

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет **інженерно-технологічний**

Кафедра **агроінжинірингу**

Ступінь вищої освіти «**Магістр**»

Спеціальність **208 Агроінженерія**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
агроінжинірингу

Михайло ШУЛЯК

“06” вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу
Олексію НЕМЧЕНКУ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Оптимізація роботи системи технічного обслуговування через впровадження дистанційної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів
2. Керівник кваліфікаційної роботи: Сергій ХАРЧЕНКО, д.т.н., доцент
3. Строк подання здобувачем роботи: «__» _____ 2025 року.
4. Вихідні дані до роботи: 1. Науково-технічна література. 2. Літературні джерела інформації та Інтернет ресурси. 3. Монографії, тощо за темою наукового дослідження. 4. Методичні рекомендації до виконання проекту (роботи).
5. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1 Загальний стан питання. 2. Методологія дослідження 3. Експериментальна система безперервної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів. 4 Охорона праці. 5. Економічне обґрунтування роботи. Загальні висновки. Список літературних джерел.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація

Керівник роботи:

(підпис)

Сергій ХАРЧЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Олексій НЕМЧЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата отримання завдання «06» вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Збір інформації про діяльність господарства	до 02.08.2025 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 16.08.2025 р.	
3.	Складання плану роботи	до 21.08.2025 р.	
4.	Написання вступу	до 24.08.2025 р.	
5.	Підготовка розділу «Розділ 1 Аналіз ефективності використання посівних агрегатів та методи її підвищення»	до 30.08.2025р.	
6.	Підготовка розділу «Розділ 2 Удосконалення посіву за технологією PRECISION PLANTING: ефективні методи підвищення якості»	до 19.09.2025 р.	
7.	Підготовка розділу «Розділ 3 Експериментальна частина»	до 03.10.2025 р.	
8.	Підготовка розділу «Розділ 4 Охорона праці»	до 08.10.2025 р.	
9.	Підготовка розділу «Розділ 5 Економічне обґрунтування роботи»	до 20.10.2025 р.	
10.	Написання висновків та пропозицій	до 25.10.2025 р.	
11.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2025 р.	
12.	Подання роботи на рецензування	до 07.11.2025 р.	
13.	Подання до попереднього захисту	до 14.11.2025 р.	

Керівник роботи:

(підпис)

Сергій ХАРЧЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач

(підпис)

Олексій НЕМЧЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Немченко О.П. **Оптимізація роботи системи технічного обслуговування через впровадження дистанційної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів.** Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра з спеціальності 208 Агроінженерія за освітньою програмою «Системи точного землеробства». – Сумський національний аграрний університет, Суми.- 2025.

Кваліфікаційна робота зосереджена на дослідженні та розробці експериментальної системи безперервної дистанційної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів. Система забезпечує постійний моніторинг та обмін технічною інформацією під час експлуатації.

Дослідження проводилися безпосередньо в польових умовах. Використовувались спеціальні моделі, що враховують специфіку технологічних процесів, а також методи теорії масового обслуговування, експериментів та спостережень. Основні результати роботи: створено структуру системи діагностики, яка включає чотири групи взаємопов'язаних параметрів-маркерів (швидкісні, навантажувальні, тягово-зчіпні). Це забезпечує ефективну роботу трактора в складі машинно-тракторного агрегату (МТА). Запропонована система дозволяє значно розширити можливості використання сільськогосподарських агрегатів, машин та знарядь, а також скоротити час простоїв та ремонту. Результати підтверджують, що використання дистанційних методів діагностики є ефективним інструментом для підвищення надійності сільськогосподарської техніки та оптимізації витрат на її обслуговування, що сприяє сталому розвитку агропромислового комплексу.

Ключові слова: технічне обслуговування, дистанційна діагностика, система прогнозування, контролер, телематика. технічний стан МТА

ABSTRACT

Nemchenko O.P. **Optimization of the maintenance system through the implementation of remote diagnostics and forecasting the technical condition of tractors.** Master's thesis for the degree of Master in specialty 208 Agri-engineering, educational program "Precision Farming Systems". – Sumy National Agrarian University, Sumy. - 2025.

The qualification thesis focuses on the research and development of an experimental system for continuous remote diagnostics and prediction of the technical condition of tractors. The system provides real-time monitoring and exchange of technical information during operation.

The research was carried out under field conditions. Special models accounting for the specifics of technological processes were employed, along with methods of queuing theory, experimental design, and field observations. The main outcomes of the study include the development of a diagnostic system architecture comprising four groups of interrelated marker parameters (speed-related, load-related, and traction–coupling). This structure ensures efficient tractor performance within a machine–tractor aggregate (MTA).

The proposed system significantly expands the functionality of agricultural aggregates, machinery, and implements, while reducing downtime and repair periods. The findings confirm that the application of remote diagnostic methods is an effective tool for enhancing the reliability of agricultural machinery and optimizing maintenance costs, thereby contributing to the sustainable development of the agro-industrial sector.

Keywords: maintenance, remote diagnostics, prediction system, controller, telematics, technical condition of MTA

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Розділ 1 Загальний стан питання	8
1.1 Сучасні підходи до технічного обслуговування тракторів...	8
1.2 Основні системи дистанційної діагностики.....	11
1.3 Переваги сучасних підходів.....	15
1.4 Обґрунтування вибору теми дипломної роботи.....	16
Розділ 2 Методологія дослідження.....	19
2.1 Опис системи дистанційної діагностики тракторів.....	19
2.2 Методи та засоби діагностування технічного стану елементів трактора.....	22
2.3 Безперервна діагностика та прогнозування технічного стану тракторів.....	26
Розділ 3 Експериментальна система безперервної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів.....	29
3.1 Аналіз вимог до діагностичної системи.....	29
3.2 Матеріали та методи дослідження	31
3.3 Результати експериментальних досліджень та їх аналіз.....	33
Розділ 4 Охорона праці.....	48
4.1 Загальні положення.....	48
4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів та заходи безпеки праці.....	49
Розділ 5 Економічне обґрунтування роботи.....	51
5.1. Мета економічного обґрунтування.....	51
5.2 Економічні розрахунки.....	51
Загальні висновки.....	55
Список використаних джерел.....	57
Додатки	

ВСТУП

Стрімкий розвиток агропромислового комплексу та впровадження сучасних технологій у сільське господарство вимагають переосмислення традиційних підходів до обслуговування техніки. Ефективність агропідприємств безпосередньо залежить від надійності та безперебійної роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА). Застарілі методи планово-попереджувального технічного обслуговування часто призводять до необґрунтованих витрат, збільшення простоїв техніки та, як наслідок, до зниження продуктивності. Це створює нагальну потребу в розробці та впровадженні інноваційних рішень, здатних забезпечити своєчасну діагностику та прогнозування технічного стану машин.

Актуальність цієї роботи зумовлена необхідністю переходу від реактивного обслуговування, що реагує на вже наявні несправності, до проактивної стратегії, яка базується на безперервному моніторингу та аналізі даних. Використання дистанційної діагностики та телекомунікаційних технологій дозволяє отримувати інформацію про стан тракторів у режимі реального часу, що дає можливість передбачати можливі відмови, планувати технічне обслуговування та ремонт з мінімальними втратами часу та ресурсів. Такий підхід не тільки підвищує надійність техніки, а й оптимізує логістичні та фінансові витрати агропідприємств.

Метою даної кваліфікаційної роботи є оптимізація системи технічного обслуговування тракторів через розробку та впровадження інноваційної системи дистанційної діагностики й прогнозування технічного стану.

Для досягнення поставленої мети було визначено наступні **завдання**:

1. Проаналізувати сучасні підходи до технічного обслуговування та діагностики тракторів, визначити їхні переваги та недоліки.
2. Дослідити можливості використання дистанційних технологій для моніторингу параметрів роботи сільськогосподарської техніки.
3. Розробити експериментальну систему безперервної діагностики та

прогнозування несправностей МТА, що базується на ключових параметрах-маркерах.

4. Провести польові випробування розробленої системи та обґрунтувати її ефективність у реальних умовах експлуатації.

5. Сформулювати практичні рекомендації щодо впровадження системи дистанційної діагностики на агропідприємствах для оптимізації витрат і підвищення надійності техніки.

Наукова новизна роботи полягає в розробці комплексного підходу до діагностики, що поєднує безперервний моніторинг, прогнозування відмов та адаптивне планування технічного обслуговування. Це дозволить аграріям суттєво підвищити ефективність використання техніки та сприятиме сталому розвитку агропромислового комплексу в цілому.

Загальна характеристика змісту роботи: 5 розділів, 2 додатків, 60 сторінок друкованого матеріалу, кількість ілюстрацій 22 шт., таблиць 5 шт., список використаних джерел 27 шт.

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПИТАННЯ

1.1 Сучасні підходи до технічного обслуговування тракторів

У сучасному аграрному виробництві активно розвиваються підходи, які трансформують обслуговування тракторів з «реактивного» у «прогнозуюче» та «віддалене». Нижче наведено ключові концепції і рішення.

Телематичні системи (GPS-трекінг, сенсори, передача даних) дозволяють у режимі реального часу отримувати параметри тракторів: геолокацію, температуру, рівні палива та змащення, витрати та інші показники. За допомогою таких платформ, як Landini Fleet Management, McCormick Fleet Management чи John Deere Connected Support, можна дистанційно моніторити технічний стан та оперативно реагувати на збої ще до виникнення серйозної аварії [1].

Приклади впровадження:

- Landini із системами телеметрії і теле-діагностики, що дозволяють майстерням оперативно реагувати на відхилення в роботі машин [2].

- McCormick із порталом Fleet Management і телематичною системою TGU-R, що дає змогу проводити дистанційну діагностику та навіть оновлення ПЗ [3].

Інтелектуальні системи технічного обслуговування (IMS)

IMS (Intelligent Maintenance Systems) - це комплексні рішення, які інтегрують збирання, аналіз даних, прогностичні алгоритми та рекомендації для обслуговування. Це «закрите кільце» уважного управління технічним станом техніки

Академічні підходи: прогнозування RUL

Своєчасне виявлення та запобігання несправностям сільськогосподарської техніки є ключовими підходами до зниження витрат на технічне обслуговування, а також до оновлення та заміни обладнання, а також до зниження витрат на вирощування сільськогосподарських культур. Дослідження, зокрема українське (Львівська Політехніка), використовують телеметрію, історію обслуговування і геопросторові дані для прогнозу залишкового ресурсу (Remaining Useful Life, RUL) тракторів — з використанням алгоритмів LSTM мереж [4].

Синтез: від даних до рішень

Сучасні підходи передбачають збір великих обсягів даних із машин, їх аналіз (телеметрія, IoT, AI), і автоматичне прийняття рішень щодо обслуговування. Це перетворює процес з реактивного на проактивний, що економить час, ресурси та мінімізує ризики простоїв.

В останні роки підходи до технічного обслуговування тракторів зазнали суттєвої трансформації. Якщо раніше основними моделями були планово-попереджувальне та реактивне обслуговування, то зараз пріоритет надається інтелектуальним системам дистанційного моніторингу та прогнозування, здатним працювати у режимі безперервного збору та аналізу даних від техніки в реальних умовах експлуатації.

Дистанційна безперервна діагностика

Сучасні телематичні та IoT-рішення забезпечують постійний зв'язок між машино-тракторним агрегатом (МТА) та сервісним центром через мобільний або супутниковий зв'язок. Датчики, встановлені на вузлах та агрегатах трактора, у режимі реального часу зчитують і передають такі параметри:

- частоту обертання колінчастого вала;
- температуру охолоджуючої рідини та масла;
- тиск у гідросистемі;
- витрати палива;
- вібраційні характеристики;
- тягове зусилля.

При зміні тягового навантаження система фіксує відхилення від номінальних режимів і передає ці дані до хмарного сервісу або сервісної станції. Це дозволяє виявляти потенційні несправності ще до їх критичного розвитку та проводити превентивні заходи без зупинки виробничого процесу [2, 3].

Прогнозування технічного стану під час роботи

На відміну від класичного «predictive maintenance», що ґрунтується на даних, зібраних у періодичному режимі, прогнозування технічного стану МТА

відбувається під час його руху і при зміні навантажень. Це дозволяє:

- враховувати вплив агротехнічних умов (тип ґрунту, вологість, рельєф);
- оцінювати роботу двигуна і трансмісії при реальних тягових зусиллях;
- прогнозувати момент настання граничного стану вузлів з урахуванням

динамічних навантажень [6].

Для цього використовуються алгоритми обробки стрімінгових даних, що надходять із сенсорів у режимі реального часу, та математичні моделі навантажень.

Інтеграція з сервісною інфраструктурою

Системи безперервної дистанційної діагностики не працюють ізольовано - вони інтегровані з:

- сервісними платформами виробників тракторів (John Deere Connected Support, AGCO Fuse, New Holland PLM Connect);
- автоматизованими системами управління ТО;
- мобільними застосунками для інженерів та механізаторів.

Завдяки цьому сервісні центри отримують повідомлення про відхилення та можуть формувати індивідуальні плани обслуговування для кожної машини з урахуванням фактичних умов експлуатації.

Врахування змін тягового навантаження

Дослідження вказують, що робота тракторів у полі супроводжується значними коливаннями тягового навантаження залежно від:

- типу ґрунту та його вологості;
- глибини та ширини обробітку;
- швидкості руху;
- конструкції знаряддя.

