

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

Шуляк М.Л.

“06” листопада 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ (МАГІСТЕРСЬКУ) РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Шевченку Максиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Прогнозування періодичності ТО елементів трактора завдяки використанню дистанційних методів діагностування

керівник роботи: Шуляк Михайло Леонідович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “01” березня 2024 року № 657/ос

2. Строк подання здобувачем роботи: «10» березня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Нормативно-технічна документація по розробці механізованих технологічних процесів у рослинництві. 2. Науково-технічна література. 3. Літературні джерела інформації та Інтернет ресурси. 4. Монографії, тощо за темою наукового дослідження. 5. Методичні рекомендації до виконання проекту (роботи).

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1. Стан питання. 2. Методологія дослідження. 3. Експериментальна система безперервної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів. 4 Охорона праці. 5. Економічне обґрунтування. Загальні висновки. Список літературних джерел.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Хворост Т.В.		
Економічне обґрунтування	Мікуліна М.О.		

7. Дата видачі завдання «06» листопада 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної (магістерської) роботи	Строк виконання етапів дипломної (магістерської) роботи	Погоджено з керівником дипломної (магістерської) роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	до 09.09.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 24.09.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	до 04.10.2024 р.	
4.	Написання вступу	до 11.10.2024 р.	
5.	Підготовка розділу «Аналітична частина»	до 21.10.2024 р.	
6.	Підготовка розділу «Основна частина»	до 18.11.2024 р.	
7.	Підготовка розділу «Охорона праці»	до 05.12.2024 р.	
8.	Підготовка розділу «Економічне обґрунтування»	до 17.12.2024 р.	
9.	Написання висновків та пропозицій	до 05.01.2025 р.	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 10.03.2025 р.	
11.	Подання роботи на рецензування	до 14.03.2025 р.	
12.	Подання до попереднього захисту	до 19.03.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Керівник дипломної (магістерської) роботи

_____ (підпис)

Шевченко М.С.
(прізвище та ініціали)

Шуляк М.Л.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шевченко М.С. **Прогнозування періодичності ТО елементів трактора завдяки використанню дистанційних методів діагностування.** Кваліфікаційна (магістерська) робота на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія ОПП «Системи точного землеробства». – СНАУ.- Суми.- 2025, 55 с.

Кваліфікаційна (магістерська) робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 30 найменування та додатків. Загальний обсяг роботи становить 55 сторінки, на яких представлено 1 таблиця, 22 рисунки та 3 додатки.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню експериментальної системи безперервної дистанційної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів, яка забезпечує безперервний моніторинг та обмін технічною інформацією в процесі експлуатації. Дослідження проводилося в польових умовах експлуатації сільськогосподарської техніки, з використанням моделей, які враховують специфіку технологічних процесів та застосовують теорію масового обслуговування і методи експериментів та спостереження. Структура системи безперервного діагностування технічного стану та прогнозування несправностей тракторів і сільськогосподарської техніки включає чотири групи взаємопов'язаних швидкісних, навантажувальних і тягово-зчіпних параметрів-маркерів, що забезпечують ефективну роботу трактора в складі МТА. Використання систем дистанційного діагностування та самодіагностування МТА дозволяє суб'єкту господарювання прискорити діагностику, звузити коло можливих несправностей і скоротити час простою. Встановлено, що створення пристрою для дистанційного діагностування тягового обладнання транспортних засобів за допомогою телекомунікаційних засобів стандарту GSM усуває час очікування на обслуговування транспортного засобу та забезпечує заданий швидкісний, навантажувальний, тепловий режим випробувань в реальних умовах експлуатації для формування якісного діагнозу.

В роботі сформульовано практичні рекомендації щодо впровадження системи безперервної діагностики і прогнозування технічного стану тракторів для агропідприємств, що включає обґрунтовані інтервали технічного обслуговування та оптимальні параметри роботи системи. Представлені результати роботи підтверджують ефективність використання дистанційних методів діагностики для підвищення надійності сільськогосподарської техніки та оптимізації витрат на її обслуговування, що є важливим для сталого розвитку агропромислового комплексу.

