей до 30 %. До того ж такі операції не потребують значних витрат за наявності сучасних діагностичних засобів. Саме тому одним із найактуальніших завдань галузі є розроблення методик прогнозування залишкового ресурсу, вдосконалення алгоритмів обробки вихідних даних та створення програмного забезпечення, яке зменшує трудомісткість і похибки розрахунків.

#### **1.4 Зниження втрат від дефіциту техніки**

Практичний досвід свідчить, що подвоєння річного завантаження машин дозволяє знизити собівартість виконуваних робіт на 30 % і більше. Це пояснюється тим, що найбільш значущі статті витрат – амортизаційні відрахування, виплати за кредитами, лізингові платежі, накладні витрати – перебувають у зворотній залежності від рівня річного використання техніки.

Як зазначається в роботі [20], підвищення рентабельності ремонтних майстерень є однією з центральних проблем. Воно залежить від інтенсивного та раціонального використання техніки, впровадження високопродуктивних технологій, оптимального комплектування машинно-тракторних агрегатів (МТА), вибору ефективних режимів їх роботи, а також скорочення простоїв техніки. При цьому збільшення рентабельності не повинно досягатися за рахунок підвищення вартості ремонтних робіт – ціни в майстернях мають залишатися нижчими, ніж на спеціалізованих підприємствах.

Важливим чинником підвищення ефективності виробництва є оптимальний склад машинно-тракторного парку (МТП), який визначається обсягом і структурою виконуваних робіт, а також рівнем завантаження техніки. Ці параметри залежать від природно-виробничих умов, технологічних характеристик угідь тощо. Оптимальний

склад МТП, як правило, розраховується за критерієм мінімізації витрат з урахуванням технологічних вимог і властивостей ґрунтів [19]. Це дозволяє знизити собівартість робіт і покращити фінансове становище господарств.

Скорочення кількості машин у 2 і більше разів та старіння техніки призводять до порушення строків виконання робіт, що негативно позначається на врожайності. Втрати врожаю через затримку виконання операцій після агротехнічних строків коливаються в межах від 0,1 до 1,9 % за добу залежно від виду робіт [19, 26].

Мінімізувати ці втрати, а також компенсувати дефіцит техніки можна шляхом оптимізації тривалості виконання сільськогосподарських операцій. Там, де інтенсивність втрат висока, тривалість робіт має максимально наближатися до агротехнічних строків, тоді як при низькій інтенсивності втрат можливе збільшення строків виконання. Такий підхід дозволяє зменшити втрати продукції та загальні витрати на виробництво.

Подібні дослідження, проведені на прикладі вирощування окремих культур [31, 32], підтвердили ефективність цього методу. Для визначення оптимальної тривалості механізованих робіт за лінійної або нелінійної залежності втрат урожаю від строків виконання робіт використовують критерій мінімуму питомих витрат, що включає суму витрат на виконання операцій, втрати від порушення строків та простої МТА. Знаходження похідної цієї функції за тривалістю виконання робіт і прирівнювання її до нуля дозволяє визначити оптимальну тривалість робіт у випадку лінійної залежності втрат від агростроків за формулою 1.2 [6].

Де:

- $K_i$  – частка річної або сезонної тривалості роботи машинно–тракторного агрегату (МТА) під час виконання певної операції;
- $A, K$  – амортизаційні відрахування та кредитна (лізингова) ставка, грн/рік або грн/сезон;
- ЗПВ – сумарні постійні витрати на оплату праці персоналу з нарахуваннями та інші витрати, які не залежать від обсягу виробленої продукції, грн/рік або грн/сезон;
- $\Pi$  – середня закупівельна ціна сільськогосподарської культури, грн/т;
- $U$  – потенційна врожайність культури за умови дотримання оптимальних строків обробітку та збирання, т/га;

- $W_c$  – добова експлуатаційна продуктивність машинно–тракторного агрегату, га/добу;
- $P$  – рентабельність виконуваної роботи, %;
- $D$  – коефіцієнт, що враховує простої МТА під час виконання робіт.

Результати проведених досліджень свідчать, що залежно від виду функціональної залежності втрат урожаю від строків виконання робіт можна досягти значного скорочення потреби у кількості машин. Так:

- за лінійної залежності втрат кількість необхідних МТА зменшується в середньому у 1,5 раза;
- якщо показник степеня функції втрат перевищує одиницю, кількість техніки знижується приблизно на 10–20 %;
- коли показник степеня функції втрат менший за одиницю, кількість машин скорочується ще значніше – на 60–80 %.

При цьому сезонна продуктивність техніки, тобто інтенсивність її використання, зростає прямо пропорційно зменшенню кількості машин. Такий підхід дає змогу не лише знизити витрати на утримання машинно–тракторного парку, а й суттєво підвищити ефективність виконання агротехнічних робіт за рахунок оптимізації строків і навантаження техніки (рис. 1.3) [6].

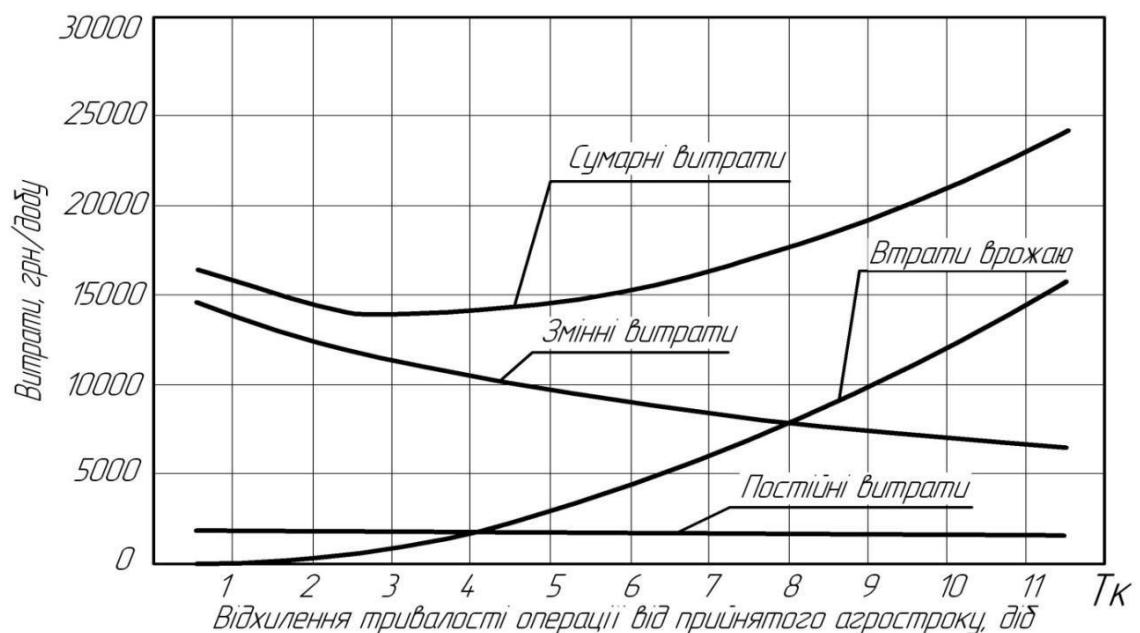


Рисунок 1.3 – Структура складових витрат на виконання сільськогосподарських операцій за умов нелінійної залежності втрат

При нелінійній степеневій залежності втрат урожаю від відхилення строків виконання агротехнічних робіт величина втрат визначається з урахуванням показника степеня функції, який відображає інтенсивність зміни втрат залежно від часу. Такий підхід дозволяє точніше оцінити економічні наслідки запізнення або передчасного виконання робіт, оскільки реальні процеси в сільському господарстві рідко підпорядковуються лінійним закономірностям.

У загальному вигляді втрати врожаю при нелінійній степеневій функції розраховуються за формулою 1.3:

де:

- $\gamma$  – показник степеня, що характеризує інтенсивність зміни втрат урожаю залежно від відхилення строків виконання робіт;
- $T_K$  – фактична тривалість виконання роботи, доба;
- $T_a$  – оптимальний агротехнічний строк виконання роботи.

На визначення оптимальної тривалості виконання робіт істотно впливає частка річного виробітку, що припадає на дану операцію ( $K_i$ ).

За відсутності дефіциту техніки річна (або сезонна) частка роботи визначається як відношення агротехнічного строку до нормативної річної (сезонної) тривалості роботи машинно–тракторного агрегату (МТА). У випадку дефіциту техніки річна або сезонна тривалість роботи збільшується разом із пролонгацією агростроку, що безпосередньо впливає на розрахунок оптимальних параметрів експлуатації.

Отримані вирази для визначення оптимальної тривалості робіт справедливі для кожної сільськогосподарської культури окремо. Проте збільшення часу виконання операцій для однієї культури може створювати проблеми з дотриманням строків виконання робіт для інших культур, особливо у випадку, коли їхні агростроки збігаються або близькі між собою.

Тому важливим завданням є визначення оптимальних річних або сезонних часток тривалості робіт для всіх вирощуваних культур [16, 19]. Йдеться про вдосконалення існуючих залежностей таким чином, щоб враховувати інтенсивність втрат для кожної операції, яку виконує МТА, та мінімізувати загальні втрати від дефіциту техніки.

До ключових факторів, що визначають рівень підвищення продуктивності

праці сільськогосподарських товаровиробників, належать:

- створення умов для виробництва продукції відповідно до сучасних технологічних вимог;
- економічно обґрунтовані оптимальні агротехнічні строки виконання робіт;
- раціональна організація експлуатації МТП із підвищеним завантаженням техніки;
- впровадження загонової форми організації роботи, диспетчеризації та високого рівня технічної експлуатації;
- значне річне завантаження тракторів, комбайнів і самохідних агрегатів;
- орієнтація на виконання технологічних операцій, які забезпечують підвищення врожайності та розширення площ під конкурентоспроможні культури.

Разом із тим, перелічені чинники не вичерпують повного спектра впливу на економічну ефективність. Необхідні додаткові дослідження для виявлення нових факторів, що впливають на продуктивність і економіку використання машинно–тракторного парку. Наприклад, вже сьогодні значну роль відіграють такі аспекти, як:

- забезпечення високої надійності техніки шляхом якісного технічного обслуговування та ремонтів на основі діагностики;
- скорочення накладних витрат, зокрема за рахунок економії пального;
- збільшення річного завантаження та продовження строку служби машин до 18–20 років, що дозволяє зменшити амортизаційні витрати майже вдвічі.

На жаль, більшість робіт із проєктування та оптимізації використання техніки базуються переважно на детермінованих залежностях, не враховуючи взаємозв'язки між окремими чинниками. Це часто призводить до значних похибок у результатах розрахунків і прийнятті управлінських рішень.

З огляду на вищезазначене, а також існуючу класифікацію факторів, що впливають на функціонування машинно–тракторного парку в ринкових умовах, виникає необхідність розробки методики економічної оцінки ефективності його використання.

### 1.5 Мета та задачі досліджень

Як показав аналіз попередніх підрозділів, сучасний стан сільського господарства характеризується гострим дефіцитом технічних засобів, низьким рівнем технічної експлуатації машин і наявністю суттєвих недоліків у сфері агротехнічного сервісу.

Перехід до ринкових умов господарювання істотно змінив підходи до використання техніки: знизилась роль планового управління, змінилося ставлення персоналу до машин, у складі машинно–тракторного парку з’явилася імпортна техніка, а вітчизняне машинобудування зазнало трансформації.

Нині аграрний сектор перебуває на етапі технічної модернізації, орієнтованої на впровадження високопродуктивних і мобільних машин підвищеної енергонасиченості. Найбільший попит на ринку мають трактори та комбайни з потужністю двигунів понад 300 к.с., які відповідають сучасним вимогам ефективності та продуктивності.

У зв’язку з цим метою даної роботи є дослідження впливу експлуатаційної надійності тракторів і зернозбиральних комбайнів на ефективність їх використання, а також розробка заходів щодо підвищення надійності техніки та зменшення потреби в її кількості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналітичну оцінку факторів, що впливають на експлуатаційну надійність тракторів і зернозбиральних комбайнів.
2. Розглянути методи оцінки економічних збитків, пов’язаних із простоями тракторів і комбайнів, залежно від їх призначення.
3. Обґрунтувати раціональну стратегію ремонту тракторів з урахуванням сучасних умов експлуатації.
4. Розробити організаційні заходи з удосконалення використання машинно–тракторного парку в умовах господарств.
5. Провести техніко–економічну оцінку результатів досліджень.

Виконання цих завдань дозволить сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо підвищення ефективності використання сільськогосподарської

техніки, збільшення її експлуатаційної надійності та зменшення витрат на забезпечення виробничого процесу.

## 2 ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Показники безвідмовності і довговічності техніки

Відповідно до положень ГОСТ 27.002–89 [27], для кількісної оцінки безвідмовності сільськогосподарської техніки найчастіше застосовуються два основних показники:

- середнє напрацювання на відмову – характеризує середню тривалість роботи машини або її елемента до настання першої відмови;
- середнє число відмов за визначений період експлуатації – показує кількість відмов, що очікуються в заданому часовому інтервалі або при певному напрацюванні.

Ці показники тісно взаємопов'язані й можуть бути виражені через просту аналітичну залежність 2.1:

де:

- $t_0$  – середнє напрацювання на відмову, год;
- $n$  – кількість відмов за напрацювання  $t$ .

Середнє напрацювання на відмову  $t_0$  змінюється з часом досить повільно, тому воно не завжди відображає реальну динаміку безвідмовності техніки в процесі експлуатації. Для більш наочного аналізу в таких випадках доцільно використовувати середнє накопичене число відмов  $n$ , яке наочно демонструє, як змінюється інтенсивність появи відмов у міру збільшення напрацювання техніки.

Побудова залежності накопиченої кількості відмов від часу або напрацювання (рис. 2.1) дозволяє визначити характер зміни надійності техніки протягом життєвого циклу. Зокрема, на початкових етапах експлуатації кількість відмов зазвичай зростає повільно, що пов'язано з обкаткою техніки та стабілізацією її роботи. У середній фазі інтенсивність відмов стає майже сталою, а наприкінці життєвого циклу вона знову збільшується через зношування деталей і вузлів.

Таким чином, аналіз показника  $ppp$  є більш інформативним для оцінки реального стану безвідмовності машинно–тракторного парку, ніж лише середнє напрацювання на відмову.

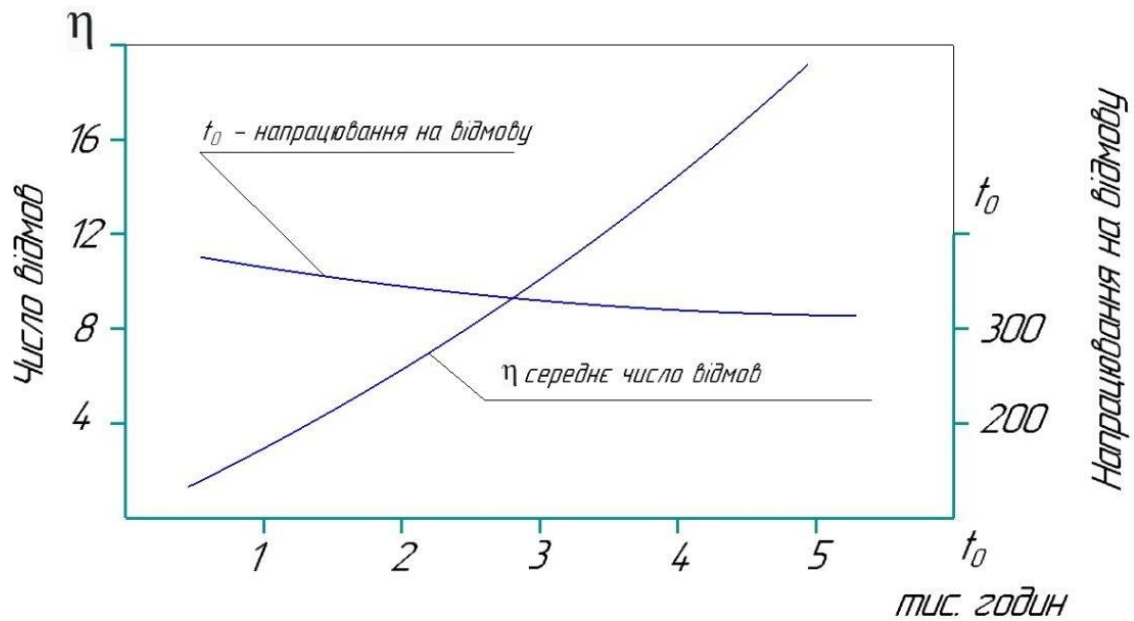


Рисунок 2.1 – Залежність накопиченої кількості відмов від напрацювання техніки

Аналіз даних, наведених на графіку, свідчить про те, що зі зростанням напрацювання трактора з 2000 до 4000 годин кількість відмов збільшується приблизно у 2,2 раза, тоді як середнє напрацювання на одну відмову зменшується лише на 8 %. Така різниця пояснюється тим, що показник середнього напрацювання на відмову змінюється повільно і не завжди точно відображає реальну динаміку безвідмовності техніки, тоді як накопичене число відмов чітко демонструє тенденцію їхнього зростання з часом.

Одним із головних показників довговічності техніки є її ресурс – загальна тривалість роботи машини або її вузла до настання граничного технічного стану (наприклад, до капітального ремонту чи списання). Для серійного або масового виробництва оцінювання довговічності повинно мати статистичний характер, оскільки за ресурсом лише одного виробу не можна робити висновок про надійність усієї партії техніки, випущеної за певний період.

З цією метою використовують показник гамма-процентного ресурсу  $R_\gamma$ , який визначається як напрацювання, що відпрацьовує певна частка  $\gamma$  виробів із загальної кількості випробуваних до настання граничного стану. Такий підхід дозволяє виключити випадкові відхилення та отримати об'єктивніші статистичні дані. Для тракторної техніки та основних вузлів зернозбиральних комбайнів значення  $\gamma$  зазвичай приймають у межах 0,8–0,9, тобто 80–90 % виробів повинні пропрацювати

не менше визначеного ресурсу.

Ще одним важливим показником довговічності є середній ресурс  $R_{\text{ср}}$ , який характеризує середню тривалість роботи виробів до граничного стану. Цей показник має тісний статистичний зв'язок із гамма-процентним ресурсом  $R_\gamma$  і використовується для загальної оцінки довговічності техніки. Саме поєднання аналізу середнього ресурсу та гамма-процентного ресурсу дає можливість комплексно оцінити якість, надійність і ефективність експлуатації машин у реальних виробничих умовах, розраховується за формулою 2.2:

де:

- $f$  – коефіцієнт, що залежить від значення  $\gamma$  та закону розподілу ресурсу.

Для більшості виробів тракторобудування та комбайнобудування значення коефіцієнта  $f$  коливається в таких межах:

- при  $\gamma = 0,80 - f_{80} = 1,33 \dots 1,40$ ;
- при  $\gamma = 0,90 - f_{90} = 1,64 \dots 2,63$ .

У випадках, коли закон розподілу ресурсу невідомий або не визначений експериментально, приймають усереднені значення:

- $f_{80} = 1,5$ ;
- $f_{90} = 1,9$ .

Графічне відображення залежності  $\gamma$ -процентного ресурсу від напрацювання (рис. 2.2) має вигляд кривої спаду. Така крива дозволяє не лише оцінити довговічність техніки при заданому рівні напрацювання, а й використовувати її для визначення ймовірності залишкового ресурсу машини чи окремого агрегату.

Завдяки аналізу цієї залежності можна прогнозувати подальший термін експлуатації технічних засобів, планувати обсяги технічного обслуговування та ремонтів, а також приймати обґрунтовані рішення щодо доцільності модернізації або заміни окремих вузлів і деталей. Такий підхід є важливим інструментом у забезпеченні високої надійності машинно-тракторного парку та підвищенні ефективності його використання у сільському господарстві.

