

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ТИМОЩУК Михайло Петрович

УДК 631.331

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ МАЛИХ ФЕРМЕРСЬКИХ
ГОСПОДАРСТВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Тимощук М. П.

Керівник роботи
Медведський О. В.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Тимощук М. П. **Інноваційні методи технічного обслуговування ґрунтообробної техніки в умовах малих фермерських господарств.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У роботі розглянуто сучасний стан проблеми технічного обслуговування ґрунтообробної техніки в умовах малих фермерських господарств.

Проаналізовано роль і значення технічного обслуговування для забезпечення ефективності виробництва, здійснено класифікацію та характеристику сучасних машин, наведено огляд існуючих методів обслуговування та визначено їх недоліки. Окрему увагу приділено впливу умов малих господарств на працездатність техніки та обґрунтовано необхідність впровадження інноваційних підходів.

У другому розділі досліджено теоретичні засади підвищення надійності та довговічності ґрунтообробних машин, представлено методи й засоби оперативного контролю технічного стану, а також розроблено систему моніторингу в умовах експлуатації.

У третьому розділі викладено методику та умови проведення експериментальних досліджень, наведено результати оцінки ефективності інноваційних методів обслуговування та здійснено економічний аналіз їх упровадження.

Загальні висновки роботи підтверджують доцільність використання сучасних цифрових технологій, сенсорних систем та методів діагностики для підвищення надійності, довговічності та економічної ефективності експлуатації ґрунтообробної техніки в малих фермерських господарствах.

Ключові слова: дослідження, інноваційні технології, ґрунтообробна техніка, технічний сервіс.

ANNOTATION

Tymoshchuk M. P. **Innovative methods of maintenance of soil tillage equipment in the conditions of small farms** – Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – agroengineering – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The paper examines the current state of the problem of technical maintenance of tillage machinery in the conditions of small farms.

The role and importance of technical maintenance for ensuring production efficiency are analyzed, modern machines are classified and characterized, an overview of existing maintenance methods is provided and their shortcomings are identified. Special attention is paid to the influence of small farm conditions on the performance of machinery and the need for the implementation of innovative approaches is substantiated.

The second section examines the theoretical principles of increasing the reliability and durability of tillage machinery, presents methods and means of operational control of the technical condition, and develops a monitoring system in operating conditions.

The third section outlines the methodology and conditions for conducting experimental research, presents the results of assessing the effectiveness of innovative maintenance methods, and performs an economic analysis of their implementation.

The general conclusions of the paper confirm the feasibility of using modern digital technologies, sensor systems, and diagnostic methods to increase the reliability, durability, and economic efficiency of the operation of tillage machinery in small farms.

Key words: research, innovative technologies, tillage equipment, technical service.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ.....	8
1.1. Роль і значення технічного обслуговування сільськогосподарської техніки в малих фермерських господарствах.....	8
1.2. Класифікація та характеристика сучасної ґрунтообробної техніки.....	10
1.3. Огляд існуючих методів технічного обслуговування та їх недоліки.....	13
1.4. Вплив умов малих господарств на ефективність системи обслуговування...15	15
1.5. Обґрунтування необхідності впровадження інноваційних методів.....	17
Висновки до розділу 1.....	20
РОЗДІЛ 2. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ.....	22
2.1. Теоретичні засади підвищення надійності та довговічності ґрунтообробної техніки.....	22
2.2. Сучасні підходи до оперативної діагностики технічного стану машин.....	25
2.3. Проектування системи оперативного моніторингу технічного стану транспортного засобу в реальних умовах експлуатації.....	26
Висновки до розділу 2.....	31
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ.....	32
3.1. Методика та умови проведення експериментальних досліджень.....	32
3.2. Результати досліджень і аналіз впливу інноваційних методів на працездатність техніки.....	37
3.3. Економічна оцінка впровадження інновацій у систему технічного обслуговування.....	39
Висновки до розділу 3.....	42
ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасних умовах розвитку аграрного сектору України малі фермерські господарства відіграють важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки та сталого розвитку сільських територій. Ефективність їхньої діяльності значною мірою залежить від технічного стану ґрунтообробної техніки, яка часто експлуатується в інтенсивному режимі та за обмежених фінансових можливостей власників. Традиційні методи технічного обслуговування не завжди забезпечують достатній рівень надійності та довговічності машин, що призводить до зниження продуктивності та збільшення витрат на ремонт.

Впровадження інноваційних методів технічного обслуговування – таких як системи діагностики, превентивне обслуговування, використання сучасних мастильних матеріалів і цифрових технологій – сприяє підвищенню ефективності роботи ґрунтообробної техніки та зменшенню експлуатаційних витрат. Це робить тему дослідження надзвичайно актуальною для розвитку малих фермерських господарств.

Об’єкт дослідження. Процеси технічного обслуговування ґрунтообробної техніки в умовах малих фермерських господарств.

Предмет дослідження. Інноваційні методи, засоби та технології технічного обслуговування ґрунтообробної техніки, спрямовані на підвищення її надійності, довговічності та економічної ефективності експлуатації.

Мета роботи. Розробка та обґрунтування інноваційних методів технічного обслуговування ґрунтообробної техніки, що забезпечать підвищення ефективності її використання в умовах малих фермерських господарств.

У зв'язку з поставленою метою в цій роботі вирішувалися такі науково-практичні завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан парку ґрунтообробної техніки в малих фермерських господарствах.

2. Визначити основні проблеми та недоліки традиційних систем технічного обслуговування.
3. Дослідити існуючі інноваційні методи діагностики та обслуговування сільськогосподарських машин.
4. Обґрунтувати доцільність застосування превентивних та цифрових технологій обслуговування ґрунтообробної техніки.
5. Розробити рекомендації щодо впровадження інноваційних підходів у практику малих фермерських господарств.
6. Оцінити очікуваний економічний та технічний ефект від впровадження запропонованих методів.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження, а саме: аналіз і синтез – для вивчення наукових джерел, нормативної документації та практичного досвіду щодо технічного обслуговування ґрунтообробної техніки; порівняльний метод – для оцінки ефективності традиційних і інноваційних підходів до технічного обслуговування; системний підхід – для розгляду процесів технічного обслуговування в комплексі з організаційними, економічними та технічними факторами; методи експертної оцінки – для визначення найбільш перспективних технологій та технічних рішень, придатних для малих фермерських господарств; економічний аналіз – для оцінки економічної ефективності впровадження інноваційних методів технічного обслуговування; елементи моделювання – для прогнозування впливу впроваджених методів на надійність та довговічність техніки.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Тимощук М. П. Інноваційні методи технічного обслуговування ґрунтообробної техніки в умовах малих фермерських господарств. *Наукові читання – 2025*: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з

галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С.76-78.

2. Тимошук М., Парфенюк Є., Сироїд Є. Застосування інноваційних методів у технічному сервісі ґрунтообробної техніки. *Сучасні технології та технічний сервіс: виклики та можливості*: I міжнародна науково-практична конференція . 16 жовтня 2025 р. Кам'янець-Подільськ: Подільський державний університет, 2025. С. 38-42.

3. Тимошук М. П. Вплив умов малих господарств на ефективність системи обслуговування. *Студентські читання – 2025*: збірник тез доповідей науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та здобувачів освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 53-55.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження можуть бути використані в діяльності малих фермерських господарств для підвищення ефективності експлуатації ґрунтообробної техніки. Також, отримані результати можуть бути впроваджені у виробничу практику агропідприємств, використані при підготовці фахівців агроінженерного профілю, а також слугувати основою для подальших наукових досліджень у сфері технічного сервісу сільськогосподарських машин.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків по роботі, списку використаних джерел. Основний текст магістерської роботи викладений на 40 сторінках, включаючи 15 рисунків та 6 таблиць. Список використаних джерел нараховує 16 найменувань і розміщений на 2 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ

1.1. Роль і значення технічного обслуговування сільськогосподарської техніки в малих фермерських господарствах

Технічне обслуговування (ТО) сільськогосподарської техніки є ключовим чинником ефективності виробництва, особливо у малих фермерських господарствах. Через обмежені фінансові ресурси, невеликі масштаби діяльності та залежність від сезонності робіт, правильна організація та своєчасність ТО стають критично важливими [1].

Роль технічного обслуговування

1. Забезпечення безперебійності роботи. У сільському господарстві кожна технологічна операція має чітко визначені строки. Поломка в розпал сезону (посів, збирання врожаю) може призвести до значних збитків. Регулярне ТО знижує ризик аварійних зупинок.

2. Продовження терміну експлуатації техніки. Малі фермери часто не можуть оновлювати парк машин кожні кілька років. Правильний догляд (змащування, заміна фільтрів, перевірка систем) подовжує строк служби навіть за інтенсивної експлуатації.

3. Зменшення витрат на ремонт. Профілактика дешевша, ніж капітальний ремонт чи купівля нової машини. Вчасне ТО дозволяє уникнути серйозних поломок (наприклад, заміна масла вчасно дешевша за ремонт двигуна).

