

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту**

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

*магістр*

на тему: **«Дослідження ефективності сервісного обслуговування провідного  
виробника сільськогосподарської техніки CLAAS»**

КРБ.133ГМмд(ОНП)\_20.49.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за  
міждисциплінарною освітньо-науковою  
програмою *«Сервісна інженерія в  
агропромисловому виробництві»*  
спеціальностей:

*133 «Галузеве машинобудування»,*

*208 «Агроінженерія»*

рівня вищої освіти *магістр*

групи *133ГМмд(ОНП)\_22*

**ЧЕРКАСЕЦЬ Ярослав**

Керівник: канд. техн. наук, доцент  
**БУРЛАКА Олексій**

**Полтава – 2026 року**

# ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## Інженерно-технологічний факультет Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту

Міждисциплінарна освітньо-наукова програма  
«Сервісна інженерія в агропромисловому виробництві»  
Спеціальності: 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія»  
Рівень вищої освіти магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри к.т.н., доцент

---

Сергій ЛЯШЕНКО  
«04» листопада 2025 року

### З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

**Черкасець Ярослав Анатолійович**  
(ПІБ здобувача вищої освіти)

1. Тема роботи: **«Дослідження ефективності сервісного обслуговування провідного виробника сільськогосподарської техніки CLAAS»**  
керівник роботи к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту Бурлака О. А.  
(наук. ступ., вч. звання, посада, прізвище та ініціали керівника)

затверджені наказом ПДАУ від «04» листопада 2025 року № 1354-ст

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи « 15» травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- сучасні технології виконання ТО і ремонтів автомобільного транспорту;
- техніко-технологічні характеристики спеціалізованого автомобільного транспорту;
- навчальна, технічна, наукова література.

4. Зміст пояснювальної записки (*перелік питань, які потрібно розробити*):

**Розділ 1. Аналіз існуючих досліджень.**

**Розділ 2. Теоретичні положення.**

**Розділ 3. Методика досліджень.**

**Розділ 4. Результати експериментів.**

**Розділ 5. Практична реалізація розробок.**

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: *титульний аркуш; назва теми, мета і задачі дослідження; огляд літературних джерел; теоретичні дослідження; методика досліджень (моделі, плани експериментів, перевірка адекватності*

математичних моделей); результати теоретико-експериментальних і експериментальних досліджень; очікуваний технологічний, економічний ефект від використання, висновки

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи:

| Розділ                        | Підрозділ                        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                               |                                  |                                           | завдання видав | завдання отримав |
| Практична реалізація розробок | Охорона праці                    | Дудник В. В.<br>к.т.н., доцент            | 04.11.25 р.    | 11.05.26 р.      |
|                               | Охорона навколишнього середовища | Писаренко П. В.,<br>д. с.-г. н., професор | 04.11.25 р.    | 11.05.26 р.      |
|                               | Економічна частина               | Макаренко П. М.<br>д.е.н., професор       | 04.11.25 р.    | 11.05.26 р.      |

7. Дата видачі завдання: «25» грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проєкту                                                  | Строк виконання етапів проєкту | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Вибір і затвердження теми кваліфікаційної роботи                                 | 04.11.2025р.                   | Виконано |
| 2     | Складання і затвердження розгорнутого плану та завдання на кваліфікаційну роботу | 22.01.2026р.                   | Виконано |
| 3     | Опрацювання літературних джерел                                                  | 10.02.2026р.                   | Виконано |
| 4     | Збір, вивчення і обробка інформації, необхідної для виконання роботи             | 23.03.2026р.                   | Виконано |
| 5     | Виконання розділів пояснювальної записки роботи                                  | 22.04.2026р.                   | Виконано |
| 6     | Оформлення тексту роботи                                                         | 05.05.2026р.                   | Виконано |
| 7     | Оформлення графічного матеріалу роботи                                           | 11.05.2026р.                   | Виконано |
| 8     | Попередній захист роботи на кафедрі                                              | 12.05.2026р.                   | Виконано |
| 9     | Нормоконтроль                                                                    | 12.05.2026р.                   | Виконано |
| 10    | Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій                        | 15.05.2026р.                   | Виконано |
| 11    | Захист кваліфікаційної роботи                                                    | 25.05.2026р.                   |          |

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Ярослав ЧЕРКАСЕЦЬ  
(підпис) (Прізвище, ім'я здобувача)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Олексій БУРЛАКА  
(підпис) (Прізвище, ім'я керівника)

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка:** 5 розділів, 10 рисунків, 15 таблиць, 32 перелік джерел посилання, 72 сторінки.

**Об'єкт розробки** – процес сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки CLAAS.

**Предмет розробки** – організаційні, технічні та економічні показники ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS.

**Постановка актуальної технічної задачі** – проаналізувати сучасний стан сервісного обслуговування техніки CLAAS, виявити основні чинники впливу на його ефективність, розробити методiku оцінювання результативності сервісної системи та обґрунтувати практичні рекомендації щодо її вдосконалення в умовах використання цифрових сервісних рішень.

**Мета роботи** – дослідити ефективність сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки CLAAS та обґрунтувати напрямки її підвищення за рахунок удосконалення організації технічного сервісу, використання цифрових сервісних рішень і скорочення простоїв машин у процесі експлуатації..

**Практичне значення** – полягає у можливості використання запропонованих підходів і рекомендацій сервісними центрами, дилерськими організаціями та господарствами, що експлуатують техніку CLAAS, з метою скорочення простоїв, підвищення якості технічного обслуговування та зниження експлуатаційних витрат.

**У першому розділі** здійснено аналіз існуючих досліджень і сучасного стану проблеми сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки, висвітлено ролі цифровізації сервісу та визначено особливості сервісної концепції CLAAS.

**У другому розділі** викладено теоретичні положення щодо оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS, обґрунтовано систему показників і факторів, що визначають рівень сервісної ефективності.

**У третьому розділі** наведено методiku досліджень, обґрунтовано вибір напрямку дослідження, визначено об'єкт, предмет і вихідні дані, описано методи розв'язання задач, програмні та інструментальні засоби дослідження, а також підходи до оцінювання похибок і достовірності результатів.

**У четвертому розділі** подано результати розрахунково-аналітичного дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS. Виконано порівняння базового та удосконаленого варіантів сервісного обслуговування.

**У п'ятому розділі** розглянуто питання охорони праці, екологічної експертизи та економічної ефективності удосконалення сервісного обслуговування техніки CLAAS.

**Практичні результати роботи** – розроблено підхід до комплексного оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS, що враховує технічні, організаційні, економічні та цифрові чинники; сформовано функціональну і математичну моделі сервісного процесу; виконано оцінювання базового, частково цифровізованого та інтегрованого варіантів сервісного обслуговування.

**Рекомендації щодо використання результатів роботи** – запропоновану методику та практичні рекомендації доцільно застосовувати у діяльності сервісних центрів, дилерських організацій, сільськогосподарських підприємств та інших структур, що забезпечують технічне обслуговування й сервісну підтримку сучасної сільськогосподарської техніки CLAAS.

Інформація щодо впровадження – результати роботи мають рекомендаційний характер і можуть бути використані в практичній діяльності після адаптації до конкретних умов експлуатації.

**Сфера застосування результатів роботи** – сервісне обслуговування, експлуатація, діагностика, цифровий моніторинг і вдосконалення технічної підтримки сучасної сільськогосподарської техніки.

Ілюстраційна частина кваліфікаційної роботи – 10 аркушів. Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу StrikePlagiarism: унікальність тексту – 99 %.

#### АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі досліджено ефективність сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки CLAAS. Проаналізовано сучасні підходи до технічного і сервісного обслуговування машин, обґрунтовано систему показників ефективності, сформовано функціональну і математичну моделі сервісного процесу. Розроблено методику оцінювання технічної готовності, тривалості простоїв, сервісних витрат і втрат від простою. Виконано порівняння базового та удосконаленого варіантів сервісного обслуговування, проведено аналіз чутливості, сценарне моделювання та інтегральне оцінювання ефективності сервісної системи. Визначено технічний та економічний ефект від використання цифрових сервісів CLAAS. Результати роботи можуть бути використані в діяльності сервісних центрів, дилерських організацій і господарств, що експлуатують техніку CLAAS.

**СЕРВІСНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ТЕХНІКА, CLAAS, ТЕХНІЧНА ГОТОВНІСТЬ, ЦИФРОВИЙ СЕРВІС, ПРОСТОЙ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.**

#### ANNOTATION

The master's thesis studies the efficiency of service maintenance of CLAAS agricultural machinery. Modern approaches to technical and service maintenance are analyzed, a system of efficiency indicators is substantiated, and functional and mathematical models of the service process are developed. A methodology for assessing technical availability, downtime duration, service costs, and downtime losses is proposed. The thesis compares basic and improved service variants and includes sensitivity analysis, scenario modeling, and integrated assessment of service system efficiency. The technical and economic effect of using CLAAS digital services is determined. The results can be used in service centers, dealer organizations, and farms operating CLAAS machinery.

**SERVICE MAINTENANCE, AGRICULTURAL MACHINERY, CLAAS, TECHNICAL AVAILABILITY, DIGITAL SERVICE, DOWNTIME, ECONOMIC EFFICIENCY.**

## ЗМІСТ

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РЕФЕРАТ                                                                                                       | 3  |
| ЗМІСТ                                                                                                         | 6  |
| ВСТУП                                                                                                         | 8  |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ     | 11 |
| 1.1 Значення сервісного обслуговування у системі технічної експлуатації сільськогосподарської техніки         | 11 |
| 1.2 Етапи розвитку наукової думки щодо сервісного обслуговування машин                                        | 12 |
| 1.3 Сучасні підходи до оцінювання ефективності сервісного обслуговування                                      | 13 |
| 1.4 Цифровізація сервісу як напрям підвищення ефективності технічного обслуговування                          | 14 |
| 1.5 Особливості сервісної концепції CLAAS                                                                     | 15 |
| 1.6 Невирішені питання та місце роботи у розв'язанні науково-практичної проблеми                              | 17 |
| Висновки до розділу 1                                                                                         | 18 |
| РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНІКИ CLAAS | 19 |
| 2.1 Теоретичні засади оцінювання ефективності сервісного обслуговування                                       | 19 |
| 2.2 Система показників ефективності сервісного обслуговування                                                 | 19 |
| 2.3 Функціональна модель процесу сервісного обслуговування                                                    | 22 |
| 2.4 Математична модель впливу цифрових сервісів на тривалість простою                                         | 23 |
| 2.5 Модель надійності та потоку сервісних звернень                                                            | 24 |
| 2.6 Економічна модель ефективності сервісного обслуговування                                                  | 25 |
| 2.7 Інтегральний показник ефективності сервісного обслуговування                                              | 27 |
| Висновки до розділу 2                                                                                         | 28 |
| РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНІКИ CLAAS                            | 29 |
| 3.1 Обґрунтування вибору напрямку дослідження                                                                 | 29 |
| 3.2 Загальна методика дослідження                                                                             | 29 |
| 3.3 Об'єкт, предмет та вихідні дані дослідження                                                               | 31 |
| 3.4 Основні гіпотези дослідження                                                                              | 33 |
| 3.5 Методи визначення задач дослідження                                                                       | 34 |
| 3.6 Розрахункова модель дослідження                                                                           | 36 |
| 3.7 Методика економічної оцінки                                                                               | 37 |
| 3.8 Програмні та інструментальні засоби дослідження                                                           | 39 |
| 3.9 Методика оцінювання похибок і достовірності результатів                                                   | 40 |
| 3.10 Послідовність обробки результатів                                                                        | 42 |
| Висновки до розділу 3                                                                                         | 43 |

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ<br>СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНІКИ CLAAS                                              | 44 |
| 4.1 Умови проведення дослідження та формування масиву<br>сервісних подій                                                             | 45 |
| 4.2 Аналіз структури простів у базовому варіанті сервісного<br>обслуговування                                                        | 46 |
| 4.3 Результати оцінювання удосконаленого варіанта сервісного<br>обслуговування                                                       | 48 |
| 4.4 Оцінювання впливу удосконаленого сервісу на технічну<br>готовність машин                                                         | 50 |
| 4.5 Економічна оцінка результатів дослідження                                                                                        | 52 |
| 4.6 Аналіз чутливості та сценарне моделювання ефективності<br>сервісного обслуговування техніки CLAAS                                | 53 |
| 4.7 Оцінка повноти вирішення поставлених задач і новизни<br>одержаних результатів                                                    |    |
| 4.8 Порівняння одержаних результатів з аналогічними<br>дослідженнями та обґрунтування необхідності подальших<br>досліджень           | 59 |
| Висновки до розділу 4                                                                                                                | 59 |
| РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА<br>ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ<br>СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНІКИ CLAAS | 62 |
| 5.1 Загальні положення                                                                                                               | 63 |
| 5.2 Охорона праці під час сервісного обслуговування техніки CLAAS                                                                    | 63 |
| 5.3 Економічна ефективність удосконалення сервісного<br>обслуговування                                                               | 67 |
| Висновки до розділу 5                                                                                                                | 70 |
| ВИСНОВКИ                                                                                                                             | 71 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ                                                                                                             | 73 |
| Додатки                                                                                                                              | 74 |

## ВСТУП

Сучасне аграрне виробництво характеризується широким використанням високопродуктивної, енергонасиченої та технічно складної сільськогосподарської техніки. Ефективність її застосування визначається не лише технічним рівнем машин, а й якістю сервісного обслуговування. Для сучасних комбайнів, тракторів та іншої самохідної техніки особливо важливими є своєчасна діагностика, планове технічне обслуговування, оперативне постачання запасних частин, доступність сервісних центрів і використання цифрових інструментів моніторингу технічного стану [1].

Проблема підвищення ефективності сервісного обслуговування є особливо актуальною для техніки провідних світових виробників, зокрема компанії CLAAS. У наданому буклеті щодо комбайнів CLAAS TRION увагу зосереджено не лише на продуктивності, точності, адаптивності та надійності машин, а й на сервісних рішеннях виробника, серед яких Remote Service, TELEMATICS, MAXI CARE, збільшені міжсервісні інтервали, легкодоступні точки технічного обслуговування та система забезпечення запасними частинами. Це підтверджує, що сервісна підтримка є важливою складовою загальної експлуатаційної ефективності техніки [7-10, 11].

Аналіз наявних досліджень показує, що питання надійності сільськогосподарської техніки, її ремонту та технічного обслуговування висвітлені достатньо широко. У наданій магістерській роботі зазначено, що технічний сервіс відіграє вирішальну роль у підтриманні машин у працездатному стані, а якість контрольних, діагностичних і ремонтних операцій безпосередньо впливає на результати експлуатації. Також підкреслено, що недостатній рівень технічного забезпечення господарств і високий ступінь зношеності техніки підвищують роль якісного сервісу [1, 2, 5, 13].

Разом з тим питання комплексної оцінки ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS залишаються недостатньо дослідженими. Більшість праць стосується технічних характеристик машин, їх надійності або окремих аспектів ремонту, тоді як вплив цифрових сервісних інструментів,

швидкості реагування сервісних служб організації логістики запасних частин і профілактичного обслуговування на технічну готовність машин і економічні результати вивчено не повною мірою.

Отже, існує суперечність між високим технічним рівнем сучасної техніки CLAAS і необхідністю забезпечення відповідно високого рівня її сервісної підтримки в реальних умовах експлуатації. Залишаються також прогалини у визначенні показників, які комплексно характеризують ефективність сервісного обслуговування, зокрема часу реагування сервісної служби, тривалості простоїв, рівня забезпеченості запасними частинами та результативності дистанційного моніторингу.

У зв'язку з цим тема магістерської роботи, присвячена дослідженню ефективності сервісного обслуговування провідного виробника сільськогосподарської техніки CLAAS, є актуальною та має практичне значення.

**Об'єкт дослідження** – процес сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки CLAAS.

**Предмет дослідження** – організаційні, технічні та економічні показники ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS.

**Мета роботи** – дослідити ефективність сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки CLAAS та обґрунтувати напрями її підвищення за рахунок удосконалення організації технічного сервісу, використання цифрових сервісних рішень і скорочення простоїв машин у процесі експлуатації.

**Технічне завдання** полягає в аналізі сучасного стану сервісного обслуговування техніки CLAAS, виявленні основних чинників впливу на його ефективність, розробці методики оцінювання результативності сервісної системи та формуванні практичних рекомендацій щодо її вдосконалення.