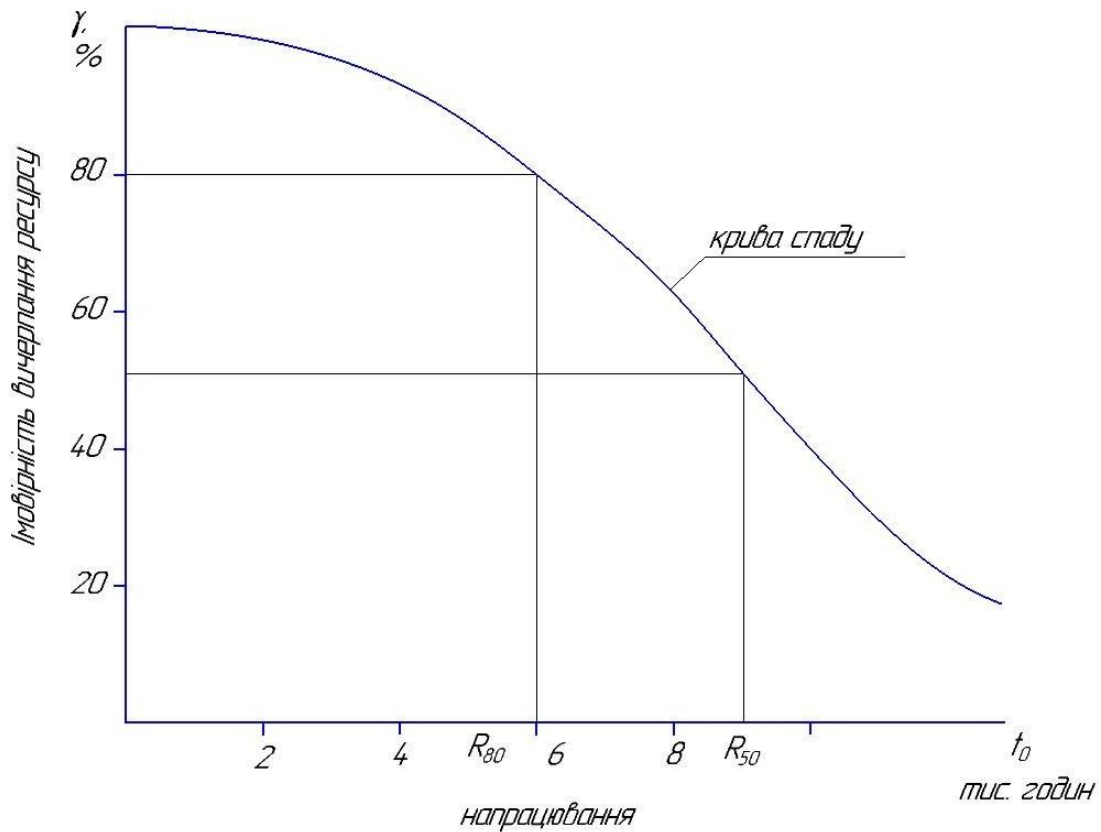


Рисунок 2.2 – Крива залежності  $\gamma$ –процентного ресурсу від напрацювання техніки

## 2.2 Показники ремонтпридатності трактора на прикладі гідравлічної системи

Технічний стан агрегатів гідравлічної системи тракторів у процесі експлуатації підтримується виконанням комплексу профілактичних та відновлювальних робіт, що потребують значних трудових і матеріальних ресурсів. Досвід експлуатації свідчить, що сумарні витрати на обслуговування й ремонт гідравлічної системи за період використання трактора часто перевищують витрати на її виготовлення [33, 34].

Підтримання працездатного стану гідравлічних агрегатів під час експлуатації забезпечується системою технічного обслуговування (ТО) – сукупністю заходів, спрямованих на збереження справності та працездатності техніки при підготовці до роботи, у процесі її експлуатації за призначенням, під час транспортування та зберігання.

Однією з ключових вимог до гідравлічної системи трактора є конструктивна пристосованість до проведення робіт із підтримання й відновлення її працездатності в умовах експлуатації. Згідно з принципами планово–запобіжної системи технічного

обслуговування та ремонту машин, увесь комплекс робіт із забезпечення працездатності та продовження ресурсу агрегатів поділяється на дві основні групи:

- технічне обслуговування – регулярні заходи для запобігання відмовам і підтримки робочого стану;
- ремонт – відновлення працездатності після виявлення несправностей [33, 35, 36].

Для ефективної організації технічного обслуговування та ремонту необхідно чітко визначити фактори, що впливають на їх проведення, які можуть мати як кількісний, так і якісний характер. Визначення показників технологічності гідравлічної системи при ТО та ремонті можливе шляхом встановлення залежностей між її характеристиками та факторами, що на них впливають.

Усі показники технологічності умовно поділяються на дві групи:

- основні (нормовані) – ті, що мають регламентовані значення та впливають на проектування системи;
- додаткові (ненормовані) – допоміжні характеристики, які уточнюють оцінку технологічності.

У галузі проектування та експлуатації гідравлічних систем накопичено значний досвід створення конструкцій, які характеризуються високим рівнем технологічності при ТО та ремонті. Основні ознаки таких конструкцій включають:

- блочну структуру виконання, що спрощує заміну окремих елементів;
- легкий доступ до вузлів і компонентів для проведення діагностики та обслуговування;
- підвищену довговічність елементів;
- пристосованість конструкції до підтримання технічного стану та відновлення працездатності [33–35].

Однак стосовно гідравлічних систем тракторів, які містять шестеренні насоси, гідророзподільники, силові гідроциліндри, гідравлічні рукави та баки з фільтрами, ці питання залишаються недостатньо висвітленими. Це підтверджується існуючими технологічними процесами ТО й ремонту гідроагрегатів та станом матеріально–технічного забезпечення [36].

До найбільш поширених показників технологічності гідравлічної системи під час технічного обслуговування належать:

- середній час проведення конкретного виду технічного обслуговування;
- ймовірність виконання цього обслуговування у встановлений термін;
- економічні показники: середня, сумарна та питома трудомісткість ТО, а

також середня, сумарна та питома вартість обслуговування [35].

Варто зазначити, що навіть для однієї і тієї ж моделі трактора показники технологічності можуть істотно відрізнятися залежно від умов експлуатації. У нашому дослідженні головним завданням є оцінка конструктивної пристосованості гідравлічної системи до виконання планових операцій ТО та усунення несправностей, а також виявлення нетехнологічних ділянок із точки зору доступу. Саме тому всі експлуатаційні умови повинні бути однаковими, щоб результати були коректними та порівнянними.

З цією метою трудомісткість робіт із технічного обслуговування та діагностування агрегатів гідравлічної системи трактора визначалась методом імітації – тобто точного відтворення всіх технологічних операцій, необхідних для виконання обслуговування. Такий підхід дозволяє оцінити не лише тривалість робіт, а й загальну технологічність конструкції системи.

Середній час проведення конкретного виду технічного обслуговування визначається за виразом 2.3[35]:

де:

- $t_{TO,i}$  – випадкова величина часу проведення технічного обслуговування  $i$ -го виду;
- $f_{TO,i}$  – функція щільності ймовірності розподілу часу технічного обслуговування.

Статистичне значення середньої трудомісткості технічного обслуговування  $T_{TO,i}$ , визначається за виразом 2.4:

де:

- $n_{t,i}$  – кількість проведенень технічного обслуговування  $i$ -го виду за період експлуатації  $t_e$ ;

–  $T_{TO,i}$  – середня трудомісткість  $i$ -го виду технічного обслуговування, люд.–год.

Як видно з виразу, середній час проведення технічного обслуговування значною мірою визначається трудомісткістю відповідного виду робіт. А вона, у свою чергу, залежить від характеру виконуваних операцій, конструктивних особливостей системи та доступності основних агрегатів, що підлягають обслуговуванню. Чим зручніший доступ і простіша конструкція, тим менша трудомісткість і, відповідно, короткий час обслуговування.

Ймовірність виконання технічного обслуговування  $i$ -го виду в заданий час визначається за формулою 2.5 [35].

Статистичне значення ймовірності виконання технічного обслуговування  $i$ -го виду у встановлений час визначається інтегральним виразом 2.6[35]:

де:

- $n_{\text{необсл.}}t$  – кількість пристроїв, які не були обслуговані в інтервалі часу від  $t$  до  $t + \Delta t$ ;
- $N_{\text{обсл.}}t$  – загальна кількість пристроїв, що підлягали обслуговуванню за цей самий проміжок часу.

Таким чином, статистичне значення ймовірності проведення технічного обслуговування у встановлений термін безпосередньо залежить від закону розподілу часу виконання робіт, який, у свою чергу, визначається конструктивними особливостями агрегатів гідравлічної системи трактора та умовами проведення технічного обслуговування.

Звідси випливає, що технологічність виконання технічного обслуговування гідравлічної системи трактора значною мірою визначається рівнем забезпечення доступу до її основних вузлів та елементів. Цей рівень досягається шляхом:

- раціонального та оптимального розміщення агрегатів на тракторі;
- застосування розривних муфт у з'єднаннях гідравлічних рукавів;
- використання швидкознімних панелей і кришок, які полегшують доступ до вузлів;
- наявності технологічних різьбових отворів, що спрощують процес демонтажу й монтажу компонентів.

Доступність будь-якого елемента, що підлягає технічному обслуговуванню чи ремонту, може бути кількісно оцінена за допомогою коефіцієнта доступності, який визначається виразом 2.7 [35, 36]:

де:

- $T_{\text{дод}}$  – трудомісткість додаткових робіт, люд.-год.;
- $T_{\text{осн}}$  – трудомісткість виконання основних (цільових) робіт, люд.-год.

До додаткових робіт  $T_{\text{дод}}$  належать операції, які не є безпосередньо частиною основного технічного обслуговування, але необхідні для його проведення. Серед них:

- демонтаж і повторний монтаж суміжного обладнання, яке не підлягає зніманню під час обслуговування;
- зняття та встановлення технологічних кришок і панелей;
- інші допоміжні дії, пов'язані з підготовкою до основного обслуговування.

До основних (цільових) робіт належать операції, що безпосередньо забезпечують підтримання працездатності системи:

- контрольні та регульовальні операції;
- заправлення робочою рідиною;
- промивання елементів системи;
- заміна фільтруючих елементів та інші технологічні процедури.

Гідравлічна система трактора ЮМЗ–8244 обслуговується у процесі виконання таких планових технічних обслуговувань:

- ТО–1 – через 125 мото–годин роботи;
- ТО–2 – через 500 мото–годин;
- ТО–3 – через 1000 мото–годин [5].

Зміст кожного виду технічного обслуговування:

- ТО–1 включає переважно операції з контролю герметичності системи, усунення підтікань робочої рідини та перевірки її рівня в баку.
- ТО–2 охоплює всі операції ТО–1 і додатково передбачає промивання основного зливного фільтра, очищення та промивку сапуна масляного бака.

– ТО–3 передбачає виконання всіх попередніх операцій, а також промивання гідравлічної системи в цілому та заміна робочого мастила. Крім того, перед проведенням поточного ремонту виконується ресурсне діагностування, яке дозволяє оцінити технічний стан гідравлічних агрегатів і визначити їх залишковий ресурс до настання граничного стану.

Маючи експериментальні дані щодо тривалості проведення кожного виду технічного обслуговування, можна розрахувати коефіцієнт доступності гідравлічної системи в цілому, що дозволяє кількісно оцінити рівень технологічності конструкції.

На основі проведених експериментальних досліджень отримано дані про тривалість робіт при виконанні ТО–3 гідравлічної системи трактора ЮМЗ–8244 за окремими агрегатами та складовими елементами. Ці дані наведено в таблиці 2.1 та ілюстровано на рисунку 2.3.

Таблиця 2.1 – Тривалість робіт під час проведення ТО–3 гідравлічної системи трактора ЮМЗ–8244 (за результатами експериментальних досліджень)

| Найменування агрегатів та складових трансмісії, які обслуговуються | Тривалість технологічних операцій, хв. |                    |                    | Коефіцієнт доступності $K_D$ |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
|                                                                    | $T_D$<br><i>ОД</i>                     | $T_O$<br><i>СН</i> | $T_C$<br><i>УМ</i> |                              |
| 1. Насос шестеренний                                               | 0<br>,4                                | 0<br>,8            | 1<br>,2            |                              |
| 2. Гідророзподільник                                               | 0<br>,7                                | 1<br>,2            | 1<br>,9            | 0,63                         |
| 3. Силовий гідроциліндр                                            | 0<br>,4                                | 0<br>,9            | 1<br>,3            | 0,69                         |
| 4. Гідравлічний бак                                                | 1<br>,3                                | 3<br>,5            | 4<br>,8            | 0,73                         |
| 5. Гідравлічні рукава                                              | 1<br>,4                                | 2<br>,0            | 3<br>,4            | 0,60                         |
| Всього                                                             | 4<br>,2                                | 8<br>,4            | 1<br>2,6           | 0,67                         |

Відповідно до виразу (2.7), загальний коефіцієнт доступності гідравлічної системи трактора визначається як відношення суми трудомісткості виконання основних (цільових) робіт до сумарної трудомісткості всіх робіт (основних і додаткових), необхідних для проведення технічного обслуговування системи:

$$K_D = 1 - \frac{4,2}{4,2 + 8,4} = 0,67$$

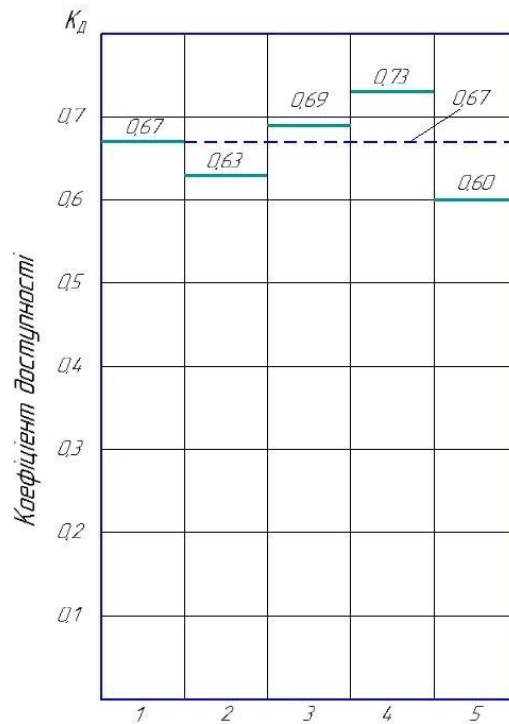


Рисунок 2.3 – Показники коефіцієнта доступності при проведенні технічного обслуговування ТО–3 для гідравлічної системи трактора ЮМЗ–8244: 1 – шестеренний насос; 2 – гідророзподільник; 3 – силовий гідроциліндр; 4 – гідравлічний бак; 5 – гідравлічні рукава.

Проведений аналіз показує, що загальне значення коефіцієнта доступності гідравлічної системи трактора становить  $K_d = 0,67$ , що свідчить про відносно високий рівень технологічності роздільно–агрегатної навісної гідравлічної системи під час виконання третього технічного обслуговування (ТО–3). Такий показник зумовлений мінімальними значеннями трудомісткості додаткових операцій, які становлять лише  $T_{\text{дод}} = 4,2$  хв., що вказує на вдалі конструктивні рішення у розміщенні основних вузлів гідросистеми.

Водночас слід враховувати, що під час виконання ТО–3 у даному дослідженні не проводилися операції з ресурсного діагностування основних елементів системи (гідронасоса, гідроциліндра, гідророзподільника) для оцінки їх фактичного технічного стану та залишкового ресурсу. Зазвичай такі операції виконуються перед проведенням поточного ремонту, і їх включення неминуче призведе до збільшення трудомісткості додаткових робіт  $T_{\text{дод}}$  через необхідність підготовки та підключення діагностичного обладнання. Це пов'язано з тим, що сучасні методи функціональної діагностики вимагають розгерметизації гідравлічної системи для підключення вимірювальних приладів.

Основним шляхом зменшення трудомісткості додаткових операцій  $T_{\text{ДОД}}^{\text{min}}$  під час діагностування гідроагрегатів є впровадження прогресивних методів діагностики, що базуються на застосуванні накладних датчиків для контролю параметрів, які визначають технічний стан агрегатів (наприклад, швидкість наростання тиску або температура). Такі методи не потребують розгерметизації гідросистеми та дозволяють суттєво знизити трудомісткість виконання основних робіт  $T_{\text{ОСН}}^{\text{min}}$ , скоротити середній час проведення технічного обслуговування  $T_{\text{ТО.і}}$  в цілому підвищити технологічність системи.

Крім того, важливим фактором підвищення ремонтпридатності гідравлічної системи є легкост'ємність її агрегатів, що забезпечується:

- мінімальним використанням спеціального інструменту під час технічного обслуговування;
- зручним доступом до вузлів і деталей, які потребують регулярного огляду;
- застосуванням розривних муфт у з'єднаннях гідравлічних рукавів.

### Висновок

Отриманий коефіцієнт доступності  $K_{\text{Д}} = 0,67$  свідчить про відносно високу технологічність роздільно–агрегатної гідравлічної системи трактора під час проведення ТО–3. Це зумовлено мінімальними трудовитратами на додаткові операції  $T_{\text{ДОД}} = 4,2$  хв.

Підвищення технологічності системи можливе завдяки зниженню трудомісткості додаткових робіт  $T_{\text{ДОД}}^{\text{min}}$  під час діагностування шляхом впровадження прогресивних методів, які не потребують розгерметизації системи.

Використання сучасних методів діагностування, заснованих на контролі таких параметрів, як швидкість наростання тиску чи температура, сприятиме зменшенню трудомісткості основних операцій  $T_{\text{ОСН}}^{\text{min}}$  та покращенню загальних показників технологічності.

Легкість зняття агрегатів гідросистеми при ТО залежить від раціонального конструкторського рішення: зручного доступу, мінімального набору спеціального інструменту та використання розривних муфт. Цей показник стає ще більш значущим при оцінюванні ремонтної технологічності гідравлічної системи трактора.



### **3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА**

#### **3.1 Програма роботи**

Програма дослідження передбачає проведення комплексу теоретичних та експериментальних робіт, спрямованих на підвищення експлуатаційної надійності сільськогосподарської техніки шляхом обґрунтування показників її безвідмовності та довговічності. Основні напрями програми включають:

- Аналіз та оцінку чинників, які впливають на рівень технічної експлуатації та надійності тракторів і зернозбиральних комбайнів у сучасних умовах господарювання.
- Обґрунтування раціональної стратегії відновлення працездатності тракторів, що дозволить знизити кількість відмов та збільшити ресурс роботи машин.
- Оцінку можливостей покриття потреби у складній техніці в пікові періоди, зокрема шляхом розроблення графіка завантаження ремонтного підрозділу з урахуванням сезонності та інтенсивності робіт.

У межах теоретичних досліджень здійснюється поглиблений аналіз технічних характеристик машин, визначення ключових показників надійності та їх статистичної варіації, а також ранжування факторів, що впливають на безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність сільськогосподарських машин.

#### **3.2 Методи збору та обробки первинної інформації**

Для отримання достовірних результатів у роботі використовувалися різні методи збору та аналізу інформації:

- Підконтрольна експлуатація техніки – спостереження за роботою тракторів і зернозбиральних комбайнів у реальних умовах з метою фіксації кількості відмов, тривалості роботи до відмови, витрат на обслуговування тощо [28].
- Разові технічні обстеження машин, спрямовані на визначення фактичного технічного стану агрегатів та вузлів [37].
- Аналіз облікових матеріалів сільськогосподарських підприємств, що містять дані про експлуатацію машин, проведені ремонти, витрати та втрати від простоїв.

– Опитування керівників інженерно–технічних служб господарств, які дозволили отримати експертні оцінки щодо рівня надійності техніки, ефективності ремонтних стратегій та організації технічного сервісу.

Таблиця 2.2 – Показники та джерела інформації

| № | Показники та призначення інформації                                | Види вихідної інформації                                                 | Примітки                                                           |
|---|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1 | Оцінка рівня безвідмовності техніки                                | Дані підконтрольної експлуатації, результати разових технічних обстежень | Виконавці: сільськогосподарські підприємства, базові опорні пункти |
| 2 | Річний напрацювання машин                                          | Підконтрольна експлуатація, облікові матеріали господарств               | Дані отримані під час обстеження підприємств                       |
| 3 | Напрацювання трактора до першого капітального ремонту              | Ті ж джерела, що й для річного напрацювання                              | Аналіз за матеріалами експлуатаційних звітів                       |
| 4 | Тривалість експлуатаційного строку служби машини                   | Матеріали господарств                                                    | За даними статистичного обліку                                     |
| 5 | Середня тривалість капітальних ремонтів тракторів                  | Матеріали ремонтних підприємств, опитування керівників господарств       | Інформація уточнюється під час обстеження                          |
| 6 | Дані щодо проведення профілактичних ремонтів тракторів і комбайнів | Експериментальні дані, експертні оцінки                                  | За [83] та додатковими джерелами досліджень                        |
| 7 | Витрати на усунення відмов техніки                                 | Результати випробувань, класифікатори відмов                             | За [15], узагальнені за результатами польових досліджень           |
| 8 | Вартість капітальних ремонтів                                      | Дані ремонтних підприємств                                               | Прайс–листи та техніко–економічні розрахунки                       |

Підконтрольна експлуатація (ПЕ) належить до різновидів експлуатаційних випробувань, які проводяться під наглядом інженерно–технічних фахівців, що пройшли спеціальну підготовку та інструктаж. Основним завданням ПЕ є всебічна оцінка технічного стану машин і визначення рівня їхньої надійності в реальних умовах використання. У процесі підконтрольної експлуатації здійснюються такі заходи:

- оцінювання технічного стану машини на момент початку спостереження та на дату контрольного огляду;
- складання переліку відмов, які виникли як до початку ПЕ, так і під час її проведення;
- контроль за дотриманням правил експлуатації техніки механізаторами;
- збір і первинна аналітична обробка зібраних даних.