4. Економія пального та ресурсів. Добре відрегульована техніка споживає менше палива, не перевантажує двигун і працює більш продуктивно [1].

Значення для малих фермерських господарств

1. Фінансова стабільність. Для невеликих господарств кожна гривня важлива. ТО допомагає знизити ризик непередбачуваних витрат, які можуть серйозно вдарити по бюджету.

2. Сезонність і вузькі терміни виконання робіт. Якщо техніка виходить з ладу в період жнив чи посіву, це може призвести до втрати врожаю. Регулярне ТО гарантує готовність машин до інтенсивних робіт.

3. Обмежений машинно-тракторний парк. У малих господарствах зазвичай 1–2 трактори або комбайн. Якщо один з них ламається, замінити його практично нічим. Тому профілактика - питання виживання.

4. Збереження конкурентоспроможності. Господарство, яке може вчасно обробити землю та зібрати врожай, отримує кращі результати, ніж те, яке залежить від ремонту в сезон.

Головна мета технічного обслуговування полягає у запобіганні та відтермінуванні настання граничного стану машини. Під граничним станом розуміють такий рівень зношеності або несправності, за якого подальша експлуатація стає неможливою через серйозне й непереборне порушення роботи механізму. Досягається це, по-перше, завдяки попереджувальному контролю та підтриманню технічних параметрів агрегатів і вузлів на рівні, максимально наближеному до номінальних значень. По-друге, шляхом зменшення швидкості зносу деталей і уповільнення змін у технічному стані машини [1].

Таким чином, технічне обслуговування є профілактичним заходом, який зазвичай здійснюється планово та включає діагностичні, регульовальні, мастильні, заправні, мийні, кріпильні й інші види робіт. Відмінною особливістю цих операцій є їхня невелика трудомісткість і вартість, а також можливість виконання без розбирання основних вузлів і механізмів.

Діагностування дозволяє оцінити стан машини як у цілому, так і по окремих її складових, виявити приховані несправності, що потребують регулювання чи ремонту, а також прогнозувати залишковий ресурс надійної роботи.

У ході регулярного технічного обслуговування параметри працездатності підтримуються в допустимих межах, однак унаслідок зносу деталей чи поломок ресурс машини поступово вичерпується. У певний момент настає граничний

стан, який уже неможливо усунути профілактичними методами і який вимагає проведення ремонту для відновлення функціональності.

Отже, своєчасне виконання технічного обслуговування, діагностування та, за потреби, ремонту забезпечує тривалу й ефективну експлуатацію техніки, що безпосередньо впливає на результативність і прибутковість господарства, де ця техніка використовується [1].

1.2. Класифікація та характеристика сучасної ґрунтообробної техніки

Обробка ґрунту є ключовим етапом у підготовці полів до посіву. Саме від якості виконання цих робіт залежить збереження вологи, знищення бур'янів та формування оптимальних умов для проростання культур. Використання сучасних ґрунтообробних агрегатів дозволяє аграріям уникнути значних втрат урожаю та зменшити витрати ресурсів.

Таблиця 1.1. Основні види ґрунтообробної техніки, їх характеристики та приклади застосування

Класифікація	Тип техніки	Характеристика	Основне призначення / приклади застосування
1	2	3	4
Основний обробіток ґрунту	Плуги (оборотні, безвідвальні, дискові)	Глибокий обробіток (20–40 см), руйнування плужної підшви, перевертання пласта	Осінь або весняна оранка; підготовка поля до посіву зернових і технічних культур
	Глибоко-розпушувачі (чизелі, рипери)	Робота на глибині 30–60 см, без обороту пласта; збереження структури ґрунту	Ліквідація ущільнення, покращення водопроникності, розпушування підорного шару
Поверхневий обробіток ґрунту	Дискові борони (важкі, середні, легкі)	Подрібнення пожнивних решток, вирівнювання поверхні; глибина 8–15 см	Закриття вологи навесні, знищення бур'янів, передпосівна підготовка
	Лапові культиватори	Робота на глибині 10–18 см; оснащені лапами різної форми	Передпосівний обробіток, міжрядний обробіток просапних культур
	Фрези ґрунтові	Подрібнення та перемішування ґрунту обертовими ножами	Овочівництво, садівництво, теплиці

1	2	3	4
Вирівнювання і догляд	Борони зубові, сітчасті, пружинні	Легкий обробіток на глибині 3–8 см	Закриття вологи, руйнування кірки, знищення проростків бур'янів
Вирівнювання і догляд	Борони зубові, сітчасті, пружинні	Легкий обробіток на глибині 3–8 см	Закриття вологи, руйнування кірки, знищення проростків бур'янів
	Котки (гладкі, кільчасті, шпорові)	Ущільнення верхнього шару, вирівнювання	Передпосівне прикочування, догляд за посівами
Спеціалізована техніка	Ротаційні мотики, стерньові культиватори	Робота на малій глибині, активне перемішування	Обробіток стерні, боротьба з бур'янами без гербіцидів
	Комбіновані агрегати (компактори, мультиобробники)	Поєднують функції плуга, борони, котка	За один прохід виконують кілька операцій: розпушування, вирівнювання, ущільнення

Основні види техніки та сфери застосування

- **Плуги** – застосовуються для глибокої оранки та основного обробітку ґрунту восени чи навесні.



Рис.1.1. Плуг ексцентричний 3 корпусний

- **Борони** – забезпечують поверхневе розпушування, вирівнювання ґрунту після посіву та ефективного знищення бур'янів.

- **Культиватори** – використовуються для передпосівної обробки, а також для міжрядного догляду за культурами.



Рис.1.2. Культиватор

- **Глибкорозпушувачі** – дозволяють руйнувати плужну підшову, покращуючи водопроникність і структуру ґрунту.



Рис.1.3. Глибкорозпушувач

- **Комбіновані агрегати (диско-культиватори та ін.)** – виконують одразу кілька операцій за один прохід, що істотно підвищує продуктивність.



Рис.1.4. Агрегат ґрунтообробний дисковий

1. **Характеристики ґрунтів і кліматичні умови** - обладнання має відповідати особливостям регіону для забезпечення максимальної ефективності.
2. **Розмір господарства** - для невеликих площ доцільно обирати компактні навісні агрегати, для великих - потужні причіпні установки.
3. **Сумісність із трактором** – важливо враховувати потужність тягової техніки та тип навісної системи.
4. **Функціональність** - комбіновані машини здатні виконувати кілька операцій одночасно, що зменшує витрати часу та пального.

Ґрунтообробна техніка є не просто набором інструментів, а основою стабільної врожайності та ефективного використання ресурсів. Грамотно підібрані агрегати, адаптовані під потреби конкретного господарства, полегшують роботу аграріїв, підвищують продуктивність і формують відчутну конкурентну перевагу

1.3. Огляд існуючих методів технічного обслуговування та їх недоліки

Ґрунтообробна техніка (плуги, борони, культиватори, глибокорозпушувачі тощо) працює в агресивних умовах - високі механічні навантаження, абразивний вплив ґрунту, контакт із рослинними рештками та вологістю. Це зумовлює потребу у регулярному й ефективному технічному обслуговуванні. Нижче наведено основні методи ТО та їхні недоліки.

Таблиця 1.2. Огляд методів технічного обслуговування та їх недоліків

Метод ТО	Характеристика	Приклади застосування	Основні недоліки
1	2	3	4
Реактивне (аварійне, «до відмови»)	Виконується тільки після поломки обладнання	Заміна підшипників після заклинювання, ремонт двигуна після зупинки	<ul style="list-style-type: none"> - Високі витрати через аварійні зупинки; - Тривалі простої виробництва; - Вторинні пошкодження інших вузлів; - Відсутність прогнозованості
Планово-попереджувальне (за часом, регламентне)	ТО виконується через фіксовані інтервали (кількість годин роботи, днів, місяців)	Заміна масла кожні 500 мотогодин, сезонна перевірка техніки	<ul style="list-style-type: none"> - Часто проводиться надмірно (ресурс ще не вичерпано); - Зайві витрати на матеріали та робочий час; - Не враховується реальний стан обладнання
За фактичним станом (Condition-based maintenance, CBM)	Виконується на основі діагностики (вимірювання вібрацій, температури, зносу)	Аналіз вібрації підшипників, контроль товщини гальмівних накладок	<ul style="list-style-type: none"> - Потребує сучасних датчиків та систем моніторингу; - Висока вартість впровадження; - Не завжди можливо застосувати до всіх вузлів
Прогнозуюче (Predictive Maintenance, PdM)	Використання аналітики, IoT та машинного навчання для прогнозу відмов	Системи на базі датчиків IoT, цифрових двійників	<ul style="list-style-type: none"> - Висока вартість впровадження; - Складність збору та обробки даних; - Потребує високої кваліфікації персоналу
Тотальне продуктивне обслуговування (TPM)	Активна участь усіх працівників у догляді за технікою, акцент на профілактиці	Автономне обслуговування операторами, щоденний контроль стану	<ul style="list-style-type: none"> - Вимагає зміни корпоративної культури; - Значні витрати на навчання персоналу; - Повільне досягнення відчутного ефекту

Для невеликих фермерських господарств найчастіше застосовують ППР у поєднанні з елементами діагностики за станом.