Структурно кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У **першому розділі** наведено аналіз існуючих досліджень і сучасного стану проблеми сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки, розглянуто особливості технічного сервісу машин провідних виробників і визначено місце сервісної системи CLAAS.

У **другому розділі** викладено теоретичні положення щодо оцінювання ефективності сервісного обслуговування, обґрунтовано систему показників і факторів, що визначають рівень сервісної ефективності, а також розроблено узагальнену модель її оцінювання.

У **третьому розділі** наведено методику досліджень, визначено послідовність збору, обробки та аналізу даних, сформовано програму досліджень.

У **четвертому розділі** подано результати експериментальних і аналітичних досліджень, виконано оцінювання чинників, що впливають на ефективність сервісного обслуговування техніки CLAAS.

У **п'ятому розділі** сформульовано практичні рекомендації щодо вдосконалення сервісного обслуговування техніки CLAAS.

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні підходу до комплексного оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS з урахуванням технічних, організаційних та економічних показників, а також у розвитку підходів до обґрунтування впливу цифрових сервісних інструментів на зменшення простоїв і підвищення технічної готовності машин.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих рекомендацій сервісними центрами, лідерськими організаціями та господарствами, що експлуатують техніку CLAAS, з метою згорочення простоїв, підвищення якості технічного обслуговування та зниження експлуатаційних витрат.

## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

### **1.1. Значення сервісного обслуговування у системі технічної експлуатації сільськогосподарської техніки**

У сучасному аграрному виробництві ефективність використання машин значною мірою визначається не лише їх конструктивними характеристиками, а й якістю сервісного супроводу протягом усього періоду експлуатації. Для сільськогосподарської техніки, яка працює у стислих агротехнічних строках, критично важливими є технічна готовність, швидкість усунення відмов, своєчасність постачання запасних частин, доступність сервісного персоналу та можливість оперативної діагностики. Саме тому сервісне обслуговування сьогодні розглядається як один із визначальних чинників зниження простоїв і підвищення продуктивності машин [1, 24, 25].

Технічний сервіс відіграє важливу роль у підтриманні складної техніки в працездатному стані, а якість контрольних, діагностичних і ремонтних операцій безпосередньо впливає на результати її експлуатації.

Поряд із цим міжнародні підходи до розвитку механізаційних систем у сільському господарстві прямо вказують, що ефективне функціонування техніки неможливе без належно організованого сервісного ланцюга, який охоплює технічну підтримку, ремонт, забезпечення деталями та інформаційний супровід [3, 27].

Отже, сервісне обслуговування слід розглядати не як допоміжну діяльність, а як повноцінну складову системи технічної експлуатації сільськогосподарської техніки, від якої прямо залежать її надійність, ефективність та економічна доцільність використання.

## **1.2. Етапи розвитку наукової думки щодо сервісного обслуговування машин**

Аналіз наукових публікацій дає змогу виділити кілька основних етапів розвитку підходів до технічного і сервісного обслуговування машин.

Перший етап пов'язаний із переважанням підходу ремонту після відмови, коли основна увага приділялася усуненню вже наявної несправності. У цьому випадку технічна служба працювала реактивно, а втрати від простоїв часто були значними. Такий підхід був характерний для техніки з меншою складністю конструкції та обмеженими засобами контролю стану [1, 27].

Другий етап характеризується переходом до планово-попереджувального технічного обслуговування, коли технічні втручання виконуються через встановлені інтервали часу або напруцювання. Цей підхід дав змогу певною мірою зменшити аварійність, однак не завжди враховував фактичний технічний стан конкретної машини та індивідуальні умови її експлуатації [1, 4, 24].

На третьому етапі почали активно розвиватися condition-based maintenance і засоби моніторингу технічного стану, коли обслуговування виконується не лише за регламентом, а й за результатами контролю реальних параметрів роботи машини. У цьому підході важливого значення набули датчики, діагностичні системи та методи аналізу робочих сигналів [13, 14].

Сучасний етап пов'язаний із переходом до predictive maintenance, цифрового сервісу та інтегрованого управління даними. У межах цього підходу сервісні рішення ґрунтуються на телеметрії, автоматизованому збиранні даних, дистанційному доступі до інформації про машину, алгоритмах прогнозування відмов і підтримці рішень сервісного персоналу [2, 5, 13, 18].

Таким чином, розвиток наукової думки у сфері сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки відображає загальну тенденцію переходу від локального ремонту до системного управління працездатністю машин на основі даних, діагностики та цифрових сервісів.

На основі даних робіт [1, 2, 13] в табл. 1.1 наведена інформація, щодо еволюції підходів до сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки.

Таблиця 1.1 Еволюція підходів до сервісного обслуговування  
сільськогосподарської техніки

| Етап | Характерний підхід                          | Основні ознаки                                          | Обмеження                                                       |
|------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1    | Ремонт після відмови                        | Усунення несправностей після зупинки машини             | Значні простої, непередбачувані витрати                         |
| 2    | Планово-попереджувальне обслуговування      | Регламентні ТО, фіксовані інтервали обслуговування      | Не завжди враховується реальний стан машини                     |
| 3    | Діагностичне та condition-based maintenance | Контроль параметрів стану, цільове втручання            | Потребує засобів моніторингу і кваліфікованого персоналу        |
| 4    | Predictive maintenance і цифровий сервіс    | Телеметрія, прогнозування відмов, дистанційна підтримка | Високі вимоги до цифрової інфраструктури і сервісної інтеграції |

### 1.3. Сучасні підходи до оцінювання ефективності сервісного обслуговування

У сучасних накових працях ефективність сервісного обслуговування розглядається як багатофакторна характеристика, яка охоплює технічні, економічні, організаційні та інформаційні аспекти.

До технічних показників зазвичай відносять коефіцієнт технічної готовності, частоту відмов, середній час відновлення працездатності, показники надійності та ремонтпридатності. До економічних — витрати на технічне обслуговування і ремонт, витрати на запасні частини, втрати від простоїв. До організаційних — середній час реагування сервісної служби, доступність сервісного персоналу, логістику запасних частин, якість планування регламентних робіт. До інформаційних — повноту даних про технічний стан машин, рівень цифрового моніторингу та можливість дистанційної діагностики.

Разом із тим суттєвим недоліком багатьох існуючих підходів є ізолюване оцінювання окремих груп показників. На практиці технічні, економічні й організаційні параметри взаємопов'язані: затримка з постачанням запасних частин призводить до зростання тривалості ремонту, а відсутність дистанційної діагностики збільшує час, потрібний для виявлення причини відмови. Саме тому більш обґрунтованим є комплексний підхід, у якому сервіс розглядається як система взаємодії машини, сервісного центру, логістики, цифрової платформи та користувача [2], [3].

У зв'язку з цим в оцінюванні ефективності сервісного обслуговування доцільно використовувати не окремий показник, а сукупність індикаторів, що дозволяють порівнювати різні форми сервісної підтримки та визначати напрями її вдосконалення.

#### **1.4. Цифровізація сервісу як напрям підвищення ефективності технічного обслуговування**

Окремий напрям сучасних досліджень стосується цифровізації сервісного обслуговування. У роботі F. Regler та співавторів встановлено, що застосування цифрового maintenance assistant для обслуговування карданних валів сільськогосподарської техніки дало змогу суттєво скоротити трудомісткість обслуговування, витрати ресурсів і використання мастильних матеріалів; у дослідженні наведено зниження витрат на технічне обслуговування до 93,8% та зменшення трудовитрат у середньому на 81,8% за певних сценаріїв виконання робіт [6].

У дослідженнях, присвячених прогнозованому технічному обслуговуванню тракторів, також показано, що використання діагностичного програмного забезпечення та предиктивного аналізу може суттєво скорочувати час ремонту й загальні витрати на усунення несправностей [8].

Крім того, сучасні роботи з моніторингу технічного стану на основі сигналів вібрації, частотного аналізу та методів машинного навчання підтверджують високу ефективність автоматизованого виявлення несправностей у вузлах сільськогосподарських машин [9].

Узагальнюючи наведене, можна зробити висновок, що цифровізація сервісу не є лише допоміжним інструментом, а формує нову модель технічної підтримки, за якої сервісне втручання стає більш оперативним, цільовим і економічно обґрунтованим.

На рис. 1.1. наведена еволюція системи сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки.

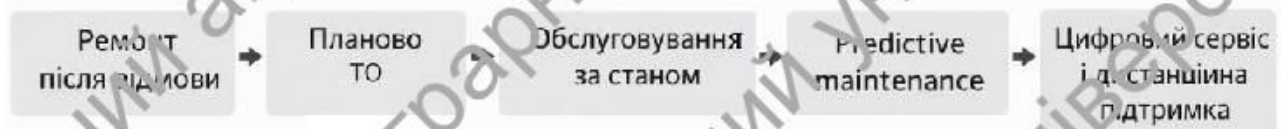


Рисунок 1.1 Еволюція системи сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки

### 1.5. Особливості сервісної концепції CLAAS

Для техніки провідних виробників, зокрема CLAAS, сервісне обслуговування дедалі більше інтегрується в загальну концепцію експлуатації машини. Офіційні матеріали CLAAS свідчать, що компанія розглядає сервіс і запасні частини як інструмент забезпечення постійної готовності техніки до роботи. На українському сайті компанії наголошується, що сервісні послуги, комплектуючі й запасні частини спрямовані на підтримання машин у робочому стані, а багатоступенєва логістична концепція покликана забезпечити швидке постачання замовлень [3], [10].

У матеріалах CLAAS TELEMATICS зазначається, що система дає змогу безперервно отримувати й документувати робочі дані, маршрути та дані врожайності з підключених комбайнів, кормозбиральних машин і тракторів, причому ці дані передаються через мобільну мережу до порталу, де можуть аналізуватися в режимі реального часу або ретроспективно [7].

Сервісний продукт MAXI CARE позиціонується компанією як комплексна пропозиція, що охоплює технічне обслуговування й ремонтне покриття та має на меті забезпечити постійну готовність машин до роботи й контрольованість витрат [11].

Окремо в офіційних матеріалах вказується на роль Remote Service, за допомогою якого дилер або сервісний партнер може віддалено аналізувати проблеми машини та надавати оперативну підтримку [12].

У буклеті CLAAS TRION ці ж підходи конкретизовані для зернозбиральних комбайнів. У ньому зазначено, що всі точки технічного обслуговування легкодоступні, централізовані змащувальні блоки мають відповідне маркування, тривалі інтервали технічного обслуговування заощаджують час і кошти, а заміна моторної оливи виконується через 500 мотогодин, гідравлічної — через 1000 годин. Також у буклеті вказано на використання Remote Service і MAXI CARE для мінімізації ризиків ремонту та простою.

На рис. 1.2 наведено основні фактори ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS.



Рисунок 1.2 – Основні фактори ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS

Водночас слід критично зазначити, що рекламні-інформаційні матеріали виробника відображають переваги сервісної системи, але не містять достатньої кількості незалежних кількісних оцінок її ефективності в конкретних

виробничих умовах. Саме тому необхідне окреме дослідження, яке б поєднувало аналіз сервісної концепції CLAAS з оцінюванням її результативності за сукупністю технічних, організаційних і економічних показників.

#### **1.6. Невирішені питання та місце роботи у розв'язанні науково-практичної проблеми**

Проведений огляд літератури свідчить, що проблема сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки вивчена достатньо широко, однак переважно за окремими напрямками. Існують праці, присвячені планово-попереджувальному обслуговуванню, прогнозованому сервісу, діагностичним системам, аналізу витрат на ремонт і цифровим інструментам підтримки [1, 2, 6, 8].

Разом із тим залишаються недостатньо розробленими такі питання.

- побудова комплексної системи показників для оцінювання саме ефективності сервісного обслуговування, а не лише ремонту чи технічного стану;
- кількісне оцінювання впливу цифрових сервісних продуктів виробника на технічну готовність машин;
- поєднання технічних, організаційних, економічних і цифрових параметрів у межах єдиної методики оцінювання;
- адаптація загальних наукових підходів до умов експлуатації техніки конкретного виробника, зокрема CLAAS.

Саме тут визначається місце даної магістерської роботи. Вона орієнтована на узагальнення наукових підходів до сервісного обслуговування, аналіз особливостей сервісної системи CLAAS та формування підґрунтя для подальшого дослідження її ефективності за сукупністю взаємопов'язаних показників.

## Висновки до розділу 1

У результаті аналізу літературних джерел і сучасних наукових підходів встановлено, що сервісне обслуговування є однією з ключових умов ефективної експлуатації сільськогосподарської техніки. Його значення зростає у зв'язку з ускладненням конструкції машин, підвищенням рівня автоматизації та необхідністю мінімізації простоїв у напружені агротехнічні строки.

Аналіз розвитку наукової думки показав, що підходи до технічного обслуговування пройшли еволюцію від ремонту після відмови до планово-попереджувального обслуговування, далі — до обслуговування за технічним станом і сучасних цифрових та прогностичних сервісних систем. Це свідчить про перехід від локального усунення несправностей до комплексного управління працездатністю машин на основі діагностики, моніторингу та аналізу експлуатаційних даних.

Встановлено, що в більшості досліджень ефективність сервісного обслуговування оцінюється за окремими технічними, економічними, організаційними або інформаційними показниками. Проте такий підхід не повною мірою відображає реальні умови експлуатації сучасної техніки, тому більш обґрунтованим є комплексне оцінювання, яке враховує взаємозв'язок технічної надійності, організації сервісу, логістики запасних частин, витрат та цифрових сервісних інструментів.

Установлено також, що цифровізація сервісного обслуговування є одним із найбільш перспективних напрямів підвищення його ефективності, оскільки дає змогу скорочувати трудомісткість обслуговування, підвищувати оперативність реагування на відмови та зменшувати втрати від простоїв техніки.

Аналіз сервісної концепції CLAAS показав, що вона базується на поєднанні регламентного технічного обслуговування, доступності сервісних точок, забезпечення запасними частинами та використання цифрових рішень, зокрема TELEMATICS, Remote Service і MAXI CARE. Разом із тим у доступних джерелах недостатньо висвітлено питання кількісного оцінювання фактичної ефективності цих рішень у реальних умовах експлуатації.

## **РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНІКИ CLAAS**

### **2.1. Теоретичні засади оцінювання ефективності сервісного обслуговування**

Ефективність сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки доцільно розглядати як комплексну властивість системи «машина – оператор – сервісна служба – матеріально-технічне забезпечення – цифрова інфраструктура», що характеризує здатність підтримувати заданий рівень технічної готовності техніки за мінімальними можливими витратами часу та коштів. У сучасних дослідженнях технічного обслуговування аграрних машин наголошується, що обслуговування вже не зводиться лише до ремонту після відмови, а охоплює профілактику, діагностику, моніторинг стану й прогнозування необхідних сервісних втручань [13, 15, 18].

Для техніки CLAAS сервісна ефективність формується не лише за рахунок регламентних робіт, а й через використання цифрових рішень. Офіційні матеріали компанії вказують, що Remote Service дає змогу дилеру або сервісному партнеру віддалено аналізувати проблеми машини та надавати оперативну допомогу, TELEMATICS забезпечує безперервне отримання й документування робочих даних, а CLAAS connect використовується для управління даними машин, сервісної інформацією та взаємодії із сервісним партнером [19–22].

Отже, теоретично ефективність сервісного обслуговування техніки CLAAS доцільно розглядати як функцію чотирьох груп факторів: технічних, організаційних, економічних і цифрових. Такий підхід створює основу для подальшого математичного опису процесів сервісного забезпечення.

### **2.2. Система показників ефективності сервісного обслуговування**

Для кількісного оцінювання ефективності сервісного обслуговування доцільно використовувати систему часткових показників, які відображають різні

сторони функціонування сервісної системи. Базовим показником є коефіцієнт технічної готовності:

$$K_{\text{тг}} = \frac{T_{\text{прац}}}{T_{\text{прац}} + T_{\text{прост}}} \quad (2.1)$$

де  $T_{\text{прац}}$  – час працездатного стану машини за досліджуваний період;  $T_{\text{прост}}$  – сумарний час простою через технічне обслуговування, відмови, очікування запасних частин або сервісного втручання.

У теорії надійності близьким показником є доступність системи, яка визначається через середній час між відмовами  $MTBF$  і середній час відновлення  $MTTR$ :

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.2)$$

Саме така залежність наводиться в технічній літературі з аналізу доступності систем [16, 17].