Разові обстеження, що також використовуються в даному дослідженні, передбачають отримання інформації про надійність машин шляхом їхнього візуального огляду та опитування механізаторів. Тривалість облікового періоду, за який збираються дані про відмови, залежить від складності відмови та пам'яті опитуваного фахівця.

Матеріали, що використовуються для оцінювання надійності, включають опис господарств, де експлуатувалася техніка, а також відомості про машини та зафіксовані відмови. Під час опису технічних засобів фіксуються такі параметри: повне найменування і марка машини, рік випуску, технічний стан, напрацювання на момент обстеження та середньорічне напрацювання.

На основі отриманої інформації можна виділити два основних типи вибірок:

а) Кускова (випадкова) вибірка – характеризується значною варіацією напрацювання машин на момент обліку, що охоплює широкий часовий інтервал експлуатації. Такий тип вибірки найчастіше застосовується при разових обстеженнях (рис. 3.1).

б) Суцільна вибірка – містить дані від початку експлуатації машин, а їхні напрацювання є близькими до контрольних значень. Цей тип вибірки характерний для підконтрольної експлуатації (рис. 3.2).

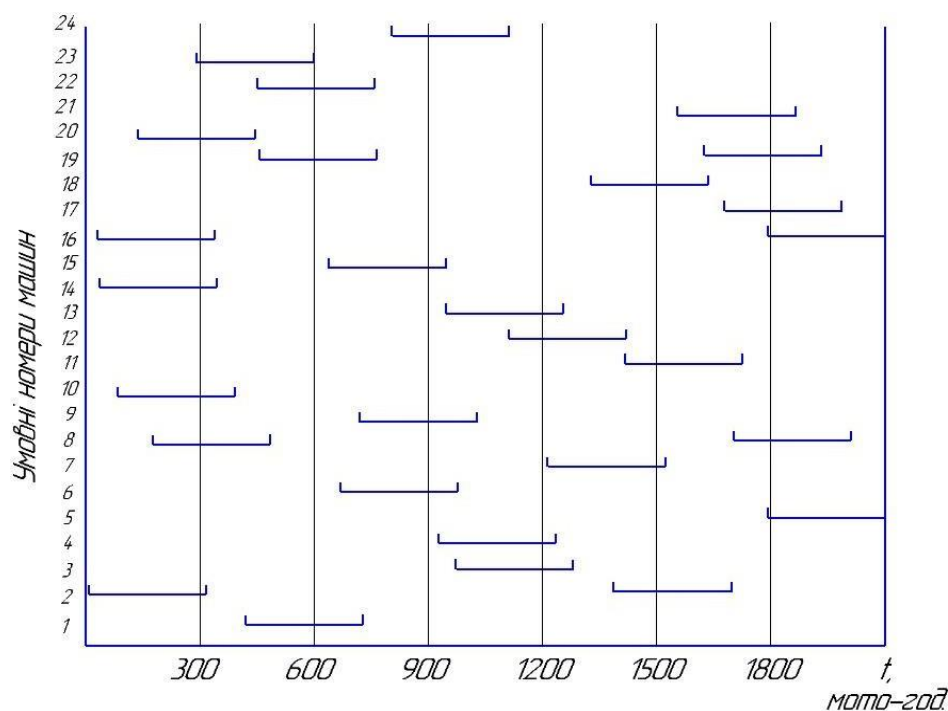


Рисунок 3.1 – Приклад типової кускової вибірки машин за напрацюванням у процесі експлуатації

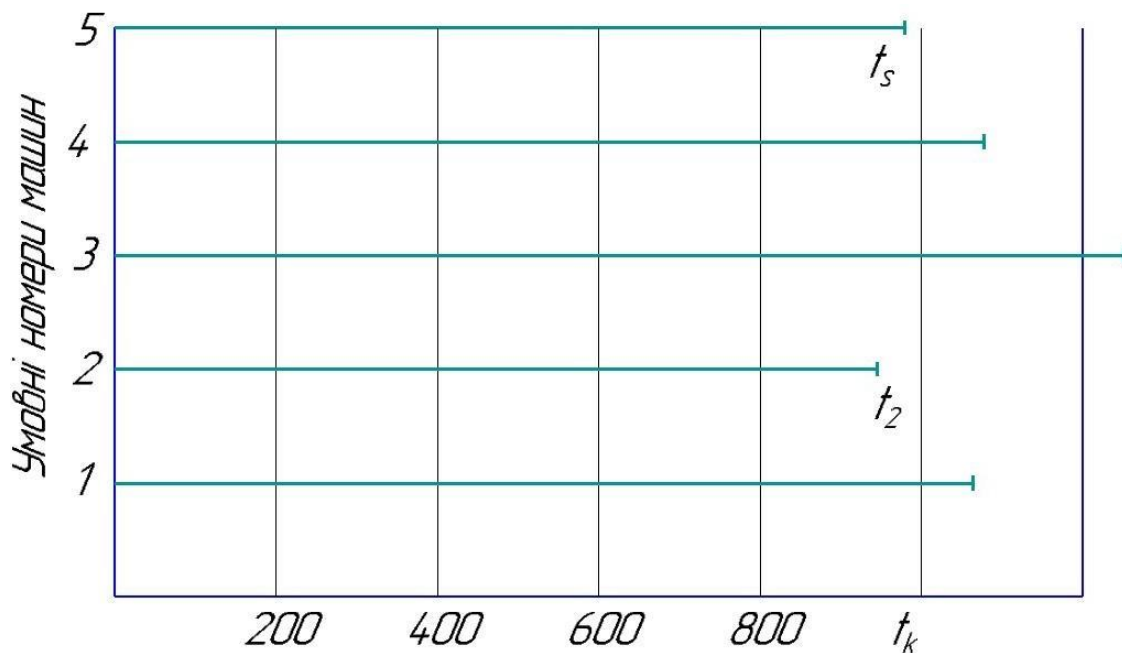


Рисунок 3.2 – Приклад типової суцільної вибірки машин за напрацюванням від початку експлуатації

Суцільна вибірка насамперед використовується для визначення показників безвідмовності техніки на етапі порівняно невеликого контрольного напрацювання, зокрема в межах гарантійного періоду експлуатації. Її основна перевага полягає у можливості більш точної оцінки стану машин на початкових етапах роботи.

На відміну від цього, кускова вибірка дозволяє визначати показники безвідмовності за значно триваліший період експлуатації, що в багатьох випадках є вкрай важливим для аналізу довгострокової роботи техніки та прогнозування її технічного стану.

Розрахунок основних показників безвідмовності під час обробки даних суцільної вибірки виконується за такими залежностями.

Середнє число відмов за контрольне напрацювання визначається за формулою 3.1:

де:

- $n_{\text{вк}}$  – середнє число відмов за контрольне напрацювання;
- $n_j$  – кількість відмов  $j$ -ї машини за контрольний період експлуатації;
- $M_k$  – кількість машин, що відпрацювали контрольне напрацювання.

Середнє напрацювання на одну відмову визначається за формулою 3.2:

де:

- $t_{\text{вк}}$  – середнє напрацювання на одну відмову за контрольний період;

- $t_k$  – контрольне напрацювання машини, год.

Розрахунок показників безвідмовності при аналізі кускової вибірки здійснюють у такій послідовності:

1. Розбиття загального напрацювання на інтервали. Максимальне напрацювання машини поділяють на 5–10 інтервалів. Тривалість інтервалів обирається залежно від загального обсягу напрацювання та рівномірності розподілу відмов.

2. Визначення кількості машин у кожному інтервалі. Для кожного інтервалу обчислюють розрахункове число машин  $N$ . Якщо машина відпрацювала неповний інтервал, її враховують частково – пропорційно частці відпрацьованого часу.

3. Підрахунок сумарного числа відмов. У кожному інтервалі визначають загальне число відмов для всіх машин. Якщо обліковий період охоплює суміжні інтервали, а точний час відмов невідомий, кількість відмов розподіляють пропорційно частці періоду, що припадає на кожен інтервал. Якщо кількість машин в інтервалі менша трьох, число відмов приймають рівним середньому між попереднім і наступним інтервалами.

4. Обчислення показників безвідмовності. Для кожного інтервалу визначають число відмов на одну машину, сумарну кількість відмов наростаючим підсумком, а також середнє напрацювання на одну відмову на кінець кожного інтервалу.

Оцінювання показників довговічності при аналізі кускової вибірки здійснюється за тим самим методичним підходом, що й розрахунок безвідмовності.

Особливість визначення  $\gamma$ –відсоткового ресурсу або  $\gamma$  –відсоткового напрацювання до першого капітального ремонту полягає у наступному:

- враховуються лише ресурсні відмови або випадки направлення машини (агрегату) на перший капітальний ремонт;
- машини (агрегати), які досягли граничного стану, виключаються з вибірки;
- у кожному інтервалі визначається ймовірність роботи машини (агрегату) до настання ресурсної відмови або проведення капітального ремонту.

У загальному випадку значення показника довговічності для будь-якого напруження визначають за графіком кривої спаду, яка відображає зменшення ймовірності безвідмовної роботи з часом.

Середні витрати на усунення відмов і виконання профілактичних ремонтів розраховують згідно з вимогами ОСТ 23.1.47–80 [38], адаптованими до сучасних умов експлуатації та економічних реалій, розраховується за формулою 3.3:

де:

- $C$  – середні витрати на усунення значущих відмов та виконання профілактичного ремонту, грн;
- $N$  – нормативні відрахування на заробітну плату та податки, грн;
- $S$  – трудомісткість виконання ремонтних робіт, люд.–год.;
- $r$  – тарифна ставка робітників, грн/год;
- $Q$  – вартість запасних частин, грн;
- $q_{об}$  – годинна оплата за використання ремонтного обладнання, грн/год;
- $t_{об}$  – тривалість використання ремонтного обладнання, включаючи час його доставки до місця ремонту та повернення до майстерні, год.;
- $u$  – розмір збитків від однієї години простою машини, грн/год;
- $t_n$  – тривалість непланового простою, год.

Якщо машина проходила плановий ремонт або перебувала в ремонті у період, вільний від роботи, збитки від простою не враховуються, тобто  $u = 0$ .

Трудомісткість ремонтних робіт, їхню тривалість, а також номенклатуру заміненних деталей визначають за класифікатором відмов (для тракторів) або за протоколами випробувань (для комбайнів).

Дані щодо тривалості та вартості капітальних ремонтів отримують від керівників інженерно–технічних служб господарств та з прайс–листів ремонтних підприємств.

### 3.3 Визначення збитків від простоїв техніки

Оцінювання ефективності експлуатації сільськогосподарських машин обов'язково має враховувати збитки, спричинені їхніми неплановими простоями. До таких випадків належать зупинки техніки внаслідок відмов під час усунення несправностей або в період очікування ремонту.

Залежно від функціонального призначення машини застосовують різні підходи до оцінки втрат від простоїв.

Для тракторів та інших універсальних машин, що виконують широкий спектр робіт, найбільш прийнятним є метод [39], який базується на умові виконання заданого обсягу робіт у встановлені агротехнічні терміни. За цим підходом машину, що вийшла з ладу, негайно замінюють резервною, а витрати на її придбання та утримання розглядаються як збитки від простою основної машини.

Цей метод має низку переваг: він простий у застосуванні, використовує доступні вихідні дані та є цілком придатним для створення нормативів, необхідних при виборі техніки, плануванні її технічного обслуговування чи розробці стратегічних і тактичних рішень. Однак він не враховує специфічних обставин і тому не підходить, наприклад, для юридичної оцінки збитків у судових спорах.

Простий трактора в період, коли він повинен виконувати роботу, можна оцінити за допомогою коефіцієнта простою, який визначають як відношення сумарного часу простою машини до загальної тривалості робочого періоду, визначається за формулою 3.4:

де:

- $K_n$  – коефіцієнт простою машини;
- $t_{ni}$  – тривалість  $i$ -го простою, год.;
- $t_p$  – загальна тривалість роботи за період, у межах якого визначають  $K_n$ ,

год.

Коефіцієнт простою завжди менший за одиницю. Це означає, що фактична кількість основних машин (тракторів), які беруть участь у виконанні запланованого обсягу робіт протягом заданого періоду, є меншою за їх загальну кількість і пропорційною значенню  $K_n$ .

Оскільки основні та резервні трактори, які виконують однакові операції, повинні бути однотипними, їх коефіцієнти простою можна вважати рівними. У найсприятливішому випадку – коли вихід з ладу машин не є одночасним – кількість резервних тракторів  $M_p$ , необхідних для виконання робіт, запланованих на одну основну машину, визначається за формулою 3.5 якщо  $P = 0\%$  та 3.6 якщо  $P = 100\%$ .

Для оцінювання збитків від простою одного трактора необхідно враховувати основні складові експлуатаційних витрат, до яких належать:

- відрахування на реновацію (амортизаційні відрахування),
- витрати на оплату праці персоналу,
- витрати на проведення ремонтів.

Заробітну плату тракториста, як правило, визначають за середньою тарифною ставкою та фактичним часом роботи. У разі тривалих простоїв механізатора часто переводять на іншу (зокрема, резервну) машину або на інші роботи. У такому разі його оплата праці має бути віднесена на новий об'єкт експлуатації. Якщо ж переведення неможливе, відповідно до діючої практики, працівникові виплачується лише частина тарифної ставки, що потребує коригування заробітної плати у розрахунках.

Таким чином, збиток від години простою основного трактора, обчислений за витратами на придбання та експлуатацію резервної машини, визначають за формулою 3.7 та 3.8:

де:

- $C$  – вартість трактора (машини), грн;
- $T_{\text{сл}}$  – термін служби трактора, років;
- $t_p$  – середньорічне напрацювання, мото–год;
- $r$  – тарифна ставка з усіма надбавками та податками, грн/год;
- $g$  – частка виплачуваної тарифної ставки;
- $C_{\text{кр}}$  – середня вартість одного капітального ремонту трактора та витрати на усунення суттєвої відмови відповідно, грн;
- $t_{\text{кр}}$  – середнє напрацювання трактора до першого капітального ремонту, мото–год;
- $t_0$  – середнє напрацювання до суттєвої відмови в доремонтний період, мото–год;
- $K_{\text{в}}$  – коефіцієнт відновлення ресурсу після капітального ремонту;
- $V$  – коефіцієнт варіації ресурсу;
- $d_x$  – річні витрати на зберігання трактора, частка від його вартості;
- $U$  – річні збитки від простоїв, грн/рік.

У практиці сільськогосподарського виробництва трактори найчастіше функціонують у складі агрегатів із сільськогосподарськими машинами. У випадку відмови трактора простоє весь агрегат, що суттєво збільшує загальні втрати. Наприклад, при зупинці орного агрегату час простою, залежно від вартості та річного завантаження плуга, може зрости у 1,2–1,4 рази, а для посівного агрегату – у 1,7–2,1 рази. Частково таких додаткових втрат можна уникнути, якщо забезпечити можливість використання сільськогосподарських машин і знарядь із іншими тракторами.

Збитки від простоїв зернозбиральних комбайнів та інших спеціалізованих сільськогосподарських машин доцільно визначати з урахуванням втрат урожаю, які виникають через порушення агротехнічних строків виконання робіт. За результатами досліджень ГОСНІТІ [11], величина збитків від втрати врожаю внаслідок простою комбайнів може бути визначена за наступною залежністю 3.9:

де:

- $U_z$  – збиток від втрати врожаю внаслідок простою техніки, грн/год;
- $\Pi_z$  – закупівельна ціна сільськогосподарської культури, грн/т;
- $U_{пл}$  – планова врожайність культури, ц/га;
- $k_y$  – коефіцієнт середньоінтегральних втрат урожаю, спричинених збільшенням тривалості збирання;
- $W$  – нормативна (планова) продуктивність комбайна за одну годину змінного часу, га/год.

Коефіцієнт  $k_y$  залежить від планового строку виконання робіт без урахування простоїв, характеру втрат урожаю  $Udt$ , а також від фактичної тривалості збирання культури. Він відображає середні відносні втрати врожаю з площі, обробленої після запланованого агротехнічного строку, і визначається за такою залежністю 3.10:

де

- $k_{уп}$  – коефіцієнт втрат урожаю, зумовлений простоєм техніки;
- $k_{ур}$  – коефіцієнт втрат урожаю, що виникають у межах агротехнічних строків виконання робіт (без урахування простоїв).

Залежність обсягів втрат урожаю від тривалості простою техніки та дотримання агротехнічних термінів наочно показано на рисунку 3.3.

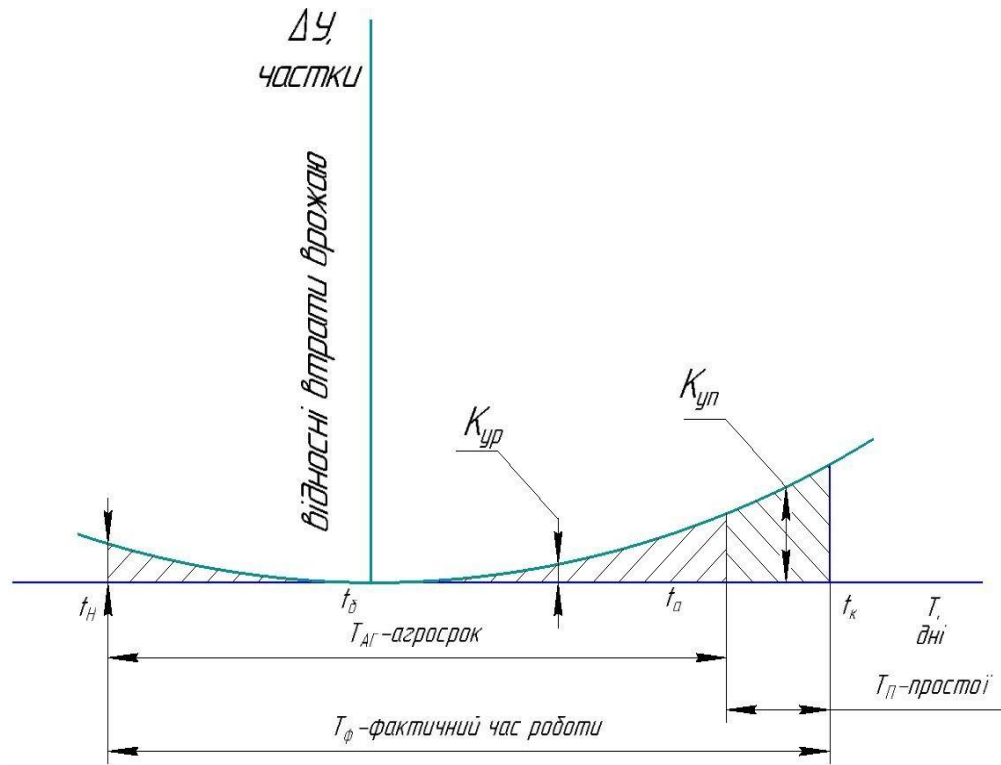


Рисунок 3.3 – Графічна залежність втрат урожаю від тривалості простою та агротехнічних строків збирання

Відносні втрати врожаю  $\Delta U$  визначають за таким виразом 3.11:

Де:

- $U_{max}$  – максимальний можливий урожай культури, ц/га;
- $U_t$  – фактична врожайність культури у (t)-й день виконання польових робіт, ц/га.

Значення врожайності та її зміни в часі встановлюють на основі експериментальних даних, отриманих у науково-дослідних аграрних установах, дослідних господарствах та на сортовипробувальних ділянках.

### 3.4 Застосування експертних оцінок

Метод експертної оцінки застосовується тоді, коли визначення впливових факторів експериментальним шляхом або за допомогою розрахунків є складним, економічно недоцільним або неможливим через значну тривалість досліджень та інші об'єктивні причини. У цій роботі експертні оцінки були використані головним чином для відбору, характеристики та ранжування факторів, що визначають рівень технічної експлуатації тракторів і зернозбиральних комбайнів.

Процедура дослідження передбачала кілька послідовних етапів:

- На основі аналізу багаторічного досвіду було сформовано попередній перелік факторів, що можуть впливати на експлуатаційну надійність сільськогосподарських машин.
- Завдання експертів полягало у визначенні значущості цих факторів, їх ранжуванні за ступенем впливу на кількість експлуатаційних відмов і виключенні другорядних.
- До складу експертної комісії увійшло шість висококваліфікованих фахівців з багаторічним досвідом роботи у сфері технічної експлуатації тракторів і комбайнів.

Кожному експерту пропонувалося оцінити фактори за 10–бальною шкалою: максимальна оцінка (10 балів) відповідала фактору, що найбільш суттєво впливає на безвідмовність машин, а 0 балів означало відсутність впливу. Окрім кількісної оцінки, експерти могли надати письмові пояснення щодо своїх висновків.