У традиційних системах ТО ці фактори майже не враховуються, але в системах динамічного прогнозування вони є ключовими, адже перевантаження навіть короткочасно можуть значно зменшити залишковий ресурс вузлів [4].

Переваги впровадження безперервної дистанційної діагностики з

прогнозуванням

- Мінімізація простоїв - відхилення фіксуються і усуваються до поломки.
- Раціональне використання ресурсів - ТО проводиться лише за потреби, а не за календарним планом.
- Оптимізація навантажень - система допомагає механізатору підтримувати оптимальний робочий режим.
- Підвищення безпеки - своєчасне виявлення критичних станів зменшує ризик аварійних ситуацій.

1.2 Основні системи дистанційної діагностики

У сучасному аграрному секторі велике поширення отримали телематичні платформи, які забезпечують дистанційний моніторинг і діагностику технічного стану тракторів. Нижче описані ключові з них.

JDLink - це телематична система John Deere (див. рис.1.1), яка збирає дані з машин (місцезнаходження, витрата палива, код несправності, продуктивність) і передає їх через мобільну мережу до хмарної платформи - Operations Center [7,8]. Це дозволяє:

- віддалено діагностувати засоби й отримувати повідомлення про неполадки в реальному часі;
- планувати обслуговування, замовляти запчастини, переглядати історію продуктивності;
- поділ даними з дилерами, агрономами чи іншими радниками для оперативної підтримки [8].
- JDLink Boost, додаткова опція, забезпечує супутникове з'єднання в умовах слабкого мобільного покриття, що дозволяє безперервно обмінюватися даними, навіть у віддалених полях [8].



Рисунок 1.1 - Телематична система від John Deere JD Link, принцип роботи

Система AFS (Advanced Farming Systems) від Case IH інтегрує телеметрію, моніторинг роботи двигуна, витрати палива та агрономічну інформацію в реальному часі. Вона дозволяє оптимізувати робочі параметри техніки, здійснювати віддалений аналіз продуктивності та проводити необхідні корекції [9].



Рисунок 1.2 - Система точного землеробства від Case IH AFS (Advanced Farming Systems) [9]

PLM представляє собою екосистему рішень прецизійного землеробства від New Holland. Сюди входить:

- дисплей IntelliView IV Plus для моніторингу параметрів техніки;
- FieldOps, що дозволяє віддалено контролювати і управляти технікою та агрономічними даними з телефону чи комп'ютера;
- RTK+, що забезпечує точне позиціонування машини;
- програмні модулі для навігації, планування маршрутів і збору даних у реальному часі [10].



Рисунок 1.3 Платформа від New Holland PLM (Precision Land Management) [10]

AMS (Ag Management Solutions) - це розроблена компанією John Deere платформа, що надає інструменти для контролю та управління технічним станом сільськогосподарської техніки, а також інтегрується з технологіями точного землеробства. Система дає змогу здійснювати віддалене керування даними, що підвищує точність діагностики й ефективність прогнозування можливих несправностей. Хоча AMS - це радше індустріальне рішення для управління приладами, воно демонструє підхід до прогностичної діагностики, калібрування та конфігурації обладнання на базі відкритих стандартів - концепції, які можуть бути адаптовані для тракторних систем дистанційного моніторингу [11].



Рисунок 1.4 - Платформа від John Deere AMS (Ag Management Solutions) [11]

Багато виробників с/г техніки (таких як AGCO, New Holland, CLAAS) мають власні аналоги - Fuse, PLM Connect, AMS, які по суті є екосистемами для дистанційного моніторингу, агрономічної аналітики, навігації та діагностики.

Надамо порівняльну характеристику систем в табл.1.1

Таблиця 1.1 - Порівняльна таблиця систем дистанційної діагностики

Система	Особливості
JDLink / Operations Center	Телеметрія, діагностика, аналіз продуктивності, супутникове з'єднання
AFS (Case IH)	Інтегрований моніторинг тех. стану й агрономічної діяльності
PLM (New Holland)	Навігація, дисплеї, мобільний моніторинг, RTK-корекції
AMS Device Manager	Прогнозна діагностика, калібрування, стандартизовані рішення

Системи дистанційної діагностики тракторів стають невід'ємною частиною сучасного сільськогосподарського виробництва. JDLink, AFS, PLM та

подібні платформи надають можливість реального часу збирати й аналізувати технічні та агрономічні дані, що дає змогу переходити від реактивного обслуговування до прогнозного.

Прогнозування термінів технічного обслуговування

Використання дистанційної діагностики дає змогу завчасно визначати потребу у проведенні технічного обслуговування, спираючись на аналіз отриманих показників і застосування спеціалізованих математичних алгоритмів. Такий підхід дозволяє точно встановити оптимальний момент для обслуговування окремих вузлів трактора, зокрема двигуна, гідравлічної системи чи трансмісії. Це сприяє запобіганню аварійним зупинкам і зменшенню витрат, пов'язаних із ремонтом.

1.3 Переваги сучасних підходів

Інтеграція дистанційної безперервної діагностики та систем прогнозування технічного стану тракторів, що отримують і обробляють дані безпосередньо від датчиків машинно-тракторних агрегатів (МТА) під час роботи зі змінним тяговим навантаженням, забезпечує низку суттєвих переваг у сфері технічного обслуговування та експлуатації сільськогосподарської техніки.

1. Зменшення експлуатаційних витрат. Використання алгоритмів прогнозової аналітики на основі телематичних даних дозволяє точно визначати момент, коли необхідно виконати ремонт або заміну певного вузла. Це усуває потребу у проведенні зайвих регламентних робіт та скорочує витрати на запасні частини, мастильні матеріали й оплату простоїв.

2. Підвищення надійності та довговічності техніки. Безперервний моніторинг роботи двигуна, гідравлічної системи, трансмісії та інших ключових елементів трактора дає змогу виявляти початкові ознаки відхилень від номінальних параметрів. Рання діагностика попереджає розвиток критичних несправностей, що значно знижує ризик поломок у польових умовах.

3. Оптимізація режимів використання МТА. Завдяки об'єктивним даним від датчиків та їх автоматичному аналізу оператори й інженери отримують

можливість планувати завантаження техніки, враховуючи її реальний стан і залишковий ресурс. Це дозволяє збільшити ефективний час роботи агрегатів та покращити їх продуктивність у виробничих циклах.

4. Скорочення простоїв та підвищення коефіцієнта технічної готовності.

Прогнозування потреби в технічному обслуговуванні забезпечує своєчасне виконання ремонтних робіт, запобігаючи незапланованим зупинкам під час пікових періодів польових робіт. Це особливо важливо у стислі терміни посівної чи збирання врожаю, коли кожна година простою може призвести до значних втрат.

5. Підтримка прийняття управлінських рішень.

Телематичні платформи, інтегровані з системою дистанційної діагностики, формують аналітичні звіти та візуалізації, що допомагає інженерно-технічному персоналу та керівникам господарств ефективно планувати ремонтні бюджети, оновлення парку техніки та логістику її використання.

Таким чином, сучасні підходи до технічного обслуговування тракторів, побудовані на базі дистанційної діагностики, телеметрії та прогнозування технічного стану, не лише підвищують надійність і ресурс машин, але й відкривають можливості для комплексної оптимізації агротехнічних процесів. Це сприяє підвищенню ефективності роботи господарства в цілому, зменшенню витрат і досягненню стабільних виробничих результатів навіть у високонавантажених умовах сільськогосподарського виробництва.

1.4 Обґрунтування вибору теми дипломної роботи

В умовах інтенсивного розвитку агропромислового комплексу України питання підвищення ефективності та надійності роботи сільськогосподарської техніки набуває особливої актуальності. Зростання масштабів механізованих польових робіт, збільшення навантаження на машинно-тракторні агрегати (МТА) та необхідність зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт вимагають застосування інноваційних підходів до управління технічним станом тракторів.

Традиційні методи діагностування та технічного обслуговування, що базуються на регламентних інтервалах, не завжди враховують реальні умови експлуатації, рівень зносу вузлів та агрегатів, а також вплив змінних тягових і навантажувальних режимів. Це призводить до двох основних проблем: передчасного проведення технічних робіт, що збільшує витрати, або запізненого виявлення несправностей, що викликає аварійні зупинки та простої техніки.

Використання систем дистанційної безперервної діагностики та прогнозування технічного стану відкриває нові можливості для вирішення зазначених проблем. Застосування телематичних технологій, аналізу сигналів від датчиків у реальному часі, алгоритмів обробки даних та математичного моделювання дозволяє:

- своєчасно виявляти ознаки відхилень у роботі агрегатів трактора;
- прогнозувати залишковий ресурс його вузлів;
- формувати оптимальні графіки технічного обслуговування;
- скорочувати час простою та підвищувати ефективність роботи МТА.

Актуальність теми магістерської роботи зумовлена не лише технічними перевагами дистанційного діагностування, але й економічними вигодами для аграрних підприємств. Впровадження таких систем дає можливість:

- зменшити витрати на ремонт і обслуговування за рахунок точного визначення моменту заміни або ремонту деталей;
- підвищити коефіцієнт технічної готовності парку техніки;
- покращити планування виробничих процесів, мінімізуючи ризики незапланованих зупинок.

Метою дослідження є розробка та експериментальне обґрунтування системи дистанційної безперервної діагностики і прогнозування технічного стану тракторів, що забезпечує підвищення ефективності та надійності їх експлуатації шляхом оптимізації періодичності технічного обслуговування.

Отже, вибір теми зумовлений необхідністю створення комплексної технології, яка поєднує дистанційне моніторингування, математичне

прогнозування та оптимізацію технічного обслуговування, що забезпечує підвищення надійності та економічної ефективності експлуатації тракторів у сучасних агровиробничих умовах.

Для досягнення мети дослідження, маємо виконати такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих методів технічного обслуговування та дистанційної діагностики тракторів.
2. Вивчити сучасні телематичні системи моніторингу та визначити можливості їх адаптації для тракторної техніки.
3. Розробити концепцію та структуру системи безперервної дистанційної діагностики з використанням датчиків МТА та каналів зв'язку GSM.
4. Створити алгоритми прогнозування технічного стану на основі аналізу робочих параметрів у процесі зміни тягового навантаження.
5. Провести експериментальні дослідження у польових умовах та оцінити ефективність системи.
6. Обґрунтувати оптимальні інтервали технічного обслуговування для забезпечення ресурсозбереження і підвищення надійності техніки.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Опис системи дистанційної діагностики тракторів

Система дистанційної діагностики тракторів являє собою комплексну апаратно-програмну платформу, призначену для безперервного контролю технічного стану основних вузлів та агрегатів сільськогосподарської техніки у режимі реального часу. Основна мета впровадження такої системи полягає у своєчасному виявленні відхилень у роботі машинно-тракторних агрегатів (МТА), запобіганні аварійним відмовам та оптимізації процесів технічного обслуговування й ремонту.

Функціонування системи базується на зборі, передаванні, обробці та аналізі великого масиву інформації, що надходить від інтегрованих датчиків, розташованих на ключових вузлах трактора. Зібрані дані автоматично надходять на централізований сервер або у хмарну інфраструктуру, де відбувається їх аналіз з використанням алгоритмів математичного моделювання, машинного навчання та порівняння з еталонними параметрами роботи.



Рисунок 2.1 - Основні компоненти системи дистанційної діагностики трактора

Архітектура системи включає кілька функціональних компонентів:

- *Датчики та сенсори* – вимірювальні пристрої, які фіксують робочі параметри силового агрегату, трансмісії, гідравлічної системи, ходової частини та допоміжного обладнання. Серед ключових параметрів: температура охолоджувальної рідини, тиск мастила, рівень палива, швидкість обертання колінчатого вала, показники навантаження, вібраційні характеристики та інші маркери технічного стану.

- *Комунікаційний модуль* – пристрій, що забезпечує передачу даних у реальному часі через мобільні мережі стандартів GSM/4G/5G, супутникові канали або Wi-Fi-з'єднання. Модуль може працювати як у безперервному режимі передавання, так і у пакетному форматі з накопиченням даних у буфері.

- *Централізована платформа збору та аналізу даних* – серверна або хмарна система, де інформація з датчиків підлягає обробці. Алгоритми аналізу дозволяють не лише констатувати поточний стан вузлів, а й прогнозувати розвиток потенційних відмов на основі трендів зміни параметрів.

- *Користувацький інтерфейс* – програмний модуль для доступу до інформації з боку оператора, механіка чи керівника господарства. Інтерфейс може відображати діагностичні повідомлення, попереджати про критичні відхилення, пропонувати оптимальні інтервали технічного обслуговування, а також вести архів історії експлуатації техніки.

Принцип роботи системи дистанційної діагностики базується на безперервному моніторингу ключових параметрів із подальшим аналізом отриманих значень. Якщо будь-який з контрольованих показників виходить за межі допустимих норм, система автоматично формує сповіщення та надає рекомендації щодо подальших дій. Такий підхід дозволяє здійснювати технічне обслуговування за фактичним станом (*condition-based maintenance*), а не за календарним графіком, що значно підвищує ефективність експлуатації [6].