Для характеристики сервісної системи також доцільно використовувати: середній час реагування сервісної служби:

$$t_{\text{реар}} = \frac{\sum t_{\text{відг}}}{n} \quad (2.3)$$

$t_{\text{реар}}$  – інтервал часу від моменту реєстрації несправності до початку сервісного втручання;

Таким чином, середній час відновлення працездатності

$$MTTR = \frac{\sum t_{\text{рем}}}{n} \quad (2.4)$$

де  $\sum t_{\text{рем}}$  – сумарний час ремонту за  $n$  відмов; а також середній час між відмовами:

$$MTBF = \frac{T_{\text{прац}}}{n} \quad (2.5)$$

Крім технічних показників, важливими є економічні індикатори: прямі витрати на технічне обслуговування, витрати на запасні частини, витрати на діагностику, а також втрати від простоїв. У сучасних роботах із predictive maintenance наголошується, що технічна ефективність сервісу має оцінюватися разом із його економічною результативністю [13, 14, 18].

Бі табл. 2.1 наведена система показників ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS [13-18].

Таблиця 2.1 – Система показників ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS

| Показник                        | Позначення        | Формула | Одиниця    | Характеристика                                     |
|---------------------------------|-------------------|---------|------------|----------------------------------------------------|
| Коефіцієнт технічної готовності | $K_{\text{тг}}$   | (2.1)   | частка од. | Відображає частку часу, коли машина є працездатною |
| Середній час між відмовами      | $MTBF$            | (2.5)   | год        | Характеризує надійність машини                     |
| Середній час відновлення        | $MTTR$            | (2.4)   | год        | Характеризує ремонтпридатність і швидкість сервісу |
| Середній час реагування         | $t_{\text{реаг}}$ | (2.3)   | год        | Відображає оперативність сервісної служби          |
| Витрати на сервіс               | $C_c$             | —       | грн        | Прямі витрати на технічне обслуговування і ремонт  |

|                             |                    |        |            |                                                   |
|-----------------------------|--------------------|--------|------------|---------------------------------------------------|
| Втрати від простою          | $C_{\text{прост}}$ | —      | грн        | Непоямі економічні втрати від зупинки машини      |
| Інтегральний індекс сервісу | $I_s$              | (2.10) | частка од. | Узагальнена оцінка ефективності сервісної системи |

### 2.3. Функціональна модель процесу сервісного обслуговування

Процес сервісного обслуговування техніки CLAAS можна подати у вигляді послідовності взаємопов'язаних етапів: виявлення відхилення або несправності, передавання інформації до сервісної служби, реагування сервісного персоналу, діагностика, підготовка запасних частин і ресурсів, ремонт або регламентне втручання, контроль працездатності та повернення машини в експлуатацію. Така логіка певністю узгоджується із сучасним підходом до predictive maintenance і цифрового сервісу [13], [18].

Загальний час простою машини через сервісне втручання доцільно подати як суму окремих складових:

$$t_{\text{прост}} = t_{\text{вияв}} + t_{\text{перед}} + t_{\text{реак}} + t_{\text{діагн}} + t_{\text{лог}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{контр}} \quad (2.6)$$

де  $t_{\text{вияв}}$  – час виявлення несправності;

$t_{\text{перед}}$  – час передавання інформації

$t_{\text{реак}}$  – час реагування сервісної служби;

$t_{\text{діагн}}$  – час діагностики;

$t_{\text{лог}}$  – час логістичного забезпечення;

$t_{\text{рем}}$  – час безпосереднього ремонту або технічного обслуговування;

$t_{\text{контр}}$  – час контрольної перевірки й введення машини в роботу.

На рис. 2.1 подана функціональна модель процесу сервісного обслуговування техніки CLAAS [13, 19, 20, 22].

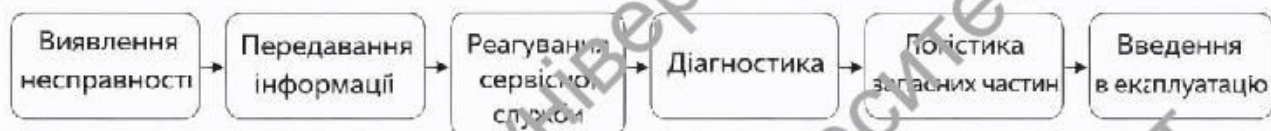


Рисунок 2.1 Функціональна модель процесу сервісного обслуговування техніки CLAAS

Подана залежність дає змогу встановити, що скорочення простою забезпечується не лише зменшенням тривалості самого ремонту, а й через прискорення виявлення несправності, передавання даних, діагностики та організації логістики. Саме на ці етапи, за інформацією CLAAS, впливають TELEMATICS, Remote Service і CLAAS connect [19, 20, 22].

#### 2.4. Математична модель впливу цифрових сервісів на тривалість простою

З урахуванням використання цифрових сервісів доцільно ввести коефіцієнт цифрової підтримки сервісу:

$$k_{\text{ц}} = 1 - \frac{t_{\text{перед}}^{\text{ц}} + t_{\text{діагн}}^{\text{ц}} + t_{\text{лог}}^{\text{ц}}}{t_{\text{перед}}^0 + t_{\text{діагн}}^0 + t_{\text{лог}}^0} \quad (2.7)$$

де верхній індекс 0 відповідає традиційній схемі сервісного обслуговування, а індекс ц – схемі із застосуванням цифрових інструментів.

Якщо  $k_{\text{ц}} > 0$ , то використання цифрових сервісів забезпечує скорочення підготовчих і супровідних часових інтервалів. Тоді загальний час простою при цифровій підтримці можна подати у вигляді:

$$t_{\text{прост}}^{\text{ц}} = t_{\text{прост}}^0 (1 - k_{\text{ц}} \eta) \quad (2.8)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт реалізації цифрового потенціалу, який враховує повноту використання TELEMATICS, Remote Service, CLAAS connect та фактичну готовність персоналу працювати з цифровими даними.

Теоретично це означає, що цифрові рішення не усувають необхідності фізичного ремонту, але скорочують час між виникненням проблеми та початком цільового сервісного втручання. Саме такий підхід закладено у predictive maintenance, де на основі даних обслуговування і технічного стану формується можливість раннього реагування [13], [18].

За офіційною інформацією CLAAS, Remote Service дає змогу сервісному партнеру аналізувати проблеми віддалено й надавати негайну допомогу, TELEMATICS передає робочі дані та дані врожайності в режимі реального часу або ретроспективно, а CLAAS connect слугує цифровою платформою для управління машинами, даними і взаємодії із сервісним партнером [19, 20, 22].

На рис. 2.2 подано вплив цифрових сервісів CLAAS на скорочення часу простою машини.

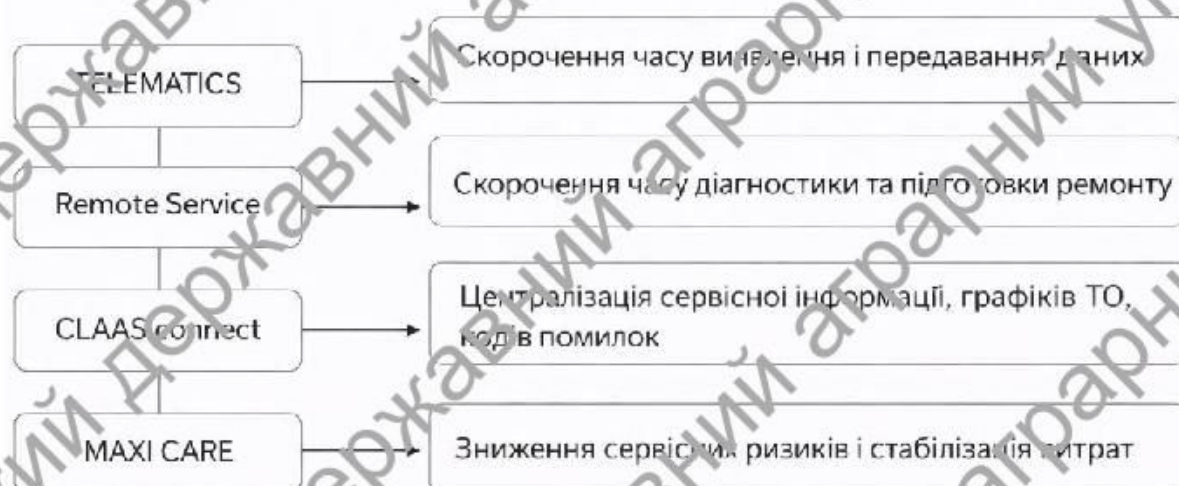


Рисунок 2.2 – Вплив цифрових сервісів CLAAS на скорочення часу простою машини

### 2.5. Модель надійності та потоку сервісних звернень

Для техніки, яка працює в сезонному режимі, кількість відмов і сервісних звернень може бути описана через інтенсивність потоку відмов  $\lambda$ . Тоді очікувана кількість відмов за інтервал часу  $T$  визначається як:

$$N_v = \lambda T \quad (2.9)$$

Очікуваний сумарний простій машин за цей період дорівнює:

$$T_{\text{прост}} = 1 \cdot t_{\text{прост}} = \lambda T \cdot t_{\text{прост}} \quad (2.10)$$

Звідси випливає, що підвищення ефективності сервісного обслуговування можливе двома шляхами: через зменшення інтенсивності відмов  $\lambda$  за рахунок профілактики та якісного технічного обслуговування, а також через зменшення  $t_{\text{прост}}$  завдяки вдосконаленню організації сервісу, діагностики та логістики. Подібна логіка відповідає сучасним дослідженням у сфері maintenance management і predictive maintenance [13–15, 18].

У такому разі коефіцієнт технічної готовності можна представити у вигляді:

$$K_{\text{тг}} = \frac{1}{1 + \lambda t_{\text{прост}}} \quad (2.11)$$

Формула (2.11) наочно показує, що технічна готовність підвищується як унаслідок зменшення частоти відмов, так і завдяки скороченню тривалості простою.

## 2.6. Економічна модель ефективності сервісного обслуговування

Економічна оцінка сервісного обслуговування повинна враховувати не лише прямі витрати на технічне обслуговування і ремонт, а й втрати від простоїв які в сезонному аграрному виробництві можуть бути особливо значними. Тому загальні витрати сервісної системи доцільно подати як:

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{план}} + C_{\text{авар}} + C_{\text{лог}} + C_{\text{діагн}} + C_{\text{прост}} \quad (2.12)$$

де  $C_{\text{план}}$  – витрати на планове ТО;  $C_{\text{авар}}$  – витрати на аварійні ремонти;  $C_{\text{лог}}$  – витрати на логістику запасних частин;  $C_{\text{діагн}}$  – витрати на діагностику та інформаційний супровід;  $C_{\text{прост}}$  – втрати від простоїв техніки.

Тоді очікуваний економічний ефект від удосконалення сервісної системи визначається як:

$$\Delta C = C_{\text{заг}}^0 - C_{\text{заг}}^1 \quad (2.13)$$

де 0 – базовий варіант сервісного обслуговування, 1 – удосконалений варіант.

Якщо  $\Delta C > 0$ , то впровадження нових сервісних рішень є економічно доцільним. У сучасних дослідженнях цифрового обслуговування показали, що найбільший ефект часто досягається не стільки за рахунок зменшення вартості окремого ремонту, скільки завдяки скороченню непродуктивних витрат часу і ресурсів [14, 18].

Офіційні матеріали CLAAS також підкреслюють, що MAXI CARE орієнтований на ремонтне й сервісне покриття з метою забезпечення постійної готовності машин до роботи та більшої передбачуваності витрат [21].

В табл. 2.2 представлена структура загальних витрат сервісного обслуговування техніки CLAAS на основі даних робіт [14, 18, 21].

Таблиця 2.2 – Структура загальних витрат CO техніки CLAAS

| Складова витрат             | Позначення        | Зміст                                            | Вплив цифрових сервісів                         |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Витрати на планове ТО       | $C_{\text{план}}$ | Регламентні роботи, мастильні матеріали, фільтри | Можливе краще планування строків ТО             |
| Витрати на аварійний ремонт | $C_{\text{авар}}$ | Роботи з усунення відмов, запасні частини        | Можливе скорочення через раннє виявлення відмов |
| Логістичні витрати          | $C_{\text{лог}}$  | Доставка деталей, організація сервісу            | Скорочуються через завчасну підготовку          |

|                        |                      |                                                |                                                           |
|------------------------|----------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Витрати на діагностику | $C_{\text{діагн}}$   | Визначення причин несправностей, обробка даних | Можуть зменшуватися при дистанційній підтримці            |
| Втрати від простоїв    | $C_{\text{простої}}$ | Непрямі втрати через зупинку техніки           | Найбільш чутливі до TELEMATICS, Remote Service, MAXI CARE |

## 2.7. Інтегральний показник ефективності сервісного обслуговування

Для узагальненого порівняння різних варіантів сервісної підтримки доцільно застосувати інтегральний індекс ефективності сервісного обслуговування:

$$I_c = w_1 K_{\text{тг}} + w_2 \frac{MTBF}{MTTF_{\text{баз}}} + w_3 \frac{MTTR_{\text{баз}}}{MTTR} + w_4 \frac{t_{\text{реар баз}}}{t_{\text{реар}}} + w_5 \frac{C_{\text{прост баз}}}{C_{\text{прост}}} \quad (2.14)$$

де  $w_1 \dots w_5$  – вагові коефіцієнти; базові значення відповідають вихідному або порівнюваному варіанту.

Такий індекс дає можливість одночасно врахувати надійність, ремонтпридатність, оперативність сервісу та економічні наслідки простоїв, що особливо важливо для техніки CLAAS, у якій сервісні рішення тісно інтегровані з цифровою інфраструктурою [19–22].

## Висновки до розділу 2

У розділі обґрунтовано теоретичні засади оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS як комплексної системи, що поєднує технічні, організаційні, економічні та цифрові чинники. Показано, що базовими показниками такої системи є коефіцієнт технічної готовності, середній час між відмовами, середній час відновлення працездатності, час реагування сервісної служби, витрати на сервіс і втрати від простоїв.

Сформовано функціональну і математичну моделі процесу сервісного обслуговування, у якій загальний простій машини подано як суму часових складових виявлення несправності, передавання інформації, реагування сервісу, діагностики, логістики, ремонту й контрольної перевірки. Це дає змогу локалізувати ті етапи, на яких можливе найбільше скорочення витрат часу.

Показано, що цифрові сервіси CLAAS, зокрема TELEMATICS, Remote Service, MAXI CARE і CLAAS connect, теоретично забезпечують скорочення простоїв насамперед через швидше виявлення проблем, оперативніше передавання даних, полегшену діагностику, підготовку запасних частин та підвищення передбачуваності сервісних витрат. Отримані залежності можуть бути використані як основа для формування методики дослідження.

## **РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНІКИ CLAAS**

### **3.1. Обґрунтування вибору напрямку дослідження**

Вибір напрямку дослідження зумовлений тим, що ефективність сервісного обслуговування сучасної сільськогосподарської техніки визначається не лише якістю виконання ремонтних робіт, а й швидкістю виявлення несправностей, передавання сервісної інформації, оперативністю реагування сервісної служби, забезпеченістю запасними частинами та використанням цифрових інструментів підтримки [19, 20, 22]. Для техніки CLAAS це особливо важливо, оскільки компанія інтегрує у сервісну систему Remote Service, TELEMATICS, MAXI CARE і CLAAS connect. Remote Service забезпечує збирання та аналіз кодів помилок і даних про майбутні технічні обслуговування в реальному часі, TELEMATICS використовується для передавання робочих даних машини, а CLAAS connect об'єднує дані про продуктивність, сервісну інформацію, місцезнаходження машини й коди помилок на одній платформі [19, 20, 22].

З огляду на це як основний напрям дослідження обрано комплексне оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS з урахуванням технічних, організаційних, економічних і цифрових факторів. Такий підхід відповідає сучасним концепціям predictive maintenance для аграрних машин, де сервісне рішення розглядається як результат поєднання діагностики, аналізу даних і ремонтного втручання [13, 14, 18].

### **3.2. Загальна методика дослідження**

Методика дослідження передбачає кілька послідовних етапів.

На першому етапі проводиться аналіз наукових джерел, технічної документації та сервісних матеріалів CLAAS з метою формування системи показників, які характеризують ефективність сервісного обслуговування [19-22].