Після завершення опитування для кожного фактора обчислювали середню бальну оцінку, на основі якої формувався остаточний перелік факторів для подальших розрахунків рівня технічної експлуатації. Кількість відібраних факторів визначалася з урахуванням допустимої відносної похибки оцінювання. У даній роботі рекомендовано залишати 6–7 найвагоміших факторів. Фактори із середньою оцінкою менше ніж 3 бали виключалися з розгляду.

Ступінь узгодженості думок експертів визначали за допомогою коефіцієнта конкордації  $W_K$ . Для цього кожній оцінці надавали ранг – число натурального ряду:

- ранг 1 – фактору з найвищою оцінкою;
- ранг 2 – фактору з дещо меншою оцінкою тощо.

Якщо кілька факторів отримували однакову оцінку, їм присвоювали однаковий середньоарифметичний ранг. Найважливішим вважався той фактор, який мав найменшу суму рангів серед усіх оцінюваних експертами.

Коефіцієнт конкордації розраховується за формулою 3.12[38]:

де:

- $W_K$  – коефіцієнт конкордації;

- $d_{\phi\mu}^2$  – відхилення суми рангів, отриманих  $\phi$ -м фактором, від математичного очікування сум рангів, визначених для всіх факторів;
- $n_e$  – кількість експертів;
- $m_\phi$  – загальна кількість оцінюваних факторів.

Значення коефіцієнта конкордації  $W_k$  коливається в межах від 0 до 1. Якщо  $W_k = 0$ , це означає повну відсутність узгодженості між оцінками експертів (усі оцінки суттєво відрізняються). Якщо  $W_k = 1$ , це свідчить про абсолютну узгодженість думок усіх експертів. Практика показує, що якщо  $W_k \geq 0,5$ , експертний метод вважається надійним та обґрунтованим, а склад експертної групи – підібраним задовільно.

Для оцінювання надійності сільськогосподарської техніки та отримання даних щодо відмов машин використовувалися стандартні методики випробувань і аналізу експлуатаційних показників.

Визначення чинників, що впливають на рівень технічної експлуатації тракторів, здійснювалося за допомогою методу експертних оцінок, оскільки отримання достовірної інформації іншим шляхом є складним і потребує значних часових витрат.

### **3.5 Відмови тракторів і комбайнів та їх значення для споживача**

Відмови тракторів і комбайнів прийнято класифікувати за причинами виникнення, умовами прояву, рівнем складності та значущістю їхніх наслідків. За походженням вони поділяються на конструктивні, виробничі та експлуатаційні.

Конструктивні відмови виникають через недосконалість конструкції машин або використання матеріалів, які не відповідають фактичним робочим навантаженням.

Виробничі відмови є результатом порушення технологічних процесів під час виготовлення чи ремонту машин і їхніх вузлів. Їхня поява значною мірою залежить від кваліфікації персоналу, технічного стану виробничого обладнання та його достатньої кількості.

Експлуатаційні відмови зумовлені порушеннями правил користування технікою, несвоєчасним або неякісним виконанням регламентованих технічних обслуговувань, використанням неякісних мастильних матеріалів і палива,

недотриманням умов зберігання, а також низьким рівнем підготовки трактористів і комбайнерів. Із збільшенням строку експлуатації машин співвідношення між конструктивними, виробничими та експлуатаційними відмовами змінюється (рис. 4.1).

Аналіз залежностей, наведених на рис. 4.1, свідчить, що на початковому етапі роботи техніки переважають виробничі відмови, пов'язані з якістю складання, регулюванням вузлів та агрегатів під час виготовлення або ремонту. У подальшій експлуатації їх кількість стабілізується, але може знову зрости після проведення капітального ремонту.

Конструктивні відмови, як правило, мають найменшу частку. Їх поступове збільшення пов'язане з природним зношуванням деталей, накопиченням втоми матеріалів та появою нових дефектів у міру старіння машини.

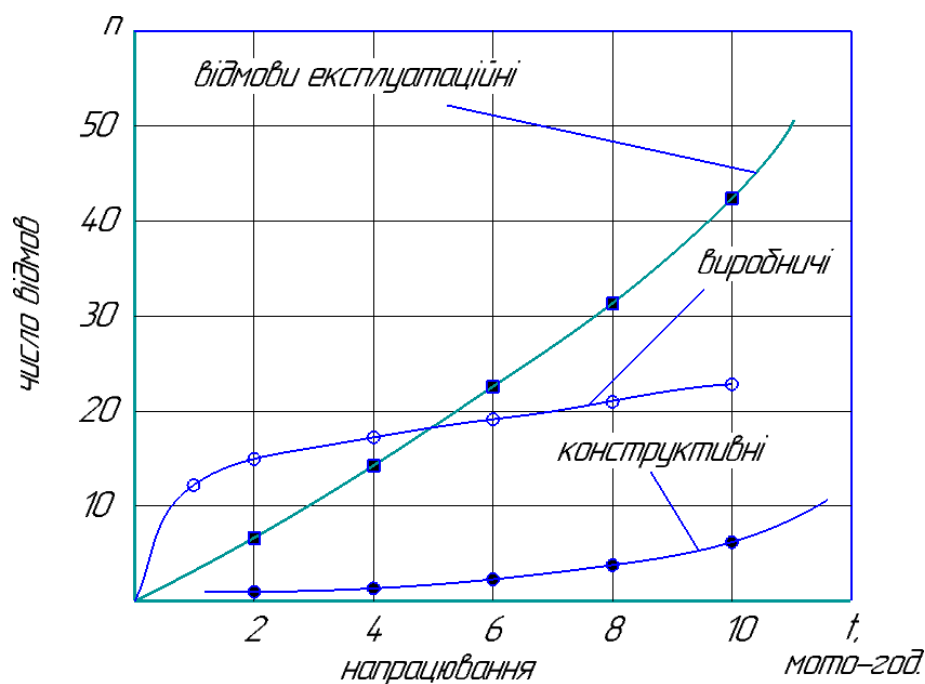


Рисунок 4.1 – Динаміка відмов залежно від причин їх виникнення.

Кількість експлуатаційних відмов на початковому етапі експлуатації зростає пропорційно до тривалості роботи машини, однак з часом інтенсивність їх появи значно підвищується, а наслідки стають більш серйозними.

За умовами прояву всі відмови поділяються на три основні типи: раптові, параметричні та поступові.

– Раптові відмови виникають без попередніх ознак і характеризуються повною втратою працездатності вузла чи агрегату внаслідок різних причин,

наприклад, через раптове руйнування деталей. Такі відмови мають випадковий характер і можуть трапитися у будь-який момент експлуатації.

– Параметричні відмови проявляються тоді, коли технічні параметри вузлів або агрегатів виходять за межі допустимих значень, установлених технічною або експлуатаційною документацією. Вони не завжди супроводжуються повною зупинкою машини, однак істотно знижують її ефективність.

– Поступові (ресурсні) відмови пов'язані зі зміною структурних характеристик деталей у процесі експлуатації. Геометричні параметри елементів поступово змінюються у функціональній залежності від відпрацьованого ресурсу машини, що зрештою призводить до втрати працездатності.

Найбільш складними для своєчасного виявлення є саме параметричні та поступові відмови, оскільки вони часто проявляються вже після того, як машина фактично втратила працездатність у процесі роботи.

Для оцінювання важливості відмов та визначення основних причин їх виникнення застосовується класифікація за трьома рівнями:

- I група – малозначимі (несуттєві) відмови, які не впливають істотно на працездатність техніки;
- II група – суттєві відмови, що знижують ефективність роботи машин і потребують усунення;
- III група – важкі відмови, які призводять до серйозних наслідків і повної втрати роботоздатності агрегатів.

Таблиця 4.1 – Класифікація відмов тракторів і комбайнів

| Фактори, що характеризують наслідки відмови | Показники                                       | Групи значимості відмов |          |            |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|----------|------------|
|                                             |                                                 | малозначимі             | суттєві  | важкі      |
| Затрати на усунення наслідків відмов        | Вартість запасних частин, % від вартості машини | Трактори                |          |            |
|                                             |                                                 | Менше 0,05              | 0,05–0,5 | Більше 0,5 |
|                                             |                                                 | Зернозбиральні комбайни |          |            |
|                                             |                                                 | Менше 0,04              | 0,04–0,4 | Більше 0,4 |
| Збитки від простою машини                   | Тривалість простою, год.                        | Менше 1,0               | 1,0–5,0  | Більше 5,0 |

|                                                                   |                               |                                                                        |                                                                              |                                                        |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Складність усунення наслідків відмови, (вимоги до ремонтної бази) | Необхідне обладнання          | Штатний інструмент, ключі, універсальні знімачі                        | Комплект механіка, універсальне обладнання, зварювальний апарат              | Спеціальне обладнання, контрольно–випробувальні стенди |
| Загроза безпеки                                                   | Ймовірність нещасного випадку | Несчастні випадки, обумовлені відмовою, невідомі потенційно не можливі | Несчасні випадки відомі або потенційно можливі випадки нанесення шкоди людям |                                                        |

Відмови, що належать до II та III групи, відносять до значних, і при оцінюванні надійності їх часто об'єднують у спільну категорію. Натомість відмови I групи мають несуттєвий вплив на ефективність роботи техніки та зазвичай не враховуються під час розрахунків показників безвідмовності.

Значимість відмов має велике практичне значення як для споживачів, так і для виробників техніки. Наприклад, зупинка комбайна під час жнив через відмову окремого вузла призводить до зриву строків збирання врожаю та зменшення його обсягів, що в результаті викликає значні економічні втрати. Окрім цього, виникають додаткові витрати на проведення ремонту. Щоб уникнути таких наслідків, споживачі прагнуть купувати більш надійну техніку, що стимулює виробників підвищувати якість своїх виробів. Таким чином, класифікація відмов за значимістю наслідків більш точно характеризує масштаби можливих збитків порівняно з класифікацією за складністю й дозволяє враховувати інтереси як виробника, так і користувача техніки.

### **3.6 Комплексна оцінка рівня технічної експлуатації тракторів та зернозбиральних комбайнів**

Технічна експлуатація – це сукупність робіт, спрямованих на підтримання та відновлення працездатності машин, яка включає технічне обслуговування, ремонт і зберігання.

Першочерговим завданням є визначення ключових факторів, що характеризують технічну експлуатацію та впливають на надійність сільськогосподарських машин, а також переоцінка їх значущості в сучасних умовах експлуатації.

На основі зібраних даних було відібрано понад 20 основних факторів, що діють у п'яти головних напрямках:

- технічне обслуговування;
- ремонт;
- якість паливно–мастильних матеріалів;
- умови зберігання техніки;
- професійна підготовка механізаторів.

Ці фактори мають значний вплив на рівень надійності техніки під час експлуатації.

За результатами випробувань встановлено, що для зернозбиральних комбайнів найкритичнішим чинником є працездатність технологічного обладнання, тоді як вплив відмов двигуна та шасі є менш значним. У тракторів, навпаки, основна кількість відмов припадає саме на двигун і шасі, що потребує особливої уваги при оцінюванні їхньої надійності.

Таблиця 4.2 – Розподіл значущих відмов за основними агрегатами і системами

| Агрегати, система                             | Частка відмов, % від загального числа |           |                            |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------|-----------|----------------------------|
|                                               | Трактори                              |           | Комбайни<br>зернозбиральні |
|                                               | колісні                               | гусеничні |                            |
| Двигун з допоміжним обладнанням               | 30–40                                 | 35–45     | 10–15                      |
| Шасі                                          | 40–50                                 | 45–55     | 10–15                      |
| Гідросистема                                  | 8–10                                  | 10–12     | 15–20                      |
| Електрообладнання і прилади                   | 5–10                                  | 5–8       | 3–6                        |
| Технологічне обладнання з навіскою і приводом | 2–4                                   | 3–5       | 50–60                      |

Окрім цього, для зернозбиральних комбайнів характерне значно менше річне навантаження порівняно з тракторами – у середньому в 6–8 разів, водночас кількість відмов у них у 8–10 разів більша. Така відмінність істотно впливає на значення окремих факторів та їхні ранги при оцінюванні технічного стану машин.

Для остаточного визначення значущості кожного фактора та побудови їхнього рейтингу було застосовано метод експертних оцінок. Найвищий ранг – 1 – присвоювався фактору, що мав найбільший вплив на технічну експлуатацію та надійність машин. Менші значення рангів відповідали факторам із нижчим рівнем впливу.

Стан кожного фактора може оцінюватися не лише кількісними показниками, а й якісними характеристиками, що відображають реальний рівень його впливу. Важливим інтегральним показником виступає ступінь дотримання правил експлуатації техніки, який суттєво визначає взаємозв'язок між технічним станом машин і їх надійністю.

Таблиця 4.3 – Оціночні показники стану факторів технічної експлуатації тракторів та комбайнів

| Кількісна оцінка, $\omega$ |           | Якісна оцінка | Ступінь дотримання правил експлуатації                                                                                                                                      |
|----------------------------|-----------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| середня                    | інтервал  |               |                                                                                                                                                                             |
| 0,95                       | 1,00–0,91 | Високий       | Правила експлуатації практично дотримуються.                                                                                                                                |
| 0,80                       | 0,90–0,71 | Середній      | Є окремі відхилення від правил експлуатації, які не викликають важких відмов.                                                                                               |
| 0,60                       | 0,70–0,51 | Низький       | Порушень правил експлуатації багато, через що виникають відмови, в тому числі важкі.                                                                                        |
| 0,35                       | 0,50–0,20 | Дуже низький  | Правила експлуатації порушуються систематично. Виникає багато важких відмов, в тому числі що вимагають капітального ремонту агрегатів. Скорочується термін служби трактора. |

Рівень технічної експлуатації тракторів і зернозбиральних комбайнів визначався на основі результатів комплексного обстеження сільськогосподарських підприємств та опитування керівників інженерно-технічних служб. Такий підхід дозволив отримати об'єктивну інформацію про реальний стан технічного забезпечення та організацію експлуатаційних процесів у господарствах.

Для оцінювання кожного з факторів респондентам пропонувалося обрати один із фіксованих варіантів стану, який найточніше відповідає ситуації у їхньому господарстві. Це дало змогу не лише кількісно, а й якісно охарактеризувати умови експлуатації техніки.

Перелік основних факторів, можливі стани їх прояву та відповідні оціночні показники (позначені як  $p$  і  $pi$ ) наведені в таблиці 4.4.

Дані таблиці дають змогу всебічно проаналізувати вплив кожного фактора на надійність машинного парку та визначити напрями для підвищення ефективності експлуатації техніки. Використання системи оціночних показників дозволяє об'єктивно порівнювати різні господарства, виявляти слабкі місця у структурі технічного обслуговування та планувати заходи щодо покращення умов експлуатації тракторів і комбайнів.

Таким чином, застосування ранжування факторів і фіксованих станів є важливим етапом у формуванні комплексної оцінки технічної експлуатації та розробці заходів з підвищення надійності сільськогосподарської техніки.

Таблиця 4.4 – Характеристики рівня технічної експлуатації тракторів і комбайнів

| Фактор                                                                           | Ранг фактора, $P$ |               | Стан фактора                                                                                                                                                                                                           | Середні коефіцієнти стану, $\omega$ |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                                                  | Трак–<br>тора     | Ком–<br>байна |                                                                                                                                                                                                                        |                                     |
| 1                                                                                | 2                 | 3             | 4                                                                                                                                                                                                                      | 5                                   |
| 1. Частка виконання операцій ТО, % від встановлених інструкцією заводу–виробника | 1,0               | 1,0           | 1.1. Не менш 90%.<br>Обов'язково виконуються всі операції з обслуговування двигуна і шасі трактора і основних агрегатів і вузлів технологічного устаткування, комбайна                                                 | 0,95                                |
|                                                                                  |                   |               | 1.2. 75 – 90%, в т.ч. всі операції з обслуговування систем змащення, охолодження, подачі і очищення повітря, подачі палива двигунів; а також молотарки, жатки, приводних механізмів технологічного обладнання комбайна | 0,80                                |
|                                                                                  |                   |               | 1.3. 60–75% операцій ТО, в т.ч.                                                                                                                                                                                        | 0,60                                |

|                                                                              |     |     |                                                                                                                              |      |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|                                                                              |     |     | всі операції по п.1.2.                                                                                                       |      |
|                                                                              |     |     | 1.4. Менш 60% і невиконання хоча б однієї операції двигуна або комбайна по п.1.2.                                            | 0,35 |
| 2. Відхилення від термінів виконання ТО, встановлених заводською інструкцією | 0,7 | 0,8 | 2.1. Не більше 10%                                                                                                           | 0,95 |
|                                                                              |     |     | 2.2. Від 10 до 30%                                                                                                           | 0,80 |
|                                                                              |     |     | 2.3. Більше ніж на 30%                                                                                                       | 0,60 |
|                                                                              |     |     | 2.4. Облік проведення ТО відсутній                                                                                           | 0,35 |
| 3.Якість застосовуваних палива і масел                                       | 0,4 | 0,3 | 3.1. Нафтобаза типова. Відстій палива проводиться постійно. Паливо і масла відповідають заводської інструкції                | 0,95 |
|                                                                              |     |     | 3.2. Нафтобаза пристосована. Відстій палива проводиться не регулярно. Є випадки порушення сортаменту ПММ                     | 0,80 |
|                                                                              |     |     | 3.3. Паливо зберігається в непристосованих резервуарах. За відстоєм палива не стежать. Сорти палива і масел не контролюються | 0,60 |
|                                                                              |     |     | 3.4. У паливі і маслах Зустрічаються механічні домішки, вода                                                                 | 0,35 |
| 4.Оснащення ремонтною базою                                                  | 0,6 | 0,7 | 4.1. Типова ремонтна база, придатна для виконання складних ремонтів                                                          | 0,95 |

|                           |     |     |                                                                                                                                                                                           |      |
|---------------------------|-----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|                           |     |     | 4.2. Пристосована ремонтна база, що має стенди для регулювання паливної апаратури і електрообладнання, верстат для шиномонтажу, зварювальний апарат, 2–3 металорізальних верстати і мийку | 0,80 |
|                           |     |     | 4.3. Майстерня в неопалюваному приміщенні, має менше половини Устаткування по п.4.2. і зварювальний апарат                                                                                | 0,60 |
|                           |     |     | 4.4. Рембаза відсутня. Машини Ремонтують на відкритому майданчику                                                                                                                         | 0,35 |
| 5. Виконавці ремонтів     | 0,9 | 1,0 | 5.1. Інженер–механік, постійний штат кваліфікованих фахівців, в т.ч. моторист, зварник, токар тощо.                                                                                       | 0,95 |
|                           |     |     | 5.2. Механік, постійний штат робітників. Фахівців не вистачає.                                                                                                                            | 0,80 |
|                           |     |     | 5.3. Механік, тракторист (комбайнер), випадкові слюсарі                                                                                                                                   | 0,60 |
|                           |     |     | 5.4. Складний в т.ч. капітальний ремонт виконують тракторист, випадкові слюсарі                                                                                                           | 0,35 |
| 6. Якість запасних частин | 0,6 | 0,7 | 6.1. 90–100% нових                                                                                                                                                                        | 0,95 |
|                           |     |     | 6.2. 50–90% нових, інші були в експлуатації з великим залишковим ресурсом                                                                                                                 | 0,80 |
|                           |     |     | 6.3. Нових менше 50%, решта були в експлуатації із залишковим ресурсом не менше ніж річне напруження                                                                                      | 0,60 |
|                           |     |     | 6.4. Основна частина запчастин зі старих (списаних) машин. Контроль Залишкового ресурсу не проводиться                                                                                    | 0,35 |
| 7. Зберігання машин       | 0,3 | ,8  | 7.1. У закритих утеплених приміщеннях, з дотриманням всіх правил зберігання                                                                                                               | 0,95 |

|  |  |  |                                                                         |      |
|--|--|--|-------------------------------------------------------------------------|------|
|  |  |  | 7.2. На відкритому майданчику з дотриманням всіх правил зберігання      | 0,80 |
|  |  |  | 7.3. На відкритому майданчику, без зняття вузлів і герметизації отворів | 0,60 |
|  |  |  | 7.4. З грубими порушеннями правил                                       | 0,35 |

Показники, що визначають рівень технічної експлуатації тракторів і зернозбиральних комбайнів, обчислюються на основі узагальнення результатів досліджень, проведених у господарствах. Для цього використовують такі основні формули:

- Оцінка стану  $i$ -го фактора:

$$\omega_i = \frac{1}{N} \sum \omega_{ij}$$

де:

- $\omega_i$  – середній коефіцієнт стану  $i$ -го фактора;
- $\omega_{ij}$  – коефіцієнт стану  $i$ -го фактора в  $j$ -му господарстві;

- Рівень технічної експлуатації тракторів:

$$K_e = \frac{\sum p_i \cdot \omega_i}{\omega_{max} \sum p_i} = 0,2 \sum p_i \cdot \omega_i$$

- Рівень технічної експлуатації зернозбиральних комбайнів:

$$K_e = 0,17 \sum p_i \omega_i$$

де:

- $K_e$  – коефіцієнт рівня технічної експлуатації;
- $p_i$  – ранг  $i$ -го фактора;
- $\omega_{max}$  – максимальне значення стану фактора (0,95 – див. табл. 4.4);
- $\sum p_i$  – сума рангів (для тракторів – 5,3; для зернозбиральних комбайнів – 6,2).