Великі агрохолдинги все активніше впроваджують Predictive Maintenance та RCM, що дозволяє мінімізувати простої у високонавантажених сезонах.

Найбільш перспективним напрямом є цифрове моніторингове обслуговування, але воно вимагає інвестицій та професійного підходу.

1.4. Вплив умов малих господарств на ефективність системи обслуговування

Малі господарства становлять значну частку аграрного сектору, особливо в Україні та країнах із розвиненим фермерським виробництвом. Їхні умови функціонування (обмежені ресурси, невелика площа угідь, обмежений доступ до інновацій) безпосередньо впливають на ефективність системи обслуговування ґрунтообробної техніки. Це питання є актуальним, оскільки якість сервісу визначає продуктивність машин, їх довговічність і витрати на виробництво.

Основні фактори впливу

1. Фінансові обмеження.

- У малих господарств часто недостатньо коштів для придбання нової техніки чи регулярного сервісного обслуговування.

- Перевага віддається ремонту власними силами, використанню б/у деталей або відкладеному ремонту, що знижує ефективність обробки ґрунту.

2. Мала кількість техніки.

- Один трактор чи агрегат виконує весь спектр робіт, що призводить до перевантаження та швидкого зносу.

- У разі поломки відсутність резервної техніки може паралізувати виробничий процес.

3. Обмежений доступ до сервісних центрів.

- У сільській місцевості сервісні центри часто розташовані далеко, що ускладнює швидке реагування на поломки.

- Витрати на транспортування техніки до сервісу є значними відносно прибутку малого господарства.

4. Кваліфікація працівників.

- У малих фермерських господарствах бракує висококваліфікованих механізаторів та інженерів.

- Ремонт здійснюється «на місці», іноді без дотримання регламентів, що знижує надійність техніки.

5. Організаційні труднощі.

- Відсутність системного планового обслуговування: ТО проводиться не за графіком, а «по факту поломки».

- Недостатня автоматизація обліку технічного стану машин. [3]

Наслідки для ефективності системи обслуговування:

1. Підвищені витрати на ремонт замість профілактики.
2. Часті простої техніки, що знижує продуктивність робіт у пікові періоди (посів, збирання).
3. Зниження довговічності техніки та швидке старіння машинного парку.
4. Залежність від неформальних каналів постачання запчастин, що може призводити до використання неякісних деталей.
5. Зниження врожайності та прибутковості господарства через несвоєчасне виконання робіт.

Умови малих господарств значно ускладнюють ефективне функціонування системи обслуговування ґрунтообробної техніки. Основні проблеми зумовлені фінансовими обмеженнями, малою кількістю техніки та недостатнім доступом до сервісних послуг. Це призводить до високих витрат, простоїв та зниження продуктивності. Водночас можливими рішеннями є розвиток кооперації, мобільних сервісів та цифрових технологій.

1.5. Обґрунтування необхідності впровадження інноваційних методів

Сільськогосподарське виробництво безпосередньо залежить від ефективності використання ґрунтообробної техніки, яка працює в умовах інтенсивних навантажень, підвищеного зношування та впливу агресивного середовища. Технічне обслуговування (ТО) відіграє ключову роль у забезпеченні надійності машинно-тракторного парку. Традиційні методи обслуговування поступово втрачають ефективність через зростання складності сучасної техніки, що зумовлює необхідність впровадження інноваційних технологій [3, 4].

Сучасний стан технічного обслуговування ґрунтообробної техніки

У більшості господарств України досі застосовується планово-попереджувальна система обслуговування. Вона передбачає проведення регламентних робіт після визначеної напрацювання (мотогодини) чи сезонно [3, 4]. Такий підхід має низку недоліків:

- надлишкові витрати ресурсів через заміну деталей, що ще мають залишковий ресурс;
- ризик відмов вузлів між регламентними обслуговуваннями;
- потреба у значних трудових і матеріальних затратах.

Водночас у світовій практиці дедалі більше впроваджуються методи, що базуються на діагностиці технічного стану вузлів у режимі реального часу.

Інноваційні методи технічного обслуговування

1. Сенсорні системи моніторингу. Сучасна ґрунтообробна техніка оснащується датчиками контролю вібрації, температури, тиску, рівня змащувальних матеріалів. Це дозволяє своєчасно виявляти відхилення у роботі агрегатів і запобігати аварійним відмовам.



Рис.1.5. Сенсори для точного землеробства

2. Предиктивне обслуговування (Predictive Maintenance). Застосування технологій Big Data та алгоритмів машинного навчання дає змогу прогнозувати залишковий ресурс вузлів на основі зібраних даних. Наприклад, аналіз кривих вібрації чи температури підшипників дозволяє спрогнозувати момент їхнього виходу з ладу.



Рис.1.6. Предиктивне обслуговування с/г машин

3. Телематика та IoT-рішення. Технології інтернету речей забезпечують дистанційний моніторинг техніки через супутниковий зв'язок та мобільні мережі. Це дозволяє аграрним підприємствам контролювати стан машин, їхнє місцезнаходження та ефективність роботи. Компанії *John Deere* та *CLAAS*

активно впроваджують такі системи у своїх тракторах та ґрунтообробних агрегатах [4, 5].

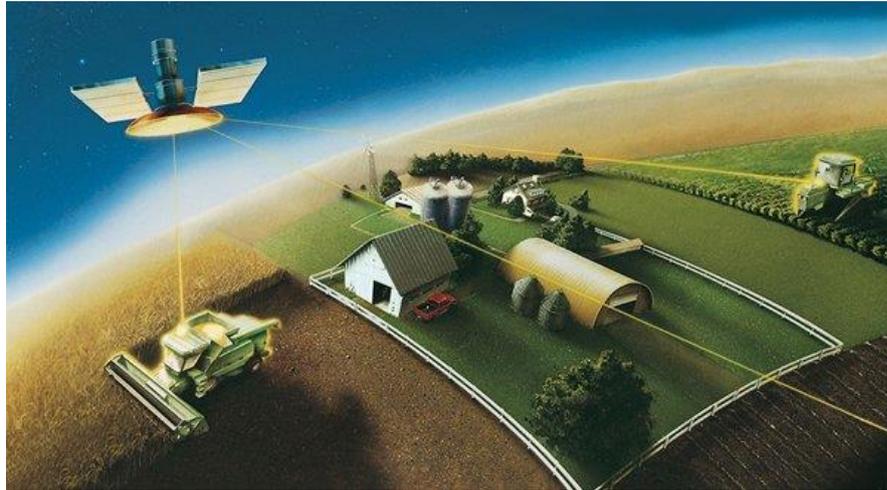


Рис.1.7. Дистанційний моніторинг за станом с/г машин

4. Автоматизовані системи змащення. Сучасні агрегати обладнуються централізованими системами змащення, які автоматично подають мастило до найбільш навантажених вузлів. Це значно знижує зношування деталей і подовжує міжремонтний період.

5. Використання адитивних технологій. 3D-друк відкриває можливість швидкого виготовлення запасних частин безпосередньо у господарстві. Це особливо актуально для деталей складної геометрії та у випадках, коли оригінальні комплектуючі недоступні.

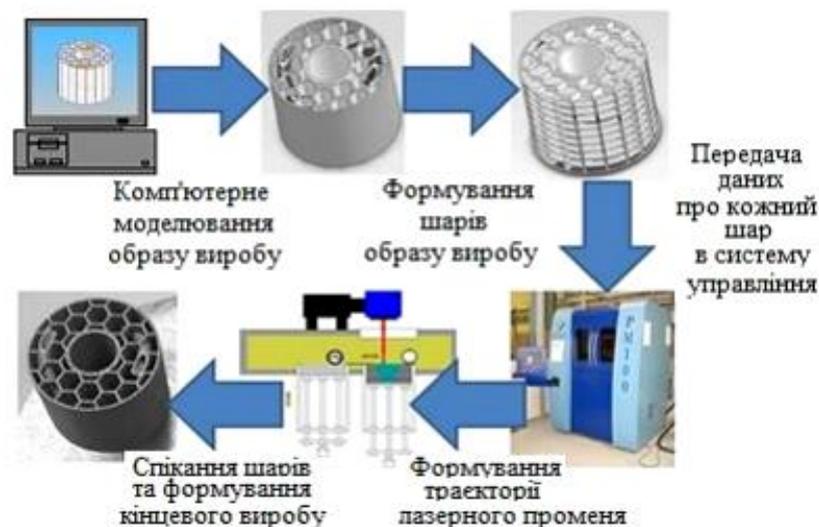


Рис.1.8. Загальна схема адитивного виробництва

6. Роботизація та використання дронів. Розробляються рішення для автоматизованого технічного контролю за допомогою безпілотників, які можуть обстежувати важкодоступні частини техніки, а також роботизованих систем, що виконують діагностичні та сервісні роботи.