На другому етапі формується модельна база даних дослідження. Оскільки у роботі розглядається методичний підхід до оцінювання сервісної ефективності,

для розрахунків приймається умовна модельна вибірка із 20 сервісних подій для зернозбиральної техніки CLAAS. Кожна подія описується такими параметрами:

- час виявлення несправності;
- час передавання інформації до сервісного партнера;
- час реагування сервісної служби;
- час діагностики;
- час логістики запасних частин;
- час ремонту або технічного втручання;
- загальний простій машини;
- прямі витрати на сервіс;
- орієнтовні втрати від простою.

На третьому етапі виконуються розрахунки показників технічної готовності, середнього часу реагування, середнього часу відновлення працездатності, інтенсивності сервісних звернень і загальних витрат.

На четвертому етапі здійснюється порівняння двох варіантів сервісного обслуговування:

- базового, без повного використання цифрових сервісів;
- удосконаленого, із застосуванням Remote Service, TELEMATICS та CLAAS connect [19, 20, 22].

На п'ятому етапі проводиться оцінювання впливу цифрових рішень на зменшення часу простою, зниження витрат і підвищення технічної готовності машини.

На рис. 3.1 представлена загальна схема проведення дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS.

Рисунок 3.1 відображає загальну схему проведення дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS і показує логічну послідовність виконання всіх етапів роботи. Із наведеної схеми видно, що дослідження розпочинається з аналізу наукових джерел і сервісної системи CLAAS, що дозволяє сформувати теоретичну базу та визначити ключові фактори, які впливають на ефективність сервісного обслуговування. Наступним етапом є формування системи показників, на основі яких надалі виконується

кількісне оцінювання технічної, організаційної та економічної результативності сервісу.



Рисунок 3.1 – Загальна схема проведення дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS

Подані блоки схеми відображають перехід до збору та структуризації даних, математичного моделювання і порівняльної оцінки варіантів сервісного обслуговування. Це свідчить про системний характер дослідження, у якому теоретичний аналіз поєднується з розрахунковими процедурами та аналітичною обробкою результатів. Завершальні етапи, пов'язані з формуванням практичних рекомендацій, показують прикладну спрямованість роботи, оскільки кінцевою метою дослідження є не лише отримання розрахункових показників, а й обґрунтування шляхів підвищення ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS.

Отже, рисунок 3.1 підтверджує, що прийнята методика дослідження має послідовну й логічно завершену структуру, яка забезпечує перехід від теоретичних положень до практичних результатів і висновків.

### 3.3. Об'єкт, предмет та вихідні дані дослідження

Об'єктом дослідження є процес сервісного обслуговування техніки CLAAS.

Предметом дослідження є показники, функціональні залежності та методи оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS з урахуванням традиційного та цифрового сервісного супроводу.

Для проведення розрахунків у роботі прийнято модельний парк із 10 машин CLAAS, що експлуатуються протягом сезону тривалістю 1200 машино-годин сумарного напрацювання. Такий підхід дозволяє виконати порівняльний аналіз без прив'язки до одного конкретного господарства, але з можливістю подальшої адаптації під фактичні дані.

В табл. 3.1 наведені вихідні дані для дослідження ефективності сервісного обслуговування.

Удосконалений варіант дослідження передбачає, що завдяки використанню цифрових сервісів скорочуються насамперед  $t_{\text{перед}}$ ,  $t_{\text{реп}}$  і  $t_{\text{діагн}}$ , що відповідає функціоналу Remote Service та CLAAS connect, описаному виробником.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для дослідження ефективності сервісного обслуговування

| Показник                                          | Позначення            | Значення |
|---------------------------------------------------|-----------------------|----------|
| Кількість машин у модельному парку                | N                     | 10       |
| Загальне напрацювання за сезон, год               | T                     | 1200     |
| Кількість сервісних подій                         | n                     | 20       |
| Середній час виявлення несправності, год          | $t_{\text{вияв}}$     | 0,8      |
| Середній час передавання інформації, год          | $t_{\text{перед}}$    | 1,2      |
| Середній час реагування сервісної служби, год     | $t_{\text{реп}}$      | 4,5      |
| Середній час діагностики, год                     | $t_{\text{діагн}}$    | 2,4      |
| Середній час логістики запасних частин, год       | $t_{\text{лог}}$      | 6,0      |
| Середній час ремонту, год                         | $t_{\text{рем}}$      | 5,5      |
| Середній час контрольної перевірки, год           | $t_{\text{контр}}$    | 0,6      |
| Середні прями витрати на одну сервісну подію, грн | $C_{\text{ср}}$       | 12800    |
| Орієнтовні втрати від 1 години простою, грн/год   | $C_{\text{прост 1г}}$ | 4200     |

Аналіз даних табл. 3.1 показує, що прийняті вихідні дані дають змогу сформувати достатню інформаційну базу для дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS. Вибір модельного парку з 10 машин і сумарного сезонного напруження 1200 машинно-годин дозволяє розглядати результати не для одиної машини, а для узагальненого виробничого середовища, що підвищує репрезентативність розрахунків.

Наведені у таблиці часові параметри відображають типову структуру сервісної події, яка включає не лише безпосередній ремонт, а й виявлення несправності, передавання інформації, реагування сервісної служби, діагностику, логістику запасних частин та контрольну перевірку. Це підтверджує, що загальний простій машини формується як сума кількох складових, серед яких істотну частку займають організаційні та інформаційні етапи, а не тільки сам ремонт. Саме така структура вихідних даних є важливою для подальшого оцінювання впливу цифрових сервісів CLAAS на ефективність обслуговування.

Значення середніх прямих витрат на одну сервісну подію та орієнтовних витрат від 1 години простою дають змогу не лише оцінити технічну, а й економічну сторону сервісного обслуговування. Це особливо важливо для подальших розрахунків, оскільки дозволяє кількісно визначити ефект від скорочення простою внаслідок удосконалення сервісної системи.

Отже, дані таблиці 3.1 можна вважати достатніми для побудови розрахункової моделі дослідження, порівняння базового та удосконаленого варіантів сервісного обслуговування, а також для визначення технічного й економічного ефекту від використання цифрових сервісів CLAAS.

### **3.4. Основні гіпотези дослідження**

У роботі прийнято такі основні гіпотези дослідження:

Ефективність сервісного обслуговування техніки CLAAS визначається не лише тривалістю ремонту, а сумарним часом усіх етапів сервісного процесу: від виявлення несправності до введення машини в експлуатацію.

Використання цифрових сервісів CLAAS скорочує загальний час простою машини за рахунок прискорення передавання інформації, діагностики і підготовки сервісного втручання. Таке припущення узгоджується з тим, що Remote Service у CLAAS фіксує fault codes, system messages та upcoming maintenance requirements у реальному часі, а CLAAS connect дає доступ до service information, error codes та machine parameters.

Скорочення простоїв унаслідок цифрової підтримки забезпечує не лише технічний, а й економічний ефект.

### **3.5. Методи вирішення задач дослідження**

Для досягнення мети роботи використано такі методи:

- літературного аналізу застосовано для формування теоретичної бази дослідження;
- структурно-функціонального аналізу використано для побудови моделі сервісного процесу;
- математичного моделювання застосовано для опису технічної готовності, простоїв, сервісних витрат і впливу цифрових сервісів;
- порівняльного аналізу використано для зіставлення базового й удосконаленого варіантів сервісного обслуговування;
- математичної статистики застосовано для обчислення середніх значень, варіації, перевірки адекватності моделей і оцінювання похибок.

Для регресійної діагностики доцільно використовувати аналіз залишків, виявлення викидів і перевірку структури похибок, що відповідає підходам NIST [24, 25, 27, 28].

Методи дослідження та сфера їх застосування представлені в табл. 3.2.

Аналіз даних таблиці 3.2 показує, що для дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS доцільно використовувати сукупність взаємодоповнювальних методів, оскільки жоден із них окремо не забезпечує повного розв'язання поставлених задач. Літературний аналіз дозволяє сформулювати теоретичну основу дослідження, визначити сучасні підходи до організації сервісного обслуговування та виділити основні фактори,

що впливають на його результативність, однак сам по собі він не дає кількісної оцінки ефективності.

Таблиця 3.2. Методи дослідження та сфера їх застосування

| Метод                   | Призначення                           | Результат                         |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Літературний аналіз     | Формування теоретичних положень       | Система показників і факторів     |
| Функціональний аналіз   | Побудова структури сервісного процесу | Схема етапів сервісу              |
| Математичне моделювання | Опис простою, гетозності та витрат    | Формули й розрахункові залежності |
| Порівняльний аналіз     | Порівняння двох варіантів сервісу     | Кількісна оцінка ефекту           |
| Статистичний аналіз     | Перевірка стійкості результатів       | Середні, відхилення, помилки      |

Функціональний аналіз є важливим для побудови структури сервісного процесу та встановлення логічного зв'язку між його окремими етапами. Його перевагою є можливість візуалізації послідовності дій у межах сервісного обслуговування, але він не дозволяє оцінити силу впливу кожного фактора на кінцевий результат. Саме тому цей метод доцільно поєднувати з математичним моделюванням.

Математичне моделювання забезпечує кількісне відображення основних процесів сервісного обслуговування, зокрема дозволяє розрахувати тривалість простоя, коефіцієнт технічної готовності, інтенсивність сервісних звернень та економічні втрати. Його перевага полягає у можливості отримання числових результатів і виконання порівняльної оцінки різних варіантів сервісу. Водночас достовірність математичних моделей залежить від якості вихідних даних і потребує перевірки адекватності.

Порівняльний аналіз є доцільним для зіставлення базового і вдосконаленого варіантів сервісного обслуговування, оскільки він дозволяє

наочно показати вплив цифрових сервісів на ключові показники ефективності. Саме цей метод забезпечує практичну спрямованість дослідження, проте його результати значною мірою залежать від коректності вихідних припущень і повноти зібраної інформації.

Статистичний аналіз доповнює попередні методи, оскільки дозволяє оцінити стійкість отриманих результатів, визначити середні значення, варіацію показників та перевірити достовірність узагальнень. Його використання підвищує наукову обґрунтованість дослідження, але потребує достатнього обсягу й належної якості даних.

Отже, дані таблиці 3.2 підтверджують, що найбільш доцільним для дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS є комплексний підхід, який поєднує літературний, функціональний, математичний, порівняльний і статистичний методи. Саме таке поєднання дозволить отримати як теоретично обґрунтовані, так і практично значущі результати.

### 3.6. Розрахункова модель дослідження

У роботі прийнято, що основними розрахунковими показниками є коефіцієнт технічної готовності, середній час реагування сервісної служби, середній час відновлення працездатності, інтенсивність потоку відмов та загальні витрати сервісного обслуговування. Коефіцієнт технічної готовності визначається за формулою:

$$K_{\text{тг}} = \frac{T_{\text{прац}}}{T_{\text{прац}} + T_{\text{прост}}} \quad (3.1)$$

де  $T_{\text{прац}}$  – час працездатного стану техніки;  $T_{\text{прост}}$  – загальний час простою.

Середній час реагування сервісної служби:

$$t_{\text{pear}} = \frac{\sum t_i}{n} \quad (3.2)$$

де  $t_i$  – час реагування для окремої сервісної події;  $n$  – кількість сервісних подій.

до початку сервісного втручання:

Середній час відновлення працездатності:

$$MTTR = \frac{\sum t_{\text{рем}}}{n} \quad (3.3)$$

Інтенсивність сервісних звернень:

$$\lambda = n / T \quad (3.4)$$

Загальний час простою для однієї сервісної події:

$$t_{\text{прост}} = t_{\text{вияв}} + t_{\text{перед}} + t_{\text{реаг}} + t_{\text{діагн}} + t_{\text{лог}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{контр}} \quad (3.5)$$

Для базового варіанта:  $t_{\text{прост}} = 0,8 + 1,2 + 4,5 + 2,4 + 6,0 + 5,5 + 0,6 = 21,0$  год.

Для удосконаленого варіанта приймаємо, що:

- $t_{\text{перед}}$  зменшується з 1,2 до 0,4 год;
- $t_{\text{реаг}}$  зменшується з 4,5 до 3,0 год;
- $t_{\text{діагн}}$  зменшується з 2,4 до 1,5 год.

Тоді:  $t_{\text{прост}}^1 = 0,8 + 0,4 + 3,0 + 1,5 + 6,0 + 5,5 + 0,6 = 17,8$  год.

Отже, скорочення простою на одну сервісну подію становить:

$$\Delta t_{\text{прост}} = 21,0 - 17,8 = 3,2 \text{ год}$$

За 20 сервісних подій сезонна економія часу становить:  $\Delta T = 20 \cdot 3,2 = 64$  год.

### 3.7. Методика економічної оцінки

Втрати від простою для базового варіанта:

$$C_{\text{прост}}^0 = 20 \cdot 21,0 \cdot 4200 = 1\,764\,000 \text{ грн.}$$

Втрати від простою для удосконаленого варіанта:

$$C_{\text{прост}}^1 = 20 \cdot 17,8 \cdot 4200 = 1\,495\,200 \text{ грн}$$

Економія за рахунок зменшення простою:

$$\Delta C_{\text{прост}} = 1\,764\,000 - 1\,495\,200 = 268\,800 \text{ грн.}$$

Якщо додаткові витрати на використання цифрових сервісів і організаційне забезпечення умовно становлять 85 000 грн за сезон, то чистий економічний ефект дорівнює:  $E = 268\,800 - 85\,000 = 183\,800 \text{ грн.}$

В табл. 3.3 здійснено порівняння базового та удосконаленого варіантів сервісного обслуговування.

Таблиця 3.3 – Порівняння базового та удосконаленого варіантів сервісного обслуговування

| Показник                                     | Базовий<br>варіант | Удосконалений<br>варіант | Відхилення |
|----------------------------------------------|--------------------|--------------------------|------------|
| Час передавання інформації,<br>год           | 1,2                | 0,4                      | -0,8       |
| Час реагування сервісної<br>служби, год      | 4,5                | 3,0                      | -1,5       |
| Час діагностики, год                         | 2,4                | 1,5                      | -0,9       |
| Загальний простій на 1<br>подію, год         | 21,0               | 17,8                     | -3,2       |
| Загальний простій за сезон,<br>год           | 420,0              | 356,0                    | -64,0      |
| Втрати від простою, грн                      | 1 764 000          | 1 495 200                | -268 800   |
| Додаткові витрати на<br>цифровий сервіс, грн | 0                  | 85 000                   | +85 000    |
| Чистий економічний ефект,<br>грн             | -                  | -                        | 183 800    |

Аналіз даних таблиці 3.3 показує, що впровадження цифрових сервісів CLAAS найбільше впливає на скорочення часу передавання інформації, реагування сервісної служби та діагностики. У результаті загальний простій на

одну сервісну подію зменшується на 32 год, сезонний простій — на 64 год, а очікуваний чистий економічний ефект становить 183 800 грн. Це підтверджує доцільність використання цифрової підтримки для підвищення ефективності сервісного обслуговування.

### **3.8. Програмні та інструментальні засоби дослідження**

У роботі як цифрові засоби дослідження розглядаються Remote Service, TELEMATICS, CLAAS connect і MAXI CARE. Remote Service забезпечує аналіз кодів помилок та даних про наступні технічні обслуговування в реальному часі, TELEMATICS дає змогу отримувати робочі дані машин, а CLAAS connect поєднує machine data, service information, error codes і machine parameters в одному середовищі.

У роботі як базовий засіб розрахунків використано:

*Microsoft Excel* — для формування таблиць вихідних даних, розрахунку коефіцієнта технічної готовності, часу простоїв, сервісних витрат, побудови порівняльних таблиць, гістограм і діаграм. Excel доцільний як базовий інструмент для первинної обробки модельних та фактичних даних.

*IBM SPSS Statistics* або *Statistica* — для статистичного аналізу, визначення середніх значень, стандартних відхилень, коефіцієнтів варіації, побудови регресійних залежностей та перевірки статистичної значущості отриманих результатів.

*MATLAB* або *Mathcad* — для реалізації математичних моделей, аналізу чутливості, перевірки функціональних залежностей та розрахунку інтегральних показників ефективності сервісного обслуговування.

CLAAS TELEMATICS — як джерело даних про робочі параметри машини, маршрути та експлуатаційні показники [20].

CLAAS Remote Service — як інструмент отримання кодів помилок, системних повідомлень і повідомлень про наближення технічного обслуговування [19].

CLAAS connect — як цифрова платформа для централізованого доступу до машинних даних, сервісної інформації та взаємодії із сервісним партнером [22].

Таким чином, у роботі доцільно поєднати універсальні програмні засоби математичної і статистичної обробки даних із фірмовими цифровими сервісами CLAAS. Це посилює прикладний характер дослідження та підвищує його методичну обґрунтованість.