Переваги впровадження системи дистанційної діагностики тракторів:

1. Мінімізація простоїв. Завдяки ранньому виявленню відхилень у роботі вузлів можна запобігти раптовим відмовам, які призводять до тривалих зупинок техніки у сезон пікових робіт.

2. Скорочення витрат на ремонт. Своєчасна локалізація проблем дозволяє уникнути комплексних пошкоджень і дорогого відновлення агрегатів.

3. Оптимізація планових робіт. Система формує індивідуальний графік обслуговування з урахуванням реального технічного стану, що дозволяє більш ефективно використовувати ресурси ремонтних підрозділів.

4. Підвищення ефективності використання пального та продуктивності. Правильна експлуатація техніки з урахуванням даних діагностики зменшує витрати енергоносіїв і підвищує продуктивність виконання сільськогосподарських операцій.

На рис. 2.2 зображена графічна блок-схема алгоритму роботи системи дистанційного діагностування енергетичних засобів.

Таким чином, інтеграція систем дистанційної діагностики у структуру технічного обслуговування тракторів створює основу для переходу до інтелектуального управління парком сільськогосподарської техніки, забезпечуючи підвищення її надійності, економічності та довговічності, а також сприяючи зростанню ефективності агропромислового виробництва в цілому.



Рисунок 2.2 – Блок- схема алгоритму роботи системи дистанційної діагностики тракторів

2.2 Методи та засоби діагностування технічного стану елементів трактора

Діагностування технічного стану тракторів є ключовим елементом системи технічного обслуговування, що безпосередньо впливає на якість та своєчасність виконання сільськогосподарських робіт. Ефективність польових операцій значною мірою залежить від справності машинно-тракторних агрегатів (МТА), адже будь-який незапланований простій через поломку може призвести до порушення агротехнічних строків і, відповідно, до зниження врожайності та економічних показників господарства. Впровадження сучасних методів

діагностики дозволяє мінімізувати ризики відмов, забезпечити плановий характер ремонтно-обслуговувальних робіт та підвищити ресурс використання машин [12].

Своєчасне виявлення та усунення несправностей забезпечує:

- Дотримання технологічних строків виконання робіт, що критично для посівної, збирання врожаю та інших сезонних операцій.
- Зменшення часу простоїв техніки внаслідок аварійних поломок.
- Оптимізацію використання ресурсів, зокрема пального, мастильних матеріалів і запасних частин, за рахунок коригування режимів роботи.
- Підвищення продуктивності праці, оскільки техніка працює в оптимальних режимах і потребує менше непланових зупинок.

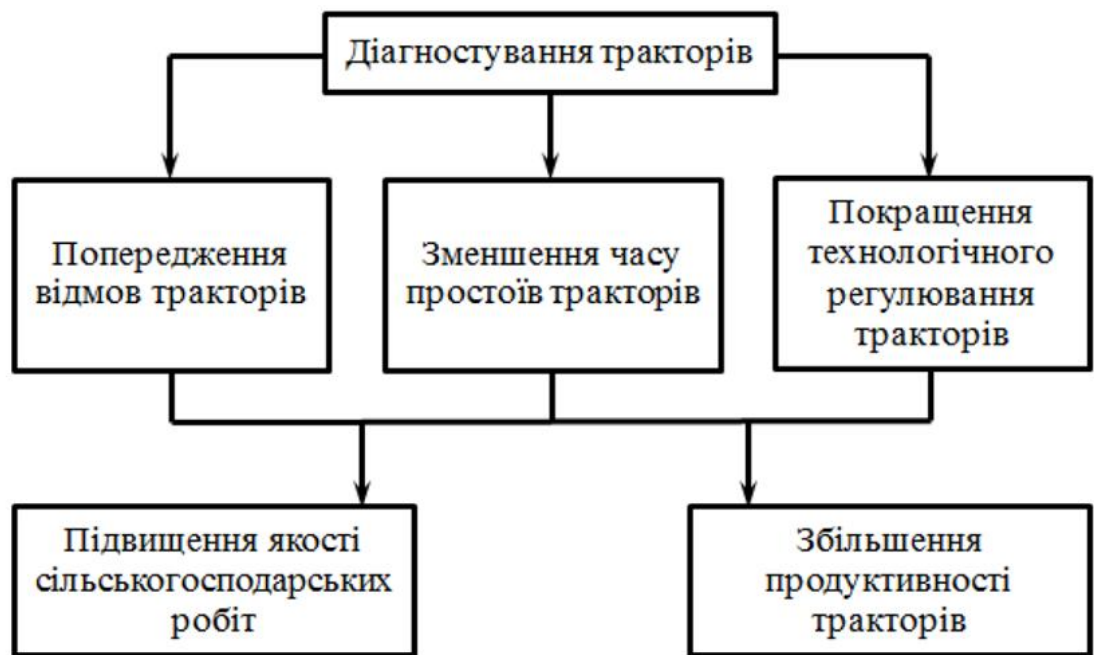


Рисунок 2.3 - Вплив діагностування тракторів на виконання сільськогосподарських робіт

Таким чином, якісне діагностування не лише підтримує належний технічний стан трактора, але й є економічно обґрунтованим інструментом підвищення ефективності агровиробництва.

Методи діагностування технічного стану

У сучасній практиці використовуються кілька основних методів оцінки технічного стану тракторів (рис.2.4)

1. Візуально-органолептичний метод – передбачає перевірку стану вузлів і агрегатів за допомогою органів чуття оператора або механіка. Використовується для первинної оцінки (огляд, прослуховування шумів, відчуття вібрацій, виявлення підтікань рідин).



Рисунок 2.4 – Методи діагностування технічного стану трактора

2. Інструментальний метод – застосування вимірювальних приладів (манометрів, термометрів, тахометрів, люфтомірів тощо) для точного визначення параметрів роботи.

3. Експрес-діагностика – використання портативних діагностичних комплексів та сканерів, що підключаються до електронних систем управління трактора (CAN-шини) для швидкого виявлення помилок.

4. Комп'ютеризована дистанційна діагностика – передача даних від вбудованих датчиків і сенсорів на віддалений сервер, де інформація аналізується програмними алгоритмами з можливістю прогнозування несправностей.

5. Випробувальний метод – виконання спеціальних тестових режимів роботи техніки для оцінки її поведінки під навантаженням та у змінних умовах експлуатації.

Складові процесу діагностування тракторів (див. рис. 2.5)

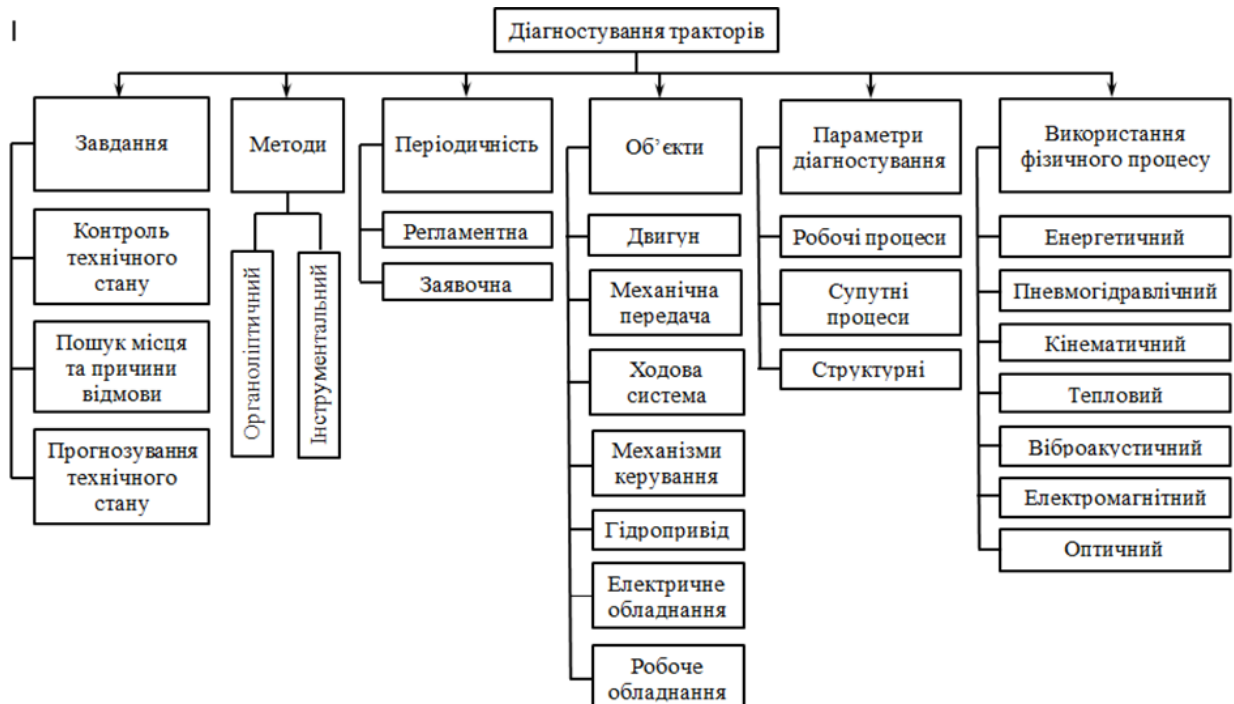


Рисунок 2.5 - Складові процесу діагностування тракторів

Процес діагностики тракторів охоплює велику кількість завдань, методів та об'єктів, серед яких - перевірка різноманітних показників технічного стану, використання фізичних принципів і впровадження новітніх технологій. Грамотно організована діагностика дозволяє своєчасно виконувати та планувати технічне обслуговування і ремонт, підвищує продуктивність роботи машин, зменшує витрати на їх експлуатацію та підсилює надійність обладнання.

Застосування діагностичних методів і засобів для оцінки стану вузлів та агрегатів трактора є важливою складовою сучасного сільськогосподарського виробництва. Поєднання традиційних підходів із новітніми дистанційними технологіями дає змогу ефективно управляти технікою, підвищувати її надійність і економічну доцільність експлуатації. Використання інтелектуальних та віддалених систем контролю значно скорочує витрати на техобслуговування та зменшує ймовірність раптових відмов.

Процес діагностики технічного стану можна розділити на кілька взаємопов'язаних етапів:

1. Підготовчий етап – включає збір вихідних даних про трактор (модель, напрацювання, історія обслуговувань), а також підготовку діагностичного обладнання.

2. Зняття показників – безпосереднє отримання даних з датчиків або вимірювальних приладів (температури, тиску, витрати пального, оборотів двигуна, вібраційних характеристик тощо).

3. Обробка та аналіз даних – порівняння виміряних параметрів з нормативними значеннями, виявлення відхилень і тенденцій до зміни технічного стану.

4. Встановлення діагнозу – визначення причини несправності або прогноз ймовірності її виникнення на основі поточних і попередніх даних.

5. Видача рекомендацій – формування плану ремонтно-обслуговувальних робіт, рекомендацій щодо режимів експлуатації, графіку ТО та заміни деталей.

Використання сучасних методів і засобів діагностування дозволяє суттєво підвищити точність оцінки технічного стану та ефективність управління ресурсом тракторної техніки. Поєднання інструментальних і телематичних технологій забезпечує не лише фіксацію наявних несправностей, але й створює умови для їх прогнозування, що є важливим чинником у стратегії превентивного технічного обслуговування.

2.3 Безперервна діагностика та прогнозування технічного стану тракторів

У сучасних умовах інтенсивної експлуатації сільськогосподарської техніки особливого значення набуває впровадження технологій безперервної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів. Такі підходи дозволяють не лише своєчасно виявляти відхилення у роботі вузлів і агрегатів, а й прогнозувати розвиток потенційних несправностей, що є ключовим фактором підвищення надійності та довговічності машин [4].

Безперервна діагностика передбачає постійний моніторинг основних параметрів роботи трактора у режимі реального часу. Для цього використовуються вбудовані датчики та електронні модулі, які фіксують і передають інформацію про температуру, тиск, частоту обертання, вібрацію, рівень зношування та інші показники. Зібрані дані надходять до центральної обчислювальної системи, де вони аналізуються за допомогою алгоритмів обробки сигналів та методів машинного навчання [6].

Прогнозування технічного стану базується на аналізі накопиченої інформації та виявленні закономірностей зміни параметрів у часі. На основі статистичних моделей або нейронних мереж створюється прогноз щодо залишкового ресурсу роботи окремих вузлів, визначається імовірність виникнення відмов та рекомендовані терміни проведення технічного обслуговування чи ремонту [5].

Перевагами впровадження безперервної діагностики та прогнозування є [6]:

- зменшення кількості позапланових ремонтів;
- оптимізація графіка технічного обслуговування;
- скорочення витрат на ремонт і простої техніки;
- підвищення коефіцієнта технічної готовності тракторів;
- можливість віддаленого контролю технічного стану у великих машинно-тракторних парках.

Практичне впровадження такої системи вимагає інтеграції апаратних засобів збору даних, надійних каналів зв'язку та програмного забезпечення для аналізу й візуалізації результатів. Синергія апаратної та програмної частин забезпечує формування адаптивної системи технічного обслуговування, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни технічного стану та запобігати аварійним ситуаціям [6].