Ключові слова: технічне обслуговування, безперервна дистанційна діагностика, система прогнозування, технічний стан МТА

ABSTRACT

Shevchenko M.S. **Forecasting the Periodicity of Tractor Maintenance Using Remote Diagnostic Methods.** Master's qualification thesis for obtaining the master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering, Educational and Professional Program "Precision Farming Systems." – SNAU, Sumy, 2025. – 55 pages.

The master's qualification thesis consists of an introduction, five chapters, general conclusions, a list of 30 references, and appendices. The total volume of the work is 55 pages, including 1 table, 22 figures, and 3 appendices.

The qualification work is dedicated to the study of an experimental system for continuous remote diagnostics and forecasting of tractor technical conditions, ensuring uninterrupted monitoring and exchange of technical information during operation. The research was conducted under real field conditions of agricultural machinery operation, utilizing models that account for technological process specifics and apply queuing theory, experimental methods, and observations. The structure of the continuous technical diagnostics and failure prediction system for tractors and agricultural machinery includes four groups of interconnected speed, load, and traction-coupling marker parameters, ensuring the efficient operation of the tractor within an MTA. The use of remote

diagnostics and self-diagnostic systems in MTA allows enterprises to accelerate diagnostics, narrow down potential malfunctions, and reduce downtime. It was established that the development of a device for remote diagnostics of traction equipment in transport vehicles using GSM telecommunications eliminates waiting time for maintenance and ensures the required speed, load, and thermal operating modes under real-world conditions for forming an accurate diagnosis.

The study provides practical recommendations for implementing a continuous diagnostics and forecasting system for tractor technical conditions in agricultural enterprises, including justified maintenance intervals and optimal system operating parameters. The presented results confirm the effectiveness of remote diagnostic methods in enhancing agricultural machinery reliability and optimizing maintenance costs, which is essential for the sustainable development of the agro-industrial complex.

Keywords: technical maintenance, continuous remote diagnostics, forecasting system, MTA technical condition.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Стан питання	7
1.1 Сучасні підходи до технічного обслуговування тракторів...	7
1.2 Основні системи дистанційної діагностики.....	8
1.3 Переваги сучасних підходів.....	11
2 Методологія дослідження.....	12
2.1 Опис системи дистанційної діагностики тракторів.....	12
2.2 Методи та засоби діагностування технічного стану елементів трактора.....	14
2.3 Безперервна діагностика та прогнозування технічного стану тракторів.....	19
3 Експериментальна система безперервної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів.....	25
3.1 Аналіз вимог до діагностичної системи.....	25
3.2 Матеріали та методи дослідження	27
3.3 Результати експериментальних досліджень та їх аналіз.....	29
4 Охорона праці.....	45
5 Економічне обґрунтування.....	48
Загальні висновки.....	50
Список використаних джерел.....	52
Додатки	

ВСТУП

Періодичне технічне обслуговування (ТО) є важливим елементом забезпечення надійності та ефективності роботи сільськогосподарської техніки, зокрема тракторів, які виконують широкий спектр задач у складних агротехнічних умовах. Сучасні умови експлуатації тракторів та вимоги до оптимізації їх роботи зумовлюють необхідність переходу до інноваційних методів контролю та діагностики стану основних вузлів і агрегатів. У цьому контексті особливого значення набуває розвиток систем дистанційного моніторингу, що дозволяє отримувати дані про поточний технічний стан елементів трактора у режимі реального часу. Застосування дистанційних методів діагностування дає змогу не лише своєчасно реагувати на можливі збої, але й прогнозувати необхідність проведення ТО, враховуючи специфічні умови експлуатації та стан техніки.

Розробка системи прогнозування періодичності ТО елементів трактора на основі даних, що надходять від дистанційних систем діагностики, відкриває нові можливості для підвищення ефективності аграрного виробництва. Основною перевагою такої системи є забезпечення безперервного обміну технічною інформацією, яка надходить від наявних датчиків на машинно-тракторних агрегатах (МТА) під час їх експлуатації з різним рівнем тягового навантаження. Дистанційна система діагностування та прогнозування працездатності дозволяє не тільки підтримувати високу надійність тракторів, але й знижувати витрати на їх експлуатацію завдяки оптимізації інтервалів між обслуговуваннями.