В табл. 3.4 наводиться програмне забезпечення, яке використано в даному дослідженні.

Таблиця 3.4 – Програмне забезпечення, використане в дослідженні

| Програмний засіб                 | Призначення у дослідженні                       |
|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| Microsoft Excel                  | Розрахунок показників, таблиці, діаграми        |
| IBM SPSS Statistics / Statistica | Статистичний аналіз і перевірка значущості      |
| MATLAB / Mathcad                 | Реалізація математичних моделей                 |
| CLAAS TELEMATICS                 | Отримання та документування машинних даних      |
| CLAAS Remote Service             | Отримання кодів помилок і сервісних повідомлень |
| CLAAS connect                    | Централізація сервісної та машинної інформації  |

Таким чином, табл. 3.4 підтверджує, що для проведення повноцінного дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS доцільно використовувати поєднання універсальних програмних засобів математичної та статистичної обробки з цифровими сервісами виробника.

### 3.9. Методика оцінювання похибок і достовірності результатів

Оскільки в роботі використовуються розрахункові та модельні дані, для оцінювання достовірності результатів визначаються: середнє значення; середньоквадратичне відхилення; коефіцієнт варіації; відносна похибка; довірчий інтервал.

Для узагальненого оцінювання невизначеності використовується підхід NIST, згідно з яким невизначеність розглядається як параметр, пов'язаний із

результатом вимірювання, що характеризує розсіювання значень, які можуть бути обгрунтовано приписані вимірюваній величині [25], [27]. Також враховується поділ складових невизначеності на оцінювані за статистичними серіями та оцінювані за іншою наявною інформацією [25].

Для перевірки адекватності моделей доцільно використовувати: аналіз залишків; перевірку наявності викидів; перевірку впливових спостережень; порівняння фактичних і розрахункових значень [24, 28].

Аналіз таблиці 3.5 показує, що на результати дослідження ефективності сервісного обслуговування впливає низка чинників, пов'язаних як із процесом збору інформації, так і з особливостями її обробки. Найбільш суттєвими джерелами похибок є неповнота обліку часу простою, варіація умов експлуатації машин, неточність сервісної реєстрації, а також похибки, зумовлені прийнятими модельними припущеннями.

Таблиця 3.5 – Основні джерела похибок у дослідженні

| Джерело похибки                 | Вплив на результат                         | Спосіб урахування                  |
|---------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|
| Неповнота обліку часу простою   | Заниження або завищення $T_{\text{прост}}$ | Структуризація простоїв за етапами |
| Варіація умов експлуатації      | Розкид значень часу ремонту                | Усереднення і групування           |
| Неточність сервісної реєстрації | Похибка $t_{\text{регр}}$                  | Повторна перевірка даних           |
| Модельні припущення             | Відхилення від фактичних умов              | Перевірка чутливості розрахунків   |
| Статистична нестійкість вибірки | Менша надійність висновків                 | Розрахунок коефіцієнта варіації    |

Неповнота обліку часу простою може призводити до заниження або завищення фактичних значень технічної готовності машини. Саме тому у роботі прийнято структуризацію простоїв за окремими етапами сервісного процесу, що дозволяє підвищити точність розрахунків. Варіація умов експлуатації техніки

також істотно впливає на результати, оскільки сезонне навантаження, складність польових умов, кваліфікація оператора та характер несправностей можуть змінювати часові й економічні показники сервісного обслуговування.

Неточність сервісної реєстрації може спричиняти похибки в оцінці часу реагування сервісної служби, тривалості діagnosticки або ремонту. У зв'язку з цим важливим є повторний контроль і перевірка вихідних даних. Окрему групу становлять похибки моделі, які виникають унаслідок спрощення реального процесу сервісного обслуговування при математичному описі. Для їх урахування необхідно перевіряти чутливість розрахунків до зміни окремих параметрів і оцінювати адекватність побудованих залежностей.

Отже, дані таблиці 3.5 підтверджують, що врахування можливих джерел похибок є необхідною умовою отримання достовірних результатів дослідження. Саме системний підхід до оцінювання похибок дозволяє підвищити наукову обґрунтованість висновків і забезпечити можливість подальшого використання запропонованої методики в реальних виробничих умовах.

### **3.10. Послідовність обробки результатів**

На практиці розрахунки виконуються у такій послідовності: формується таблиця вихідних даних по сервісних подіях; розраховується час простою для кожної події; визначаються середні значення показників; порівнюються базовий і удосконалений варіанти; оцінюються втрати від простою; визначається економічний ефект; виконується аналіз похибок.

Рисунок 3.2 ілюструє послідовність обробки результатів дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS. На схемі показано, що обробка результатів починається зі збору вихідних даних, які включають часові параметри сервісних подій, показники простоїв, сервісні витрати та інші характеристики, необхідні для подальших розрахунків. Далі здійснюється розрахунок часу простою і визначення основних технічних показників, що дозволяє перейти до кількісного аналізу ефективності сервісного обслуговування.

**збір даних → розрахунок часу простою → визначення технічних показників →  
оцінка економічних втрат → порівняння варіантів сервісу → перевірка  
достовірності → формування висновків.**

Рисунок 3.2 – Послідовність обробки результатів дослідження

Наступні етапи схеми пов'язані з оцінюванням економічних втрат від простоїв, порівнянням базового та удосконаленого варіантів сервісу, а також перевіркою достовірності отриманих результатів. Така структура показує, що обробка результатів у роботі не обмежується лише технічними розрахунками, а включає також економічне обґрунтування та аналіз надійності одержаних даних. Це підвищує наукову обґрунтованість дослідження та забезпечує комплексний підхід до оцінювання сервісної ефективності.

Таким чином, рисунок 3.2 наочно демонструє, що обробка результатів у роботі здійснюється поетапно, із дотриманням логічної послідовності переходу від вихідної інформації до кінцевих висновків. Це дозволяє забезпечити цілісність розрахункового процесу, підвищити достовірність результатів і сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо вдосконалення сервісного обслуговування техніки CLAAS.

Отже, сформована в розділі 3 методика дослідження дозволяє перейти до практичної реалізації розрахунків та оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS. На основі прийнятих вихідних даних, розрахункових залежностей і системи показників у наступному розділі буде виконано аналіз результатів дослідження базового та удосконаленого варіантів сервісного обслуговування.

### Висновки до розділу 3

У третьому розділі обгрунтовано вибір напрямку дослідження, який полягає в комплексному оцінюванні ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS з урахуванням технічних, організаційних, економічних і цифрових чинників. Показано, що такий підхід дає змогу розглянути сервісне обслуговування як цілісний процес, результативність якого залежить від швидкості виявлення несправності, передавання інформації, реагування сервісної служби, якості діагностики, логістики запасних частин і використання цифрових сервісів.

Сформовано загальну методику дослідження, яка включає аналіз джерел і сервісних матеріалів CLAAS, побудову модельної вибірки сервісних подій, визначення системи показників ефективності, математичне моделювання процесу сервісного обслуговування, порівняння базового та удосконаленого варіантів сервісу, а також оцінювання технічного й економічного ефекту.

Визначено інформаційну базу, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано основні гіпотези та обгрунтовано використання модельних вихідних даних для проведення розрахунків. Прийнята структура вихідних даних дозволяє відтворити типовий процес сервісного обслуговування техніки CLAAS і виконати подальший порівняльний аналіз впливу цифрових сервісів на зміну ключових показників ефективності.

Запропоновано систему розрахункових показників, що охоплює коефіцієнт технічної готовності, середній час реагування сервісної служби, середній час відновлення працездатності, інтенсивність сервісних звернень, загальний час простою та витрати на сервісне обслуговування. Побудовані математичні залежності дають змогу кількісно оцінити вплив окремих складових сервісного процесу на загальну ефективність обслуговування.

Окрему увагу приділено оцінюванню похибок і перевірці достовірності результатів. Визначено основні джерела похибок, пов'язані з обліком часу простою, варіацією умов експлуатації, точністю сервісної реєстрації та прийнятими модельними припущеннями.

## РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНІКИ CLAAS

### 4.1. Умови проведення дослідження та формування масиву сервісних подій

Відповідно до методики, наведеної в третьому розділі, дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS виконано на основі модельної вибірки сервісних подій. Для розрахунків прийнято модельний парк із 10 машин CLAAS, сумарне сезонне напрацювання 1200 машино-годин та 20 сервісних подій, для яких оцінювалися часові витрати на виявлення несправності, передавання інформації, реагування сервісної служби, діагностику, логістику запасних частин, ремонт і контрольну перевірку. Такий підхід відповідає загальній схемі дослідження, у якій після аналізу джерел і формування системи показників виконується збір та структуризація даних, математичне моделювання й порівняльна оцінка варіантів сервісу.

Для подальшого аналізу сформовано масив первинних сервісних подій базового варіанта обслуговування, який відображає типову структуру простору у процесі експлуатації техніки CLAAS.

В таол. 4.1. наведено первинні дані сервісних подій для дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS.

Таблиця 4.1 – Первинні дані сервісних подій для дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS

| № події | $t_{\text{вияв,}}$<br>год | $t_{\text{перед,}}$<br>год | $t_{\text{реаг,}}$<br>год | $t_{\text{діагн,}}$<br>год | $t_{\text{лог,}}$<br>год | $t_{\text{рем,}}$<br>год | $t_{\text{контр,}}$<br>год | $t_{\text{прост,}}$<br>год |
|---------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1       | 0,7                       | 1,1                        | 4,2                       | 2,3                        | 5,8                      | 5,4                      | 0,6                        | 20,1                       |
| 2       | 0,8                       | 1,2                        | 4,5                       | 2,4                        | 6,0                      | 5,3                      | 0,6                        | 21,0                       |
| 3       | 0,9                       | 1,3                        | 4,7                       | 2,5                        | 6,2                      | 5,6                      | 0,7                        | 21,9                       |
| 4       | 0,8                       | 1,1                        | 4,4                       | 2,3                        | 5,9                      | 5,4                      | 0,6                        | 20,5                       |
| 5       | 0,7                       | 1,0                        | 4,1                       | 2,2                        | 5,7                      | 5,3                      | 0,5                        | 19,5                       |

|    |     |     |     |     |     |     |     |      |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 6  | 0,9 | 1,3 | 4,8 | 2,6 | 6,3 | 5,7 | 0,7 | 22,3 |
| 7  | 0,8 | 1,2 | 4,6 | 2,4 | 6,1 | 5,5 | 0,6 | 21,2 |
| 8  | 0,7 | 1,1 | 4,3 | 2,3 | 5,8 | 5,4 | 0,6 | 20,2 |
| 9  | 0,8 | 1,2 | 4,5 | 2,4 | 6,0 | 5,5 | 0,6 | 21,0 |
| 10 | 0,9 | 1,4 | 4,9 | 2,6 | 6,4 | 5,8 | 0,7 | 22,7 |
| 11 | 0,8 | 1,2 | 4,4 | 2,4 | 6,0 | 5,5 | 0,6 | 20,9 |
| 12 | 0,7 | 1,1 | 4,2 | 2,3 | 5,8 | 5,4 | 0,5 | 20,0 |
| 13 | 0,8 | 1,2 | 4,5 | 2,4 | 6,0 | 5,5 | 0,6 | 21,0 |
| 14 | 0,9 | 1,3 | 4,7 | 2,5 | 6,2 | 5,6 | 0,7 | 21,9 |
| 15 | 0,8 | 1,1 | 4,3 | 2,3 | 5,9 | 5,4 | 0,6 | 20,4 |
| 16 | 0,7 | 1,0 | 4,1 | 2,2 | 5,7 | 5,3 | 0,5 | 19,5 |
| 17 | 0,9 | 1,3 | 4,8 | 2,6 | 6,3 | 5,7 | 0,7 | 22,3 |
| 18 | 0,8 | 1,2 | 4,6 | 2,4 | 6,1 | 5,5 | 0,6 | 21,2 |
| 19 | 0,7 | 1,1 | 4,2 | 2,3 | 5,8 | 5,4 | 0,6 | 20,1 |
| 20 | 0,9 | 1,4 | 4,9 | 2,6 | 6,4 | 5,8 | 0,7 | 22,7 |

Аналіз даних таблиці 4.1 показує, що загальний час простою за окремими сервісними подіями змінюється в межах від 19,5 до 22,7 год, що свідчить про наявність варіації в структурі сервісного процесу. Найбільший вплив на формування простою мають логістика запасних частин, реагування сервісної служби та ремонт. Це узгоджується з прийнятою в розділі 3 структурою сервісної події та підтверджує, що загальний простій машини визначається не лише безпосереднім ремонтом, а й організаційними та інформаційними складовими сервісного процесу.

#### **4.2. Аналіз структури простоїв у базовому варіанті сервісного обслуговування**

На основі таблиці 4.1 та середніх значень, прийятих у розділі 3, визначено структуру часу простою в базовому варіанті сервісного обслуговування. Середні значення часових інтервалів становлять: час виявлення несправності – 0,8 год, час передавання інформації – 1,2 год, час реагування сервісної служби – 4,5 год,

час діагностики – 2,4 год, час логістики – 6,0 год, час ремонту – 5,5 год, час контрольної перевірки – 0,6 год. Сукупний простій на одну сервісну подію становить 21,0 год, що збігається з розрахунковою моделлю третього розділу.

В табл. 4.2 наведені дані, щодо структури часу простою техніки CLAAS у базовому варіанті сервісного обслуговування.

Таблиця 4.2 – Структура часу простою техніки CLAAS у базовому варіанті сервісного обслуговування

| Складові<br>простою            | Позначення         | Значення, год | Частка у<br>загальному<br>простої, % |
|--------------------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|
| Виявлення<br>несправності      | $t_{\text{вияв}}$  | 0,8           | 3,8                                  |
| Передавання<br>інформації      | $t_{\text{перед}}$ | 1,2           | 5,7                                  |
| Реагування<br>сервісної служби | $t_{\text{реag}}$  | 4,5           | 21,4                                 |
| Діагностика                    | $t_{\text{діагн}}$ | 2,4           | 11,4                                 |
| Логістика<br>запасних частин   | $t_{\text{лог}}$   | 6,0           | 28,6                                 |
| Ремонт                         | $t_{\text{рем}}$   | 5,5           | 26,2                                 |
| Контрольна<br>перевірка        | $t_{\text{контр}}$ | 0,6           | 2,9                                  |
| Разом                          | —                  | 21,0          | 100,0                                |

Із таблиці 4.2 видно, що найбільшу частку у загальному простої займають логістика запасних частин, безпосередній ремонт та реагування сервісної служби. Сукупно ці три складові формують 76,2 % загального часу простою. Отже, підвищення ефективності сервісного обслуговування доцільно пов'язувати не тільки зі скороченням тривалості ремонту, а й з оптимізацією процесів сервісного реагування та забезпечення запасними частинами. На рис.

4.1. представлена структура середнього часу простою техніки CLAAS за етапами сервісної події.