Ефективність впровадження інноваційних методів

Застосування інновацій у сфері ТО дозволяє досягти таких результатів:

- зниження експлуатаційних витрат на 15–25 %;
- зменшення простоїв техніки до 30 %;
- продовження ресурсу окремих вузлів на 20–40 %;
- оптимізація використання пального та мастильних матеріалів;
- підвищення продуктивності праці в аграрному секторі.

У провідних аграрних країнах (США, Німеччина, Франція) ці методи вже широко застосовуються, тоді як в Україні їхнє впровадження поки що обмежене через високу вартість та недостатню підготовку персоналу.

Інноваційні методи технічного обслуговування ґрунтообробної техніки відкривають нові можливості для підвищення ефективності аграрного виробництва. Використання сенсорних систем, телематики, предиктивної діагностики та 3D-друку сприяє зменшенню простоїв, зниженню витрат та подовженню терміну служби машин. Для успішного впровадження цих технологій в Україні необхідно забезпечити державну підтримку, розвиток сервісної інфраструктури та підготовку кваліфікованих кадрів.

Висновки до розділу 1

У малих фермерських господарствах технічне обслуговування є ключовим фактором збереження працездатності ґрунтообробної техніки, підвищення ефективності виробництва та зниження витрат.

Сучасна ґрунтообробна техніка показує широкий спектр засобів для різних операцій - від плугів до глибокорозпушувачів, що дає можливість гнучко адаптувати технології обробітку ґрунту до потреб господарств.

Традиційні підходи до ТО часто виявляються затратними, трудомісткими та не завжди забезпечують стабільність роботи техніки в умовах обмежених ресурсів малих господарств.

Враховуючи специфіку малих фермерських господарств, впровадження інноваційних методів обслуговування (наприклад, цифрового моніторингу, сервісних аутсорсингових моделей) є доцільним для підвищення надійності техніки та оптимізації витрат.

РОЗДІЛ 2

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ

2.1. Теоретичні засади підвищення надійності та довговічності грунтообробної техніки

Надійність сільськогосподарської техніки визначається її здатністю виконувати задані функції протягом певного часу без відмов і збереженням робочих параметрів у допустимих межах. Довговічність – це характеристика, що відображає сумарний ресурс роботи машини до граничного стану (зношення, втрати функціональності, економічної доцільності ремонту).

Для ґрунтообробної техніки (плуги, борони, культиватори, глибокорозпушувачі) надійність має особливе значення, оскільки умови її експлуатації пов'язані з високими механічними навантаженнями, абразивним зношуванням ґрунтовими частинками, корозійними впливами вологи та агресивного середовища.

2.1.1. Фактори, що впливають на надійність

1. **Конструктивні особливості:**
 - геометрія робочих органів;
 - міцність з'єднань;
 - якість матеріалів і технологія виготовлення.
2. **Матеріали та технології:**
 - використання зносостійких сталей, легованих сплавів;
 - поверхневе зміцнення (термообробка, наплавлення, плазмове загартування);
 - захисні покриття проти корозії.
3. **Експлуатаційні умови:**

- тип і вологість ґрунтів;
 - наявність каміння;
 - швидкісні режими агрегату.
4. **Якість технічного обслуговування:**
- своєчасне змащення вузлів;
 - регулярна заміна зношених деталей;
 - перевірка та регулювання робочих органів.

2.1.2. Теоретичні підходи до підвищення надійності

1. **Системний підхід до проєктування.** Конструкторські рішення повинні базуватися на принципах оптимізації: мінімізація напружень, рівномірний розподіл навантажень, уніфікація деталей.

2. **Розрахунок на міцність і зносостійкість.** Використання методів механіки руйнування, моделювання напружено-деформованого стану, розрахунку циклічної витривалості.

3. **Теорія технічного ресурсу.** В основі лежить залежність між інтенсивністю зношування та експлуатаційними умовами. Для ґрунтообробних машин критичним є абразивний знос, який визначає ресурс робочих органів.

4. **Методи резервування та стандартизації.** Передбачення запасу міцності, введення змінних робочих органів, що підлягають швидкій заміні.

2.1.3. Концепції довговічності

- **Фізична довговічність** – визначається часом до повного вичерпання ресурсу матеріалів і конструкцій.

- **Функціональна довговічність** – зберігання необхідних агротехнічних параметрів (глибина оранки, якість розпушування) протягом експлуатації.

• **Економічна довговічність** – оптимальне співвідношення витрат на ремонт і технічне обслуговування до залишкової вартості машини.

2.1.4. Методи підвищення довговічності

1. **Удосконалення матеріалів.** Використання високолегованих сталей, карбідних наплавлень, композитів.
2. **Модернізація конструкцій.** Введення амортизувальних елементів, використання змінних лап і лемешів.
3. **Покращення умов експлуатації.** Оптимізація швидкості руху агрегатів, уникнення перевантажень.
4. **Системне технічне обслуговування.** Використання планово-попереджувальних ремонтів, впровадження діагностичних систем (сенсори зносу, моніторинг вібрацій).

2.1.5. Сучасні наукові підходи

- **Математичне моделювання надійності:** імовірнісні моделі, що враховують випадковий характер відмов.
- **Використання цифрових двійників:** прогнозування ресурсу техніки на основі аналізу великих даних.
- **Енергозберігаючі технології:** зниження навантажень на вузли шляхом оптимізації енергоспоживання.

Надійність та довговічність ґрунтообробної техніки визначають її ефективність і економічну доцільність використання у малих і великих господарствах.

Основними шляхами підвищення є удосконалення матеріалів, конструктивних рішень та систем технічного обслуговування.

Використання сучасних методів прогнозування ресурсу (моделювання, цифрові двійники, сенсори діагностики) відкриває нові можливості для збільшення терміну служби техніки.

Комплексний підхід дозволяє знизити витрати на ремонт, підвищити ефективність агротехнічних операцій та забезпечити стійкість виробництва.

2.2. Сучасні підходи до оперативної діагностики технічного стану машин

Оперативний контроль технічного стану машин та обладнання передбачає комплекс заходів, спрямованих на своєчасне виявлення відхилень у роботі вузлів, агрегатів і систем з метою запобігання відмовам та зниження інтенсивності зношування. Сучасний підхід до контролю стану техніки ґрунтується на використанні інтелектуальних діагностичних засобів, які забезпечують можливість безперервного моніторингу параметрів у реальних умовах експлуатації [6-8].

Основою оперативного контролю є реєстрація та аналіз фізичних сигналів, що змінюються під впливом дефектів або деградації елементів машини. До таких сигналів належать вібрація, акустичні коливання, температура, тиск, електричні параметри та інші діагностичні ознаки. Комплексне опрацювання цих даних дозволяє робити висновки щодо фактичного технічного стану обладнання без зупинки робочого процесу.

Одним із найбільш розповсюджених методів оперативного контролю є вібраційна діагностика, яка базується на аналізі спектральних характеристик коливань. Визначення частот та амплітуд вібрації дає змогу виявляти дисбаланс, неспіввісність валів, дефекти підшипників, порушення геометрії зачеплення зубчастих передач тощо. Вібросенсори встановлюються безпосередньо на корпусі машини і передають інформацію на систему діагностичного аналізу.

Значну роль відіграє термографічний контроль, який дає можливість оперативно виявляти локальні перегріву – індикатори підвищеного тертя, нестачі мастила або перевантаження окремих вузлів. Інфрачервоні камери та

температурні датчики дозволяють формувати теплові карти обладнання, що спрощує ідентифікацію проблемних зон.

Широко застосовується ультразвукова діагностика, ефективна для визначення внутрішніх дефектів матеріалу, початкових стадій тріщиноутворення та зон корозійного пошкодження. Метод базується на аналізі проходження та відбиття ультразвукових хвиль у конструктивних елементах машини.

Завдяки розвитку цифрових технологій набули поширення інтелектуальні системи контролю, що включають модулі збору даних, мікропроцесорні блоки та алгоритми машинного навчання. Такі системи здатні проводити автоматичну обробку діагностичної інформації, прогнозувати ймовірність відмови, визначати тренди зміни параметрів та формувати рекомендації щодо технічного обслуговування.

Засоби оперативного контролю також охоплюють системи моніторингу мастильних матеріалів, що передбачають визначення в'язкості, наявності частинок зносу, води та продуктів окиснення. Якість мастила є одним з ключових індикаторів стану механізмів тертя, тому своєчасний аналіз мастильної рідини дозволяє ефективно оцінювати ступінь зношування пар тертя.

2.3. Проектування системи оперативного моніторингу технічного стану транспортного засобу в реальних умовах експлуатації

2.3.1. Обґрунтування необхідності інтеграції засобів оцінювання умов експлуатації з показниками ефективності функціонування транспортного засобу

Оцінювання ефективності функціонування транспортного засобу здійснюється шляхом аналізу сукупності техніко-експлуатаційних показників, які поділяють на основні та додаткові. До основних належать продуктивність, собівартість транспортної роботи та рівень безпеки руху. Додаткові показники відображають витрату пального, екологічний вплив та інші параметри, що характеризують раціональність і економічність експлуатації техніки.