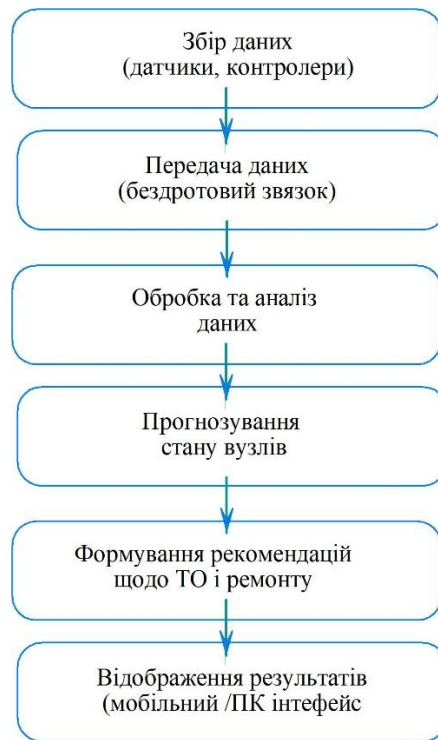


Рисунок 2.6 - Схема алгоритму роботи системи дистанційної діагностики

Впровадження технологій безперервної діагностики та систем прогнозування технічного стану забезпечує низку вагомих економічних переваг [6]:

1. Скорочення витрат на ремонт. Своєчасне виявлення відхилень у роботі вузлів дає змогу виконувати ремонтні заходи на ранніх стадіях зношування, що суттєво зменшує загальні фінансові витрати.

2. Раціоналізація технічного обслуговування. Використання точних прогнозів дозволяє проводити технічне обслуговування виключно за наявності реальної потреби, уникаючи зайвих операцій.

3. Мінімізація простоїв техніки. Завчасне прогнозування можливих відмов запобігає непередбаченим зупинкам машин, що сприяє підвищенню ефективності та продуктивності сільськогосподарських процесів.

Таким чином, безперервна діагностика у поєднанні з прогнозуванням технічного стану є ефективним інструментом оптимізації експлуатації тракторів, сприяє підвищенню їх надійності та економічної ефективності роботи в аграрному виробництві.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА СИСТЕМА БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАКТОРІВ

3.1 Аналіз вимог до діагностичної системи

Сучасний розвиток сільськогосподарського виробництва неможливий без постійного вдосконалення та впровадження новітніх технологій і технічних засобів. Аналіз науково-технічних джерел свідчить, що мехатронні (телематичні) системи стають основою технічного прогресу в сільськогосподарському машинобудуванні. Для мікропроцесорних комплексів діагностика технічного стану є стандартною процедурою, а рівень технологічної інфраструктури аграрного виробництва визначається наявністю таких систем управління та контролю.

Мехатронні системи тракторів можна розглядати як комплекс із трьох взаємопов'язаних підсистем:

- силова частина - механічні вузли, що виконують виконавчі функції;
- інформаційна частина - програмне забезпечення та мікропроцесори, інтегровані у склад машинно-тракторного агрегату (МТА);
- людський фактор - обмежений набір функцій оператора, який забезпечує запуск, зупинку, контроль роботи та втручання в автоматизовану систему керування (САУ) у разі екстрених ситуацій.

У деяких випадках оператор може керувати агрегатом безпосередньо, орієнтуючись на сигнали датчиків або інформацію з дисплея. Однак лише окремі системи здатні до повноцінного самоконтролю. Наприклад, система Motronic (Bosch) виконує самодіагностику систем запалювання та упорскування палива, а інтегровані комплекси типу *Hardware-in-the-Loop* здатні виявляти несправності та відображати коди помилок під час сканування.

На основі аналізу існуючих рішень можна сформулювати ключові вимоги до сучасної діагностичної системи тракторів:

1. Своєчасне інформування про несправності. Система повинна попереджати оператора та власника техніки про відмови основних вузлів або самої діагностичної системи за допомогою індикаторів, дисплея та звукового сигналу. Також має бути можливість автоматичної передачі даних у сервісний центр.

2. Доступ і зберігання технічної інформації. Уся інформація про робочі параметри та виявлені відхилення повинна зберігатися у пам'яті пристрою відповідно до стандартів SAE J1978, SAE J1979 і SAE J2205. Передача даних здійснюється на діагностичний стенд через GSM-канал, після чого фахівці аналізують інформацію та формують алгоритм усунення несправності згідно зі стандартами ISO 9141-3 та ISO 14230-4.

3. Наявність автономних аварійних систем. Безперервний контроль технічного стану дозволяє своєчасно проводити технічне обслуговування, підвищуючи експлуатаційну надійність і економічність роботи. Додатковий мікропроцесор може автоматично виконувати діагностику та надавати оператору рекомендації. Функція звукового оповіщення спрощує роботу в польових умовах.

Дослідження спрямоване на аналіз та розробку системи, здатної виконувати дистанційний постійний моніторинг і прогнозування технічного стану тракторів і сільськогосподарської техніки. Практичне впровадження такої системи дає змогу оптимізувати діагностичний процес МТА та підвищити надійність його роботи.

Безперервна діагностика і прогнозування технічного стану стають важливим інструментом підтримання ефективної та безпечної роботи сучасної агротехніки. У межах концепції точного землеробства така система повинна забезпечувати:

- постійний моніторинг ключових параметрів роботи двигуна та інших вузлів;
- своєчасне виявлення відхилень від норми;

- попередження можливих поломок шляхом прогнозування залишкового ресурсу.

Таким чином, впровадження подібних систем є стратегічним напрямом підвищення ефективності, надійності та економічності експлуатації тракторів у сільському господарстві.

3.2 Матеріали та методи дослідження

Предмет дослідження - система дистанційної безперервної діагностики та прогнозування технічного стану машинно-тракторних агрегатів (МТА), яка забезпечує передавання технічної інформації від бортових датчиків під час руху агрегату зі змінним тяговим навантаженням. Як додаткові елементи контролю рекомендовано застосовувати: датчик якості масла типу ESM-27E; датчик залишкової товщини гальмівних накладок типу Z-TP1 (див. рис. 3.1, табл. 3.1).



Рисунок 3.1: Схема розподілу датчиків в силових агрегатах машини

Таблиця 3.1: Датчики роботи МТА

Використані датчики	Діагностичні параметри	
двигуна і трансмісії трактора		
<ul style="list-style-type: none"> • витрата палива DFM Contoil 8 D/S; • вал колінчастий індуктивний ПРАВТ 233847* позиції; • положення важеля керування паливом 6ПВ 010 946-001; • вібрації BD06A; • масла якості ЕСМ-27 Е 	ge, Ne, Me	Відповідно питома витрата палива двигуном, потужність і крутний момент двигуна
	W	Швидкість двигуна
	K_m	Зависання двигуна та відновлення за допомогою крутного моменту
	ξ_m	Коефіцієнт навантаження двигуна
	$ne, nt,$	Ефективний ККД двигуна, ККД трансмісії
всього МТА		
<ul style="list-style-type: none"> • швидкість МТЗ-80, 82АП70.3843-01; • сили ДУ-03-60 ТипБ*; • крутний момент М425; • кінцеві позиції Z-TP1-P06; • витрата палива DFM Contoil 6 D/S. 	v, n, w	Дійсна швидкість і частота обертання ведених коліс
	p	Сила тяги
	M_v	Крутний момент карданного вала
	H, Bp	Робоча глибина та робоча ширина агрегату
	$\delta, Pa.l., A$	Відповідно ковзання та додаткове навантаження для збільшення тягової ваги та відсоток тягової ваги трактора, що використовується для створення тягової сили
	rd, Pw	Динамічний радіус ролика ведучого колеса та тиск повітря в шинах
	f	Коефіцієнт опору коченню трактора
	ge, n^f	Питома тягова витрата палива, тяговий ККД
окремих агрегатних вузлів		
<ul style="list-style-type: none"> • тиск, тип MD 50.100, TPMS Hid1100*; • температура, тип ТП*; • лямбда зонд загального призначення ls001-2*; • позиції Z-RFC-P01; • із зазначенням I-TYPE 2018; • тиск F-TYPE 2018, MD100. 	$Pa, Po, Pc,$	Відповідно тиск в гідравлічній системі (масло), системі змащення (масло), охолодження (розчин антифризу), шини (повітря).
	to, tc, ta	Відповідно температура в системах мастила, охолодження та приводної рідини
	hf	Рівень робочих рідин
	Y	Вміст кисню у викидах
	$5b$	Знос гальмівних накладок
	Pz	Тиск в циліндрах двигуна
	Pi	Тиск уприскування паливних форсунок двигуна

Зібрані дані надходять на центральний діагностичний сервер, де відбувається ідентифікація несправностей і формування рекомендацій щодо їх усунення. Інформація подається у вигляді:

- покрокової інструкції для оператора трактора;
- індивідуальних рекомендацій для обслуговуючого персоналу;
- прогнозу можливих відмов та переліку необхідних ремонтних робіт у програмному забезпеченні.

Об'єкт дослідження вивчався у реальних умовах експлуатації з моделюванням складних технологічних режимів роботи. Для аналізу застосовувалися методи теорії масового обслуговування, спостереження та експериментів.

Математична обробка експериментальних результатів здійснювалась із використанням спеціалізованого програмного забезпечення трьома підходами:

1. Дисперсійний аналіз - для оцінки статистичної значущості відмінностей між групами за кожною змінною.
2. Кластерний аналіз - для групування даних у межах однорідних кластерів.
3. Аналіз типу Data Mining - для виявлення прихованих логічних закономірностей у даних.

Достовірність отриманих результатів та висновків забезпечувалася репрезентативністю вибірки, використанням математичних і статистичних методів, а також змістовним аналізом фактичного матеріалу.

Наукова новизна дослідження полягає у створенні можливості оперативного дистанційного моніторингу, прогнозування несправностей та планування ремонтних заходів для тракторів і сільськогосподарської техніки в реальному часі.

3.3 Результати експериментальних досліджень та їх аналіз

У дослідних випробуваннях машинно-тракторний агрегат складався з трактора МТЗ-1523 потужністю 155 к.с., обладнаного мілким плугом ЛДГ-5 та дисковою бороною БДН-3 (рис. 3.2).

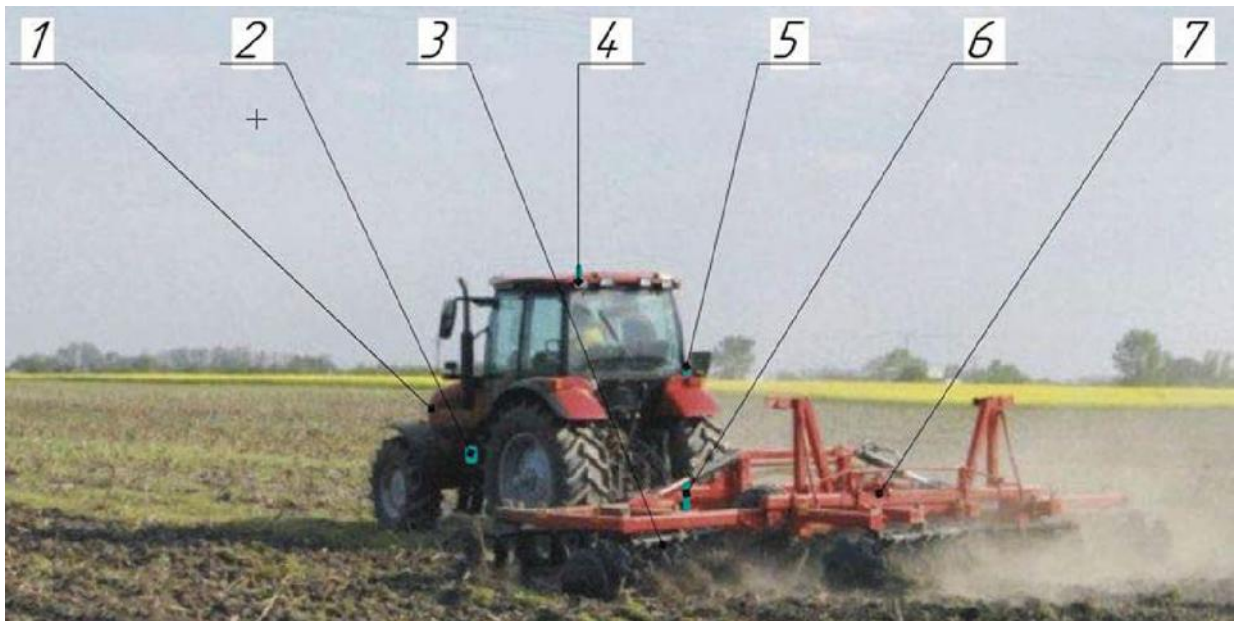


Рисунок 3.2 – Базова експериментальна установка:

1 – трактор МТЗ-1523; 2 – електронний блок управління; 3 – дисковий мілкий плуг; 4 – супутникова антена; 5 – GPS-антена; 6 – виконавчий механізм глибиноміра; 7 – дискова борона.

Дослідження проводилися з урахуванням роботи агрегату як динамічної системи, що взаємодіє із зовнішнім середовищем $F_i(t)$ (рис. 3.3).

У процесі роботи тракторист отримував вихідні сигнали $x_i(t)$ від трактора через вимірювальні прилади, зокрема:

- оберти колінчастого валу двигуна;
- швидкість руху;
- температуру охолоджувальної рідини;
- глибину обробітку ґрунту.
- вплив на керування $c_i(t)$.