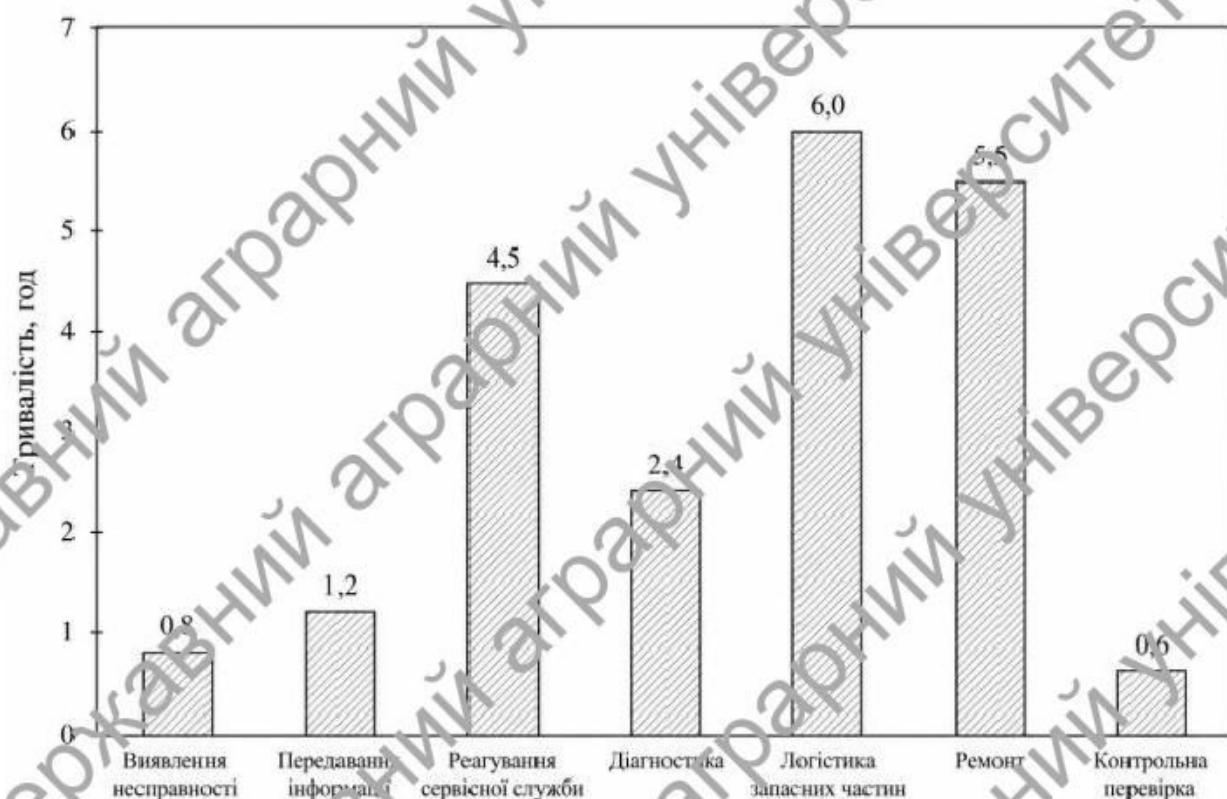


Рисунок 4.1 – Структура середнього часу простою техніки CLAAS за етапами сервісної події.

#### 4.3. Результати оцінювання удосконаленого варіанта сервісного обслуговування

Удосконалений варіант сервісного обслуговування сформовано з урахуванням використання цифрових сервісів CLAAS, зокрема Remote Service, TELEMATICS і CLAAS connect. Відповідно до методики третього розділу прийнято, що внаслідок цифрової підтримки скорочуються такі складові: час передавання інформації – з 1,2 до 0,4 год, час реагування сервісної служби – з 4,5 до 3,0 год, час діагностики – з 2,4 до 1,5 год. Інші складові залишаються без змін. Така постановка безпосередньо впливає з прийнятого в розділі 3 припущення, що цифрові сервіси впливають насамперед на швидкість обміну інформацією, оперативність реагування та діагностичне забезпечення.

Тоді сумарний простій на одну сервісну подію становить:

$$t_{\text{прост}}^1 = 0,8 + 0,4 + 3,9 + 1,5 + 6,0 + 5,5 + 0,6 = 17,8 \text{ год.}$$

Порівняно з базовим варіантом скорочення простою на одну сервісну подію становить:

$$\Delta t_{\text{прост}} = 21,0 - 17,8 = 3,2 \text{ год.}$$

За 20 сервісних подій сезонна економія часу дорівнює:

$$\Delta T = 20 \cdot 3,2 = 64,0 \text{ год}$$

В табл. 4.3 наведено порівняння показників базового та удосконаленого варіантів сервісного обслуговування.

Таблиця 4.3 - Порівняння показників базового та удосконаленого варіантів сервісного обслуговування

| Показник                                | Базовий<br>варіант | Удосконалений<br>варіант | Відхилення |
|-----------------------------------------|--------------------|--------------------------|------------|
| Час передавання<br>інформації, год      | 1,2                | 0,4                      | -0,8       |
| Час реагування сервісної<br>служби, год | 4,5                | 3,0                      | -1,5       |
| Час діагностики, год                    | 2,4                | 1,5                      | -0,9       |
| Загальний простій на 1<br>подію, год    | 21,0               | 17,8                     | -3,2       |
| Загальний простій за сезон,<br>год      | 420,0              | 356,0                    | -64,0      |

Аналіз даних таблиці 4.3 показує, що найбільше скорочення досягається за рахунок зменшення часу реагування сервісної служби, а також часу передавання

інформації та діагностики. Це підтверджує, що найбільш чутливими до цифровізації є не ремонтні, а інформаційно-організаційні складові сервісного процесу. Отже, основний резерв підвищення ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS пов'язаний із прискоренням доступу до даних про технічний стан машини та підготовки сервісного втручання.

#### **4.4. Оцінювання впливу удосконаленого сервісу на технічну готовність машин**

Для базового варіанта загальний сезонний простій становить 420 год, а час працездатного стану машин:

$$T_{\text{прост}}^0 = 1200 - 420 = 780 \text{ год}$$

Тоді коефіцієнт технічної готовності дорівнює:

$$K_{\text{тг}}^0 = \frac{780}{1200} = 0,650$$

Для удосконаленого варіанта:

$$T_{\text{прост}}^1 = 1200 - 356 = 844 \text{ год}$$

$$K_{\text{тг}}^1 = \frac{844}{1200} = 0,703$$

Абсолютне збільшення коефіцієнта технічної готовності становить:

$$\Delta K_{\text{тг}} = 0,703 - 0,650 = 0,053$$

Відносне зростання становить:

$$\frac{0,053}{0,650} \cdot 100\% = 8,15\%$$

В табл. 4.4. представлена зміна показників технічної готовності машин CLAAS.

Таблиця 4.4 – Зміна показників технічної готовності машин CLAAS

| Показник                                      | Базовий<br>варіант | Удосконалений<br>варіант | Відхилення |
|-----------------------------------------------|--------------------|--------------------------|------------|
| Сезонний простій, год                         | 420                | 356                      | -64        |
| Час працездатного стану, год                  | 780                | 844                      | +64        |
| Коефіцієнт технічної<br>готовності            | 0,650              | 0,703                    | +0,053     |
| Відносне зростання технічної<br>готовності, % | —                  | —                        | 8,15       |

Результати таблиці 4.4 свідчать, що навіть без зміни тривалості власне ремонту можна досягти відчутного підвищення технічної готовності машин за рахунок покращення інформаційного та організаційного супроводу сервісного процесу. Це є одним із найбільш важливих практичних результатів дослідження.

#### 4.5. Економічна оцінка результатів дослідження

Для економічної оцінки прийнято, що втрати від простою становлять 4200 грн за 1 годину, а додаткові витрати на використання цифрових сервісів і організаційне забезпечення становлять 85 000 грн за сезон. Такі вихідні дані були закладені у третьому розділі як основа розрахунково-аналітичної оцінки.

Тоді втрати від простою у базовому варіанті дорівнюють:

$$C_{\text{прост}}^0 = 420 \cdot 4200 = 1\,764\,000 \text{ грн}$$

У вдосконаленому варіанті:

$$C_{\text{прост}}^1 = 356 \cdot 4200 = 1\,495\,200 \text{ грн}$$

Економія за рахунок скорочення простою становить:

$$\Delta C_{\text{прост}} = 1\,764\,000 - 1\,495\,200 = 268\,800 \text{ грн.}$$

Чистий економічний ефект:

$$E = 268\,800 - 85\,000 = 183\,800 \text{ грн.}$$

В табл. 4.5 представлена економічна оцінка ефективності удосконаленого сервісного обслуговування.

Таблиця 4.5 – Економічна оцінка ефективності удосконаленого сервісного обслуговування

| Показник                                     | Значення, грн |
|----------------------------------------------|---------------|
| Втрати від простою в базовому варіанті       | 1 764 000     |
| Втрати від простою в удосконаленому варіанті | 1 495 200     |
| Економія за рахунок скорочення простою       | 268 800       |
| Додаткові витрати на цифровий сервіс         | 85 000        |
| Чистий економічний ефект                     | 183 800       |

Отримані результати показують, що економічна доцільність удосконалення сервісного обслуговування техніки CLAAS досягається насамперед завдяки зниженню втрат від непродуктивного часу, а не за рахунок прямого зменшення вартості окремих ремонтних операцій. Це ще раз підтверджує, що головний ефект цифровізації сервісу полягає у підвищенні оперативності обслуговування.

На рис. 4.2 представлені результати порівняння втрат від простою у базовому та удосконаленому варіантах сервісного обслуговування.

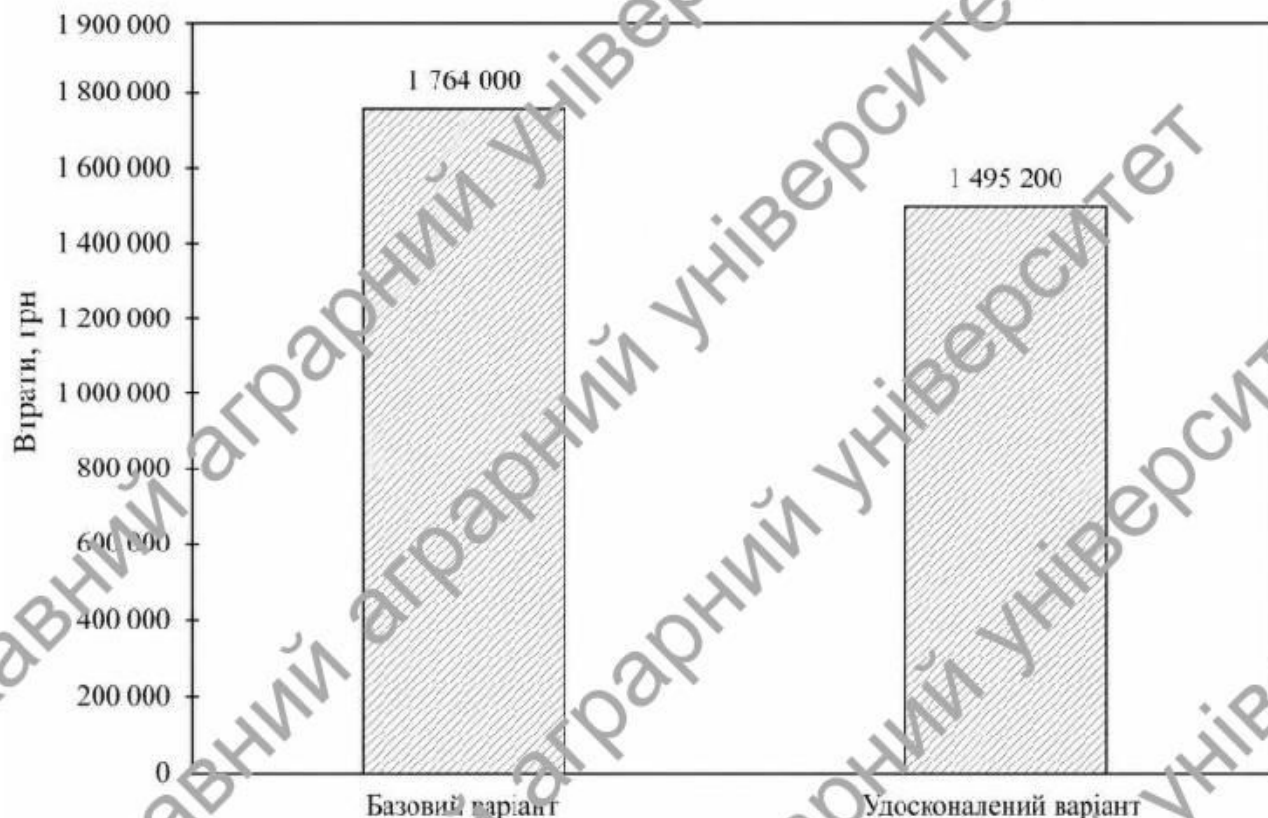


Рисунок 4.2 – Порівняння втрат від простою у базовому та удосконаленому варіантах сервісного обслуговування.

#### 4.6. Аналіз чутливості та сценарне моделювання ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS

Для поглиблення наукової складової дослідження доцільно виконати аналіз чутливості показників ефективності сервісного обслуговування до зміни основних часових складових сервісної події, а також сценарне моделювання варіантів функціонування сервісної системи техніки CLAAS. Такий підхід дозволяє не лише визначити загальний ефект від удосконалення сервісного обслуговування, а й кількісно оцінити вплив окремих факторів на зміну технічної готовності машин, тривалості простоїв та економічних втрат.

Вихідним рівнем для аналізу прийнято базовий варіант сервісного обслуговування, у якому загальний час простою однієї сервісної події становить 21,0 год. Найбільш суттєвими складовими цього показника є логістика запасних частин, реагування сервісної служби, ремонт і діагностика. Саме тому для аналізу чутливості обрано параметри  $t_{\text{рес}}$ ,  $t_{\text{лог}}$ ,  $t_{\text{діаг}}$  та  $t_{\text{рем}}$ , зменшення яких є

найбільш реалістичним унаслідок удосконалення організації сервісного обслуговування та застосування цифрових сервісів CLAAS.

Для кожного із зазначених параметрів було розглянуто варіант їх зменшення на 10 %. У результаті визначено зміну загального простою, коефіцієнта технічної готовності та втрат від простою.

В табл. 4.6 наведено результати аналізу чутливості показників ефективності сервісного обслуговування до зміни окремих часових складових

Таблиця 4.6 – Аналіз чутливості показників ефективності сервісного обслуговування до зміни окремих часових складових

| Варіант зміни             | Новий простій на 1 подію, год | Сезонний простій, год | Коефіцієнт технічної готовності | Втрати від простою, грн |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Базовий варіант           | 21,0                          | 420,0                 | 0,650                           | 1 764 000               |
| $t_{\text{реак}} - 10\%$  | 20,55                         | 411,0                 | 0,658                           | 1 726 200               |
| $t_{\text{лог}} - 10\%$   | 20,40                         | 408,0                 | 0,660                           | 1 713 600               |
| $t_{\text{діагн}} - 10\%$ | 20,76                         | 415,2                 | 0,654                           | 1 745 840               |
| $t_{\text{рем}} - 10\%$   | 20,45                         | 409,0                 | 0,659                           | 1 717 800               |

Аналіз даних таблиці 4.6 показує, що найбільший вплив на зниження загального простою мають логістика запасних частин і реагування сервісної служби. Зменшення часу логістики на 10 % приводить до скорочення сезонного простою на 12 год, а часу реагування — на 9 год. Це підтверджує, що в сучасних умовах резерви підвищення ефективності сервісного обслуговування зосереджені не лише у сфері безпосереднього ремонту, а й у покращенні організації сервісного процесу, обміну інформацією та забезпечення запасними частинами.

На рис. 4.3 представлені результати впливу зменшення окремих часових складових сервісної події на сезонний простій техніки CLAAS.

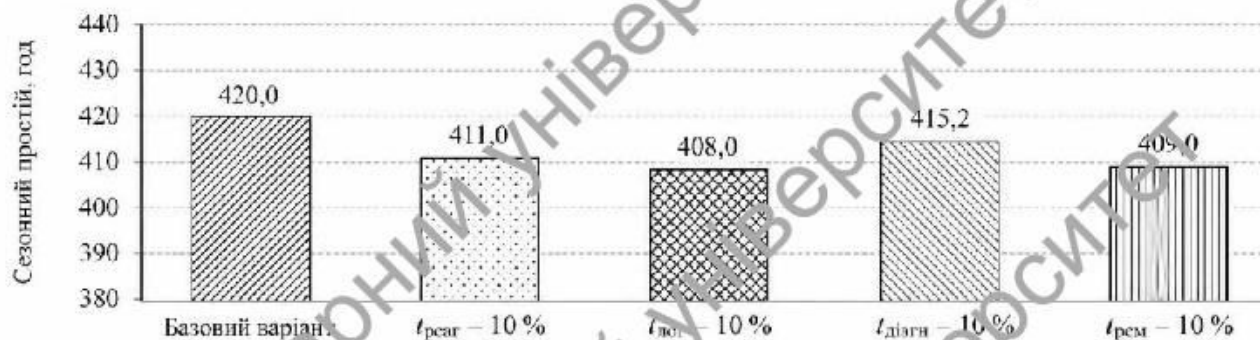


Рисунок 4.3 – Вплив зменшення окремих часових складових сервісної події на сезонний простій техніки CLAAS

Рисунок 4.3 ілюструє вплив зменшення окремих часових складових сервісної події на загальний сезонний простій техніки CLAAS. Із наведених даних видно, що найбільше скорочення простою досягається при зменшенні часу логістики запасних частин і часу реагування сервісної служби. Зменшення логістичної складової на 10 % приводить до зниження сезонного простою до 408 год, тоді як скорочення часу реагування на 10 % — до 411 год. Менший, але також позитивний ефект спостерігається при зменшенні часу ремонту та діагностики. Це свідчить про те, що основні резерви підвищення ефективності сервісного обслуговування зосереджені в організаційних та логістичних складових сервісного процесу.