На підставі результатів аналізу господарств, розташованих у Запорізькій та Дніпропетровській областях, було встановлено, що середній рівень технічної експлуатації тракторів становить 0,7, що відповідає перехідному рівню між низьким і середнім.

Найгірші показники були зафіксовані за фактором «Зберігання машин», що свідчить про наявність суттєвих проблем із дотриманням правил утримання техніки. Середній рівень було зафіксовано для факторів «Виконання операцій технічного обслуговування» та «Ставлення тракториста до праці», які відіграють ключову роль у забезпеченні надійності машин.

Інші п'ять факторів характеризувалися низьким рівнем. Серед основних причин виділяються:

- несвоєчасне виконання регламентованих технічних обслуговувань;
- недостатнє очищення масел та паливних матеріалів;
- відсутність належного контролю за використанням рекомендованих виробником сортів паливно–мастильних матеріалів;
- низька якість запасних частин;
- незадовільний стан ремонтної бази та недостатня робота з підготовки кваліфікованих ремонтних кадрів.

Саме ці чинники суттєво впливають на експлуатаційну надійність тракторів, знижують їхню ефективність і призводять до підвищення витрат на технічне обслуговування.

Таблиця 4.5 – Оцінки стану факторів технічної експлуатації тракторів

| Фактори                           | Частка господарств з рівнем технічної експлуатації, % |          |         |              | Оцінка фактора |             |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------|---------|--------------|----------------|-------------|
|                                   | Високим                                               | Середнім | Низьким | Дуже низьким | Кількісна      | Якісна      |
| 1. Виконання обсягу ТО            | 15,2                                                  | 41,4     | 33,6    | 10,9         | 0,71           | середня     |
| 2. Відхилення термінів ТО         | 30,4                                                  | 26,1     | 26,1    | 17,4         | 0,67           | низька      |
| 3. Якість ПММ                     | 26,1                                                  | 21,7     | 26,1    | 26,1         | 0,67           | низька      |
| 4. Оснащення ремонтної бази       | 21,7                                                  | 30,4     | 34,9    | 13,0         | 0,70           | низька      |
| 5. Виконавці ремонту              | 23,9                                                  | 28,3     | 28,3    | 19,5         | 0,69           | низька      |
| 6. Якість запчастин               | 6,5                                                   | 17,5     | 30,4    | 45,6         | 0,54           | низька      |
| 7. Зберігання машин               | 2,2                                                   | 10,9     | 30,4    | 56,5         | 0,49           | Дуже низька |
| 8. Ставлення тракториста до праці | 19,6                                                  | 39,1     | 34,8    | 6,5          | 0,73           | середня     |

На основі аналізу отриманих даних щодо стану основних факторів технічної експлуатації тракторів було встановлено чіткий взаємозв'язок між коефіцієнтом  $K_e$ , який характеризує рівень технічної експлуатації, та кількістю значущих відмов техніки. Результати цього дослідження зведені в таблицю 4.6 та наочно відображені на рисунку 4.2.

Таблиця 4.6 – Взаємозв'язок між коефіцієнтом рівня технічної експлуатації трактора та кількістю значущих відмов

| Інтервал значень коефіцієнта рівня технічної експлуатації трактора, $K_e$ | Марка трактора | Число значущих відмов трактора |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------|
| 0,60–0,65                                                                 | МТЗ–892        | 3                              |
|                                                                           | ХТЗ–17021      | 3                              |
|                                                                           | ЮМЗ–8244       | 4                              |
| 0,65–0,70                                                                 | МТЗ–892        | 2                              |
|                                                                           | ХТЗ–17021      | 3                              |
|                                                                           | ЮМЗ–8244       | 4                              |
| 0,70–0,75                                                                 | МТЗ–892        | 2                              |
|                                                                           | ХТЗ–17021      | 2                              |
|                                                                           | ЮМЗ–8244       | 3                              |
| 0,75–0,80                                                                 | МТЗ–892        | 1                              |
|                                                                           | ХТЗ–17021      | 2                              |
|                                                                           | ЮМЗ–8244       | 3                              |

|           |           |   |
|-----------|-----------|---|
| 0,80–0,85 | MT3–892   | 1 |
|           | ХТЗ–17021 | 1 |
|           | ЮМЗ–8244  | 2 |

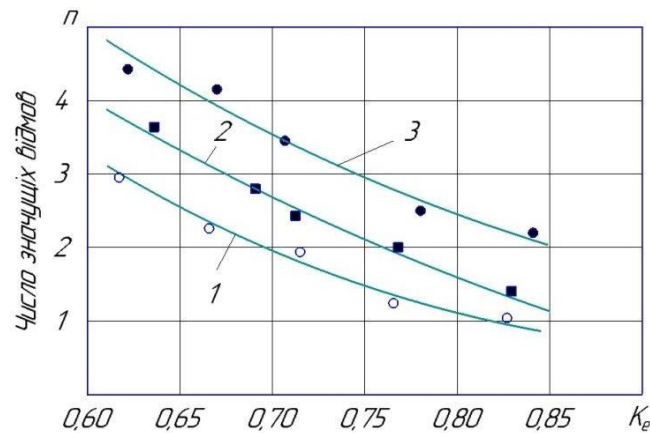


Рисунок 4.2 – Вплив рівня технічної експлуатації на безвідмовність тракторів: 1 – MT3–892; 2 – ХТЗ–17021; 3 – ЮМЗ–8244.

Аналіз наведених графіків свідчить, що при низькому рівні технічної експлуатації тракторів  $K_e \approx 0,65$  кількість значущих відмов перебуває в межах 3–4 на одиницю техніки, що головним чином пояснюється незадовільним станом ремонтно–обслуговувальної бази господарств, які забезпечують виконання робіт з технічного сервісу.

Зі збільшенням рівня технічної експлуатації тракторів до середнього значення  $K_e \approx 0,82$  спостерігається зменшення кількості значущих відмов у 1,8–2 рази, що свідчить про позитивний вплив підвищення якості технічного обслуговування та більш ефективної організації ремонтних робіт. Таким чином, чим вищий рівень технічної експлуатації, тим стабільніше працюють трактори та знижується ймовірність виникнення відмов під час роботи.

### 3.7 Обґрунтування раціональної стратегії ремонтів тракторів

#### 3.7.1 Види та характеристики ремонтів

Ефективність експлуатації складної сільськогосподарської техніки значною мірою визначається якістю та обсягом ремонтних робіт, що проводяться протягом усього життєвого циклу машин. Традиційно відновлення працездатності тракторів і комбайнів поділяється на усунення відмов, поточні та капітальні ремонти.

У практиці сільськогосподарського виробництва застосовують три основні підходи до відновлення працездатності машин:

1. Ремонт за потребою – виконується у випадку виходу машини з ладу через технічні причини. Такий підхід доцільний тоді, коли ймовірність виникнення складних відмов за планований період невелика, а витрати на їх усунення менші за витрати на інші види ремонтів.

2. Планове відновлення – зміст, обсяг і періодичність ремонтних робіт регламентовані нормативно-технічною документацією та не залежать від фактичного технічного стану машини. Основна перевага цього методу полягає у зменшенні втрат, пов'язаних із простоями, за умови правильного планування термінів та обсягів ремонтів.

3. Відновлення за технічним станом – передбачає проведення діагностування техніки, за результатами якого призначається ремонт для відновлення працездатності й продовження ресурсу машини. Такий підхід дозволяє оптимізувати витрати та забезпечити високу надійність техніки.

Оцінювання ефективності капітальних ремонтів проводилося на прикладі тракторів МТЗ–892 та його модифікацій (МТЗ–80/82), щодо яких було зібрано найбільший обсяг інформації. У дослідженні взяли участь 224 трактори, з яких 34 пройшли капітальний ремонт. Додатково було проаналізовано ще близько 60 тракторів, які перебували на ремонтних підприємствах. Максимальне напрацювання машин сягало 8 тис. мото-годин.

Результати аналізу середнього накопиченого числа відмов тракторів модифікації МТЗ у реальних умовах експлуатації наведені в таблиці 4.7.

Характеристики безвідмовності подані у вигляді кривих накопиченого числа відмов II та III груп складності (значущості), а також їхньої сумарної кількості на рисунку 4.3 для тракторів, які не проходили капітальний ремонт, і тих, що були відремонтовані.

Такий підхід дозволяє оцінити ефективність ремонтних стратегій, вплив капітальних ремонтів на продовження ресурсу машин і зниження кількості відмов, що є ключовим для підвищення надійності тракторного парку в сучасних умовах експлуатації.

Таблиця 4.7 – Результати середнього накопиченого числа відмов тракторів модифікації МТЗ

| Інтервали наробітку тракторів, тис. мото-год. | Трактори не проходили капітальний ремонт |                                   |                                      | Трактори після капітального ремонту |                                   |                                      |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
|                                               | Число відмов І групи складності          | Число відмов ІІІ групи складності | Сума відмов ІІ і ІІІ груп складності | Число відмов ІІ групи складності    | Число відмов ІІІ групи складності | Сума відмов ІІ і ІІІ груп складності |
| 0–1                                           | 2                                        | 0                                 | 2                                    | 5                                   | 1                                 | 6                                    |
| 1–2                                           | 6                                        | 1                                 | 7                                    | 11                                  | 2                                 | 13                                   |
| 2–3                                           | 11                                       | 1                                 | 12                                   | 19                                  | 4                                 | 23                                   |
| 3–4                                           | 18                                       | 2                                 | 20                                   | –                                   | –                                 | –                                    |
| 4–5                                           | 24                                       | 3                                 | 27                                   | –                                   | –                                 | –                                    |
| 5–6                                           | 32                                       | 4                                 | 36                                   | –                                   | –                                 | –                                    |
| 6–7                                           | 36                                       | 6                                 | 45                                   | –                                   | –                                 | –                                    |
| 7–8                                           | 48                                       | 9                                 | 57                                   | –                                   | –                                 | –                                    |

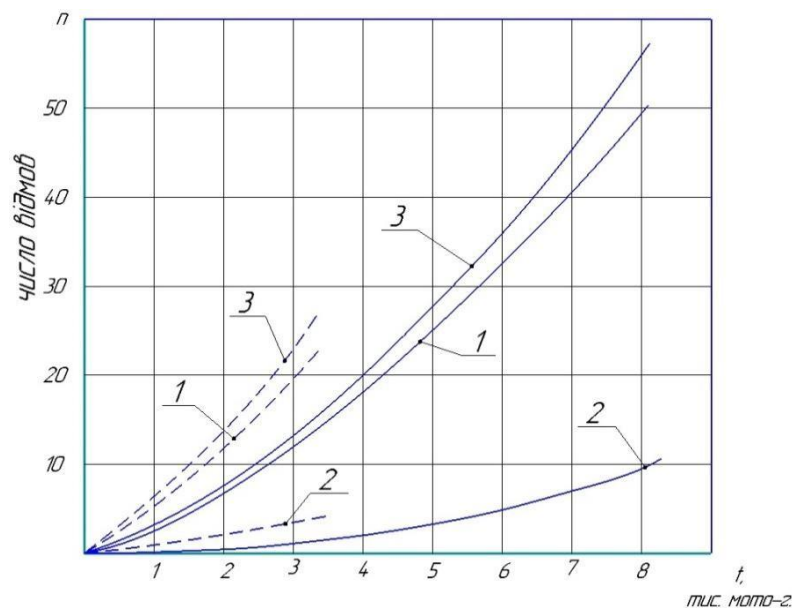


Рисунок 4.3 – Середнє накопичене число відмов тракторів модифікації МТЗ в умовах реальної експлуатації:

до першого капітального ремонту; – після капітального ремонту;

1 – відмови ІІ групи складності;

2 – відмови ІІІ групи складності;

3 – сумарна кількість відмов ІІ та ІІІ груп складності.

Аналіз отриманих графічних залежностей свідчить, що після досягнення 3000 мото–годин напрацювання середнє накопичене число складних відмов зростає з 12 для тракторів, які не проходили капітальний ремонт, до 23 для машин після його проведення. Це означає, що кількість відмов збільшується майже удвічі, що свідчить про недостатню якість проведення капітальних ремонтів у системі технічного сервісу тракторної техніки. Така тенденція може бути наслідком низького рівня технологічної дисципліни під час ремонту, використання неякісних запасних частин, а також відсутності належного контролю за якістю виконаних робіт.

Для більш глибокого розуміння причин зниження безвідмовності тракторів після капітального ремонту був складений детальний перелік агрегатів, відмови яких найчастіше ставали причиною необхідності проведення капітального ремонту. Ця інформація узагальнена в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Статистична оцінка агрегатів, через відмови яких трактор направляли на капітальний ремонт

| №з/п | Назва агрегату                                      | Частка тракторів у яких відмовили агрегатами, % |
|------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1    | Двигун                                              | 7,2                                             |
| 2    | Двигун + ведучі мости                               | 2,0                                             |
| 3    | Двигун + коробка передач                            | 5,5                                             |
| 4    | Двигун + задній міст                                | 4,0                                             |
| 5    | Двигун + керування поворотом                        | 2,0                                             |
| 6    | Двигун + кабіна                                     | 1,5                                             |
| 7    | Трансмісія повністю                                 | 1,0                                             |
| 8    | Коробка передач                                     | 5,5                                             |
| 9    | Коробка передач + задній міст                       | 3,0                                             |
| 10   | Коробка передач + задній міст + керування поворотом | 1,5                                             |
| 11   | Коробка передач + керування поворотом               | 2,0                                             |
| 12   | Коробка передач + кабіна                            | 1,0                                             |
| 13   | Керування поворотом                                 | 2,0                                             |
| 14   | Керування поворотом + кабіна                        | 0,5                                             |
| 15   | Кабіна                                              | 1,5                                             |

Детальний аналіз відмов, наведених у таблиці 4.8, показує, що найбільша їх частка припадає на двигун (7,2%) та коробку передач (5,5%). При цьому саме ці агрегати найчастіше стають причиною втрати роботоздатності трактора як окремо, так і в комбінації з іншими системами.

Основними факторами, що зумовлюють таку ситуацію, є використання неякісних паливно–мастильних матеріалів, а також несприятливі умови експлуатації техніки. Це призводить до прискореного зношування вузлів, зниження їх надійності та необхідності проведення капітальних ремонтів у більш ранні терміни.

### 3.8 Техніко–економічна модель відновлення машин у процесі експлуатації

Для визначення перспектив розвитку системи технічного сервісу (ТС) та уточнення його ролі у взаємозв'язках, що формують працездатність машинно–тракторного парку як об'єкта управління, були проведені спеціальні дослідження. Метою цих досліджень стало обґрунтування інформаційної моделі функціонування трактора, яка дозволяє розглядати процеси технічної експлуатації у взаємозв'язку з техніко–економічними показниками.

Інформаційну модель функціонування трактора можна уявити як багатопараметричну систему, у якій взаємопов'язані фактори експлуатації, технічного обслуговування, ремонтів та умов зберігання. Вона відображає комплексну дію як внутрішніх (конструктивних, виробничих), так і зовнішніх (експлуатаційних) чинників на загальний рівень надійності та довговічності машини.

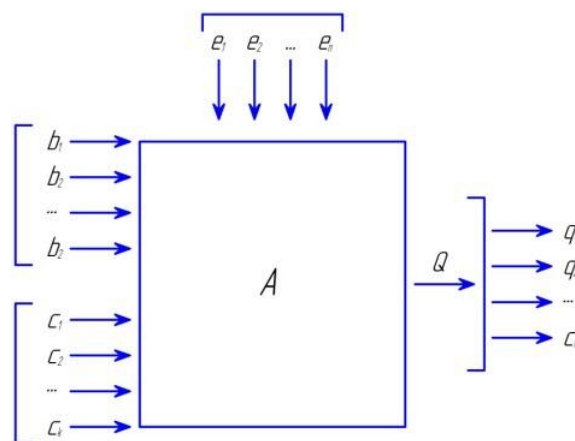


Рисунок 4.3 – Інформаційна модель функціонування трактора

У даній системі вхідний вектор  $E = e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$  вважається некерованим. До його складових належать фактори, що безпосередньо не піддаються впливу з боку користувача чи системи технічного сервісу. Сюди відносяться:

- природно–кліматичні умови (сезонні та добові коливання температури, вологості повітря тощо);
- конструктивні параметри машини;
- якість попередніх ремонтів.

Вхідний вектор  $B = b_1, b_2, b_3, \dots b_m$  включає чинники, які є частково керованими. До них можна віднести:

- швидкісні режими роботи машини;
- навантажувальні режими гідроприводу;
- якість застосовуваних робочих рідин;
- ефективність і стан фільтруючих елементів та інші параметри, які певною мірою можна регулювати.

Керуючими факторами у моделі виступає вектор  $C = c_1, c_2, c_3, \dots c_k$  до складу якого входять:

- система технічного обслуговування і ремонтів, прийнята в господарстві;
- методи й способи проведення ремонтних робіт;
- забезпеченість технічними засобами й обладнанням для обслуговування;
- наявність нормативно–технічної документації;
- кваліфікація обслуговуючого персоналу та механізаторів.

Вихідний вектор  $Q$  характеризує результати функціонування системи й безпосередньо залежить від стану як некерованих факторів  $E$ , так і частково керованих  $B$ , але найбільший вплив на нього здійснюють керуючі дії  $C$ , що реалізуються через організацію якісного технічного сервісу та ефективне управління процесами експлуатації, розраховується за формулою 3.13:

Оператор  $O$  являє собою функцію перетворення трьох векторних аргументів, яка визначає інтегральний показник якості роботи системи або критерій оптимальності її функціонування. Він може бути поданий у аналітичній формі та застосовується для оцінки ефективності системи технічного сервісу залежно від дії векторів  $E$ ,  $B$  та  $C$ .

Як основні критерії оцінювання результативності функціонування системи прийнято:

- загальні витрати, пов'язані з виконанням усіх видів ремонтів;

– час простоїв техніки, що виникає під час проведення технічного обслуговування й ремонтних робіт.

Модель була розроблена на прикладі тракторів, які експлуатуються у реальних виробничих умовах, що забезпечує її практичну достовірність. У процесі моделювання аналізувалися такі ключові параметри:

- динаміка накопичення відмов у залежності від напрацювання машин;
- тривалість простоїв, зумовлених технічним сервісом;
- економічні витрати на ремонт, що змінюються залежно від обраної стратегії технічного обслуговування.

У межах дослідження було розглянуто дві основні стратегії ремонтів:

- Стратегія 1. Відмови ліквідуються по мірі їх виникнення. Це найпростіший варіант, який не передбачає планових профілактичних заходів і зосереджений виключно на усуненні наслідків уже наявних несправностей.

- Стратегія 2. Ліквідація відмов здійснюється також за фактом їх появи, але з періодичним виконанням поточного профілактичного ремонту, що дозволяє значно знизити їхню кількість, підвищити надійність тракторів та продовжити термін їхньої експлуатації.

Розрахунок проводиться за формулою 3.14:

де:

- $t_{сл}$  – середнє напрацювання машини за весь термін служби;
- $t_{п1}$  – напрацювання до проведення першого профілактичного ремонту;
- $t_{п2}$  – напрацювання до проведення другого профілактичного ремонту;
- $T_{п1}$  – середнє напрацювання між окремими профілактичними ремонтами (наприклад, між першим і другим, другим і третім тощо), і для окремого кап.ремонту формула 3.15 і після капітального ремонту формула 3.16.

Стратегія 3. Усунення відмов здійснюється у міру їх виникнення, однак для відновлення працездатності складних вузлів та агрегатів передбачається проведення капітального ремонту машини в цілому. Такий підхід дозволяє суттєво продовжити термін служби техніки, підвищити її експлуатаційну надійність та мінімізувати ризики виникнення критичних відмов у майбутньому.

Розрахунок за цією стратегією проводиться з урахуванням основних показників експлуатації – напрацювання до ремонту, середніх інтервалів між ремонтами та загального ресурсу машини. Це дає змогу оцінити ефективність застосування капітальних ремонтів як елемента технічної стратегії й визначити оптимальні терміни їх проведення залежно від технічного стану агрегатів і умов експлуатації.

Для проведення порівняльного аналізу ефективності різних підходів до технічного сервісу та визначення оптимальної стратегії відновлення працездатності тракторів упродовж усього терміну їх експлуатації було відібрано шість типових варіантів ремонту. Ці варіанти охоплюють основні підходи до технічного обслуговування та ремонту машин, які застосовуються на практиці, і враховують як профілактичні заходи, так і капітальні ремонти.