Під час експерименту трактористу-машиністу доводилося ухвалювати оперативні рішення - змінювати напрям руху, регулювати подачу палива, перемикаючи передачі, реагувати на позапланові завдання та зовнішні фактори, зберігаючи швидкість технологічного процесу на рівні 12 км/год.

Конструкція мілкового плуга дозволяла змінювати кут випередження в діапазоні $0-30^\circ$ за допомогою гідравлічної системи, що забезпечувало оптимальну якість обробітку ґрунту залежно від умов роботи.

У ході досліджень було встановлено, що оператор не завжди здатний повністю обробити весь обсяг взаємопов'язаних сигналів і прийняти оптимальне рішення під час виконання технологічної операції через природні фізіологічні обмеження.

Зокрема, частота відхилень від заданої ширини захвату при фіксованому куті атаки сягала до трьох разів на годину наприкінці робочої зміни. При додатковому навантаженні - коли трактористу необхідно було раз на годину фіксувати технічні параметри роботи двигуна - цей показник збільшувався до п'яти разів на годину.



Рисунок 3.3 – Існуюча схема керування роботою машинно-тракторного агрегату

Щоб зменшити навантаження на тракториста при проведенні випробування, МТА було обладнано набором додаткових, нестандартних датчиків (перелік подано у табл. 3.1 без позначки *). На основі базової схеми (рис. 3.3) була розроблена спеціальна система контролю, діагностики та прогнозування несправностей (CDS).

CDS отримувала сигнали $y_i(t)$ від датчиків, переводила їх у цифрову форму та обробляла за заданим алгоритмом відповідно до нормативних параметрів $z_i(t)$. Отримані результати порівнювалися з еталонними значеннями для даної конструкції. У разі відхилення система формувала керуючий сигнал

$z_{il}(t)$ для виконавчих механізмів трактора, визначала величину похибки та, за потреби, інформувала оператора, сервісну службу або сільськогосподарський підрозділ про зміни параметрів і необхідність планової заміни чи регулювання вузлів.

Ключовими компонентами CDS були [6]:

- електронний блок керування, що включав мікропроцесор, комунікаційний термінал (А), супутникову антену (В), кабельний джгут (С) та GPS-антену (D) для бездротової передачі даних на сервер) (як на рис.3.5);

- датчики ходової частини та вузлів (рис. 3.6), що забезпечували безперервний моніторинг технічного стану МТА.

Мікропроцесорний модуль був побудований на базі процесора SAB100C917A фірми *SIEMENS*, який мав 25 Кбайт оперативної пам'яті (RAM) та 2018 Кбайт постійної пам'яті (ROM).

Мікропроцесорний модуль системи інтегровано у програмне забезпечення діагностики та прогнозування, яке здійснює класифікацію вихідних контрольних сигналів та адаптацію технічних параметрів x_i до встановленого діапазону значень, обмеженого мінімальним $x_i \min$ та максимальним $x_i \max$ порогоми.

$$x_i \rightarrow [y_i \min, y_i \max], i=1, \dots, n \quad (3.1)$$

Якщо вимірне значення x_i перебуває в межах допустимого інтервалу, робота агрегату (вузла чи комплектуючої) вважається справною та стабільною. У разі виходу параметра за межі норми система CDBS генерує керуючий сигнал для відновлення стабільного режиму роботи. Якщо результат корекції виявляється незадовільним, фіксується помилка, яка надалі аналізується для визначення оптимальних дій.

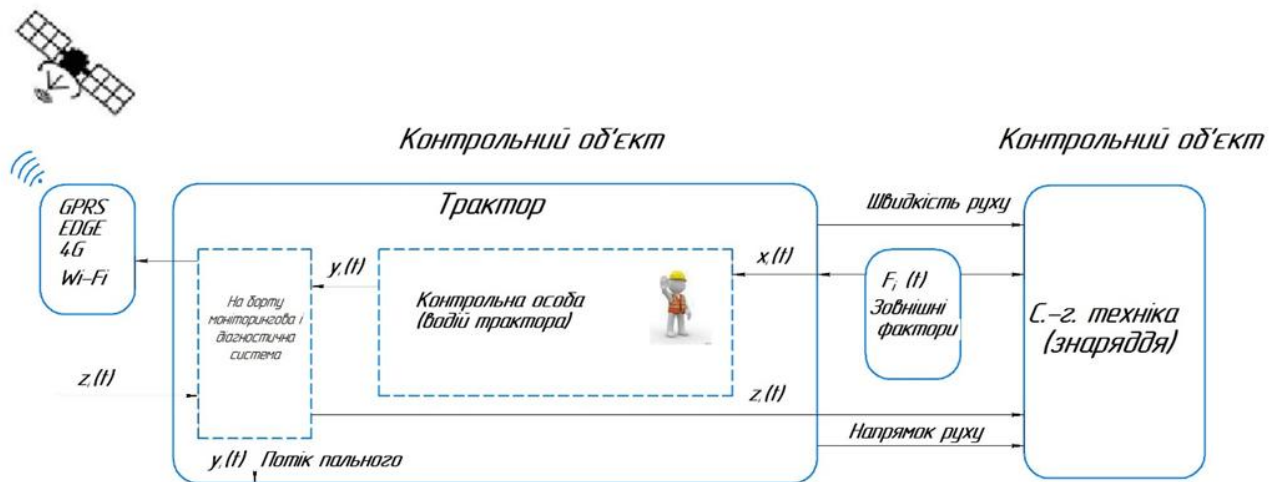


Рисунок 3.4 – Модифікована схема керування роботою машинно-тракторного агрегату

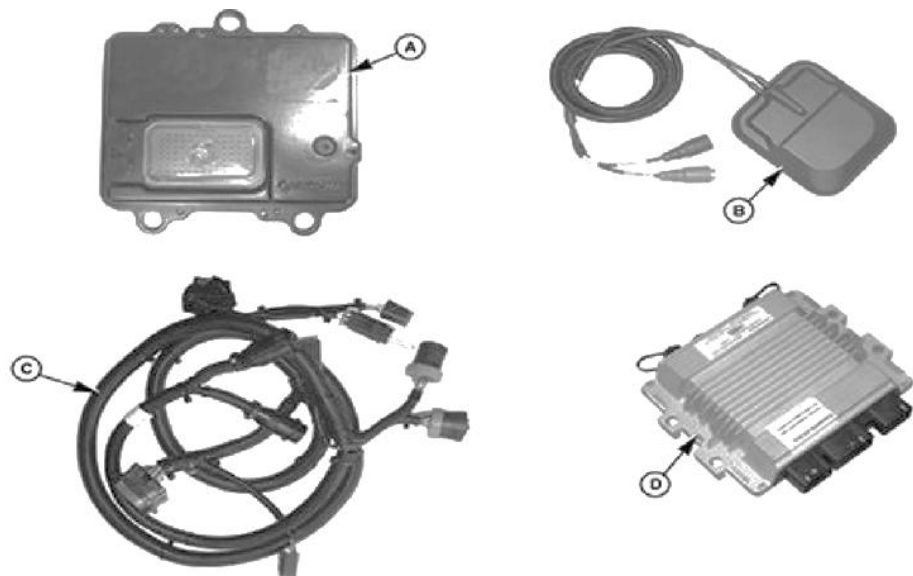


Рисунок 3.5- Компоненти CDBS (перевірка, діагностика і система прогнозування несправностей): А – мікропроцесор збірка з терміналом зв'язку, Б – супутникова антена, С - джгут проводів і D - антена GPS

Алгоритм роботи можна описати інтервальною моделлю,

$$x_i \rightarrow [(1-\Delta x)x_i^{mp}, (1+\Delta x)y_i^{mp}] \quad (3.2)$$

де Δx - відхилення (допустиме) параметру x_i від значення оптимального x_i^{mp} . Для зручності контрольні параметри x_i поділено на дві групи - економічні та робочі (табл. 3.1).

- *Економічні включають*: ефективну потужність N_e , питомі ефективні витрати палива g_e , обертовий момент M_e - коефіцієнт регулювання km та частоту обертання колінчастого вала двигуна ω_n . Ці параметри попередньо налаштовували перед виконанням технологічної операції. Маса трактора з баластом становила $m_e=6260$ кг і залишалася незмінною під час дослідів.

- *Робочі параметри* характеризували технічний та економічний стан агрегату в процесі виконання робочого ходу. Основним інтегральним показником використано коефіцієнт навантаження за крутним моментом $\varepsilon_m = M_k/M_n$, що визначає режим навантаження.

Прогнозування параметрів роботи двигуна виконувалося з урахуванням даних по окремих вузлах та маркерах, де вхідні величини розглядалися як випадкові, що підпорядковуються нормальному закону розподілу. Таким чином, параметри трактора та робочої машини, які змінювалися під час робочого ходу, а також агрегатно-технологічні та економічні показники, трактувалися як випадкові величини.

На рис. 3.6 представлено повний потік даних у системі МТА-CDS як множинну динамічну систему, яка є частиною заповнювача. Для зручності систему розділили на чотири групи пристроїв відповідно до заданої конструктивної схеми: двигун, трансмісія, система пересування та обладнання.

Проведені експерименти показали, що похибки існуючих вітчизняних датчиків і виконавчих пристроїв значно перевищують допустимі межі похибок параметрів двигуна та умов його роботи, які були визначені на основі аналізу регулювання характеристик двигуна.

Для опису кожної групи, що працює в режимі адаптації, ми організували вихідні параметри-маркери залежностей на вході. Зокрема, обертання колінчастого валу з частотою ω , яка залежить від моменту опору $M_c = M_e$, використовується як вихідний параметр-маркер при заданих енергетичних параметрах трактора ($N_e=116$ кВт·м) і характеристиках двигуна ($M_e=603$ Н·м, $km=16,5\%$, $n=2100$).

Контрольний об'єкт

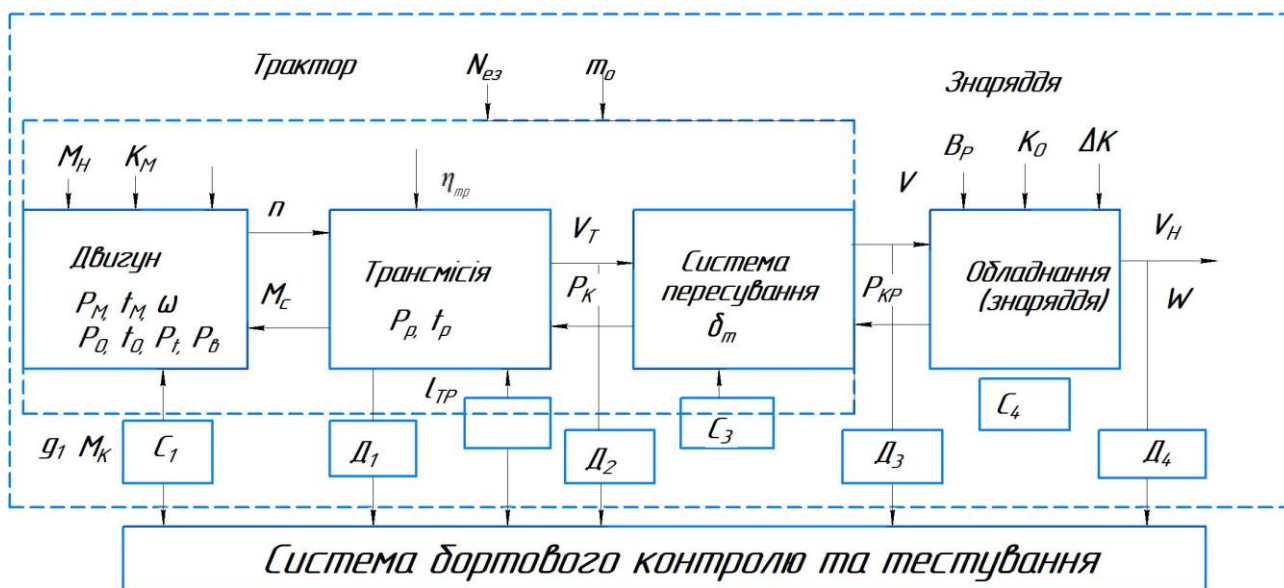


Рисунок 3.6 - Структурна схема об'єкта управління «Трактор як сільськогосподарське знаряддя»

Зазначена залежність служить для опису роботи цієї групи обладнання у тяговому режимі трактора.

$$n = f(M_e) = f(M_c, \omega_{me}, K_M) \quad (3.3)$$

Стан групи оцінюється за параметрами датчиків $p_m, t_m, p_o, t_o, h_g, \gamma$ (див. табл. 3.1). Для контролю якості оливи моторної було додано електричний датчик ЕСМ-27Е (табл. 3.1). Перед підключенням до контролера датчик було запрограмовано з активним рівнем, а межі «зони тривоги» встановлено так, щоб у неактивному стані вхідна напруга перебувала посередині цієї зони, а при замиканні або обриві шлейфу – виходила за її межі. Максимальна вхідна напруга 5 В відповідає 100% рівню.

Механічна трансмісія МТА перетворює параметр ω у теоретичну швидкість трактора V_t (через швидкість ведучих коліс ωr_d), тому друга група працює на вхідному параметрі - тангенціальній тязі ведучих коліс P_t , що оцінюється за відповідними формулами,

$$\begin{cases} V_m = \pi * n * \frac{r_d}{30} * i_{mp} \\ P_K = M_c * i_{TP} * \eta_T * r_d \end{cases} \quad (3.4)$$

де imp – передаточне число трансмісії.