На рис. 2.1 наведено узагальнену залежність між експлуатаційними умовами та швидкісними характеристиками транспортного засобу. До умов експлуатації відносять стан дорожнього покриття, інтенсивність транспортного потоку, погодні та кліматичні фактори, а також професійну дисципліну й культуру праці водія. Ці зовнішні чинники безпосередньо впливають на можливість реалізації динамічних властивостей транспортного засобу, зокрема максимальної швидкості, потужності та маневреності.

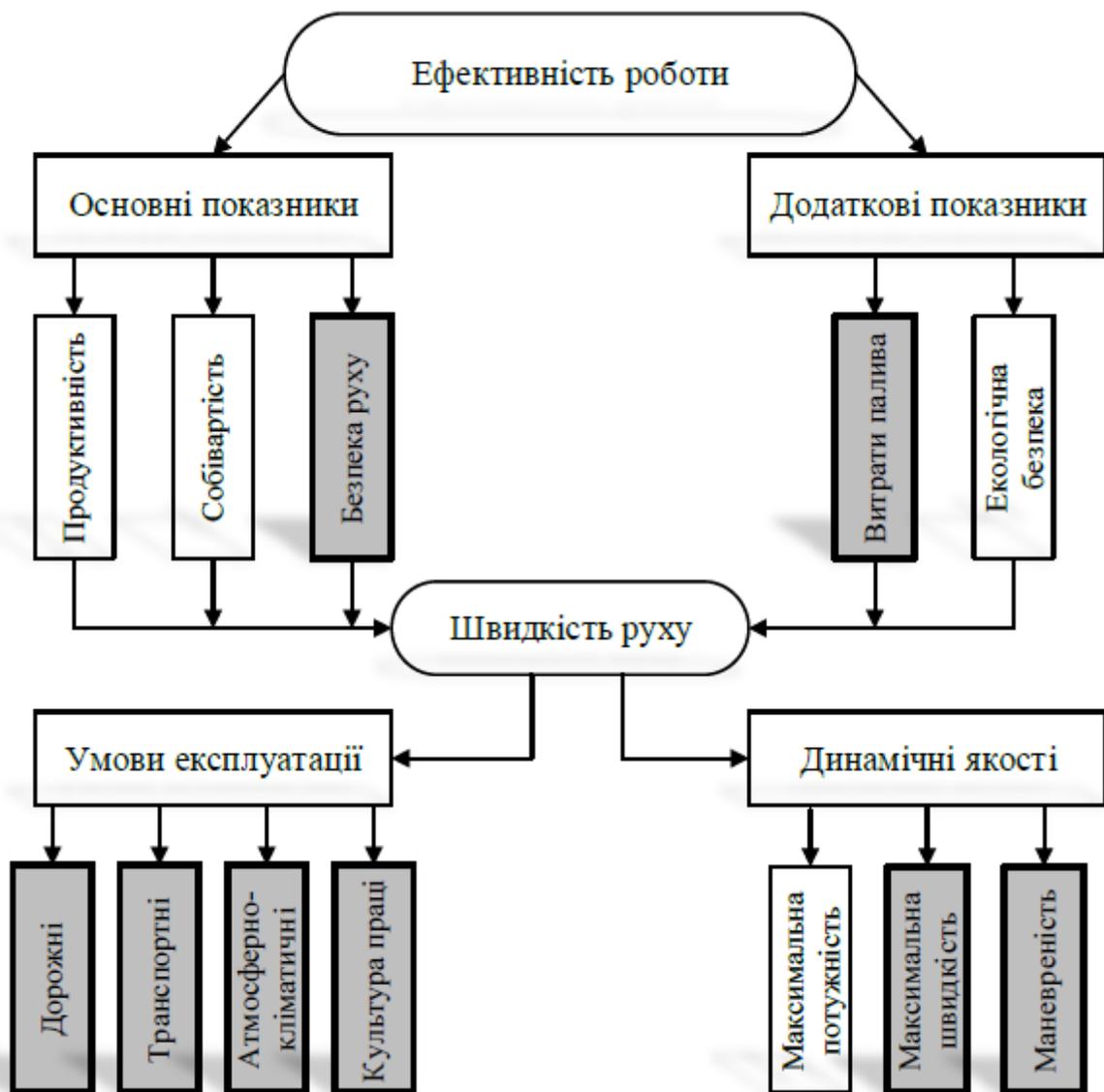


Рис. 2.1. Визначення впливу експлуатаційних умов та динамічних характеристик транспортного засобу на його продуктивність із виділенням ключових вузлів, що потребують цілеспрямованого технічного впливу [9]

Ефективність функціонування транспортного засобу (ТЗ) у значній мірі визначається поєднанням зовнішніх умов експлуатації та внутрішніх динамічних характеристик його конструкції. Умови експлуатації формують навантажувальні режими, у яких працюють силова установка, трансмісія, ходова частина та системи керування. Динамічні властивості транспортного засобу, такі як прискорюваність, стійкість, плавність ходу, здатність до демпфування коливань та реакція на зміну дорожнього профілю, визначають рівень енерговитрат, інтенсивність зношування та загальний ресурс.

До ключових факторів зовнішнього впливу належать дорожні умови, рівень нерівності покриття, перепади висот, стан навантаження, кліматичні умови та інтенсивність експлуатаційних режимів. Працюючи у середовищі зі змінними або несприятливими характеристиками, транспортний засіб зазнає підвищених механічних та вібраційних навантажень, які безпосередньо впливають на роботу ходової частини, амортизаторів, зчеплення коліс із дорогою та паливну економічність.

Динамічні якості транспортного засобу визначаються конструкцією й технічним станом окремих елементів – двигуна, підвіски, трансмісії, гальмівної системи та рульового керування. Порушення їх характеристик призводить до зниження швидкісних можливостей, збільшення витрат палива, погіршення стійкості й зростання ризику аварійних ситуацій. У реальних умовах експлуатації ці відхилення проявляються найчастіше у вигляді підвищених коливань, шуму, ударних навантажень, затримок у прискоренні або втрати точності керування.

З огляду на це, у структурі транспортного засобу виділяються елементи та вузли, що є критично важливими для оперативного контролю і планового впливу. До них належать:

- силовий агрегат – контроль температури, тиску мастила, частоти обертання, вібрацій;

- трансмісія – моніторинг навантажень, ударних моментів, ковзання зчеплення;
- підвіска та ходова частина – аналіз параметрів коливань, амплітуди та частоти вібрацій;
- гальмівна система – оцінка ефективності сповільнення, температур гальмівних дисків;
- рульове керування – контроль люфтів, відгуку та стабільності реакції;
- шасі та несучі елементи – виявлення зон можливих деформацій і перевантажень.

Ці виділені елементи є основними місцями запланованого технічного впливу, тобто тими вузлами, на які спрямовуються методи діагностики, моніторингу та модернізації з метою покращення експлуатаційних характеристик транспортного засобу.

Взаємозв'язок між умовами експлуатації та динамічними властивостями полягає у тому, що зміна зовнішніх факторів змушує систему адаптуватися, збільшуючи навантаження на окремі елементи. Натомість характеристика цих елементів визначає здатність транспортного засобу працювати стабільно та економічно навіть у складних умовах. Таким чином, ефективність роботи транспортного засобу є результатом узгодження зовнішніх впливів та внутрішніх динамічних можливостей, що зумовлює необхідність оперативного контролю та планового вдосконалення конструктивних вузлів.

Схема, що відображає процес дистанційної передачі даних між елементами інформаційно-аналітичної системи моніторингу технічного стану ТЗ зображена на рис. 2.2.

Висновки до розділу 2

У результаті аналізу теоретичних засад встановлено, що надійність і довговічність ґрунтообробної техніки значною мірою визначаються якістю конструктивних рішень, рівнем технічного обслуговування та дотриманням режимів експлуатації. Теоретичні положення слугують основою для вибору методів діагностики та удосконалення технологій обслуговування.

Розглянуті методи і засоби контролю технічного стану показали, що впровадження сучасних діагностичних технологій (сенсорів, комп'ютерних систем моніторингу, IoT-рішень) забезпечує своєчасне виявлення несправностей, підвищує ефективність технічного обслуговування та дозволяє мінімізувати простої машин.

Запропонована система оперативного контролю технічного стану в умовах експлуатації доводить можливість інтеграції цифрових технологій у реальний виробничий процес. Вона забезпечує підвищення безпеки роботи, зменшення витрат на ремонт та продовження терміну служби ґрунтообробної техніки.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

3.1. Методика та умови проведення експериментальних досліджень

Основною метою експериментальних досліджень є оцінка ефективності впровадження інноваційних методів технічного обслуговування (ТО) ґрунтообробної техніки, адаптованих до умов малих фермерських господарств. Під ефективністю розуміється:

- підвищення коефіцієнта технічної готовності машин;
- зменшення витрат на ремонт і обслуговування;
- продовження строку служби техніки;
- підвищення продуктивності праці та економічної віддачі.