Таблиця 4.9 – Типові варіанти ремонту тракторів

| № варіанту | Капітальні ремонти                      |                                         | Поточні профілактичні ремонти           |                                         |
|------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
|            | Наробіток до першого ремонту, мото–год. | Міжремонтний наробіток х число ремонтів | Наробіток до першого ремонту, мото–год. | Міжремонтний наробіток х число ремонтів |
| 1          | Без капітальних і поточних ремонтів     |                                         |                                         |                                         |
| 2          | 5000                                    | 3500 х 2                                | –                                       | –                                       |
| 3          | 7000                                    | 4200 х 1                                | –                                       | –                                       |
| 4          | –                                       | –                                       | 4000                                    | 3000 х 2 и 2000 х 1                     |
| 5          | –                                       | –                                       | 6000                                    | 3000 х 2                                |
| 6          | 6000                                    | 400 х 1                                 | 10 000                                  | 2000 х 1                                |

Моделювання накопиченого числа значущих відмов для варіанту № 1 (див. табл. 4.9) проведено з метою оцінки впливу відсутності ремонтних заходів на технічний стан тракторів упродовж їхнього життєвого циклу. Результати розрахунків зведено у таблицю 4.10, а графічна інтерпретація залежності представлена на рисунку 4.4.

Таблиця 4.10 – Показники старіння тракторів. Безремонтний варіант № 1

| Наробіток .тис. мото– год. | Наробіток на значиму відмову | Число знаних відмов | Простої із–за відмов, год. |              |
|----------------------------|------------------------------|---------------------|----------------------------|--------------|
|                            |                              |                     | На одну відмову            | Сумарний час |
| 1,0                        | 278                          | 3,6                 | 3,6                        | 13,0         |
| 2,0                        | 322                          | 6,2                 | 3,6                        | 22,3         |
| 3,0                        | 316                          | 9,5                 | 3,6                        | 34,2         |
| 4,0                        | 308                          | 13,0                | 3,6                        | 46,8         |
| 5,0                        | 294                          | 17,0                | 3,6                        | 61,2         |
| 6,0                        | 273                          | 22,0                | 3,6                        | 76,2         |
| 7,0                        | 259                          | 27,0                | 3,6                        | 97,2         |

|      |     |      |     |       |
|------|-----|------|-----|-------|
| 8,0  | 246 | 32,0 | 3,7 | 118,4 |
| 9,0  | 237 | 38,3 | 3,8 | 145,5 |
| 10,0 | 232 | 43,0 | 4,0 | 172,0 |
| 11,0 | 225 | 49,9 | 4,2 | 209,6 |
| 12,0 | 218 | 55,0 | 4,4 | 242,0 |

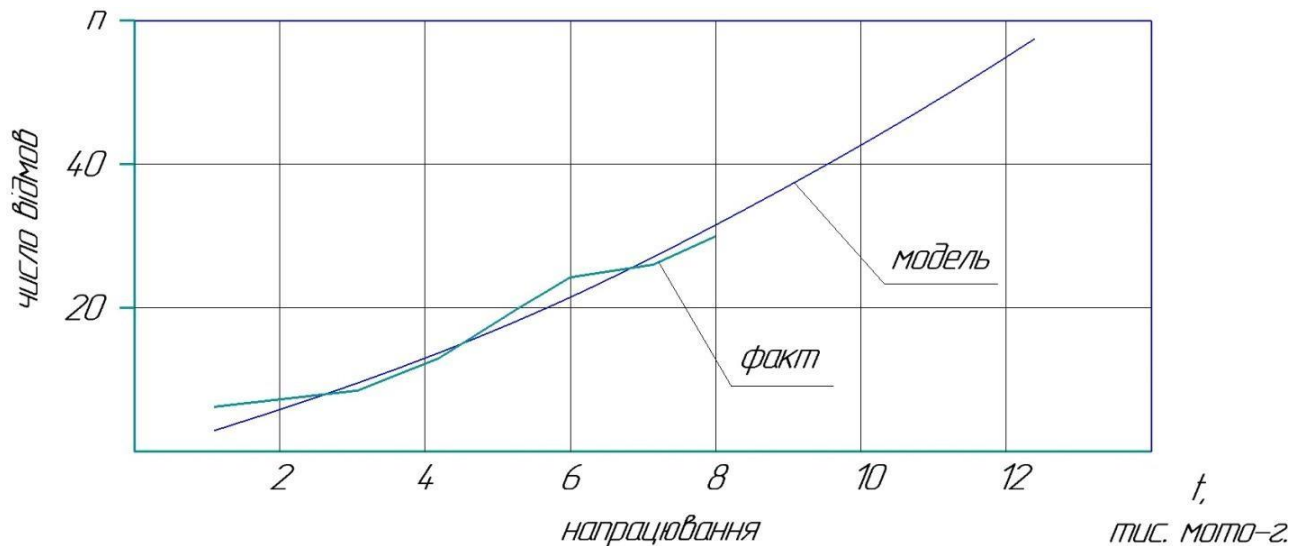


Рисунок 4.4 – Динаміка значущих (II та III групи складності) відмов тракторів

Проведений аналіз показав, що розрахункові результати моделювання добре узгоджуються з експериментальними даними, отриманими під час реальної експлуатації машин до напрацювання 8000 мото–годин. Максимальне відхилення фактичних показників від розрахункових не перевищує 5 %, що свідчить про високу точність моделі. Це дозволяє використовувати її для прогнозування динаміки значущих відмов, оцінювання витрат на їх усунення та часу простоїв техніки до напрацювання 12 000 мото–годин, що приблизно відповідає 12 рокам експлуатації.

Результати моделювання процесів відновлення та підтримання працездатності тракторів для різних стратегій ремонту подані в таблицях 4.11–4.13 і відображені графічно на рисунках 4.5–4.7.

- Варіанти № 2 і № 3 (див. табл. 4.9) передбачають усунення відмов та виконання капітальних ремонтів.
- Варіанти № 4 і № 5 зосереджені на поточних профілактичних ремонтах.
- Варіант № 6 передбачає комбінований підхід, який поєднує усунення відмов, проведення капітальних і профілактичних ремонтів.

Технічні ознаки початку старіння тракторів включають:

- зростання загальної кількості відмов;
- підвищення інтенсивності їх виникнення;
- збільшення частки складних відмов (III група значущості), які вимагають капітального ремонту або заміни основних агрегатів, таких як двигуни, коробки передач, ведучі мости, несучі системи, молотильні апарати тощо.

Таблиця 4.11 – Показники старіння тракторів з проведенням капітальних ремонтів

| Наробіток, тис. мото–год.                           | Наробіток на значиму відмову, мото–год | Число значимих відмов | Простої із–за відмов, год. | Простої із–за відмов і кап. ремонту, год. |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------------|
| Варіант №2 (2 кап. ремонту) до капітального ремонту |                                        |                       |                            |                                           |
| 2,0                                                 | 322                                    | 6,2                   | 22,3                       | 22,3                                      |
| 4,0                                                 | 308                                    | 13,0                  | 46,8                       | 46,8                                      |
| 5,0                                                 | 294                                    | 17,0                  | 61,2                       | 61,2                                      |
| Перший капітальний ремонт                           |                                        |                       |                            |                                           |
| 6,0                                                 | 276                                    | 21,7                  | 78,1                       | 142,1                                     |
| 7,0                                                 | 279                                    | 25,1                  | 90,4                       | 154,4                                     |
| 8,0                                                 | 279                                    | 29,3                  | 105,5                      | 169,5                                     |
| 8,5                                                 | 269                                    | 31,6                  | 113,8                      | 177,8                                     |
| Другий капітальний ремонт                           |                                        |                       |                            |                                           |
| 9,0                                                 | 249                                    | 36,3                  | 130,7                      | 258,7                                     |
| 10,0                                                | 252                                    | 39,7                  | 142,9                      | 270,9                                     |
| 11,0                                                | 250                                    | 43,9                  | 158,0                      | 286,0                                     |
| 12,0                                                | 247                                    | 48,5                  | 174,6                      | 302,6                                     |
| Варіант № 3 (один капремонт)                        |                                        |                       |                            |                                           |
| 2,0                                                 | 322                                    | 6,2                   | 22,3                       | 22,3                                      |
| 4,0                                                 | 308                                    | 13,0                  | 46,8                       | 46,8                                      |
| 6,0                                                 | 273                                    | 22,0                  | 79,2                       | 79,2                                      |
| 7,0                                                 | 259                                    | 27,0                  | 92,2                       | 92,2                                      |
| Капітальний ремонт                                  |                                        |                       |                            |                                           |
| 8,0                                                 | 252                                    | 31,7                  | 114,1                      | 178,1                                     |
| 9,0                                                 | 256                                    | 35,1                  | 126,4                      | 190,4                                     |
| 10,0                                                | 254                                    | 39,4                  | 141,8                      | 205,8                                     |
| 11,0                                                | 251                                    | 43,9                  | 158,0                      | 222,0                                     |
| 12,0                                                | 244                                    | 49,1                  | 176,8                      | 240,8                                     |

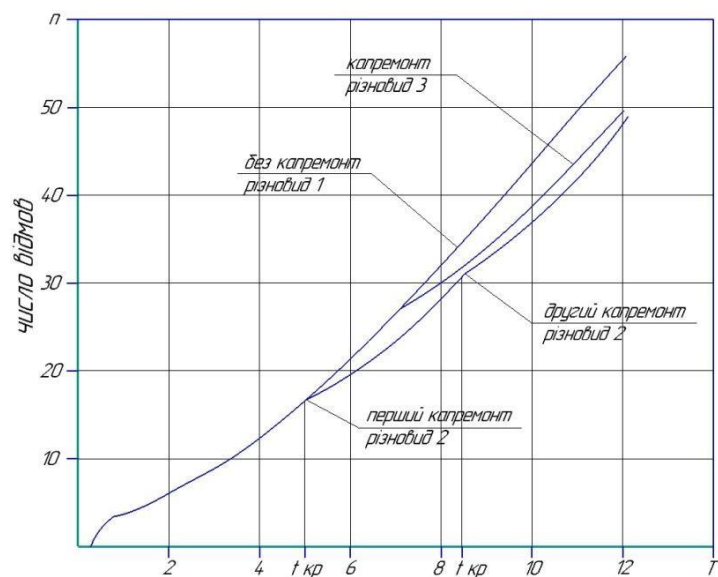


Рисунок 4.5 – Динаміка старіння тракторів при застосуванні різних варіантів капітальних ремонтів

Аналіз графіків свідчить, що при експлуатації тракторів без проведення капітальних ремонтів спостерігається різке збільшення кількості відмов уже після напрацювання приблизно 5000 мото–годин. Подальша експлуатація техніки призводить до стрімкого зростання числа відмов, ліквідація яких потребує значних витрат часу та призводить до збільшення тривалості простоїв машин, знижуючи загальну ефективність використання техніки.

При застосуванні варіанту № 2, який передбачає два капітальні ремонти протягом життєвого циклу трактора, ситуація суттєво покращується. Зокрема, після проведення першого капітального ремонту кількість відмов у післяремонтний період зменшується на 11,5 % порівняно з безремонтним варіантом. Після другого капітального ремонту це зниження становить уже 16,7 %, що свідчить про позитивний вплив ремонтних робіт на надійність техніки.

Очевидно, що ефективність реалізації таких стратегій залежить не лише від своєчасності виконання ремонтів, а й від рівня матеріальних витрат, необхідних для відновлення працездатності трактора. Важливу роль при цьому відіграють стан ремонтно–технічної бази господарства, яке експлуатує техніку, а також якість і собівартість капітальних ремонтів, що виконуються на спеціалізованих підприємствах.

Таблиця 4.12 – Показники старіння тракторів з проведенням профілактичних ремонтів

| Наробіток<br>тис. мото– год.                   | Наробіток на<br>значиму відмову,<br>мото–год | Число знаних<br>відмов | Простої із–за<br>відмов, год. | Простої із–за<br>відмов і кап.<br>ремонті, год. |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Варіант № 4 до першого профілактичного ремонту |                                              |                        |                               |                                                 |
| 2,0                                            | 322                                          | 6,2                    | 22,3                          | 22,3                                            |
| 4,0                                            | 308                                          | 13,0                   | 46,8                          | 46,8                                            |
| Профілактичний ремонт № 1                      |                                              |                        |                               |                                                 |
| 5,0                                            | 294                                          | 17,0                   | 61,2                          | 73,2                                            |
| 6,0                                            | 301                                          | 19,9                   | 71,6                          | 83,6                                            |
| 7,0                                            | 298                                          | 23,5                   | 84,6                          | 96,6                                            |
| Профілактичний ремонт № 2                      |                                              |                        |                               |                                                 |
| 8,0                                            | 291                                          | 27,5                   | 101,7                         | 125,7                                           |
| 9,0                                            | 296                                          | 30,4                   | 115,5                         | 139,5                                           |
| 10,0                                           | 294                                          | 34,0                   | 136,0                         | 160,0                                           |
| Профілактичний ремонт № 3                      |                                              |                        |                               |                                                 |
| 11,0                                           | 289                                          | 38,0                   | 159,6                         | 195,6                                           |
| 12,0                                           | 293                                          | 40,9                   | 180,0                         | 216,0                                           |
| Варіант № 5 до першого профілактичного ремонту |                                              |                        |                               |                                                 |
| 5,0                                            | 294                                          | 17,0                   | 61,2                          | 61,2                                            |

|                                       |     |      |       |       |
|---------------------------------------|-----|------|-------|-------|
| 6,0                                   | 273 | 22,0 | 79,2  | 79,2  |
| Профілактичний ремонт № 1             |     |      |       |       |
| 7,0                                   | 269 | 26,0 | 93,6  | 105,6 |
| 8,0                                   | 277 | 28,9 | 106,9 | 118,9 |
| 9,0                                   | 277 | 32,5 | 123,5 | 135,5 |
| Закінчення тПрофілактичний ремонт № 2 |     |      |       |       |
| 10,0                                  | 274 | 36,5 | 146,0 | 170,0 |
| 11,0                                  | 279 | 39,4 | 165,5 | 189,5 |
| 12,0                                  | 279 | 43,0 | 189,2 | 213,2 |

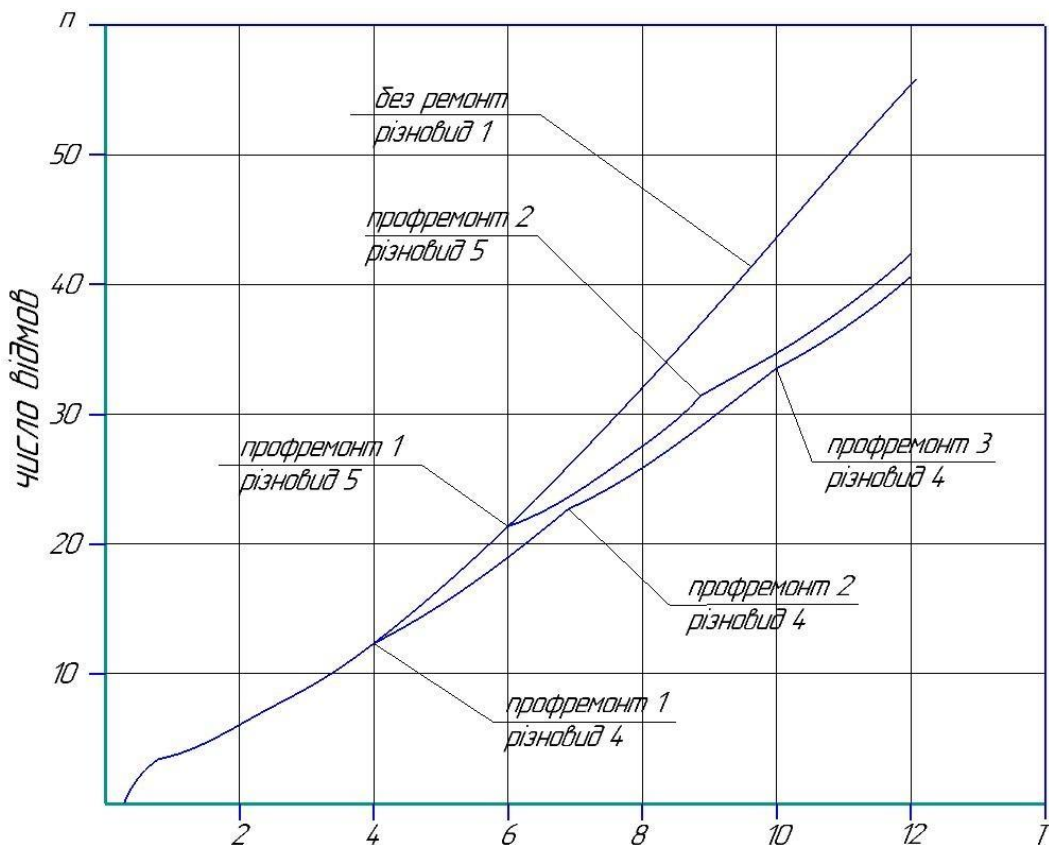


Рисунок 4.6 – Динаміка показників старіння тракторів при застосуванні різних варіантів профілактичних ремонтів

Отримані результати моделювання свідчать, що застосування трьох профілактичних ремонтів протягом життєвого циклу трактора (варіант №4) дозволяє знизити кількість відмов на 26% у порівнянні з варіантом експлуатації техніки без ремонтних втручань. Крім того, у порівнянні з варіантом №5, який передбачає лише два профілактичних ремонти, кількість відмов менша приблизно на 5%, що свідчить про високу ефективність додаткового профілактичного втручання.

Важливо відзначити, що проведення профілактичних ремонтів може здійснюватися безпосередньо на власній ремонтно-технічній базі господарства, без залучення спеціалізованих підприємств. Це не лише зменшує собівартість

ремонтних робіт, але й скорочує час простою машин, що позитивно впливає на загальну ефективність експлуатації тракторів.

Таким чином, профілактичні ремонти є важливим інструментом у системі технічного сервісу, який дозволяє значно уповільнити процес старіння техніки, підвищити її експлуатаційну надійність та забезпечити стабільну роботу протягом усього життєвого циклу.

Таблиця 4.13 – Показники старіння тракторів з проведенням різних ремонтів

| Наробіток<br>.тис. мото– год. | Наробіток на<br>значиму відмову,<br>мото–год | Число знаних<br>відмов | Простої із–за<br>відмов, год. | Простої із–за<br>відмов і кап.<br>ремонти, год. |
|-------------------------------|----------------------------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| До першого ремонту            |                                              |                        |                               |                                                 |
| 2,0                           | 322                                          | 6,2                    | 22,3                          | 22,3                                            |
| 4,0                           | 308                                          | 13,0                   | 46,8                          | 46,8                                            |
| 6,0                           | 273                                          | 22,0                   | 76,2                          | 76,2                                            |
| Капітальний ремонт            |                                              |                        |                               |                                                 |
| 7,0                           | 246                                          | 26,7                   | 96,1                          | 160,1                                           |
| 8,0                           | 229                                          | 30,1                   | 108,4                         | 172,4                                           |
| 9,0                           | 208                                          | 34,4                   | 123,8                         | 187,8                                           |
| 10,0                          | 204                                          | 39,0                   | 140,4                         | 204,4                                           |
| Профілактичний ремонт         |                                              |                        |                               |                                                 |
| 11,0                          | 207                                          | 43,0                   | 154,8                         | 230,8                                           |
| 12,0                          | 214                                          | 45,9                   | 165,2                         | 241,2                                           |

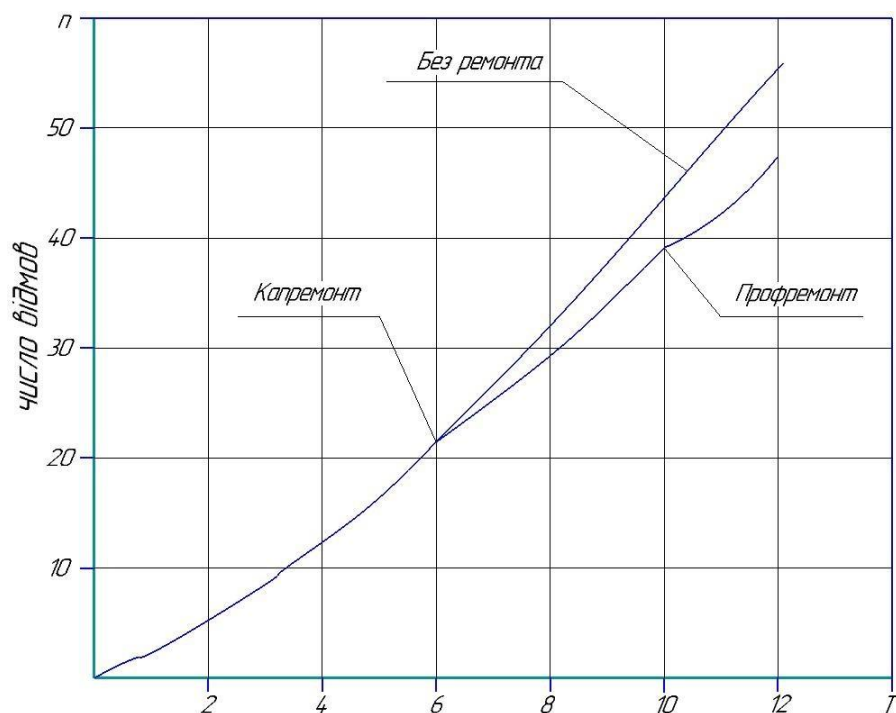


Рисунок 4.7 – Динаміка показників старіння трактора при одному капітальному та одному профілактичному ремонтах

Аналіз графіків (рис. 4.7) свідчить, що застосування впродовж життєвого циклу трактора одного капітального та одного профілактичного ремонту забезпечує помітне

підвищення його експлуатаційної надійності. Зокрема, кількість значущих відмов зменшується приблизно на 9 % на початку післяремонтного періоду експлуатації та досягає 11,4 % наприкінці цього періоду порівняно з варіантом, за якого ремонтні заходи не проводяться. Це, у свою чергу, приводить до скорочення часу простоїв, пов'язаних з усуненням відмов, і підвищення ефективності використання техніки.