Таким чином, дослідження в напрямку прогнозування періодичності ТО тракторів із використанням дистанційної діагностики є важливим кроком на шляху до підвищення ефективності агротехнічних процесів, що сприятиме зниженню експлуатаційних витрат та підвищенню економічної доцільності застосування сучасної техніки в агропромисловому комплексі.

1 СТАН ПИТАННЯ

1.1 Сучасні підходи до технічного обслуговування тракторів

Технічне обслуговування тракторів є важливою складовою їх ефективної експлуатації, що безпосередньо впливає на продуктивність машинно-тракторних агрегатів, витрати на ремонт та надійність техніки в процесі виконання сільськогосподарських операцій. З розвитком технологій у сільському господарстві зростає потреба у впровадженні сучасних методів технічного обслуговування, які дозволяють не тільки підтримувати працездатність техніки, але й запобігати поломкам завчасно.

У сучасному тракторному парку використовується декілька типів технічного обслуговування: планово-переджувальне, коригувальне та аварійне. Всі ці методи мають певні переваги і недоліки. Планово-попереджувальне обслуговування забезпечує підтримку техніки в робочому стані, але не завжди є економічно ефективним через обмеження точності визначення моменту поломки. Коригувальне обслуговування базується на результатах діагностики, що дозволяє більш точно спланувати ремонт, але не гарантує повного уникнення непередбачуваних поломок.

Традиційні методи діагностики, такі як візуальний контроль та механічні вимірювання, споживають значних людських і часових ресурсів. Вони є ефективними для виявлення очевидних поломок, але мають обмежену точність для ранньої діагностики непомітних показників елементів.

У традиційному підході технічне обслуговування тракторів базується на плановій системі, коли обслуговування та заміна компонентів проводяться через певні інтервали часу або після досягнення певного напрацювання (мотогодини). Такий підхід часто призводить до невиправданих витрат, оскільки деталі можуть бути замінені або відремонтовані до того, як вони фактично вичерпають свій ресурс. Також плановий підхід не завжди дозволяє вчасно виявити приховані дефекти, що може призвести до несподіваних поломок.

Впровадження дистанційної діагностики

Дистанційна діагностика включає використання датчиків і технологій зв'язку для постійного моніторингу стану техніки в режимі реального часу. Це

дозволяє виявляти відхилення від нормальних параметрів роботи елементів трактора до виникнення критичних ситуацій. Застосування таких технологій дозволяє значно збільшення ресурсу техніки та технічного обслуговування.

Сучасний підхід до технічного обслуговування тракторів передбачає використання методів дистанційної діагностики, що дозволяє прогнозувати технічний стан компонентів машини і здійснювати обслуговування відповідно до фактичного зносу та стану вузлів. Дистанційна діагностика ґрунтується на використанні датчиків, телематичних систем та програмного забезпечення, які дозволяють отримувати дані в реальному часі про роботу машини, наприклад, про температуру двигуна, тиск у системі мастила, стан гідравліки, роботу коробки передач тощо.

1.2 Основні системи дистанційної діагностики [1, 2]

- **JD Link** – телематична система від John Deere, яка дозволяє відстежувати стан тракторів та інших сільськогосподарських машин, надає можливість дистанційного моніторингу роботи техніки, збору інформації про несправності, аналізу витрат пального, робочого часу, а також передачі даних на сервер для подальшого аналізу.



Рисунок 1.1 - Телематична система від John Deere JD Link

- **AFS (Advanced Farming Systems)** – система точного землеробства від Case IH, яка також включає функції діагностики технічного стану техніки. AFS дозволяє здійснювати моніторинг тракторів у режимі реального часу, збираючи дані про навантаження на двигун, витрати пального та стан ключових систем трактора.