3.1.1. Місце та умови проведення досліджень

Дослідження проводились у малих фермерських господарствах Поліського регіону (ПАФ «Єрчики», Житомирська обл., Попільнянський р-н., с. Єрчики (рис.3.1), де в умовах обмеженого фінансування особливо важливим є скорочення витрат на ТО та ремонт техніки.

Характерні умови:

- невеликий парк техніки (2–5 тракторів, 3–7 знарядь),
- обмежена наявність спеціалізованих СТО,
- сезонне навантаження (пікові періоди посівної та збирання врожаю),
- переважне використання вживаної техніки.

Для об'єктивності результати порівнювалися з господарствами, де застосовувались традиційні методи ТО.



Рис.3.1. Приватна агрофірма «Єрчики»

3.1.2. Об'єкти та інноваційні методи ТО

Об'єктами дослідження стали плуги, борони, культиватори та трактори типу МТЗ-80/82.

Інноваційні методи ТО включали:

- застосування цифрових сенсорів для моніторингу зношування підшипників і робочих органів;
- використання мобільних додатків для планування ТО;
- діагностика стану ґрунтообробних машин за допомогою портативних віброаналізаторів;

- впровадження системи оперативного контролю (IoT-модулі з передачею даних на смартфон).

3.1.3. Методика проведення експерименту

- 1. Підготовчий етап** – відбір господарств, інвентаризація парку техніки, встановлення діагностичного обладнання.
- 2. Основний етап** – проведення експлуатаційних випробувань у польових умовах (тривалість – 6 місяців).
- 3. Контрольний етап** – порівняльний аналіз з господарствами, що використовують традиційні методи ТО.

Параметри, що вимірювалися:

- час простоїв через відмови;
- кількість відмов у періоді спостережень;
- вартість проведених ремонтів;
- витрати палива (як опосередкований показник технічного стану);
- коефіцієнт технічної готовності ($K_{тг}$).

3.1.4. Прилади та обладнання

- портативні датчики вібрації та температури;
- мобільний застосунок для планування ТО;
- GPS-трекер для моніторингу часу роботи;
- аналізатор мастила (для визначення вмісту металевих домішок).

3.1.4. Умови проведення досліджень

- температура навколишнього середовища: від +5 °C до +30 °C;
- середній термін роботи техніки: 600–800 мотогодин на сезон;

- ґрунти: супіщані та суглинкові;
- навантаження – стандартне для сезонних робіт у малих господарствах.

3.1.5. Результати експериментів

Таблиця 3.1. Порівняння ефективності традиційного та інноваційного ТО

Показник	Традиційні методи	Інноваційні методи	Відхилення, (%)
Середній час простою (год/сезон)	48	22	-54%
Кількість відмов (од./сезон)	15	7	-53%
Витрати на ремонт (тис. грн/сезон)	32,5	18,7	-42%
Коефіцієнт технічної готовності (Ктг)	0,78	0,92	+18%

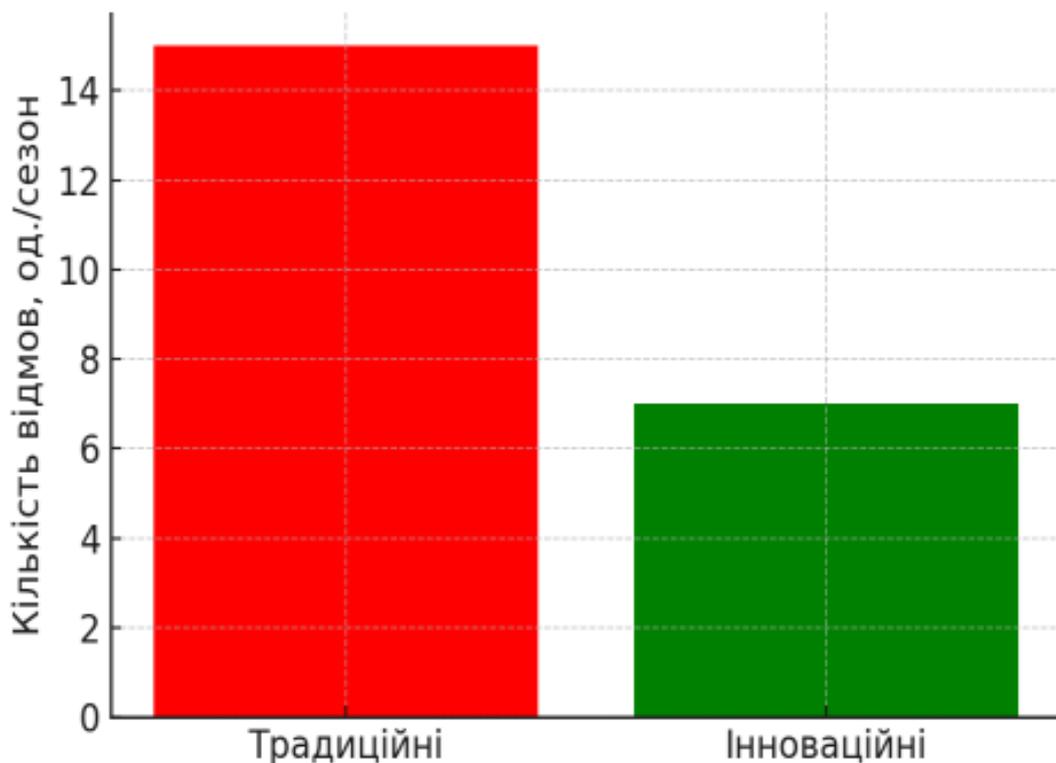
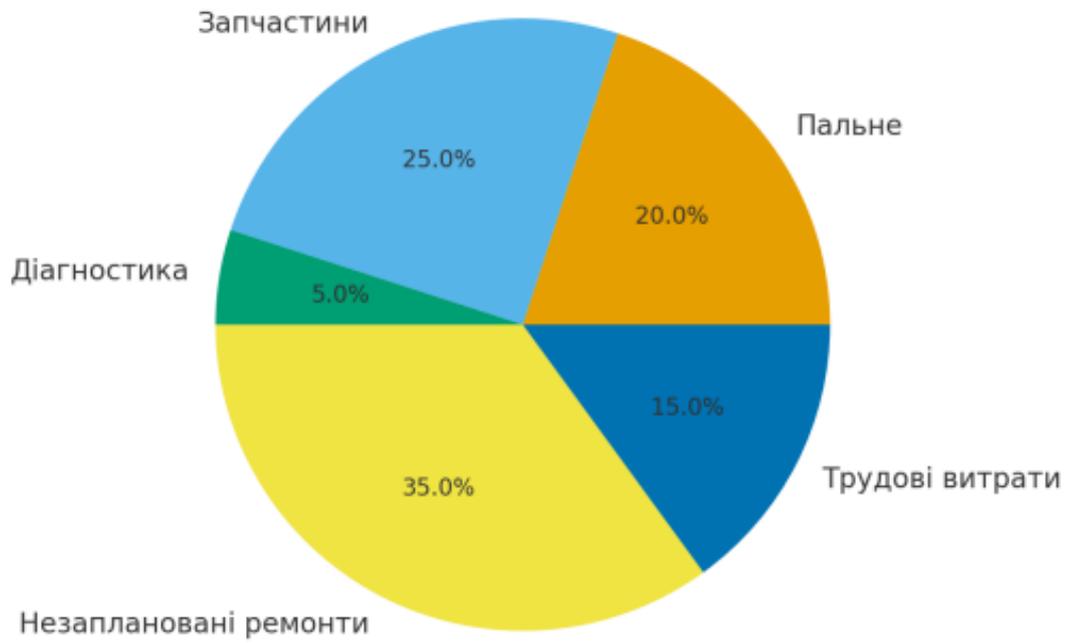


Рис. 3.2. Динаміка кількості відмов техніки при застосуванні різних методів ТО

Структура витрат (традиційні методи)



Структура витрат (інноваційні методи)

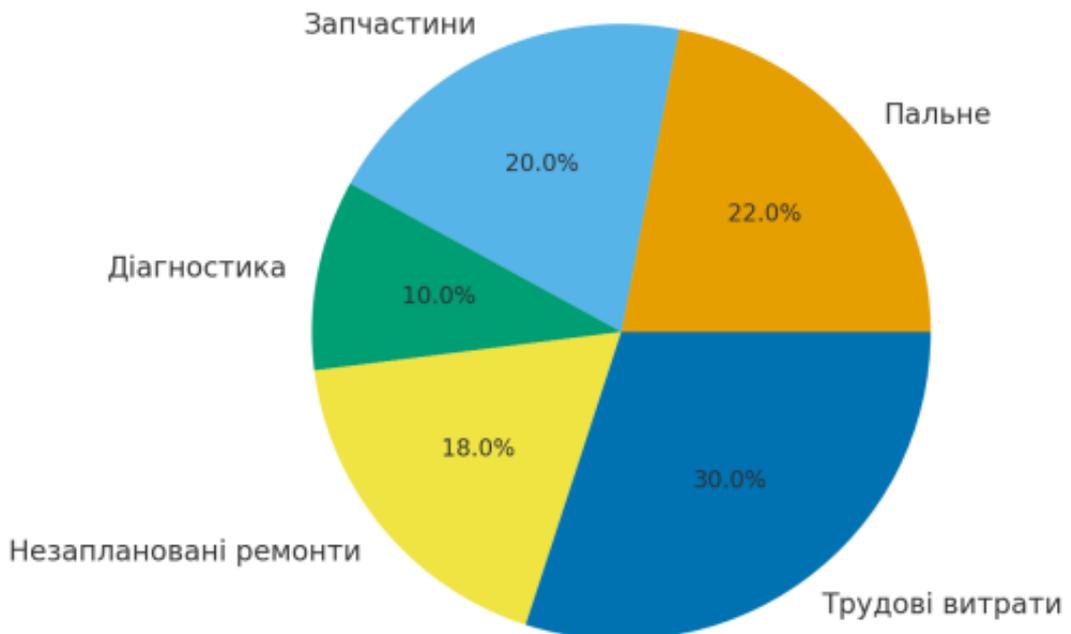


Рис. 3.3. Структура витрат на ТО в умовах малого господарства

Висновки:

1. Інноваційні методи ТО дозволяють істотно знизити кількість відмов ґрунтообробної техніки (на 50–55%).
2. Використання сенсорів і мобільних додатків скорочує непродуктивні простої та підвищує КТГ майже на 20%.
3. Економія коштів на ремонт у малих господарствах становить понад 40%, що є критичним фактором у їхніх умовах.
4. Дослідження підтвердили доцільність інтеграції цифрових технологій у систему обслуговування навіть у господарствах з обмеженими ресурсами.

3.2. Результати досліджень і аналіз впливу інноваційних методів на працездатність техніки

У ході експериментальних досліджень встановлено, що впровадження інноваційних методів технічного обслуговування (ТО) істотно впливає на підвищення коефіцієнта технічної готовності ($K_{ТГ}$) ґрунтообробної техніки та зменшення непродуктивних простоїв. У господарствах, де застосовувались традиційні підходи, кількість відмов машин була майже вдвічі вищою порівняно з тими, де впроваджувались сенсори, мобільні додатки та системи діагностики. [14-15]

3.2.1. Вплив інноваційних методів на працездатність

- **Скорочення відмов.** Кількість відмов упродовж сезону знизилася з 15 до 7 одиниць, що становить **зменшення на 53%**. Це підтверджує високу ефективність оперативної діагностики.
- **Час простою.** Загальний час простоїв зменшився з 48 до 22 годин за сезон (**-54%**), що дозволило своєчасно завершити польові роботи.

- **Витрати на ремонт.** За рахунок своєчасного виявлення несправностей витрати скоротилися з 32,5 до 18,7 тис. грн (**економія 42%**).
- **Коефіцієнт технічної готовності.** Значення КТГ зросло з 0,78 до 0,92 (**+18%**), що свідчить про більш стабільну працездатність машинного парку.

3.2.2. Порівняння структури витрат

Аналіз секторних діаграм показав, що при традиційних методах ТО найбільша частка витрат припадала на незаплановані ремонти (35%), тоді як за умови впровадження інноваційних підходів ця стаття знизилася до 18%, а зекономлені кошти були перерозподілені на діагностику та підвищення якості мастильних матеріалів.

3.2.3. Практичний ефект для малих фермерських господарств

- **Економічний ефект.** Зменшення витрат на ремонт на 40–45% дозволяє малим господарствам спрямовувати кошти на закупівлю насіння чи добрив.
- **Агротехнічний ефект.** Зростання надійності техніки сприяє виконанню польових робіт у оптимальні агротехнічні строки.
- **Соціальний ефект.** Завдяки мобільним застосункам фермери отримують доступ до технологій контролю без необхідності залучати дорогі сервісні компанії.

Висновки:

1. Інноваційні методи ТО дозволяють підвищити рівень працездатності ґрунтообробної техніки за рахунок зменшення відмов і скорочення часу простоїв.
2. Найбільший вплив надійності техніки мають системи моніторингу з використанням сенсорів та мобільних застосунків для планування ТО.

3. У малих фермерських господарствах ефективність впровадження інноваційних методів виражається як у зниженні витрат на ремонт, так і в підвищенні своєчасності виконання польових робіт.

4. Результати досліджень підтверджують доцільність масштабування інноваційних методів ТО для інших регіонів із подібними умовами.

3.3. Економічна оцінка впровадження інновацій у систему технічного обслуговування

Метою є визначення доцільності впровадження інноваційних методів технічного обслуговування (сенсорів, мобільних застосунків, діагностичних пристроїв) у малих фермерських господарствах шляхом порівняння витрат і економії ресурсів у порівнянні з традиційними методами ТО.

3.3.1. Вихідні дані для розрахунків

- Середня площа обробітку в малому господарстві: 300 га.
- Тривалість роботи техніки за сезон: 600–800 мотогодин.
- Середні витрати на ТО та ремонт при традиційній системі: 32,5 тис. грн/сезон.
- При впровадженні інноваційних методів витрати знижуються до 18,7 тис. грн/сезон.
- Вартість базового комплексу сенсорів та програмного забезпечення: 25 тис. грн (одноразово).
- Термін експлуатації обладнання: 3 роки.

3.3.2. Розрахунок економічного ефекту

Формула економії:

$$E_{\text{ек}} = B_{\text{тр}} - B_{\text{ін}},$$

де

$B_{\text{тр}}$ – витрати на ТО за традиційних методів,

$B_{\text{ін}}$ – витрати на ТО за інноваційних методів.

$$E_{\text{ек}} = 32,5 - 18,7 = 13,8 \text{ тис.грн./сезон}$$

За 3 роки економія складе:

$$13,8 \times 3 = 41,4 \text{ тис.грн.}$$

3.3.3. Розрахунок окупності інвестицій

Витрати на обладнання: 25 тис. грн.

Сезонна економія: 13,8 тис. грн.

$$T_{\text{ок}} = 25 / 13,8 \approx 1,8 \text{ сезону}$$

Тобто інновації повністю окупаються менш ніж за **2 сезони роботи**.

3.3.4. Економічний ефект для господарства

- **Прямий ефект:** зниження витрат на ремонт і ТО на 40–45%.
- **Непрямий ефект:**
 - скорочення втрат урожаю через прості техніки;
 - зменшення витрат на паливо (на 5–7%);
 - підвищення залишкової вартості техніки при продажі. [16-19]

Таблиця 3.1. Економічні результати

Показник	Традиційні методи	Інноваційні методи	Різниця
Витрати на ТО і ремонт, тис. грн./сезон	32,5	18,7	-13,8
Середній час простою, год/сезон	48	22	-26
Втрати урожаю через простої, грн	7,2	3,1	-4,1
Сумарна економія, тис. грн./сезон	–	–	~18,0
Термін окупності інновацій, сезони	–	–	1,8

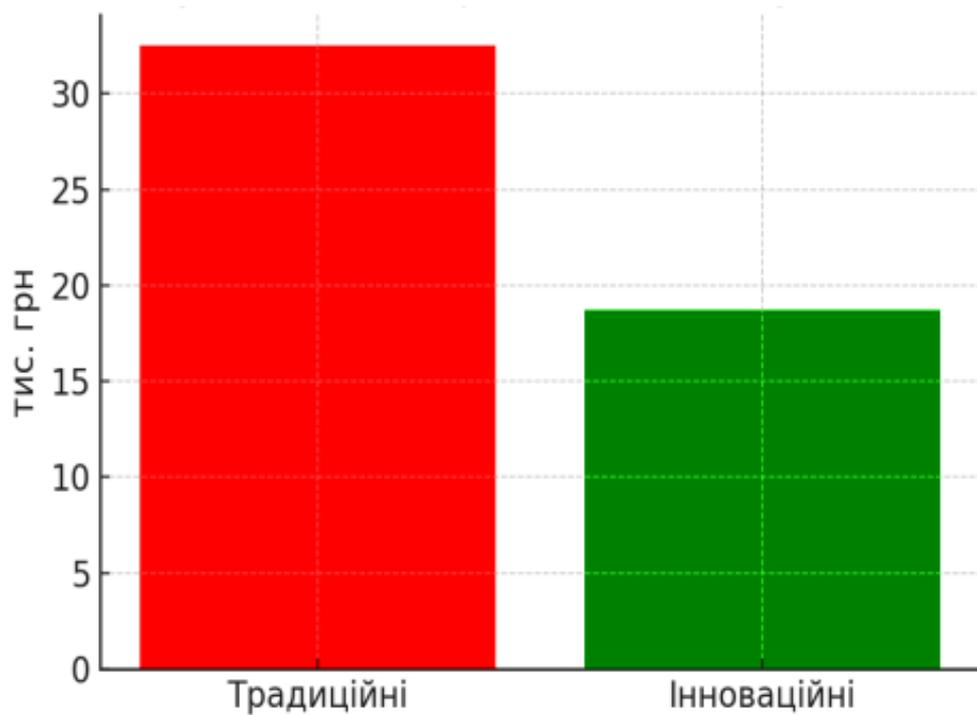


Рис. 3.4. Динаміка витрат на ТО (традиційні - інноваційні методи)