Однак ефективність такої стратегії значною мірою залежить від матеріальних витрат, необхідних для виконання ремонтних робіт. У зв'язку з цим рекомендується орієнтуватися на власну ремонтно–обслуговувальну базу господарства, що дозволить істотно знизити собівартість ремонтів. Виконання ремонтів на спеціалізованих підприємствах передбачає застосування агрегатних методів ремонту з використанням нових вузлів та агрегатів, що значно підвищує вартість відновлення працездатності трактора.

### **3.9 Розроблення річного графіка завантаження майстерні**

Річний графік завантаження ремонтної майстерні складається з метою оптимізації проведення ремонтно–обслуговуючих робіт протягом року та забезпечення своєчасної підготовки техніки до виконання агротехнічних операцій.

В основу планування раціонального завантаження майстерні покладаються такі основні матеріали:

- річний план проведення ремонтів і технічного обслуговування машинно–тракторного парку;
- прийнята система спеціалізації та кооперації щодо ремонту машин, вузлів і агрегатів;
- наявна ремонтно–обслуговувальна база господарства та організація ремонтних робіт;
- вимога рівномірного завантаження майстерні протягом року;
- необхідність забезпечення готовності техніки за 20–25 днів до початку агротехнічних робіт.

За основу побудови графіка приймається річний план ремонтно–обслуговуючих робіт (див. додаток А). При цьому слід враховувати, що:

- основна частка ремонтних робіт, зокрема поточні ремонти ( $\approx 80$  %), виконується у осінньо–зимовий період;

– більшість робіт з технічного обслуговування (60–80 %) припадає на весняно–літній сезон.

Ремонт зернозбиральних і спеціальних комбайнів доцільно планувати рівномірно, починаючи відразу після завершення агротехнічних робіт. Додатково рівномірне завантаження можна забезпечити коригуванням термінів проведення ремонтів окремих машин та включенням додаткових робіт у осінньо–літній період.

Після складання річного плану виконується побудова графіка завантаження майстерні так, щоб кількість робітників, залучених до виконання кожного виду робіт, була приблизно однаковою протягом року (рис. 4.8).

Під час побудови графіка на осі абсцис відкладаються номінальні фонди робочого часу по місяцях, а на осі ординат – розрахункова кількість працівників, необхідних для виконання відповідного виду робіт.

Першим етапом є складання календарного річного плану ремонтно–обслуговуючих робіт, на основі якого проводиться подальше планування графіка.

Для визначення масштабу та необхідних трудових ресурсів обчислюється середньорічна кількість робітників за формулою 3.18[12]:

де:

– Загальна трудомісткість робіт, що передбачається виконати в майстерні –  $T$ , люд.–год. ( $T = 12348,1$  люд.–год.) – див. Додаток В;

–  $\Phi_{н.р.}$  – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника, год. ( $\Phi_{н.р.} = 2070$  год.).

Середню кількість робітників зображуємо на графіку пунктирною лінією.

Чисельність робітників за місяцями по кожному виду робіт визначається за формулою 3.19 [12]:

де:

–  $P_i$  – порядковий номер виду робіт;

–  $T_i$  – трудомісткість виконання  $i$ –того виду робіт, люд.–год.;

–  $\Phi_{н.т.}$  – номінальний місячний фонд робочого часу одного працівника, год.

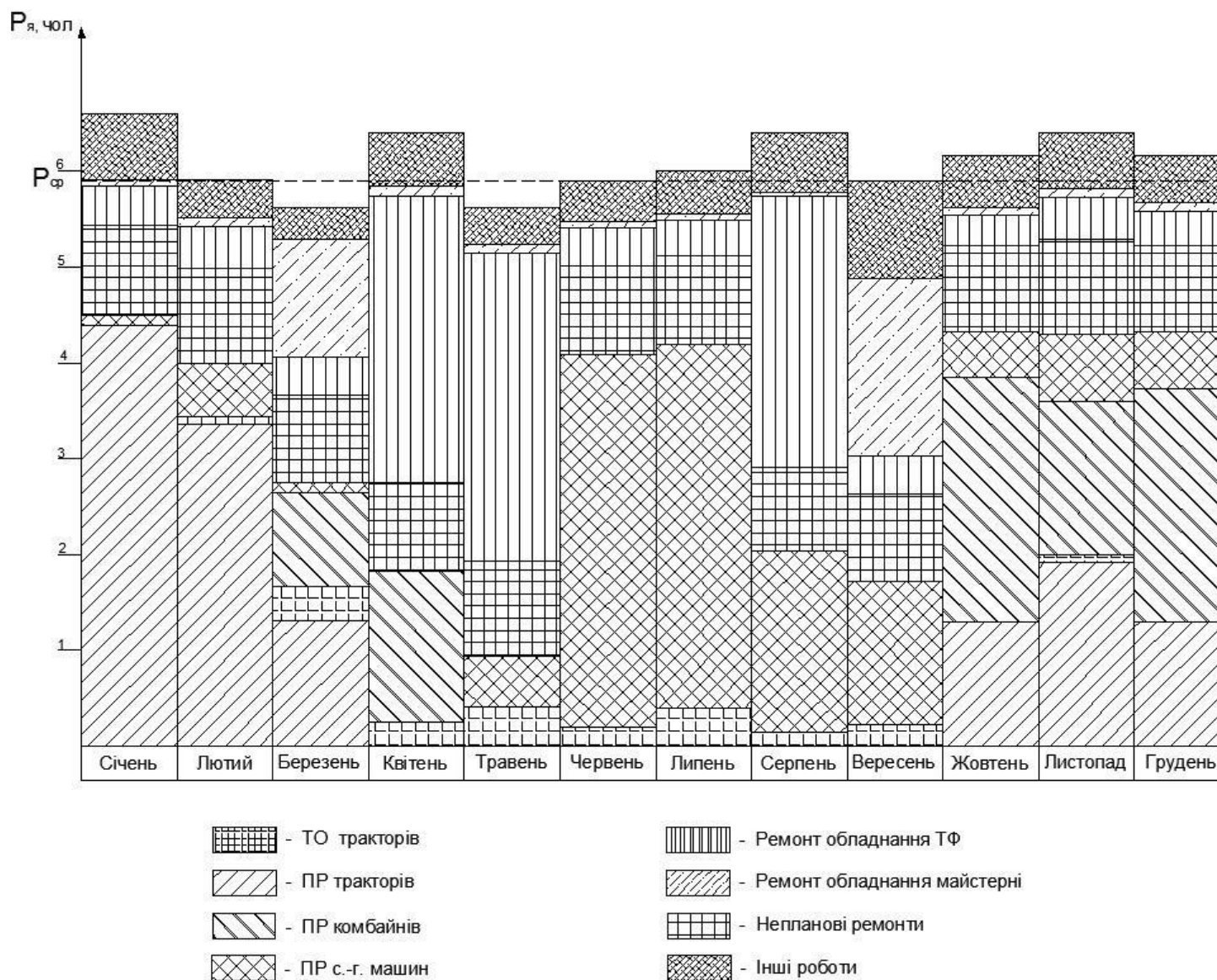


Рисунок 4.8 – Річний графік завантаження майстерні

## **Річний календарний план ремонтно–обслуговуючих робіт майстерні**

На основі річного календарного плану ремонтно–обслуговуючих робіт складається графік завантаження майстерні. При цьому забезпечується рівномірне завантаження робітників – кожному виду робіт виділяється однакова кількість працівників.

При побудові графіка:

- по осі абсцис відкладаються номінальні фонди часу робітника по місяцях;
- по осі ординат – розрахункова кількість робітників, необхідна для виконання певного виду робіт.

Місяці на графіку розмежовуються вертикальними лініями. На основі попередньо визначених строків виконання робіт встановлюється чисельність робітників по кожному виду робіт.

Графік завантаження реалізується в ремонтній майстерні, яка, як правило, розробляється за типовими проектами відповідно до її потужності. Його впровадження дозволяє:

- рівномірно розподілити навантаження впродовж року;
- своєчасно підготувати сільськогосподарську техніку до агротехнічних заходів;
- у результаті – підвищити врожайність сільськогосподарських культур.

## **Висновки**

1. Класифікація відмов:
  - I група – малозначимі (незначні);
  - II група – суттєві;
  - III група – серйозні, важливі як для споживача, так і для виробника.
2. Технічна експлуатація і значущі відмови:
  - При низькому рівні експлуатації ( $K_e < 0,5$ ) кількість значущих відмов тракторів зростає до 3–4, що зумовлено незадовільною роботою ремонтно–обслуговуючої бази.

– При  $K_e \approx 0,82$  – відмови скорочуються в 1,8–2,0 рази, що свідчить про кращий рівень технічного сервісу.

### 3. Капітальні ремонти:

– Після 3000 мотогодин середнє число складних відмов зростає з 12 до 23 після капремонту – майже вдвічі, що вказує на низьку якість капітальних ремонтів.

– Найчастіші відмови – двигун (7,2%) і коробка передач (5,5%), які також впливають на інші агрегати.

### 4. Експлуатація без капітального ремонту:

– Після 5000 мотогодин різко зростає кількість відмов, що збільшує час простою техніки.

– Застосування двох капітальних ремонтів дозволяє зменшити кількість відмов на:

- 11,5% після першого ремонту;
- 16,7% – після другого, порівняно з безремонтним варіантом.

### 5. Профілактичні ремонти:

– Три профілактичні ремонти знижують кількість відмов:

- на 26% порівняно з відсутністю ремонту;
- на 5% – порівняно з двома профілактичними.

– Підприємства можуть виконувати ці ремонти на власній базі, що знижує собівартість і час простою.

### 6. Поєднання капітального і профілактичного ремонту:

- Зменшує кількість відмов:
- на 9% – на початку післяремонтного періоду;
- на 11,4% – наприкінці, у порівнянні з безремонтним варіантом.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки в ремонтній майстерні

У даній дипломній роботі розглядаються питання дослідження експлуатаційної надійності тракторів і комбайнів та обґрунтування стратегії відновлення їх роботоздатності із використанням ремонтно–обслуговуючої бази господарства.

Основний обсяг ремонтних робіт з відновлення роботоздатності тракторів і комбайнів виконується у відділеннях майстерні (ремонт двигунів, трансмісій, гідросистем, механічна дільниця, ремонтно–монтажна тощо). Для виконання основних операцій, передбачених програмою досліджень, дільниці обладнано необхідним технологічним обладнанням: для очищення, розбирання, складання, обкатки й випробувань. Обладнання розміщується відповідно до технічних вимог згідно з ДБН В.2.2–28:2010 [41].

Майстерня оснащена утепленими воротами та загальною припливно–витяжною вентиляцією, що забезпечує нормативні температурні умови та чистоту повітря згідно з ДБН В.2.5–67:2013 [42].

У зв'язку з ремонтами агрегатів вагою 35–700 кг (двигуни, коробки передач, гідравлічні системи тощо), умови праці на дільницях відповідають III категорії за ДСН 3.3.6.042–99 [43] – роботи, пов'язані з переміщенням і підйомом вантажів понад 10 кг, які потребують значних фізичних зусиль.

Небезпечні та шкідливі фактори виробництва:

- Фізичні: падіння агрегатів з підставок, неефективний захист рухомих частин обладнання, осколки при пресових операціях, гострі краї інструменту та вузлів;
- Хімічні: пари бензину, мастил, миючих засобів, шум і вібрація від роботи обладнання.

Відповідно до ГН 3.3.5–8.6.6.1–2002 [44] та ГОСТ 12.1.005–88 [45], гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі на дільницях не перевищують норм. Рівень шуму не перевищує 80 дБА, що відповідає ДСН 3.3.6.037–99 [46].

Згідно з НАПБ Б.03.002–2007 [47], виробничі процеси відносяться до категорії «В – пожежонебезпечна», оскільки використовуються горючі матеріали з питомим пожежним навантаженням понад 180 МДж/м<sup>2</sup>. Основні джерела небезпеки: займання ПММ, короткі замикання, самозаймання промаслених матеріалів.

#### **4.2 Заходи з поліпшення умов праці в майстерні**

Для покращення умов праці та зменшення виробничого травматизму на дільницях майстерні передбачено:

- облаштування місцевої витяжної вентиляції на постах миття агрегатів і обкатки двигунів;
- монтаж захисних огорожень на пресове обладнання, стенди випробування двигунів і трансмісій;
- встановлення консольно–поворотних кранів для демонтажу важких агрегатів;
- зберігання агрегатів на спеціальних підставках для запобігання падіння;
- виконання повного заземлення електрообладнання;
- встановлення віброізоляційних амортизаторів для зменшення вібрацій і шуму;
- забезпечення контейнерами, корзинами, підставками для розміщення вузлів під час ремонту;
- зберігання ПММ у спеціальній тарі для зниження шкідливих викидів;
- технологічне планування робочих місць згідно з нормативами організації праці.

Особливу увагу слід приділити вентиляції та освітленню на дільницях обкатки двигунів та ремонтно–монтажних робіт, через викиди відпрацьованих газів і парів миючих речовин. Планується проведення перевірочних розрахунків вентиляції для визначення повітрообміну в загальнообмінній системі, за формулою 4.1[40]:

де:

$W_{\Pi}$  – повітрообмін для загальнообмінної вентиляції, м<sup>3</sup>/год;

$V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup> (наприклад,  $V = 570$  м<sup>3</sup> – для розбирально-мийної дільниці; аналогічно для дільниці обкатки та регулювання двигунів);

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

Розрахунок формули 4.1 здійснюється так:

$$W_{\Pi} = 705 \cdot 2 = 1410 \text{ м}^3/\text{год}$$

Тоді розрахунок повітрообміну проводиться за формулою 4.2:

Де:

$W_3$  – повітрообмін для місцевої вентиляції типу «Зонт», м<sup>3</sup>/год;

$V_3$  – середня швидкість повітря в приймальній частині «Зонта», м/с (рекомендується:  $V_3 = 0,15 \dots 0,25$  м/с);

$F$  – площа приймальної частини «Зонта», м<sup>2</sup>:

–  $F_1 = 1,2$  м<sup>2</sup> – для дільниці обкатки та регулювання двигунів;

–  $F_2 = 1,1$  м<sup>2</sup> – для розбирально-мийної дільниці.

Розрахунок формули 4.2 проводиться так:

$$W_{\Pi}^1 = 0,2 \cdot 1,2 \cdot 3600 = 864 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розрахунок повітрообміну для місцевої вентиляції типу «Зонт» для розбирально-мийної дільниці:

$$W_{\Pi}^2 = 0,2 \cdot 1,1 \cdot 3600 = 792 \text{ м}^3/\text{год}$$

Потужність електродвигуна для вентиляційної установки визначається за формулою 4.3[40]:

де:

–  $N_e$  – розрахункова потужність електродвигуна, кВт;

–  $W_3$  – повітрообмін, м<sup>3</sup>/год (для обкатки двигунів:  $W_3 = 864$  м<sup>3</sup>/год);

–  $H_n$  – коефіцієнт втрат напору повітря (рекомендується:  $H_n = 1,3$ );

–  $\zeta_B$  – ККД вентилятора (вказано:  $\zeta_B = 0,55$ );

–  $\zeta_H$  – ККД передач (вказано:  $\zeta_H = 0,4$ );

– 3600 – коефіцієнт для приведення одиниць (м<sup>3</sup>/год  $\rightarrow$  м<sup>3</sup>/с).

Розрахунок потужності електродвигуна для вентилятора місцевої вентиляції для дільниці обкатки та випробування двигунів:

$$N_e = \frac{864 \cdot 68}{3600 \cdot 0,55 \cdot 0,4 \cdot 102} \approx 0,7 \text{ кВт}$$

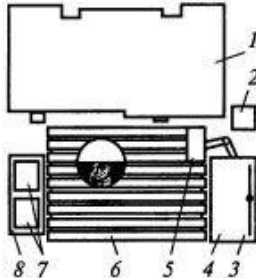
Розрахунок потужності електродвигуна для вентилятора місцевої вентиляції для розбирально-мийної дільниці:

$$N_e = \frac{792 \cdot 68}{3600 \cdot 0,55 \cdot 0,4 \cdot 102} \approx 0,67 \text{ кВт}$$

Таким чином, для ефективної роботи місцевих витяжних систем типу «Зонт» доцільно використовувати електродвигуни потужністю до 1,0 кВт. Таке рішення дозволяє забезпечити оптимальний рівень вентиляції при незначних енерговитратах, з урахуванням фактичного повітрообміну на дільницях.

З метою створення безпечних умов праці та мінімізації впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів під час ремонту агрегатів трансмісії, нами розроблено організаційно-технологічну карту з охорони праці. У ній відображено основні заходи безпеки, засоби індивідуального захисту, технічні вимоги до обладнання та порядок виконання операцій описано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Організаційно-технологічна карта з охорони праці під час виконання розбирально-складальних робіт

|                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Характеристика умов праці.</b><br>1. Місце роботи – ремонтна майстерня.<br>2. Вид робіт – ремонт коробок передач.<br>3. Кваліфікація – слюсар-ремонтник.<br>4. Умови праці нормальні. | <b>2. Вимоги технічних умов забезпечення.</b><br>1. Застосовувати засоби індивідуального захисту.<br>2. Освітленість робочого місця – 200 лк.<br>4. Підлога у робочих місцях обладнана дерев'яними решітками.                                                                                | <b>3. Індивідуальні засоби захисту на робочому місці.</b><br>1. Комбінезон.<br>2. Робоче взуття із захисною пластиною.<br>3. Рукавиці.<br>4. Захисні окуляри.     |
| <b>4. Показники технологічного режиму і міри безпеки</b><br>1. Робочій тиск рідини в гідروциліндрі системи 10.0 МПа.<br>2. Наявність захисних кожухів.                                      | <b>Планування робочого місця</b><br><br>1 – стенд; 2 – урна для сміття;<br>3 – планшет для креслень; 4 – шафа для інструментів; 5 – лоток для інструментів; 6 – решітка; 7 – ємність для масла; 8 – стіл. | <b>5. НВФ та ШВФ на робочому місці.</b><br>1. Перевірити стан стенду перед початком роботи.<br>2. Температура повітря в приміщенні повинна бути в межах 18..20 °С |
| 3. Заземлення стендів.<br>4. Забороняється кручення або перегин гідравлічних рукавів.                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 3. Вузли та агрегати масою більше 20 кг транспортувати за допомогою ПТМ.                                                                                          |

**6. Охорона праці при поточному ремонті.**

1. Вимоги безпеки відповідно до ДНАОП 01.41–1.01–01.
2. До виконання робіт з поточного ремонту допускаються особи, які ознайомлені під розпис з інструкцією охорони праці, пройшли медичний огляд та мають відповідну кваліфікацію.
3. Забороняється проведення пресових робіт при несправній гідравлічній системі стенду.

### **4.3 Вимоги з охорони праці для слюсаря з ремонту та обслуговування паливної апаратури**

Ремонт паливної апаратури у складі машинно–тракторного парку вимагає від виконавця високого рівня професійної підготовки. З огляду на це, важливо врахувати комплекс вимог з охорони праці під час виконання таких робіт.

Загальні положення:

Слюсар, який обслуговує паливну апаратуру, має проходити первинний інструктаж перед початком виконання обов’язків та повторний – кожні 3 місяці. Факт інструктажу фіксується у Журналі реєстрації інструктажів з питань охорони праці.

До роботи допускаються особи:

- віком від 18 років;
- з відповідним рівнем підготовки та посвідченням;
- які пройшли медичний огляд;
- ознайомлені з вимогами пожежної безпеки та охорони праці.