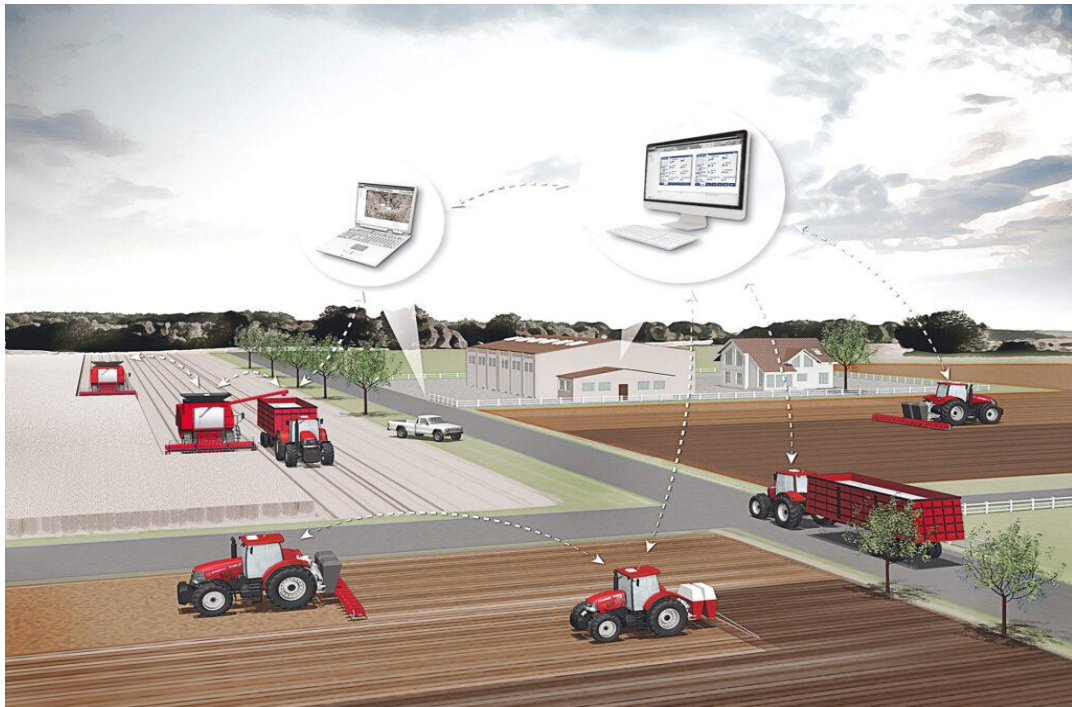


Рисунок 1.2 - Система точного землеробства від Case IH
AFS (Advanced Farming Systems)

- **PLM (Precision Land Management)** – платформа від New Holland, яка інтегрує інструменти для управління технічним обслуговуванням. PLM збирає інформацію про роботу тракторів та інших машин і дозволяє оперативно реагувати на несправності, на основі даних планувати технічне обслуговування.



Рисунок 1.3 - Платформа від New Holland PLM (Precision Land Management)

- **AMS (Ag Management Solutions)** – платформа від John Deere, яка пропонує рішення для управління та моніторингу технічного стану машин, а також інтеграцію з системами точного землеробства. AMS забезпечує віддалене управління даними для більш точної діагностики та прогнозування несправностей.



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

Прогнозування швидкості технічного обслуговування

Дистанційна діагностика дозволяє прогнозувати необхідність технічного обслуговування шляхом аналізу отриманих даних та застосування спеціальних математичних моделей. На основі цього підходу можна визначити, коли саме потрібно здійснювати ТО для конкретних елементів трактора, таких як двигун, гідравлічна система або трансмісія. Це дозволяє уникнути аварійних зупинок техніки та зменшити витрати на ремонт.

1.3 Переваги сучасних підходів

Використання дистанційної діагностики та прогнозування ТО на основі реальних даних дає низку переваг:

- Зменшення витрат на обслуговування завдяки точному визначенню необхідності ремонту або заміни компонентів.
- Підвищення надійності техніки, оскільки несправності виявляються на ранній стадії.
- Оптимізація використання техніки, що дозволяє збільшити продуктивність машинно-тракторних агрегатів.
- Запобігання простоїв завдяки своєчасному обслуговуванню та ремонту.