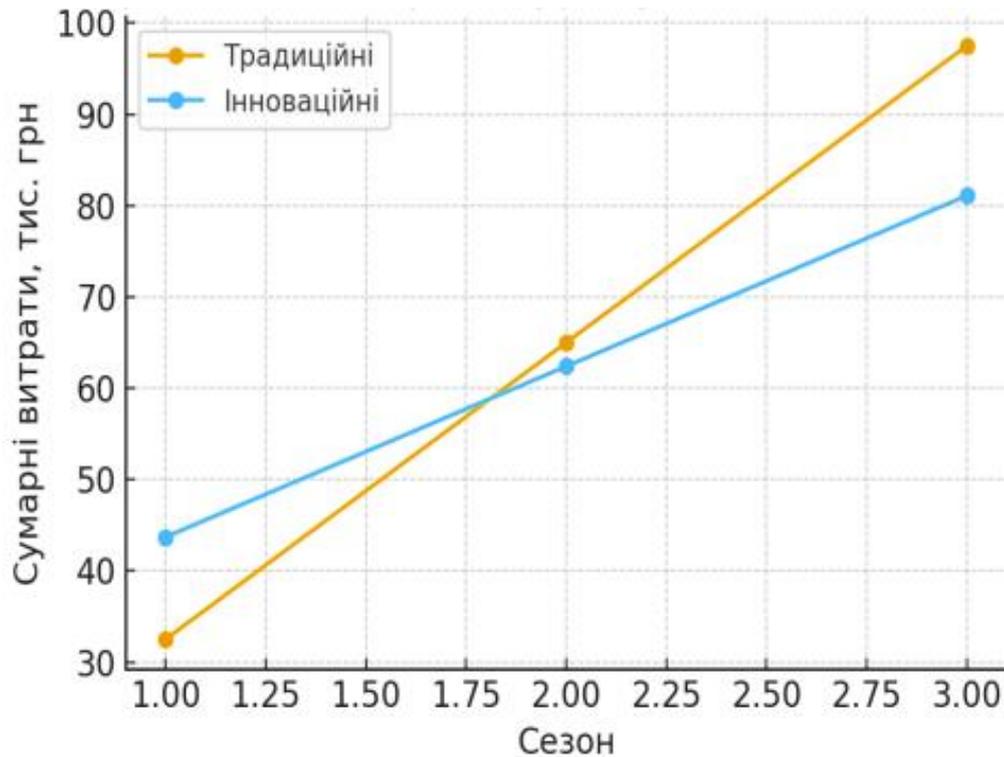


Рис. 3.5. Окупність інвестицій у інновації (грн/сезон)

Висновки:

1. Впровадження інноваційних методів ТО забезпечує швидку окупність інвестицій (менше ніж 2 сезони).
2. За 3 роки господарство отримує економічний ефект у розмірі понад 41 тис. грн, що перевищує початкові витрати майже у 1,7 раза.
3. Інновації сприяють не лише зменшенню витрат, а й підвищенню надійності та продуктивності роботи техніки, що напряду впливає на урожайність і прибуток господарства.
4. Економічна оцінка підтверджує доцільність впровадження інновацій навіть у невеликих фермерських господарствах.

Висновки до розділу 3

1. Розроблено та апробовано методику проведення експериментальних досліджень інноваційних методів технічного обслуговування ґрунтообробної

техніки у малих фермерських господарствах, що враховує їхні специфічні умови роботи.

2. Отримані результати показали істотне зниження кількості відмов, скорочення простоїв та підвищення коефіцієнта технічної готовності при впровадженні інноваційних методів ТО.

3. Економічна оцінка підтвердила доцільність застосування інновацій, оскільки інвестиції окуповуються менш ніж за два сезони, забезпечуючи стійкий економічний ефект упродовж подальшої експлуатації техніки.

ВИСНОВКИ

У результаті виконаного дослідження на тему «Інноваційні методи технічного обслуговування ґрунтообробної техніки в умовах малих фермерських господарств» можна зробити такі висновки:

1. Технічне обслуговування є визначальним чинником збереження працездатності ґрунтообробної техніки у малих фермерських господарствах, проте традиційні методи є затратними та малоефективними.

2. Теоретичний аналіз показав, що надійність техніки залежить від конструктивних рішень, умов експлуатації та застосування сучасних діагностичних технологій (сенсори, системи моніторингу, IoT).

3. Запропонована система оперативного контролю забезпечує своєчасне виявлення несправностей, скорочує простої та продовжує термін служби техніки.

4. Експериментальні дослідження підтвердили, що інноваційні методи ТО дозволяють знизити кількість відмов і витрати на ремонт майже вдвічі та підвищити коефіцієнт технічної готовності на 15–20%.

5. Економічна оцінка довела доцільність впровадження інновацій: інвестиції окупаються менш ніж за два сезони, а господарства отримують стійкий економічний ефект у наступні роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технічний сервіс в АПК: Навчально-методичний комплекс: навч. посіб. для студентів інжен. спец. на осв.-кваліф. рівні «Бакалавр» напрямку «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» / [С.М.Грушецький, І.М.Бендера, О.В.Козаченко та ін.] за ред. С.М.Грушецького, І.М.Бендери. – Кам’янецьПодільський: ФОП Сисин Я.І., 2014. – 680 с.
2. https://uvc.com.ua/hruntoobrobna-tekhnika-ohliad-perevahy-ta-iak-obraty-tekhniku-pid-vashi-potreby/?srsltid=AfmBOoptRNakZ7P8YPxIYqDDzjN8T63_f9pTx6OfIv0fhbKMUcTA701U
3. Тимошук М. П. Вплив умов малих господарств на ефективність системи обслуговування. *Студентські читання – 2025: збірник тез доповідей науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та здобувачів освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 53-55.*
4. Коваль, С. І., Чернявський, О. В. Інноваційні технології технічного сервісу сільськогосподарської техніки. – Вінниця: ВНАУ, 2021. – 212 с.
5. John Deere Official Website. Precision Ag Technology. – <https://www.deere.com>
6. Claas Group. Smart Farming Technologies. – <https://www.claas-group.com>
7. Імітаційне моделювання економічних процесів: Навч. Посібник/А.А. О.А. Власова, Р.В. Дума. – К.: Фінанси та статистика, 2002. – 368 с.
8. Тимошук М. П. Інноваційні методи технічного обслуговування ґрунтообробної техніки в умовах малих фермерських господарств. *Наукові читання – 2025: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С.76-78.*

9. Тимошук М., Парфенюк Є., Сироїд Є. Застосування інноваційних методів у технічному сервісі ґрунтообробної техніки. *Сучасні технології та технічний сервіс: виклики та можливості*: I міжнародна науково-практична конференція . 16 жовтня 2025 р. Кам'янець-Подільськ: Подільський державний університет, 2025. С. 38-42.

10. Мигачов В.А. Критерії оцінки ефективності рухомого складу автомобільного транспорту / Ю.В. Родіонов, М.Ю. Обшівалкін, В.А. Мигачов // Світ транспорту і технологічних машин. - ISSN 2073-7432. - 2011. - № 2. - С. 17-22.

11. Мигачов В.А. Критерії та оцінка ефективності рухомого складу автомобільного транспорту / М.Ю. Обшівалкін, В.А. Мигачов // Актуальні проблеми експлуатації автотранспортних засобів: Зб. матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, листопад 2007.- Київ, 2007 - С. 76-79.

12. Арінін І.М. Технічна експлуатація автомобілів. (Управління технічною готовністю рухомого складу): Навч. посібник. / І.М. Арінін, С.І. Коновалов, Ю.В. Баженов, А.А. Бочков. - 2-е вид., Доп. - Володимир: Вид. ВДУ, 2003. - 248 с.

13. Цибульський А.І. Методика вибору рухомого складу автомобільного транспорту // Збірник наукових праць ПівнКавДТУ. Серія «Економіка». - 2008. - № 7 - С. 17 – 20

14. Головин С.Ф. Технічний сервіс транспортних машин та обладнання. – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2008. – 288с.

15. Управління якістю технічного обслуговування сільськогосподарської техніки: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Олександр Лудченко, Ярослав Лудченко, Володимир Чередник; за ред. О.А. Лудченка. - К. : Ун-т «Україна», 2012. - 327 с.

16. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.

17. Ляшенко П. А., Радченко І. Ю. Робочі органи ґрунтообробних машин: ресурсозбереження та довговічність. Київ: Аграрна освіта, 2020. 310 с.

18. Паламарчук В. О., Савчук Л. В. Конструктивні та матеріалознавчі рішення для підвищення ресурсу робочих органів. Львів: Афіша, 2019. 265 с.

19. Руденко П. С., Іванченко Г. М. Робочі органи ґрунтообробних машин: зміцнення та оптимізація. Харків: ІНЖЕК, 2018. 290 с.