Встановлено функціональний зв'язок між вихідними параметрами V_m і вхідними P_k при фіксованому rd і номінальному передавальному числі $imp = idem$ [6]..

$$V_m = \pi \cdot n \cdot M_c \cdot \eta_{mp} / 30 \cdot P_k \quad (3.5)$$

Стан трансмісії і прогноз роботи оцінюються за показниками p_p , t_p . Стан вузла діагностується та планується ремонт на основі показань цих датчиків і датчика стану мастила, описаного нижче. Перед початком експерименту систему змащення двигуна заправили моторною оливою M10Г2, що призвело до зниження тиску з 7 до 4,5 бар при частоті обертання двигуна 2100 об/хв.

На третю групу впливали зовнішні фактори - сила тяги $P_{кр}$ і опір коченню трактора $P_f = m \cdot g \cdot f$. Вихідним параметром є фактична швидкість руху трактора $V = V_m \cdot (1 - \delta)$, що одночасно є основним параметром-маркером тягового агрегату. Його зв'язок з параметрами (вхідними та заданими) визначається системою рівнянь [6].

$$\begin{cases} P_k = P_{KP} + P_f \\ V = \varepsilon_N \cdot N_e \cdot \eta_{mp} \cdot (1 - \delta) / (P_{KP} + P_f) \end{cases} \quad (3.6)$$

Критерій оптимізації параметрів (n, M_k, imp) використовується для визначення енергетичних (N_e) та тягово-зчіпних параметрів трактора (η_m, δ_{omm}) з урахуванням характеристик тягового зусилля $(P_{hook}, \omega_{hook})$ та інтервалів робочої швидкості $(V_H \pm \Delta V)$ [6].

$$F = \left| \frac{\pi \cdot M_e \cdot \omega_H}{30 \cdot N_e} - 1 \right| + \left| \frac{\pi \cdot \omega_H \cdot \varepsilon_N}{30 \cdot V_H \cdot i_k \cdot \varepsilon_M} - 1 \right| + \left| \frac{P_{KP} \cdot m \cdot g \cdot f}{\eta_{tp} \cdot \varepsilon_M \cdot M_H \cdot i_k} - 1 \right| \rightarrow \min \quad (3.7)$$

Ефективність роботи трактора з заданими параметрами визначалась показниками чистої продуктивності W (m^2/c), питомого енергоспоживання E_p (кДж/ m^2) і витрати палива gw (кг/га).

$$\left\{ \begin{array}{l} W = \epsilon_N \cdot N_e \cdot r_{\text{um}} / K_0 [1 + \Delta K (V_H^2 - V_0^2)] \rightarrow W^* \\ E_{\Pi} = \epsilon_N^* \cdot \frac{N_{e3}}{W} \rightarrow \min, \\ g_w = \frac{2,77 G_m}{W} \rightarrow \min. \end{array} \right. \quad (3.8)$$

Параметри (відхиляються від граничних значень), бортова система діагностики видає сигнал Сі для корекції та стабілізації системи. Якщо повторна несправність - подається сигнал тривоги для прийняття подальших заходів – голосового дзвінка, SMS, зв'язку через мікрофон і GPS, автотрекінгу, технічного обслуговування чи ремонту.

Проведені дослідження виявили помилкові сигнали тривоги, через що впровадили алгоритм самодіагностики і аварійний режим роботи при виході датчиків з ладу. Керуючі виходи приводів оснащені захистом від короткого замикання. Підсистема діагностики реалізована в програмному забезпеченні електронного блоку управління, що дозволяє виявляти та фіксувати несправності, які передаються на контролер і далі – до діагностичної станції сервісної компанії (рис. 3.7). Схема дистанційної діагностики включає:

1. Перевірку роботи бортової системи діагностики;
2. Визначаються коди несправностей;
3. Передача критичних несправностей до сервісного центру.

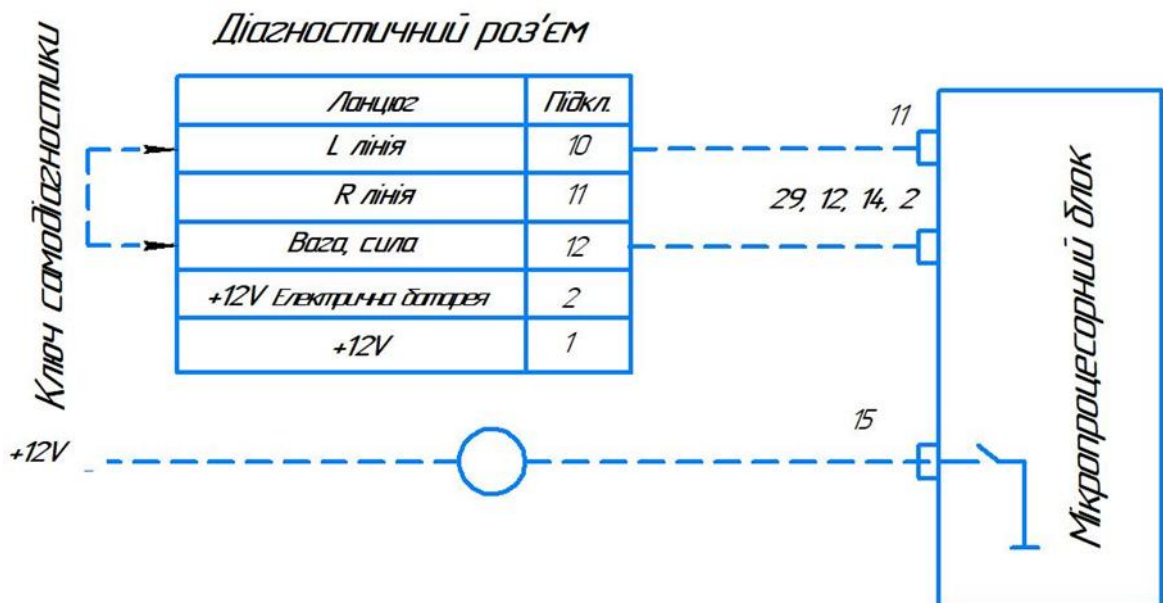


Рисунок 3.7: Схема модифікованого діагностичного ланцюжка

У дослідженні розглянуто послідовність проходження транспортних засобів через діагностику та технічне обслуговування – двофазну систему з режимом очікування і майже необмеженим потоком заявок. Оскільки різні підрозділи обслуговують різні вузли, основним завданням моделювання є отримання загальних закономірностей, застосовних для будь-яких транспортних засобів. Для оцінки технічних показників двофазної системи використовували кількість одиниць на першій фазі m_{01} (діагностика) і другій фазі m_{02} (обслуговування) та ймовірності простою m_n . На рис. 3.8 показано залежність m_{01} та m_{02} від співвідношень

$$\alpha_1 = \lambda / \mu_1 \text{ та } \alpha_2 = \lambda / \mu_2, \quad (3.9)$$

де λ – інтенсивність вимог, μ – інтервали обслуговування.

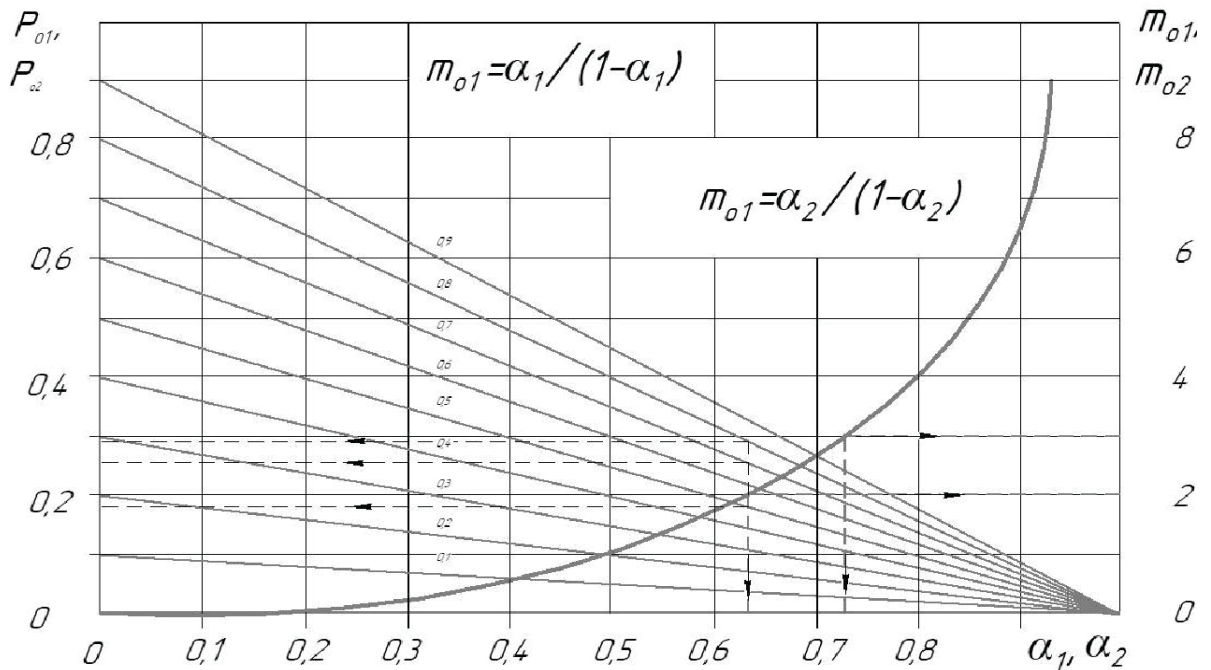


Рисунок 3.8 - Зведений графік залежностей на етапі діагностики m_{01} і етапі технічного обслуговування m_{02} відповідно на α_1 та α_2

Згідно з графіками, значення m_{01} та m_{02} зростають гіперболічно з α_1 і α_2 . За допустимих m_{01} і m_{02} та враховуючи виробничі умови, визначаються оптимальні α_{10} і α_{20} . Відповідні інтервали ТО μ_{10} та μ_{20} обчислюються через λ_0 . Наприклад, при $m_{01} = m_{02} = 2$ та $\lambda_0 = 1,2$ інтервали становлять $\mu_{10} = \mu_{20} = 1,9$. При інших

значеннях $m_{o1}=2$, $m_{o2}=3$ відповідні $\alpha_{1o}=0,63$ і $\alpha_{2o}=0,72$ дають $\mu_{1o}=1,9$ і $\mu_{2o}=1,67$. За цими даними планують кількість станцій, діагностів та ремонтників.

Відомі α_1 та α_2 дозволяють обчислити ймовірності простою діагностичної станції P_{o1} та ТО P_{o2} (рис. 3.8). Наприклад, при $\alpha_{1o}=\alpha_{2o}=0,65$ отримуємо $P_{o1}=P_{o2}=0,277$.

Для спрощення ідентифікації система оснащена інтерфейсом, який показує розташування агрегату, несправності, час роботи і необхідне ТО (рис. 3.9). Дослідження показало, що щільність заявок може перевищувати можливості сервісного центру. Приймаючи потік заявок за пуассонівським розподілом, ймовірність надходження заявки $P_k(\tau)$ обчислюється відповідною формулою.

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda\tau} \quad (3.10)$$

Багато дослідників підтвердили пуассонівський характер потоку відмов тракторів. Щільність відмов λ визначається через середній час між відмовами $\tau_{отк}$. Обслуговування кожної заявки виконується одним засобом із середньою тривалістю $t_{об}$. Збільшення часу ремонту та щільності відмов призводить до черг транспортних засобів, які треба перенаправляти за допомогою комп'ютерної програми.

Експеримент показав, що при розділеному методі резервування машин час простою скорочується на 5,3%. Запропоновані методи дистанційної діагностики та оцінки технічного стану підвищують надійність, продуктивність і оптимізують експлуатацію сільськогосподарської техніки.

Під час проведення експериментів ми запропонували впровадити в програмне забезпечення ймовірнісну модель гарячого, легкого та холодного резервування. Такий підхід є покращеною та вдосконаленою альтернативою традиційному технічному обслуговуванню обладнання (позначеному червоним кольором на рис. 3.10) і профілактичним заходам згідно з графіком поточних ремонтів.

При впровадженні системи безперервної діагностики (СБД), ми застосували зворотний зв'язок для корекції роботи двигуна в реальному часі. Це дало змогу постійно відстежувати показники датчиків і своєчасно прогнозувати необхідність ремонту. Використання непрямих діагностичних параметрів (температура, склад відпрацьованих газів, вібрація під час роботи) розширило спектр контролюваних параметрів, що включає стан механічних деталей двигуна, циліндрів, колінчастого валу, а також систем подачі і змашування палива. Система попередження про ремонт працює таким чином: інформація передається від машини до моделі об'єкта управління через GPS-канал, після чого зберігається і аналізується. У разі потреби ремонтних робіт модель приймає рішення та повідомляє сервісну компанію про приблизну дату прибуття обладнання на ремонт та можливу заміну.