Для більш повного оцінювання можливостей удосконалення сервісного обслуговування виконано сценарне моделювання трьох варіантів функціонування сервісної системи техніки CLAAS:

- базового;
- частково цифровізованого;
- інтегрованого цифрового.

Базовий сценарій відповідає традиційному підходу до сервісного обслуговування без повного використання цифрових сервісів виробника. Частково цифровізований сценарій передбачає скорочення часу передавання інформації та діагностики, але без істотної зміни логістики запасних частин. Інтегрований цифровий сценарій відповідає більш повному використанню

TELEMATICS, Remote Service і CLAAS connect у поєднанні з кращою підготовкою сервісного втручання.

В табл. 4.7 наведені результати сценарного моделювання ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS.

Таблиця 4.7 – Сценарне моделювання ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS

| Показник                        | Базовий сценарій | Часткова цифровізація | Інтегрований цифровий сервіс |
|---------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------|
| Простій на 1 подію, год         | 21,0             | 19,2                  | 17,8                         |
| Сезонний простій, год           | 420,0            | 384,0                 | 356,0                        |
| Час працездатного стану, год    | 720,0            | 816,0                 | 844,0                        |
| Коефіцієнт технічної готовності | 0,650            | 0,680                 | 0,703                        |
| Втрати від простою, грн         | 1 764 000        | 1 612 800             | 1 495 200                    |

Як видно з таблиці 4.7, навіть часткова цифровізація сервісного обслуговування забезпечує відчутне зменшення простоїв і зростання коефіцієнта технічної готовності. Водночас найбільший ефект досягається при інтегрованому використанні цифрових сервісів CLAAS, коли скорочуються не лише часові витрати на передавання інформації й діагностику, а й організаційні втрати, пов'язані з реагуванням сервісної служби.

Для узагальненого порівняння зазначених сценаріїв доцільно використати інтегральний індекс ефективності сервісного обслуговування  $IcI_{cIs}$ , який враховує коефіцієнт технічної готовності, показники надійності, ремонтпридатності, оперативності сервісу та економічні втрати від простоїв. Вагові коефіцієнти інтегрального індексу прийнято з урахуванням значущості

окремих складових у загальній структурі сервісної ефективності:  $w_1=0,30$ ,  $w_2=0,15$ ,  $w_3=0,20$ ,  $w_4=0,20$ ,  $w_5=0,15$ .

В табл. 4.8 представлені результати розрахунку інтегрального індексу ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS у відносних одиницях

Таблиця 4.8 – Розрахунок інтегрального індексу ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS у відносних одиницях

| Показник                                | Вага $w_i$ | Базовий сценарій | Часткова цифровізація | Інтегрований цифровий сервіс |
|-----------------------------------------|------------|------------------|-----------------------|------------------------------|
| $K_{\text{тг}}/K_{\text{тг баз}}$       | 0,30       | 1,000            | 1,046                 | 1,082                        |
| $MTBF/MTBF_{\text{баз}}$                | 0,15       | 1,000            | 1,046                 | 1,082                        |
| $MTTR_{\text{баз}}/MTTR$                | 0,20       | 1,000            | 1,094                 | 1,180                        |
| $t_{\text{реак баз}}/t_{\text{реак}}$   | 0,20       | 1,000            | 1,184                 | 1,500                        |
| $C_{\text{прост баз}}/C_{\text{прост}}$ | 0,15       | 1,000            | 1,094                 | 1,180                        |
| Інтегральний індекс $I_c$               | 1,00       | 1,000            | 1,088                 | 1,190                        |

Аналіз даних таблиці 4.8 показує, що базовий сценарій прийнято за одиничний рівень інтегральної ефективності. За умов часткової цифровізації інтегральний індекс зростає до 1,088, тобто на 8,8 % порівняно з базовим рівнем. Це свідчить про позитивний вплив навіть часткового використання цифрових сервісів на ефективність сервісного обслуговування техніки CLAAS.

Найвище значення інтегрального індексу отримано для сценарію інтегрованого цифрового сервісу — 1,190, що відповідає підвищенню загальної ефективності сервісного обслуговування на 19,0 % порівняно з базовим варіантом. Це підтверджує, що найбільший результат досягається за умов комплексного застосування цифрових рішень виробника, коли скорочується не лише час передавання інформації, а й підвищується оперативність реагування сервісної служби, полегшується діагностика та зменшуються непрямі втрати від простоїв.

Важливо зазначити, що найбільшу чутливість інтегрального індексу виявлено до зміни часу реагування сервісної служби та показника втрат від простою. Це означає, що для практичного вдосконалення сервісного обслуговування техніки CLAAS пріоритетними напрямками повинні бути підвищення швидкості сервісного реагування, попередня дистанційна діагностика, покращення логістики запасних частин та інтеграція сервісної інформації в єдине цифрове середовище.

На рис. 4.4 представлені результати, що характеризують зміну інтегрального індексу ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS.

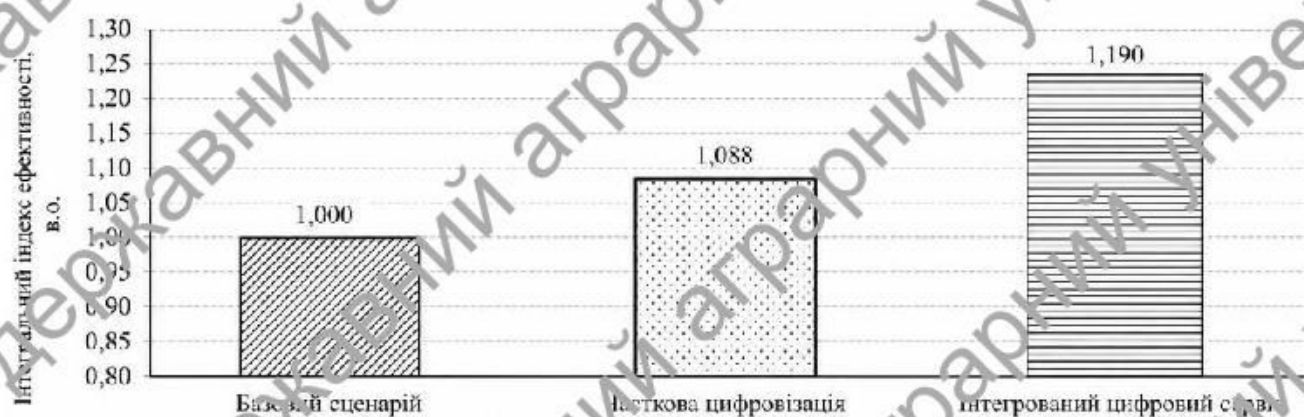


Рисунок 4.4 – зміна інтегрального індексу ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS

Рисунок 4.4 відображає зміну інтегрального індексу ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS залежно від рівня цифровізації сервісної системи. Із діаграми видно, що часткова цифровізація забезпечує підвищення інтегрального індексу до 1,088, тобто на 8,8 % порівняно з базовим варіантом. Найвище значення індексу спостерігається за умов інтегрованого цифрового сервісу — 1,190, що відповідає приросту загальної ефективності на 19,0 %. Це підтверджує, що комплексне використання цифрових сервісів CLAAS є найбільш результативним варіантом удосконалення сервісного обслуговування.

Таким чином, аналіз чутливості та сценарне моделювання підтверджують, що найперспективнішими напрямками підвищення ефективності сервісного

обслуговування техніки CLAAS є скорочення часу реагування сервісної служби, вдосконалення логістики запасних частин і ширше використання цифрових сервісних інструментів. Отримані результати поглиблюють наукову складову дослідження, оскільки дозволяють не лише зафіксувати ефект від удосконаленого сервісу, а й кількісно оцінити вплив окремих факторів на загальну результативність сервісної системи.

#### **4.7. Оцінка повноти вирішення поставлених задач і новизни одержаних результатів**

Результати дослідження показують, що поставлені в роботі задачі в цілому вирішено. У межах прийнятої методики:

- сформовано масив сервісних подій для дослідження ефективності сервісного обслуговування;
- проаналізовано структуру простоїв у базовому варіанті;
- оцінено вплив цифрових сервісів CLAAS на окремі часові складові сервісного процесу;
- визначено зміну коефіцієнта технічної готовності;
- виконано економічну оцінку результатів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в роботі сервісне обслуговування техніки CLAAS розглянуто як багатостадійний процес, у якому окремо виділено часові інтервали виявлення несправності, передавання інформації, реагування сервісної служби, діагностики, логістики, ремонту й контрольної перевірки. Це дозволило кількісно показати, що найбільший резерв підвищення ефективності сервісу міститься не лише в ремонтній операції, а насамперед в інформаційно-організаційних етапах.

Практична новизна полягає в отриманні кількісної оцінки того, як саме скорочення часу передавання інформації, реагування сервісної служби та діагностики впливає на загальний простій, технічну готовність і економічний результат.

#### **4.8. Порівняння одержаних результатів з аналогічними дослідженнями та обґрунтування необхідності подальших досліджень**

Достовірність одержаних результатів забезпечується тим, що дослідження виконано на основі послідовної методики, сформованої у третьому розділі, а всі розрахунки базуються на єдиній системі вихідних даних, показників і математичних залежностей. У висновках до розділу 3 прямо зазначено, що методика включає побудову модельної вибірки сервісних подій, порівняння базового та удосконаленого варіантів сервісу та оцінювання технічного й економічного ефекту.

Разом із тим одержані числові результати мають розрахунково-аналітичний характер, оскільки ґрунтуються на модельній вибірці, а не на натурних спостереженнях конкретного господарства. Тому їх слід розглядати як науково обґрунтовану оцінку потенційного ефекту від удосконалення сервісної системи техніки CLAAS. Це не знижує цінності роботи, але вимагає в подальшому перевірки методики на фактичному матеріалі сервісних центрів або господарств.

Отримані результати загалом узгоджуються з висновками, наведеними в першому розділі, де показано, що цифровізація сервісного обслуговування є одним із найбільш перспективних напрямів підвищення його ефективності, оскільки дає змогу скорочувати трудомісткість обслуговування, підвищувати оперативність реагування на відмови та зменшувати втрати від простоїв техніки. У тій же частині роботи підкреслено, що сервісна концепція CLAAS базується на поєднанні регламентного технічного обслуговування, доступності сервісних точок, забезпечення запасними частинами та використання цифрових рішень, зокрема TELEMATICS, Remote Service і MAXI CARE.

Відмінність цього дослідження полягає в тому, що воно переходить від загального опису сервісної концепції до кількісного оцінювання її можливого впливу на часові, технічні та економічні показники. Саме це можна вважати власним результатом роботи.

Подальші дослідження доцільно проводити в таких напрямках:

- перевірка запропонованої методики на практичних даних дилерського центру або конкретного господарства;
- деталізація вибірки за видами несправностей;
- урахування сезонної нерівномірності навантаження;
- оцінювання впливу забезпеченості запасними частинами на тривалість логістичної складової простою;
- побудова регресійних залежностей між типом сервісної події та економічними наслідками простою.

#### Висновки до розділу 4

У четвертому розділі подано результати розрахунково-аналітичного дослідження ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS, виконаного на основі модельної вибірки сервісних подій для парку машин, що працюють у сезонному режимі. Встановлено, що в базовому варіанті середній простій на одну сервісну подію становить 21,0 год, а загальний сезонний простій – 420 год. Це відповідає прийнятим у роботі вихідним даним і дає підстави для подальшого порівняльного оцінювання вдосконаленого сервісного підходу.

Показано, що використання цифрових сервісів CLAAS, спрямованих на прискорення передавання інформації, реагування сервісної служби та діагностики, дозволяє зменшити загальний простій на одну сервісну подію до 17,8 год, а сезонний простій – до 356 год. У результаті сезонна економія часу становить 64 год, а коефіцієнт технічної готовності зростає з 0,650 до 0,703, тобто на 8,15 % порівняно з базовим варіантом.

Економічна оцінка підтвердила доцільність удосконаленого сервісного обслуговування. Встановлено, що скорочення втрат від простою становить 268 800 грн за сезон, а чистий економічний ефект після врахування додаткових витрат на цифровий сервіс дорівнює 183 800 грн. Це свідчить про економічну обґрунтованість впровадження цифрової підтримки в систему сервісного обслуговування техніки CLAAS.

Сценарне моделювання показало, що навіть часткова цифровізація сервісного обслуговування забезпечує позитивний результат, однак найбільший ефект досягається за умов інтегрованого використання цифрових сервісів CLAAS. Розрахунок інтегрального індексу ефективності сервісного обслуговування засвідчив, що за умов часткової цифровізації загальна ефективність сервісної системи зростає на 8,8 %, а при інтегрованому цифровому сервісі – на 19,0 % порівняно з базовим рівнем.

Отримані результати мають розрахунково-аналітичний характер, але є достатньо обґрунтованими для формування практичних рекомендацій і подальшого розвитку дослідження.

## **РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНІКИ CLAAS**

### **5.1. Загальні положення**

Удосконалення сервісного обслуговування сучасної сільськогосподарської техніки повинно оцінюватися не лише з технічної точки зору, а й з позицій безпеки праці, екологічної доцільності та економічної результативності. Для техніки CLAAS, яка характеризується високим рівнем енергонапиченості, складною електронною системою керування, наявністю гідравлічних, механічних і електричних вузлів, питання охорони праці та безпеки технічного обслуговування мають першочергове значення.

Організація сервісного обслуговування в умовах реального господарства або сервісного центру пов'язана з виконанням діагностичних, регулювальних, монтажних-демонтажних, ремонтних і транспортних операцій. Кожна з цих операцій супроводжується певними виробничими ризиками, а також може мати екологічні наслідки, пов'язані з використанням паливно-мастильних матеріалів, технічних рідин, акумуляторів, фільтрів, гумотехнічних виробів та інших елементів, що потребують належного поводження.

У зв'язку з цим у даному розділі розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час сервісного обслуговування техніки CLAAS, визначено заходи з охорони праці, наведено екологічну оцінку запропонованих рішень, а також виконано оцінювання економічної ефективності вдосконалення сервісного обслуговування.

### **5.2. Охорона праці під час сервісного обслуговування техніки CLAAS**

*Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників*

Під час виконання сервісного обслуговування техніки CLAAS на працівників можуть впливати такі небезпечні та шкідливі чинники:

- рухомі та обертові частини машин і механізмів;
- підвищена напруга в електричних колах;

- залишковий тиск у гідравлічних системах;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- гострі кромки деталей і елементів конструкції;
- підвищена температура окремих вузлів двигуна, гідросистем і вихлопної системи;
- можливість падіння важких деталей під час демонтажу;
- контакт з паливно-мастильними матеріалами, мийними рідинами та іншими технологічними речовинами;
- недостатня освітленість робочого місця;
- фізичне перенапруження працівника під час ручних операцій.

Особливу небезпеку під час сервісного обслуговування становлять роботи, пов'язані з діагностикою електронних систем, ремонтом гідравлічних вузлів, обслуговуванням ріжучих і молотильних механізмів, а також із доступом до рухомих частин машин. За наявності дистанційної діагностики та цифрового супроводу частина ризиків може бути зменшена за рахунок скорочення обсягу попередніх ручних перевірок і більш точного визначення характеру несправності ще до початку ремонтного втручання.

#### *Вимоги безпеки під час організації сервісного обслуговування*

Для забезпечення безпечного виконання сервісних робіт необхідно дотримуватися таких організаційних вимог:

- до виконання робіт допускати лише підготовлений персонал, який пройшов інструктаж і має відповідну кваліфікацію;
- перед початком робіт машину слід надійно зупинити, заглушити двигун, зняти тиск у гідросистемах, відключити живлення акумуляторної батареї за потреби;
- обслуговування здійснювати лише на рівному, стійкому майданчику з достатнім освітленням;
- використовувати справний інструмент, підймальні пристрої, діагностичне обладнання й засоби індивідуального захисту;
- забороняти виконання робіт під піднятим обладнанням без використання страхувальних підставок і фіксаторів;

- проводити діагностику електричних і електронних систем лише з дотриманням вимог електробезпеки;
- застосовувати спецодяг, захисні рукавиці, взуття, окуляри та інші засоби захисту залежно від характеру робіт.

Під час виконання робіт із технічними рідинами потрібно виключати їх потрапляння на шкіру, слизові оболонки та відкриті ділянки тіла. При обслуговуванні акумуляторних батарей необхідно враховувати ризик короткого замикання, хімічного впливу електроліту й вибухонебезпечності газів.