Слюсар зобов’язаний:

– знати конструкцію паливної апаратури, методи діагностики та усунення несправностей;

- дотримуватись правил трудового розпорядку;
- використовувати спецодяг і засоби індивідуального захисту;
- вміти надавати першу домедичну допомогу.

Основні небезпечні чинники:

- неогорожені рухомі частини механізмів;
- захащеність робочої зони;
- несправний інструмент;
- підвищений рівень шуму, вібрацій;
- недостатнє освітлення;

- температура та вологість повітря, що не відповідає нормам.

Перед початком роботи слюсар повинен отримати завдання від керівника, перевірити справність інструменту та підготувати робоче місце, забезпечити засоби для знешкодження розлитого палива.

В процесі виконання робіт:

- забороняється працювати при наявності витоків палива або газу;
- не допускається використання несправного інструменту (плоскогубців, ключів тощо);
- монтаж і демонтаж агрегатів має виконуватись із використанням підйимального обладнання;
- слід уникати іскроутворення – обов'язково знімати клему з акумулятора;
- дотримуватись дистанцій та ширини проходів (не менше 0,7 м).

Після завершення роботи:

- навести лад на робочому місці;
- зняти та скласти спецодяг;
- помити руки з милом (заборонено використовувати етилований бензин для миття рук);
- доповісти керівнику про всі виявлені недоліки.

#### **4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Евакуація населення**

У разі загрози або виникнення надзвичайної ситуації передбачаються загальна або часткова евакуація населення, яка може бути тимчасовою або постійною. Рішення про евакуацію ухвалюють органи державної влади або уповноважені посадові особи.

Обов'язковій евакуації підлягає населення у випадках:

- радіаційного чи хімічного забруднення;
- загрози прориву гідротехнічних споруд;
- землетрусів, масштабних пожеж, зсувів тощо.

Для евакуації використовуються транспортні засоби місцевих органів влади, суб'єктів господарювання та громадян. Вартість наданих послуг

компенсується з бюджетних коштів, згідно з рішенням Кабінету Міністрів України.

Відповідальність за відмову у наданні транспорту для евакуації покладається на водіїв, власників і користувачів техніки згідно із законодавством.

Матеріальні та культурні цінності також підлягають евакуації за наявності реальної загрози. Вивіз, облік та зберігання таких цінностей організовують відповідальні служби у межах чинного законодавства.

### **Висновок**

Комплексне планування заходів з охорони праці для технологічно перепрофільованих дільниць ремонтної майстерні сприяє покращенню умов праці, підвищенню безпеки виробничого процесу та зменшенню впливу шкідливих факторів на персонал.

Розробка організаційно–технологічних карт дозволяє систематизувати вимоги до безпечної праці, забезпечити належний рівень контролю за виконанням ремонтних робіт, знизити ризик виникнення нещасних випадків та покращити ефективність виробничих процесів.

## **5 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ**

### **5.1 Вихідні дані для економічного обґрунтування проекту**

Вихідним матеріалом для виконання роботи слугував існуючий проект ремонтної майстерні господарства. У процесі впровадження сучасних методів організації та технології виконання ремонтно–обслуговуючих робіт, переважно орієнтованих на розширення обсягів технічного сервісу тракторів, у майстерні проведено технологічне перепланування.

В результаті таких заходів досягнуто більш раціонального використання виробничих площ, оптимізації робочих потоків та підвищення продуктивності праці. Крім того, у виробничий процес було введено нове технологічне обладнання, що дало можливість розширити перелік

виконуваних робіт і підвищити якість технічного обслуговування машинно–тракторного парку.

Для забезпечення повного технологічного циклу ремонту і технічного обслуговування МТП передбачено придбання додаткових агрегатів, стендів і механізмів.

Економічна ефективність розробленого проекту визначається на основі:

- розрахунку планового прибутку від виконання робіт;
- оцінки рівня рентабельності виробництва робіт з поточного ремонту машинно–тракторного парку.

Вихідні дані, необхідні для обґрунтування економічної ефективності проекту, наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності роботи ремонтної майстерні

| Показники                                                 | Базовий варіант | Проектний варіант |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Обсяг ремонтних робіт, ум.рем.                            | 25              | 42                |
| Кількість основних робітників, осіб                       | 2               | 3                 |
| Середньомісячна заробітна плата робітника, грн.           | 8000            | 8000              |
| Вартість діючого обладнання для проведення ремонтів, грн. | 150000          | –                 |
| Вартість придбаного обладнання, грн.                      | –               | 120000            |
| Річні витрати електроенергії, кВт/год                     | 27000           | 53000             |
| Ціна 1 кВт/год. Електроенергії, грн.                      | 1,68            | 1,68              |
| Прейскурантна вартість (ціна) од. ум. ремонту, грн.       | 20000           | 20000             |

Для здійснення економічного аналізу ефективності діяльності ремонтної майстерні необхідно визначити основні техніко–економічні показники, що характеризують результативність виконуваних робіт і рівень використання виробничих ресурсів.

До основних показників належать:

Вартість виконаних ремонтних робіт – загальна сума витрат на відновлення працездатності техніки, включаючи витрати на матеріали, запасні частини, оплату праці, амортизаційні відрахування та інші виробничі витрати.

Цей показник визначається за формулою 5.1:

Де:

–  $\eta^B$  і  $\eta^П$  – відповідно базова та проектна річні програми поточного ремонту, виражені в умовних ремонтах ( $\eta^B = 25$  ум.рем.,  $\eta^П = 42$  ум.рем.);

–  $V_{op}$  – вартість одного умовного ремонту, грн ( $V_{op} = 20000$  грн). Розрахунок проводиться:

$$V_{ПР}^B = 25 \cdot 20000 = 500000 \text{ грн}$$

$$V_{ПР}^П = 42 \cdot 20000 = 840000 \text{ грн}$$

1. Експлуатаційні витрати (ЕВ) визначаються за формулою 5.2:

Де:

- ЗП – заробітна плата з нарахуваннями, грн;
- А – амортизаційні відрахування, грн;
- $V_{ел}$  – вартість спожитої електроенергії, грн;
- $V_{рем}$  – витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування будівлі та обладнання, грн;
- ІВ – інші витрати, що становлять 3 % від загальної суми експлуатаційних витрат, грн.

Заробітна плата основних робітників з урахуванням нарахувань для базового і проектного варіантів визначається за формулою 5.3:

де:

–  $ЗП_{ср}$  – середньомісячна заробітна плата одного робітника, грн ( $ЗП_{ср} = 8000$  грн);

–  $K_{пр}$  – кількість основних робітників, осіб (для базового варіанту –  $K_{пр} = 2$  чол.; для проектного варіанту –  $K_{пр} = 3$  чол.);

–  $ЗП_n$  – нарахування на заробітну плату, грн (приймається як  $ЗП_n = 0,22 \cdot ЗП$ , що відповідає 22 % від суми заробітної плати).

$$ЗП^B = 8000 \cdot 2 \cdot 12 = 192000 \text{ грн}$$

$$ЗП^n = 8000 \cdot 3 \cdot 12 = 288000 \text{ грн}$$

Нарахування на заробітну плату здійснюється згідно з установленим порядком розраховується:

$$ЗП_H^Б = 0,22 \cdot 1920000 = 42240 \text{ грн}$$

$$ЗП_H^П = 0,22 \cdot 288000 = 63360 \text{ грн}$$

У результаті заробітна плата з урахуванням нарахувань дорівнює:

$$ЗП^Б = 192000 + 42240 = 234240 \text{ грн}$$

$$ЗП^П = 288000 + 63360 = 351360 \text{ грн}$$

Амортизаційні витрати включають амортизацію як матеріально-технічних засобів, так і будівельних об'єктів. Розрахунок для обладнання проводиться за формулою 5.4:

де:

$B_{OB}$  – балансова вартість обладнання, грн (для базового варіанту – 150 000 грн, для проектного – 150 000 грн, 120 000 грн, 270 000 грн відповідно);

$N_A$  – норма амортизації, % (21,93%)

$$A_{OB}^Б = \frac{150000 \cdot 21,93}{100} = 32895 \text{ грн}$$

$$A_{OB}^П = \frac{270000 \cdot 21,93}{100} = 59211 \text{ грн}$$

Амортизаційні нарахування для приміщення визначаються відповідно до формули 5.5:

де:

$B_B$  – балансова вартість будівлі, грн (1 200 000 грн, згідно з даними фінансової звітності підприємства);

$N_6$  – нормативний коефіцієнт амортизаційних відрахувань на приміщення (7,76%)

Отже, амортизаційні витрати на приміщення становитимуть:

$$A_B = \frac{1200000 \cdot 7,6}{100} = 93120 \text{ грн}$$

Загальна сума амортизаційних витрат визначається за формулою 5.6:

$$A^Б = 32895 + 93120 = 126015 \text{ грн}$$

$$A^П = 59211 + 93120 = 152331 \text{ грн}$$

Обсяг спожитої електроенергії обчислюється з урахуванням сумарної потужності технічного обладнання та тривалості його роботи впродовж року, а також енергоспоживання освітлення у робочий час, згідно з наступним виразом 5.7:

де:

$Q_{\text{ЕЛ}}$  – річне споживання електроенергії, кВт·год (для базового варіанту – 27 000 кВт·год, для проектного варіанту – 53 000 кВт·год);

$\text{Ц}_{\text{ЕЛ}}$  – вартість 1 кВт·год електроенергії, грн (1,68 грн/кВт·год)

$$V_{\text{ЕЛ}}^{\text{Б}} = 27000 \cdot 1,68 = 45360 \text{ грн}$$

$$V_{\text{ЕЛ}}^{\text{П}} = 53000 \cdot 1,68 = 89040 \text{ грн}$$

Витрати на поточний ремонт ПР і технічне обслуговування ТО, позначені як  $V_{\text{РЕМ}}$ , становлять 30 % від загальної суми амортизаційних відрахувань. Розрахунок цих витрат здійснюється за наступною формулою 5.8:

$$V_{\text{рем}}^{\text{Б}} = \frac{126015 \cdot 30}{100} = 37804,5 \text{ грн}$$

$$V_{\text{рем}}^{\text{ПР}} = \frac{152331 \cdot 30}{100} = 45699,3 \text{ грн}$$

До інших витрат ІВ належать витрати на спецодяг, інструменти, заходи з охорони праці та протипожежну безпеку. Їх обсяг становить 3 % від загальної суми експлуатаційних витрат і обчислюється за наступною формулою 5.9:

$$IV^{\text{Б}} = \frac{234240 + 126015 + 45360 + 37804,5 \cdot 3}{100} = 13302,6 \text{ грн}$$

$$IV^{\text{ПР}} = \frac{351360 + 152331 + 89040 + 45699,3 \cdot 3}{100} = 19152,9 \text{ грн}$$

Згідно з виразом (6.2), підсумковий обсяг експлуатаційних витрат дорівнює:

$$EВ^{\text{Б}} = 234240 + 126015 + 45360 + 37804,5 + 13302,6 = 456722,1 \text{ грн}$$

$$EВ^{\text{ПР}} = 351360 + 152331 + 89040 + 45699,3 + 19152,9 = 657583,2 \text{ грн}$$

Загальна собівартість проведених ремонтів (ПС) визначається відповідно до виразу 5.10:

$$ПС^{\text{Б}} = 456722,1 \cdot 1,02 = 465856,5 \text{ грн}$$

$$ПС^{\text{П}} = 657583,2 \cdot 1,02 = 670734,9 \text{ грн}$$

Розрахунок загального прибутку П здійснюється за рівнянням 5.11:

$$П^{\text{Б}} = 500000 - 465856,5 = 34143,5 \text{ грн}$$

$$\Pi^{\text{П}} = 840000 - 670734,9 = 169265,1 \text{ грн}$$

Обсяг додаткового прибутку ДП визначається згідно з виразом 5.12:

$$\text{ДП} = 169265,1 - 34143,5 = 135121,6 \text{ грн}$$

Показник рентабельності Р обчислюється за такою формулою 5.13:

$$P^{\text{Б}} = \frac{34143,5}{465856,5} \cdot 100\% = 7,3\%$$

$$P^{\text{П}} = \frac{169265,1}{670734,9} \cdot 100\% = 25,2\%$$

Додаткові капіталовкладення Б розраховуються за наступною формулою 5.14:

де:

$B_{\text{ПР}}$  – вартість придбаного та введеного в експлуатацію обладнання, грн (270 000 грн – базовий варіант);

$B_{\text{Д}}$  – вартість раніше встановленого (діючого) обладнання, грн (150 000 грн – базовий варіант)

$$B = 270000 - 150000 = 120000 \text{ грн}$$

Період окупності інвестицій  $T_0$  обчислюється за формулою 5.15:

$$T_0 = \frac{120000}{135121,6} \approx 0,9 \text{ року}$$

Зведені результати виконаних розрахунків подано в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Економічна ефективність роботи

| Показники                               | Базовий варіант | Проектний варіант |
|-----------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Вид робіт                               | Ремонт          | Ремонт            |
| Обсяг робіт, ум. рем.                   | 25              | 42                |
| Кількість основних робітників, чол.     | 2               | 3                 |
| Обсяг додаткових капіталовкладень, грн. | –               | 120000            |
| Експлуатаційні витрати всього, грн.:    | 456722,1        | 657583,2          |
| – заробітна плата з нарахуваннями, грн. | 234240,0        | 351360,0          |
| – амортизаційні відрахування, грн.      | 126015          | 152331,0          |
| – вартість електроенергії, грн.         | 45360           | 89040,0           |
| – витрати на ПР та ТО, грн.             | 37804,5         | 45699,5           |
| – інші витрати, грн.                    | 13302,6         | 19152,9           |
| Повна собівартість продукції, грн.      | 465856,5        | 670734,9          |
| Загальний прибуток, грн.                | 34143,5         | 169265,1          |
| Додатковий прибуток, грн..              | –               | 135121,6          |

|                                                |     |      |
|------------------------------------------------|-----|------|
| Рівень рентабельності, %                       | 7,3 | 25,2 |
| Термін окупності додаткових вкладень,<br>років | —   | 0,9  |

## **Висновок**

Реалізація запропонованих організаційно–технологічних заходів, спрямованих на вдосконалення процесів технічного обслуговування тракторного парку господарства, дозволяє розширити обсяг щорічної програми ремонтно–обслуговуючих робіт.

У результаті очікується отримання додаткового прибутку в розмірі 135 121,6 грн, із рівнем рентабельності 25,2 %.

Термін окупності додаткових капіталовкладень становить близько 0,9 року, що свідчить про доцільність і ефективність запропонованих рішень.

## ВИСНОВОК

Для оцінки надійності сільськогосподарської техніки більш інформативним показником є середня кількість відмов за певний період експлуатації, ніж середній ресурс до відмови. Це пов'язано з тим, що при зростанні напрацювання трактора з 2 000 до 4 000 мотогодин кількість відмов збільшується в 2,2 раза, тоді як середній ресурс до відмови знижується лише на 8 %.

Отримане значення коефіцієнта доступності  $K_D = 0,67$  свідчить про високу технологічність роздільно-агрегатної гідравлічної навісної системи трактора під час проведення технічного обслуговування ТО-3. Це зумовлено мінімальною трудомісткістю додаткових операцій  $T_{\text{дод}} = 4,2$  хв і вдалим конструктивним розташуванням гідроагрегатів.

Покращити технологічність гідросистеми при ТО-3, яке передусє поточному ремонту, можна шляхом зменшення трудомісткості додаткових операцій у процесі діагностики, зокрема – за допомогою сучасних способів діагностування без розгерметизації системи.

Зручність обслуговування гідроагрегатів визначається мінімальним використанням спеціального інструменту, легким доступом до вузлів, які підлягають частому огляду.

Для аналізу факторів, що впливають на технічну експлуатацію тракторів, застосовувався метод експертних оцінок, що зумовлено складністю отримання достовірних статистичних даних.

Запропоновано класифікацію відмов за трьома групами:

- I група – незначні;
- II група – суттєві;
- III група – критичні, що є важливими як для користувача, так і для виробника.

Аналіз показав, що при низькому рівні технічної експлуатації  $K_e = 0,65$  кількість суттєвих відмов складає 3–4, що обумовлено недостатнім технічним обслуговуванням. При покращенні умов експлуатації  $K_e = 0,82$  кількість таких відмов знижується в 1,8–2 рази.

При напрацюванні в 3 000 мото–годин середня кількість складних відмов зростає з 12 до 23 після капітального ремонту, що свідчить про незадовільну якість ремонтів. Найчастіше виходять з ладу двигун (7,2 %) та коробка передач (5,5 %).

В експлуатаційних умовах без капремонту після 5 000 мотогодин спостерігається різке зростання кількості відмов, що веде до збільшення часу простою техніки. Виконання двох капітальних ремонтів зменшує кількість відмов у післяремонтний період на 11,5 % після першого і на 16,7 % після другого ремонту.

Застосування трьох профілактичних ремонтів дозволяє знизити частоту відмов на 26 % у порівнянні з безремонтною експлуатацією і на 5 % – у порівнянні з варіантом із двома ремонтами. Власна ремонтна база господарства дозволяє скоротити витрати та зменшити простої.

Поєднання одного капітального та одного профілактичного ремонту забезпечує зменшення відмов на 9 % на початку і 11,4 % в кінці післяремонтного періоду порівняно з безремонтним варіантом.

Складання річного графіка завантаження ремонтної майстерні сприяє рівномірному розподілу ремонтних робіт і забезпечує своєчасну підготовку техніки до агротехнічного сезону, що підвищує врожайність.

Заходи з охорони праці на перепланованих робочих місцях покращують умови праці, знижують вплив шкідливих і небезпечних факторів, а технологічна карта зменшує ризики при роботі зі складними агрегатами, зокрема – коробками передач.

Висновковий підсумок:

Впровадження запропонованих заходів щодо удосконалення технічного обслуговування тракторного парку дозволить збільшити обсяг ремонтно–обслуговуючих робіт, отримати додатковий прибуток у розмірі 135 121,6 грн, забезпечити рентабельність на рівні 25,2 %, при цьому термін окупності вкладень складе близько 0,9 року. Це підтверджує ефективність і актуальність проведених досліджень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Артюшин Л. М., Григор'єв О. О. Надійність машин : навч. посіб. Київ : Либідь, 2015. 320 с.
2. Гавриленко О. П. Теорія експлуатаційної надійності машин : монографія. Київ : Аграрна наука, 2017. 180 с.
3. Дирда В. І., Мельянцов П. Т., Калганков Є. В. Ремонт машин та обладнання. Дніпро : Журфонд, 2015. 292 с.
4. Заєць В. М. Технічна експлуатація та надійність машин : навч. посіб. Харків : ХНАУ, 2013. 256 с.
5. Лутак М. Д., Кравченко О. В. Оцінка відмов і довговічності агрегатів сільськогосподарської техніки. Київ : НУБіП, 2020. 142 с.
6. Мішин С. В. Методологія прогнозування ресурсу та довговічності машин. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 212 с.
7. Назаренко І. М. Експлуатаційні властивості та надійність автотракторної техніки. Харків : Основа, 2012. 330 с.
8. Сахно В. П., Бахур О. І. Довговічність і безвідмовність сільськогосподарських машин : навч. посіб. Київ : Кондор, 2018. 188 с.
9. Ткаченко М. І., Корженко В. О. Діагностика та технічне обслуговування машин. Київ : Вища школа, 2014. 272 с.
10. Яровий В. М., Дубина М. П. Технічна експлуатація та ремонт машин у АПК. Полтава : ПДАА, 2019. 196 с.
11. Blischke W. R., Murthy D. N. P. Reliability: Modeling, Prediction, and Optimization. New York : Wiley, 2014. 848 p.
12. O'Connor P., Kleyner A. Practical Reliability Engineering. 5th ed. Chichester : Wiley, 2012. 509 p.
13. Mobley R. K. Maintenance Engineering Handbook. 8th ed. New York : McGraw-Hill, 2019. 1152 p.
14. Smith D. J. Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers. 9th ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2020. 472 p.
15. Bevenuto M. Agricultural Machinery Reliability Analysis. London : CRC Press, 2018. 267 p.

16. Hansen A. C., Zhang Q. *Agricultural Machinery and Mechanization*. New York : Springer, 2020. 405 p.
17. Moubray J. *Reliability-centered Maintenance*. 2nd ed. New York : Industrial Press, 2016. 448 p.
18. Jardine A. K. S., Tsang A. H. C. *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications*. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2013. 364 p.
19. Dekker R. Applications of Maintenance Optimization Models: A Review and Analysis. *Reliability Engineering & System Safety*. 2015. Vol. 51. P. 229–240.
20. Holmberg K., Andersson P., Erdemir A. Global Energy Consumption Due to Friction and Wear in Agricultural Machinery. *Tribology International*. 2017. Vol. 115. P. 116–121.