Таким чином, сучасні підходи до технічного обслуговування тракторів на основі дистанційної діагностики та телематичних систем відкривають нові можливості для підвищення ефективності агротехнічних процесів, зменшення витрат та покращення надійності сільськогосподарської техніки.

2 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Опис системи дистанційної діагностики тракторів

Система дистанційної діагностики складається з ряду датчиків, які встановлюються на різних елементах трактора. Вони передають дані про стан техніки в режимі реального часу на центральний сервер, де коштує їх аналіз. Це дозволяє оперативно виявляти зміни в роботі техніки.

Система дистанційної діагностики тракторів є складним технічним рішенням, яке дозволяє здійснювати моніторинг стану тракторної техніки в реальному часі, забезпечуючи виявлення та попередження потенційних несправностей ще до того, як вони можуть призвести до серйозних поломок. Впровадження таких систем є важливим кроком у підвищенні ефективності експлуатації тракторів, зниженні затрат на ТОіР, а також у забезпеченні безперервності технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві.



Рисунок 2.1 - Основні компоненти системи дистанційної діагностики трактора

Система дистанційної діагностики складається з кількох ключових елементів [2, 4]:

1. Датчики та сенсори. Трактор обладнаний різноманітними датчиками, що вимірюють критичні параметри роботи вузлів і систем:

температура двигуна, рівень масла, тиск у гідравлічній системі, рівень палива, роботу системи охолодження тощо.

2. Комунікаційний модуль. Для передачі даних від сенсорів на віддалений сервер використовується комунікаційний модуль, який підтримує передачу інформації через мобільні мережі або інші канали зв'язку (Wi-Fi, супутникові системи тощо). Модуль забезпечує безперервний потік даних для аналізу в реальному часі.

3. Централізована платформа аналізу даних. Отримані дані передаються на сервер, де відбувається їх обробка за допомогою спеціального програмного забезпечення. На основі аналізу цих даних система може визначати стан окремих агрегатів та прогнозувати можливі поломки.

4. Інтерфейс користувача. Фермер або оператор отримує інформацію через спеціалізований інтерфейс на комп'ютері або мобільному пристрої. Інтерфейс може показувати попередження про несправності, надавати рекомендації щодо необхідних робіт з технічного обслуговування або дозволяти доступ до історії експлуатації техніки.

Принципи роботи системи

Система дистанційної діагностики працює за принципом постійного моніторингу технічного стану обладнання. Датчики передають інформацію про основні параметри роботи трактору в реальному часі, а спеціальне програмне забезпечення аналізує ці дані та порівнює їх з оптимальними значеннями. Якщо якась із систем працює поза межами допустимих параметрів, система генерує попередження або рекомендації для оператора.

Переваги впровадження системи

1. Зменшення часу простоїв. Дистанційна діагностика дозволяє своєчасно виявляти проблеми та попереджати серйозні поломки, що значно скорочує час простоїв техніки.

2. Зниження витрат на ремонт. Завдяки ранньому виявленню несправностей можна уникнути дорогих ремонтів та заміन деталей.

3. Оптимізація технічного обслуговування. Система надає рекомендації щодо періодичності обслуговування на основі реального стану техніки, що дозволяє оптимізувати графік проведення технічних робіт.

4. Підвищення ефективності експлуатації. Постійний моніторинг допомагає забезпечити максимальну ефективність роботи тракторів, зменшити витрати на паливо та збільшити продуктивність.

Таким чином, система дистанційної діагностики є невід'ємною частиною сучасного сільськогосподарського машинного парку, що сприяє підвищенню надійності та довговічності тракторів, а також поліпшенню загальної ефективності сільськогосподарського виробництва.

2.2 Методи та засоби діагностування технічного стану елементів трактора

У сучасному сільськогосподарському виробництві одним із ключових завдань є забезпечення надійної роботи тракторної техніки. Для цього важливим є своєчасне виявлення та усунення технічних несправностей. Діагностування технічного стану елементів трактора дозволяє мінімізувати час простою, запобігати поломкам і знижувати експлуатаційні витрати [4].