#### *Заходи щодо зниження виробничого ризику*

Для підвищення безпеки праці при сервісному обслуговуванні техніки CLAAS доцільно впроваджувати такі заходи:

- застосування цифрової діагностики для попереднього визначення причини несправності;
- скорочення часу перебування працівника в небезпечній зоні за рахунок завчасної підготовки інструментів і запасних частин;
- використання карт технічного обслуговування й чек-листів безпечного виконання робіт;
- маркування небезпечних зон, місць підключення, вузлів із підвищеним тиском або напругою;
- механізація демонтажно-монтажних операцій;
- використання пристроїв блокування та фіксації рухомих частин;
- постійний контроль стану засобів індивідуального захисту та інструменту.

Використання систем Remote Service, TELEMATICS і CLAAS connect у практичному аспекті сприяє безпечнішій організації робіт, оскільки дозволяє скоротити час пошуку несправності, зменшити кількість повторних сервісних виїздів та уникнути частини непотрібних перевірок безпосередньо на машині.

#### *Екологічна експертиза вдосконалення сервісного обслуговування*

Сервісне обслуговування техніки CLAAS супроводжується використанням мастильних матеріалів, палив, гідравлічних рідин, охолоджувальних рідин,

фільтрів, акумуляторів, гумотехнічних і полімерних елементів. За неналежної організації робіт ці матеріали можуть чинити негативний вплив на довкілля.

До основних екологічних ризиків належать:

- витоки палива, мастил і гідравлічних рідин;
- забруднення ґрунту й поверхневих вод;
- утворення відпрацьованих фільтрів, ганчір'я, тари та інших відходів;
- неправильне зберігання або утилізація акумуляторів;
- викиди від транспортування сервісних бригад;
- підвищення шумового навантаження у виробничій зоні.

Під час сервісного обслуговування важливо не лише усунути технічну несправність, а й забезпечити екологічно безпечне поводження з усіма відходами, що утворюються в процесі робіт.

*Екологічні переваги удосконаленого сервісного підходу*

Запропонований у роботі підхід до вдосконалення сервісного обслуговування має низку екологічних переваг.

По-перше, використання цифрових сервісів дає змогу точніше визначати характер несправності та зменшувати кількість непотрібних сервісних виїздів. Це сприяє скороченню витрат пального транспортом сервісної служби та зниженню супутніх викидів.

По-друге, завчасна підготовка запасних частин і матеріалів зменшує ризик повторного розбирання вузлів, нераціонального використання технічних рідин і пошкодження справних елементів.

По-третє, профілактичний характер сервісного обслуговування дозволяє попереджати серйозні відмови, які можуть супроводжуватися витокami маслянистих матеріалів або пошкодженням агрегатів із подальшим негативним впливом на довкілля.

По-четверте, централізоване ведення сервісної документації й електронний контроль стану машин покращують облік заміни технічних рідин, фільтрів і деталей, що підвищує рівень контролюваності екологічно небезпечних операцій.

### *Заходи екологічної безпеки*

Для забезпечення екологічної безпеки під час сервісного обслуговування техніки CLAAS доцільно:

- виконувати обслуговування на спеціально облаштованих майданчиках;
- використовувати ємності для збору відпрацьованих мастил і технічних рідин;
- не допускати зливу технічних рідин на ґрунт або в каналізацію;
- організувати роздільне збирання фільтрів, акумуляторів, тари, ганчірок та інших відходів;
- передавати небезпечні відходи спеціалізованим організаціям;
- контролювати герметичність з'єднань після завершення робіт;
- застосовувати профілактичне обслуговування для запобігання аварійним витокам.

Отже, з екологічної точки зору запропоновані в роботі заходи є доцільними, оскільки вони сприяють зменшенню ресурсних втрат, підвищенню контрольованості сервісних операцій і мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

### **5.3 Економічна ефективність удосконалення сервісного обслуговування**

#### *Вихідні положення економічної оцінки*

Економічна ефективність удосконалення сервісного обслуговування оцінюється на основі результатів розрахунково-аналітичного дослідження, виконаного в четвертому розділі. Встановлено, що при переході від базового до удосконаленого варіанта сервісного обслуговування:

- загальний простій за сезон зменшується з 420 до 356 год;
- скорочення простою становить 64 год;
- втрати від простою зменшуються на 268 800 грн;
- додаткові витрати на цифровий сервіс становлять 85 000 грн;
- чистий економічний ефект становить 183 800 грн.

Ці результати свідчать, що вдосконалення сервісного обслуговування є економічно обґрунтованим.

#### *Розрахунок економічного ефекту*

Економічний ефект визначається як різниця між зменшенням витрат від простою та додатковими витратами на впровадження цифрових сервісних рішень:

$$E = \Delta C_{\text{прост}} - C_{\text{дод}}$$

де  $\Delta C_{\text{прост}}$  – економія за рахунок зменшення витрат від простою;  
 $C_{\text{дод}}$  – додаткові витрати на організацію цифрового сервісу

Підставляючи отримані раніше значення, маємо:

$$E = 268800 - 85000 = 183800 \text{ грн.}$$

Отже, впровадження запропонованого підходу забезпечує позитивний річний економічний ефект.

#### *Оцінка економічної ефективності*

Відносну ефективність можна оцінити через коефіцієнт окупності додаткових витрат:

$$K_{\text{ок}} = \frac{268800}{8500} = 3,16$$

Це означає, що кожна 1 грн, вкладена у вдосконалення сервісного обслуговування, забезпечує понад 3 грн економлених витрат від простою.

Орієнтовний строк окупності додаткових витрат становить:

$$T_{\text{ок}} = \frac{85000}{183800} = 0,46$$

Тобто вкладення в удосконалення сервісної системи можуть окупитися менш ніж за один сезон експлуатації.

#### *Технологічний та організаційний ефект*

Крім безпосереднього економічного результату, запропоновані заходи забезпечують і технологічний ефект, який полягає у:

- підвищенні технічної готовності машин;
- скороченні тривалості простоїв;
- прискоренні прийняття сервісних рішень;
- зниженні ризику повторних відмов;
- покращенні планування робіт у період сезонного навантаження.

Організаційний ефект проявляється у:

- підвищенні керованості сервісного процесу;
- кращій координації між господарством і сервісним центром;
- більш точному обліку сервісних подій;
- підвищенні дисципліни технічного обслуговування;
- кращому використанні запасних частин і трудових ресурсів.

Запропоновані заходи з удосконалення сервісного обслуговування техніки CLAAS забезпечують не лише прямий економічний результат, а й відчутний технологічний та організаційний ефект. Їх упровадження сприяє підвищенню технічної готовності машин, скороченню тривалості простоїв, покращенню керованості сервісного процесу та більш раціональному використанню трудових і матеріальних ресурсів. У сукупності це створює передумови для більш стабільної, безпечної та ефективної експлуатації техніки CLAAS у періоди сезонного навантаження, а також підвищує загальний рівень організації сервісного забезпечення в господарстві або сервісному центрі.

## Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці, екологічної експертизи та економічної ефективності вдосконалення сервісного обслуговування техніки CLAAS. Встановлено, що під час виконання сервісних робіт основними небезпечними чинниками є рухомі частини машин, електричні кола, гідравлічні системи, підвищений шум, фізичні навантаження та контакт із технічними органами. Обґрунтовано основні організаційні та технічні заходи щодо зниження виробничого ризику.

З екологічної точки зору показано, що удосконалення сервісного обслуговування за рахунок цифрової підтримки, профілактичної діагностики та кращої організації робіт сприяє скороченню зайвих сервісних виїздів, зменшенню витоків технічних рідин, підвищенню рівня контролю за відходами та зниженню негативного впливу на довкілля.

Економічна оцінка підтвердила доцільність запропонованих рішень. Встановлено, що завдяки скороченню простоїв техніки та підвищенню оперативності сервісного реагування забезпечується чистий економічний ефект у розмірі 183 800 грн за сезон, а строк окупності додаткових витрат є меншим за один рік.

Отже, запропоновані в роботі заходи з удосконалення сервісного обслуговування техніки CLAAS є технічно доцільними, безпечними з погляду охорони праці, екологічно обґрунтованими та економічно ефективними.

## ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає в дослідженні ефективності сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки CLAAS та обґрунтуванні напрямів її підвищення за рахунок удосконалення організації технічного сервісу, використання цифрових сервісних рішень і скорочення простоїв машин у процесі експлуатації. Об'єктом дослідження визначено процес сервісного обслуговування техніки CLAAS, а предметом — організаційні, технічні та економічні показники його ефективності.

2. На основі аналізу наукових джерел і сучасних підходів до технічного сервісу встановлено, що ефективність експлуатації сучасної сільськогосподарської техніки значною мірою залежить не лише від технічного рівня машин, а й від якості сервісного супроводу, швидкості реагування сервісної служби, забезпеченості запасними частинами, рівня організації діагностики та використання цифрових інструментів підтримки. Визначено, що сучасний розвиток сервісного обслуговування відбувається у напрямі переходу від ремонту після відмови до predictive maintenance та цифрового сервісу.

3. Обґрунтовано систему показників ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS, яка включає коефіцієнт технічної готовності, середній час між відмовами, середній час відновлення працездатності, час реагування сервісної служби, витрати на сервіс та втрати від простоїв. Сформовано функціональну і математичну моделі сервісного процесу, у яких загальний простій машини подано як суму часових складових виявлення несправності, передавання інформації, реагування сервісної служби, діагностики, логістики, ремонту та контрольної перевірки. Це дозволило кількісно оцінити вплив окремих етапів сервісного процесу на загальну результативність обслуговування.

4. Визначено, що цифрові сервіси CLAAS, зокрема TELEMATICS, Remote Service, MAXI CARE і CLAAS connect, забезпечують підвищення ефективності сервісного обслуговування за рахунок скорочення часу

передавання інформації, прискорення діагностики, покращення організації сервісного втручання, підготовки запасних частин та зменшення непродуктивних втрат часу. Це дало підстави розглядати цифрову підтримку як один із ключових чинників підвищення технічної готовності машин.

5. За результатами розрахунково-аналітичного дослідження встановлено, що в базовому варіанті середній простій на одну сервісну подію становить 21,0 год, а при використанні цифрових сервісів CLAAS зменшується до 17,8 год. Сезонна економія часу становить 64 год, а коефіцієнт технічної готовності зростає з 0,650 до 0,703, тобто на 8,15 %. Це підтверджує технічну доцільність удосконалення сервісної системи на основі цифрових рішень.

6. Економічна оцінка показала, що скорочення втрат від простою становить 268 800 грн за сезон, а чистий економічний ефект після врахування додаткових витрат на цифровий сервіс дорівнює 183 800 грн. Отже, впровадження удосконаленого сервісного підходу є не лише технічно, а й економічно обґрунтованим.

7. Проведений аналіз чутливості та сценарне моделювання показали, що найбільший вплив на підвищення ефективності сервісної системи мають скорочення часу реагування сервісної служби, удосконалення логістики запасних частин і ширше використання цифрових сервісних інструментів. Це дозволило визначити найбільш перспективні напрями подальшого удосконалення сервісного обслуговування техніки CLAAS.

8. Установлено, що запропоновані заходи з удосконалення сервісного обслуговування є безпечними з погляду охорони праці, екологічно доцільними та практично придатними до використання. Отримані результати мають наукову новизну та практичне значення, оскільки запропонована методика комплексного оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки CLAAS може бути використана сервісними центрами, дилерськими організаціями та господарствами для скорочення простоїв, підвищення технічної готовності машин і зниження експлуатаційних витрат.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Khodabakhshian R. A review of maintenance management of tractors and agricultural machinery: preventive maintenance systems. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2013. Vol. 15, No. 4. P. 147–159.
2. Lüttenberg H., Bartelheimer C., Beverungen D. Designing Predictive Maintenance for Agricultural Machines // *Proceedings of the 26th European Conference on Information Systems (ECIS 2018)*. Portsmouth, 2018. Paper 153.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Sustainable Agricultural Mechanization*. Rome : FAO, [б. п.]
4. Khodabakhshian R., Shakeri M. Prediction of repair and maintenance costs of farm tractors by using preventive maintenance. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 2011. Vol. 10, No. 4. P. 607–611.
5. Regler F., Hausmann F., Krüger M., Bernhardt H. Potential and Improvement of Maintenance Efficiency of Agricultural PTO Shafts by a New Digital Maintenance Assistant. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 2. Article 227. DOI: 10.3390/agriculture13020227.
6. Gomez-Gil F. J., Martínez-Martínez V., Ruiz-Gonzalez R., Martínez-Martínez L., Gomez-Gil J. Vibration-based monitoring of agro-industrial machinery using a k-nearest neighbors classifier with a Harmony Search frequency selector algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 217. Article 108556.
7. CLAAS. Сервіс і підтримка : офіц. сайт. URL: <https://www.claas.com/uk-ua/posluhy/sluzhba-pidtrymky-kliientiv-servisni-produkty> (дата звернення: 27.04.2026).
8. CLAAS. Remote Service : офіц. сайт. URL: <https://www.claas.com/uk-ua/posluhy/sluzhba-pidtrymky-kliientiv-servisni-produkty/remote-service> (дата звернення: 27.04.2026).
9. CLAAS. TELEMATICS : офіц. сайт. URL: <https://www.claas.com/en-au/digital-solutions/data-management/telematics> (дата звернення: 27.04.2026).
10. CLAAS. MAXI CARE : офіц. сайт. URL: <https://www.claas.com/en-au/services/service-products/maxi-care> (дата звернення: 27.04.2026).
11. CLAAS. CLAAS connect : офіц. сайт. URL: <https://www.claas.com/uk-ua/smart-farming/claas-connect> (дата звернення: 27.04.2026).
12. CLAAS TRION. Брошура / офіційні матеріали компанії CLAAS.
13. Jardine A. K. S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2006. Vol. 20, No. 7. P. 1483–1510.
14. Mobley R. K. *An Introduction to Predictive Maintenance*. 2nd ed. Burlington : Elsevier, 2002. 425 p.
15. Ben-Daya M., Duffuaa S. O., Kaouf A., Knezevic J., Ait-Kadi D. *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. London : Springer, 2009. 744 p.
16. Dhillon B. S. *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. Boca Raton : CRC Press, 2002. 224 p.
17. Ebeling C. E. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York : McGraw-Hill, 1997. 503 p.

18. Wang K. S., Sharma V. S., Zhang Z., Fecht M. Prognostics and health management of industrial systems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2020. Vol. 26, No. 3. P. 367–382.
19. NIST/SEMATECH. *e-Handbook of Statistical Methods*. National Institute of Standards and Technology. URL: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/> (дата звернення: 27.04.2026).
20. NIST. *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*. Gaithersburg : NIST, 1994.
21. Войналович О. В., Марчиниша Є. І., Кофто Д. Г. *Охорона праці в галузі Автомобільний транспорт*. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 695 с.
22. Дикань С. А., Іваницька І. О. *Безпека людини*. Полтава : ТОВ «АСМІ», 2019. 279 с.
23. Запорожець О. І., Михайлюк В. О., Халмуратов Б. Д., Русаловський А. В., Кудачасва Н. В. *Цивільний захист*. Київ : Центр учбової літератури, 2021. 264 с.
24. Сукач М. К. *Технічний сервіс машин : навч. посіб.* Київ : Ліра-К, 2017. 290 с.
25. Швець Л. В., Паладійчук Ю. Б., Труханська О. О. *Технічний сервіс в АПК : навч. посіб.* Вінниця : ВНАУ, 2019. 648 с.
26. Сідашенко О. І., Тіхонов О. Б., Скобло Т. С. та ін. *Практикум з ремонту машин. Т. 2. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин : навч. посіб.* Харків : ТОВ «Пром-Арт», 2018. 491 с.
27. Сідашенко О. І., Науменко О. А., Скобло Т. С. та ін. *Ремонт машин та обладнання : підручник. 2-ге вид., перероб. і доп.* Харків : Міськийрук, 2015. 742 с.
28. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Держнаглядохоронпраці України від 09.01.1998 № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text> (дата звернення: 27.04.2026).
29. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (дата звернення: 27.04.2026).
30. ДСТУ ISO 9001:2015. *Системи управління якістю. Вимоги*. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
31. ДСТУ ISO 45001:2019. *Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування*. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
32. ДСТУ ISO 14001:2015. *Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування*. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.