Зазвичай доступ до таких робіт мають лише виробники або дилери. Технічне обслуговування є профілактичним заходом, що включає комплекс робіт для запобігання несправностям і підтримки повної працездатності агрегатів, вузлів чи систем транспортного засобу. Воно проводиться планово через визначені пробіги або строки експлуатації, щоб уникнути простоїв. При використанні стандартної схеми трактор із несправними частинами, що можуть становити загрозу безпеці, не допускається до роботи і стоїть на місці. У таких випадках обслуговування виконує сам оператор (тракторист-машиніст, див. рис. 3.1 і 3.9), зазвичай згідно графіку.

Запропонована система надсилає оператору повідомлення на телефон перед початком зміни з інформацією про необхідні технічні роботи за зміну та автономно інформує сервісну компанію про очікувану несправність. Остаточне рішення приймають аналітики сервісної служби.

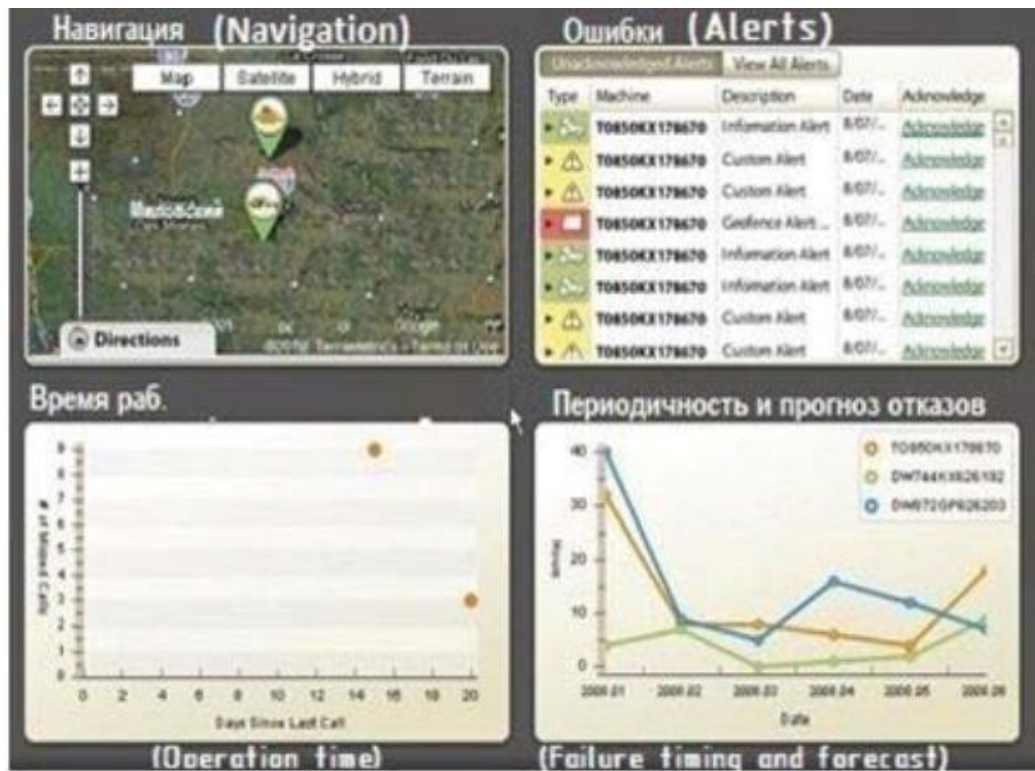


Рисунок 3. 9: Знімок програмного інтерфейсу

Статистичні дані оброблялися регресійним аналізом функціональних залежностей, що дало такі результати для формування рівнянь регресії: коефіцієнт множинної регресії $R = 0,9998971$, критерій Фішера $F = 390,2639$.

Під час дистанційного моніторингу отримані дані порівнюються з хмарними сховищами, які дещо відрізняються від вбудованих критичних значень, використовуваних системою замовника. Інформація від конкретної машини зіставляється з великою базою даних подібної техніки, що дозволяє врахувати весь досвід системи і, прогнозуючи відхилення параметрів, вчасно запобігти серйозним ушкодженням, уникнувши аварійних ситуацій або зупинок.

самодіагностики дозволяє господарствам прискорити процес діагностики, зменшити кількість можливих несправностей і скоротити час простоїв.

Встановлено, що розробка пристрою дистанційної діагностики тягового обладнання транспортних засобів із використанням GSM-телекомунікацій усуває час очікування техніки на обслуговуванні, а також забезпечує підтримку заданих швидкісних, навантажувальних і теплових режимів випробувань в реальних умовах експлуатації для якісної діагностики. Алгоритми вимірювання робочих параметрів враховують і компенсують як систематичні, так і випадкові похибки перетворень.

Для ремонтної майстерні були визначені оптимальні ресурсозберігаючі параметри – щільність вимог λ та інтервал їх обслуговування μ – у діапазоні $\lambda_{opt}=0...12$ та $\mu_{opt}=0...11$. Отримані значення дозволяють обґрунтувати оптимальні параметри систем обслуговування, які рекомендовано впроваджувати у виробництво. Практичне застосування цих результатів суттєво підвищує ефективність роботи сервісних центрів по виробництву та обслуговуванню машинних агрегатів.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні положення

У процесі впровадження системи безперервної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів важливе місце займають питання безпеки праці та захисту здоров'я працівників. Система передбачає використання електронних датчиків, передавальних модулів, обчислювальних пристроїв та програмного забезпечення, що потребує дотримання вимог законодавства України з охорони праці (Закон України «Про охорону праці», ДСТУ, НПАОП, ГОСТ) [26].

Дотримання зазначених вимог, що поширюються на об'єкти регулювання, зображені на рис.4.1.


Рівень зовнішнього шуму ВЕБ/985 додаток 2	Захисний пристрій для водія у разі перекидання (ROPS) ВТБ/1322 додатки 4–8	Захисний пристрій для водія від предметів, які падають (FOPS) ВТБ/1322 додаток 9	Захисний пристрій для водія від проникнення предметів (OPS) ВТБ/1322 додаток 18	Робочий простір, доступ до місця водія ВТБ/1322 додаток 13	Аварійні виходи ВТБ/1322 додаток 13
Рівень шуму, який діє на водія ВТБ/1322 додаток 11				Органи керування, в тому числі аварійні автоматичні блокувальні пристрої ВТБ/1322 додаток 21	
Обсяг викидів забруднювальних речовин ВЕБ/985 додаток 1				Сидіння для водія і його положення ВТБ/1322 додаток 12	
Випускна система ВТБ/1322 додаток 19				Сидіння для пасажирів ВТБ/1322 додаток 10	
Система вентиляції та фільтрації повітря кабіни ВТБ/1322 додаток 27				Захисні пристрої елементів приводу ВТБ/1322 додаток 15	
Швидкість горіння матеріалів кабіни ВТБ/1322 додаток 25				Вали відбирання потужності ВТБ/1322 додаток 14	
Матеріали та вироби ВТБ/1322 додаток 25				Інформація, застереження та маркування ВТБ/1322 додаток 24	
Настанова щодо експлуатації ВТБ/1322 додаток 20				Щодо акумуляторів ВТБ/1322 додаток 26	Захист від механічних небезпек ВТБ/1322 додаток 22

Рисунок 4.1 – Структура вимог до технічної та екологічної безпеки (об'єкти регулювання)
(ВТБ/1322 – Вимоги до конструкції. ВЕБ/985 – Вимоги до екологічної безпеки)

Метою впровадження є зниження виробничих ризиків, підвищення безпеки персоналу та попередження аварійних ситуацій, пов'язаних з експлуатацією тракторної техніки.

4.3 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів та заходи безпеки праці

При роботі з системою діагностики та прогнозування можуть виникати різні фактори, для ліквідації можливих наслідків, необхідно вживати заходи захисту [26]. В табл.4.1 показаний зв'язок між цими факторами та заходами.

Таблиця 4.1 - Небезпечні та шкідливі виробничі фактори та заходи захисту

№	Небезпечний / шкідливий фактор	Можливі наслідки	Заходи захисту
1	Електричний струм (під час монтажу та обслуговування обладнання)	Ураження електричним струмом, опіки, смертельні випадки	Виконання робіт при знеструмленій системі; використання діелектричних рукавиць, інструменту з ізоляцією; перевірка заземлення.
2	Рухомі частини тракторів	Травмування рук, одягу, падіння працівника	Зупинка двигуна перед монтажем/демонтажем датчиків; встановлення захисних кожухів; дотримання безпечної дистанції.
3	Шум і вібрація при роботі двигуна	Погіршення слуху, стомлюваність, розлади нервової системи	Використання протишумових навушників; обмеження часу перебування біля працюючої техніки; технічне обслуговування двигуна для зниження шуму.
4	Випромінювання від бездротових модулів	Потенційний негативний вплив на здоров'я при тривалому опроміненні	Використання модулів з сертифікованими антенами; дотримання нормативів розташування обладнання; мінімізація часу перебування біля антени.

Продовження табл. 4.1

5	Перевтома та зорове навантаження	Зниження концентрації уваги, погіршення зору, підвищення ризику помилок	Організація регламентованих перерв (10–15 хв кожні 2 години); використання моніторів з антивідблисковим покриттям; правильне освітлення робочого місця.
6	Пожежонебезпека (коротке замикання, перегрів обладнання)	Займання обладнання, травмування персоналу, матеріальні збитки	Використання кабелів з негорючою ізоляцією; наявність вогнегасників; регулярний контроль стану електрообладнання.

Застосування системи безперервної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів не лише підвищує ефективність технічного обслуговування, але й зменшує ризики аварійних поломок та нещасних випадків, оскільки дозволяє виявляти несправності на ранніх етапах. Це сприяє:

- зниженню виробничого травматизму;
- зменшенню кількості небезпечних ситуацій на полі та в майстернях;
- підвищенню загальної культури безпеки у сільськогосподарських підприємствах.

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

5.1. Мета економічного обґрунтування

Сучасний аграрний сектор характеризується високим рівнем механізації та широким використанням тракторної техніки, від безперебійної роботи якої безпосередньо залежить ефективність сільськогосподарського виробництва. Однією з ключових проблем експлуатації машин є значні витрати, пов'язані з простоем, аварійними ремонтами та нерегламентованими витратами на технічне обслуговування. Традиційні підходи до планування ремонтів базуються переважно на нормативних інтервалах, що не завжди враховують реальний технічний стан агрегатів, а отже, призводять або до передчасної заміни вузлів, або до виникнення відмов у процесі роботи.

Впровадження дистанційної діагностики та систем прогнозування технічного стану тракторів відкриває можливості для переходу від регламентного до стан-орієнтованого обслуговування. Такий підхід дозволяє оптимізувати витрати на ремонт і технічне обслуговування, знизити тривалість простоїв та підвищити загальний коефіцієнт технічної готовності машин.

У межах даної економічної частини буде проведено аналіз витрат та економічної ефективності впровадження дистанційної діагностики й прогнозування технічного стану тракторів, оцінено економічний ефект від зменшення аварійних відмов та непередбачених ремонтів, а також розраховано термін окупності інвестицій у відповідну систему.

Мета цього розділу – визначити витрати на реалізацію системи та оцінити очікуваний економічний ефект за рахунок зменшення простоїв техніки, зниження витрат на ремонт та підвищення продуктивності [27].

5.2 Економічні розрахунки

Для економічних розрахунків приймаються дані господарства: господарство має 10 тракторів середньої потужності; середня вартість 1 години простою трактора під час польових робіт становить 800 грн (включно з втратою

врожайності через затримки); середні витрати на неплановий ремонт одного трактора за рік - 45 000 грн; очікуване зменшення простоїв завдяки впровадженню системи - на 30%, а непланових ремонтів - на 25%; вартість впровадження системи для 1 трактора (датчики, модулі зв'язку, програмне забезпечення, монтаж) - 35 000 грн.; термін окупності розглядається на період 3 років.

Розрахунок витрат на впровадження дистанційної діагностики надано в табл. 5.1

Таблиці 5.1 -Витрати на впровадження безперервної діагностики тракторів

Найменування витрат	Вартість за одиницю, грн	Кількість	Загальна вартість, грн
Комплект датчиків та електронних модулів	20 000	10	200 000
Модулі бездротового зв'язку	5 000	10	50 000
Програмне забезпечення (ліцензія 1 рік)	4 000	10	40 000
Монтаж та налаштування	6 000	10	60 000
Разом	—	—	350 000

Зменшення простоїв техніки

1. Річний час простою 1 трактора : 50 годин → після впровадження скорочення на 30% = 15 годин економії.

2. Економія на 1 трактор: 15 год × 800 грн = 12 000 грн.

3. Для 10 тракторів: 120 000 грн/рік.

Зниження витрат на непланові ремонти

1. Ремонт одного трактора: 45 000 грн/рік → зменшення на 25% = економія 11 250 грн.

2. Для 10 тракторів: 112 500 грн/рік.

Сумарна річний прибуток (економія):

$$П=120\,000 \text{ грн (простої)} + 112\,500 \text{ грн (ремонти)} = 232\,500 \text{ грн/рік.}$$

Розрахунок терміну окупності

$$T_{ок} = V_{впрров}/E_k = 350000/232500 = 1,5 \text{ роки}$$

Таким чином, витрати на систему повністю окупляться приблизно за 1 рік і 6 місяців, після чого господарство отримуватиме чистий економічний прибуток.

Рентабельність інвестицій (ROI) розраховано за формулою:

$$P = \Pi / V_{впрров} \times 100 = 232500 / 350000 \times 100 \approx 66,43\%$$

Економічний ефект за 3 роки:

$$E_{эф} = (\Pi - V_{впрров}) \times 3 = (232500 \times 3) - 350000 = 347500 \text{ грн}$$

Додаткові економічні переваги: підвищення терміну служби техніки на 10-15% завдяки своєчасному виявленню дефектів; оптимізація графіків техобслуговування, що зменшує витрати на планові ТО; можливість аналізу даних для підвищення ефективності використання тракторів у майбутніх сезонах.

Техніко-економічні показники занесені до табл.5.2

Таблиця 5.2 – Техніко-економічні показники впровадження

№	Показник	Од. виміру	Значення
1	Кількість тракторів	од.	10
2	Вартість впровадження системи на 1 трактор	грн	35 000
3	Загальні витрати на впровадження	грн	350 000
4	Річна економія від зменшення простоїв	грн	120 000
5	Річна економія від зниження витрат на ремонт	грн	112 500
6	Сумарна річна економія	грн	232 500
7	Термін окупності	роки	1,5
8	Річний прибуток після окупності	грн	232 500
9	Рентабельність інвестицій (ROI)	%	66,43
10	Економічний ефект за 3 роки	грн	347 500

На рис. 5.1 зображено графік, що наочно показує співвідношення витрат, накопиченої економії та прибутку після впровадження системи.

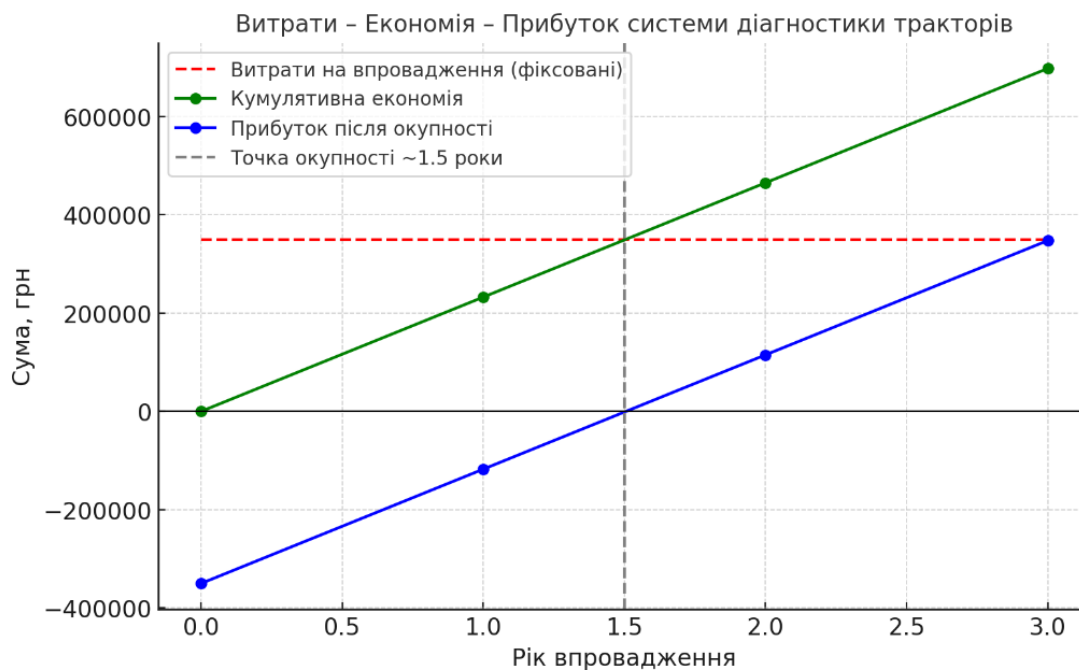


Рисунок 5.1 – Витрати, економія та прибуток після впровадження системи діагностики тракторів

Економічний аналіз показує, що впровадження системи безперервної дистанційної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів є фінансово доцільним. Система не лише окупиться за півтора року, але й забезпечить значну економію коштів у наступні роки, одночасно підвищивши надійність і продуктивність сільськогосподарських робіт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена оптимізації системи технічного обслуговування тракторів завдяки впровадженню дистанційної діагностики та прогнозування їх технічного стану. Основна мета - підвищити ефективність та надійність обслуговування сільськогосподарської техніки.

В рамках дослідження були виконані наступні ключові завдання:

1. Проаналізовано існуючі методи технічного обслуговування та діагностики тракторів, що дало змогу визначити їхні переваги та недоліки в сучасних умовах.

2. Вивчено та розглянуто сучасні методи дистанційної діагностики, а також інноваційні підходи для прогнозування технічного стану основних вузлів та агрегатів.

3. Розроблено експериментальну систему безперервної дистанційної діагностики та прогнозування, яка забезпечує постійний моніторинг і обмін технічною інформацією під час експлуатації.

4. Надано практичні рекомендації щодо впровадження цієї системи на агропідприємствах, зокрема обґрунтовано оптимальні інтервали технічного обслуговування та робочі параметри.

5. Дослідження проводилися в польових умовах, з використанням моделей, які враховують специфіку технологічних процесів та застосовують теорію масового обслуговування.

6. Розроблена система діагностики побудована на основі чотирьох груп взаємопов'язаних параметрів-маркерів, що дозволяє ефективно діагностувати техніку в складі МТА.

7. Практичне застосування результатів дослідження дає змогу суттєво підвищити ефективність роботи станцій технічного обслуговування, скоротити час простою техніки та зменшити витрати.

8. Економічний аналіз показує, що впровадження системи безперервної дистанційної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів є

фінансово доцільним. Система не лише окупиться за півтора року, але й забезпечить значну економію коштів у наступні роки, одночасно підвищивши надійність і продуктивність сільськогосподарських робіт

Отже, результати роботи підтверджують, що використання дистанційних методів діагностики є ефективним інструментом для підвищення надійності сільськогосподарської техніки, оптимізації витрат на її обслуговування, що сприяє сталому розвитку агропромислового комплексу.

Отримані результати підтверджують, що інтеграція технологій точного землеробства в аграрне виробництво є ефективним інструментом модернізації та підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарських підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Agriculture Equipment Telematics: 7 Ways to Boost Farming. Farmonaut Technologies Pvt. Ltd. [Електронне джерело]. Режим доступу: https://farmonaut.com/precision-farming/agriculture-equipment-telematics-7-ways-to-boost-farming?utm_source=chatgpt.com
2. Remote management of the tractor's electronics. Landini. Passion for Innovation. [Електронне джерело]. Режим доступу: https://www.landini.it/za/remote-management-of-the-tractors-electronics/?utm_source=chatgpt.com
3. Quick and effective customer support: the advantages of remote tractor management. Magazine "McC Power Technology". [Електронне джерело]. Режим доступу: https://www.mccormick.it/as/telemetry-tractor-managed-remotely-2/?utm_source=chatgpt.com
4. Anton Shykhmat, Zenoviy Veres. AGRICULTURE VEHICLES PREDICTIVE MAINTENANCE WITH TELEMETRY, MAINTENANCE HISTORY AND GEOSPATIAL DATA. ACPS.2024;Volume 9, Number 2: pp. 134 – 139 <https://doi.org/10.23939/acps2024.02.134>
5. Adolfo Crespo del Castillo, Ajith Kumar Parlikad. Dynamic fleet management: Integrating predictive and preventive maintenance with operation workload balance to minimise cost. Reliability Engineering & System Safety Volume 249, September 2024, 110243. <https://doi.org/10.1016/j.res.s.2024.110243>
6. Ildar Gabitov, et al. Examination of the system of continuous diagnosis and forecasting of mechanical condition of tractors and other farm machinery. Journal of Applied Engineering Science Vol. 18, No. 1, 2020 ISSN 1451-4117.pp 70 – 80. doi:10.5937/jaes18-22568.
7. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія / В. Д. Мигаль. Х.: Майдан, 2018. 262 с. ISBN 978-966-372-704-2.
8. PRECISE DATA FOR BETTER DECISIONS. JOHN DEERE PRECISION AG TECHNOLOGY. YY2314884ENG_GB 01/23.

- <https://www.deere.ua/assets/publications/index.html?id=b1aedf6a#2>
9. AFS™ - СИСТЕМИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА. [Електронне джерело]. Режим доступу: https://assets.cnhindustrial.com/caseih/emea/EMEAASSETS/Products/AFS%20AE-Advanced-Farming-systems/Brochures/AFS_2014_UKR_web_easy.pdf
10. Точне управління земельними ресурсами (PLM™). New Holland. [Електронне джерело]. Режим доступу: <https://agriculture.newholland.com/en-gb/europe/products/plm>
11. John Deere Agricultural Management Solutions (AMS) Guidance, Telematics & Documentation [Електронне джерело]. Режим доступу: [https://sthmachines.nl/bijlagen/occasions/1/299/John%20Deere%20GPS%20folder%20compleet%20NIEUW%20Stehouwer%20www.sthmachines.nl_pages%20\(1\).pdf](https://sthmachines.nl/bijlagen/occasions/1/299/John%20Deere%20GPS%20folder%20compleet%20NIEUW%20Stehouwer%20www.sthmachines.nl_pages%20(1).pdf)
12. Методи та засоби діагностування трактора. технічне обслуговування: методичні вказівки щодо виконання практичних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» денної і заочної форм навчання / Шуляк М.Л., Мигаль В.Д. - Суми, 2023. – 60 с.
13. Computer development based embedded systems in precision agriculture: tools and application (Вбудовані системи на основі комп'ютерної розробки в точному землеробстві: інструменти та застосування) Saddik, Amine; Latif, Rachid; El Ouardi, Abdelhafid; Elhoseny, Mohamed Khelifi, Adel Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, vol. 72, issue 1, pp. 589-611 December 2022 10.1080/09064710.2021.2024874.
14. DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft [Електронне джерело]. Режим доступу до ресурсу: DLG-Qualitätsprüfungen Technik & Betriebsmittel - dlg.org.
15. Migal V., Lebedev A., Shuliak M., Kalinin E., Arhun S., Korohodskyi V. Reducing the vibration of bearing units of electric vehicle asynchronous traction motors. JVC / Journal of Vibration and Control. Volume 27. Issue 9-10. May 2021. P. 1123-1131. (Scopus).

16. Лебедев А., Лебедев С., Коробко А. Системний підхід до оцінювання експлуатаційних якостей сільськогосподарських тракторів. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ імені Леоніда Погорілого. 2022. Випуск 30 (44). С. 11-21.
17. Diagnostic method and device for evaluating and forecasting the technical condition of farm machinery in operation. Ildar Gabitov. <https://doi.org/10.4081/jae.2021.1158>
18. Marko Milan Kostić, Nataša Ljubičić, Vladimir Aćin, Milan Mirosavljević, Maša Budjen, Miloš Rajković, Nebojša Dedović, An active-optical reflectance sensor in-field testing for the prediction of winter wheat harvest metrics , Journal of Agricultural Engineering: Vol. 55 No. 1 (2024).
19. Ildar Gabitov, Samat Insafuddinov, Denis Kharisov, Elmir Gaysin, Timur Farhutdinov. Diagnostic method and device for evaluating and forecasting the technical condition of farm machinery in operation I. Journal of Agricultural Engineering 2021; volume LII:1158].page 27
20. Anton V. Shimokhin, Oleg M. Kirasirov The procedure for improving the management of the maintenance and repair process using the neural network technology. Tractors and Agricultural Machinery. ECONOMICS, ORGANIZATION AND TECHNOLOGY OF MANUFACTURING. Vol. 90 (6) 2023. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-546006>.
21. Gulyarenko A.A. , Bembenek M.1, Iskakov R.M. , Shaimuratova E.S., Gulyarenko A.V. Development of a Tractor Reliability Optimization Model: a Review of Research and Rationale for the Components. Material and Mechanical Engineering Technology, №3, 2024 . DOI 10.52209/2706-977X_2024_3_54.
22. Yuri Kataev, Ekaterina Chepurina, Daria Kushnareva. Technical support system for energy-installed agricultural equipment in the agricultural industry. BIO Web of Conferences 93, 03017 (2024).
23. Kataev, Y., Zagoruiko, M., Tishaninov, I., and Gradov, E. (2022). Prediction of failures in agricultural machinery engines using digital technologies. The Agrarian Scientific Journal. doi:10.28983/asj.y2022i2pp79-82.

24. Semenenko, L., Tarasov, O., Vasylenko, S., Cherep, V., and Polishchuk, V. (2022). Mathematical models for assessing the reliability of agricultural machinery, taking into account the influence of military factors in the frontline territory. *Scientific Horizons*. doi:10.48077/scihor. 2022.3-4.03.

25. Wang, X., Zhang, G., Yao, J., Lian, J., and Yang, X. (2023). Fault prediction model of corn grain harvester based on self-coding neural network. *INMATEH Ag*.

26. Павлюк І. Вимоги охорони праці при проведенні посівних робіт [Електронний ресурс] / І. Павлюк // Охорона праці і пожежна безпека. – 57 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://oppb.com.ua/content/vymogyohorony-pracy-pry-provedenni-posivnyh-robit/>

27. Петрига О. М., Яворська Т. І., Прус Ю. О. Економіка аграрного підприємства: навч. посібник / за ред. О. М. Петриги, Т. І. Яворської. – Херсон: ХДАУ, 2020. – 352 с

ДОДАТКИ