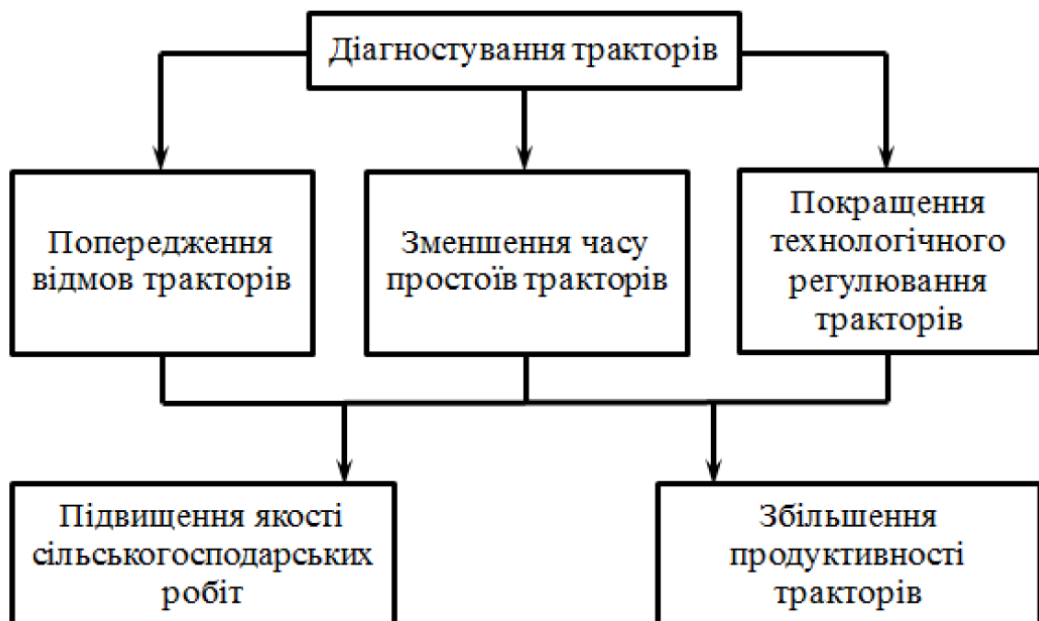


Рисунок 2.1 - Вплив діагностування тракторів на виконання сільськогосподарських робіт

Методи діагностування технічного стану

Методи діагностування можна умовно поділити на традиційні (класичні) і сучасні (з використанням цифрових технологій). До основних методів діагностування належать:

- Візуальний контроль: найпростіший і найдоступніший метод діагностики, що полягає в огляді елементів техніки для виявлення зовнішніх пошкоджень, зносу чи дефектів. Хоча цей метод не дозволяє виявити приховані несправності, він є початковим етапом діагностування.
- Вимірювальні методи: включають вимірювання параметрів, таких як тиск масла, температура, рівень вібрації, відстань між елементами тощо. Ці методи можуть виявити відхилення від нормальних умов роботи і слугують основою для детальнішого аналізу.
- Акустична діагностика: базується на аналізі шумів, які виникають під час роботи двигуна або інших компонентів. Відхилення у звукових характеристиках можуть свідчити про неправильну роботу механізмів, зокрема підшипників, зубчастих передач або клапанів.
- Вібраційна діагностика: метод, який використовує аналіз вібраційних характеристик елементів трактора. Зміни у спектрі вібрацій можуть вказувати на знос підшипників, дисбаланс валів або інші механічні проблеми.
- Тепловізійна діагностика: полягає у використанні тепловізорів для визначення температурних аномалій, що можуть бути пов'язані з перегрівом елементів або несправностями в системі охолодження чи мастила.
- Аналіз стану мастильних матеріалів: цей метод передбачає аналіз зразків масла або інших робочих рідин для виявлення металевих часток або інших забруднень, що свідчать про знос деталей.

Складові процесу діагностування тракторів

Процес діагностування тракторів є важливою складовою експлуатації сільськогосподарської техніки, спрямованою на підтримання її в належному технічному стані, зменшення ризику поломок і підвищення ефективності роботи. Процес складається з декількох ключових елементів, таких як визначення завдань діагностики, вибір методів, встановлення періодичності, об'єкти

діагностування, визначення діагностичних параметрів та використання фізичних процесів [4, 20].

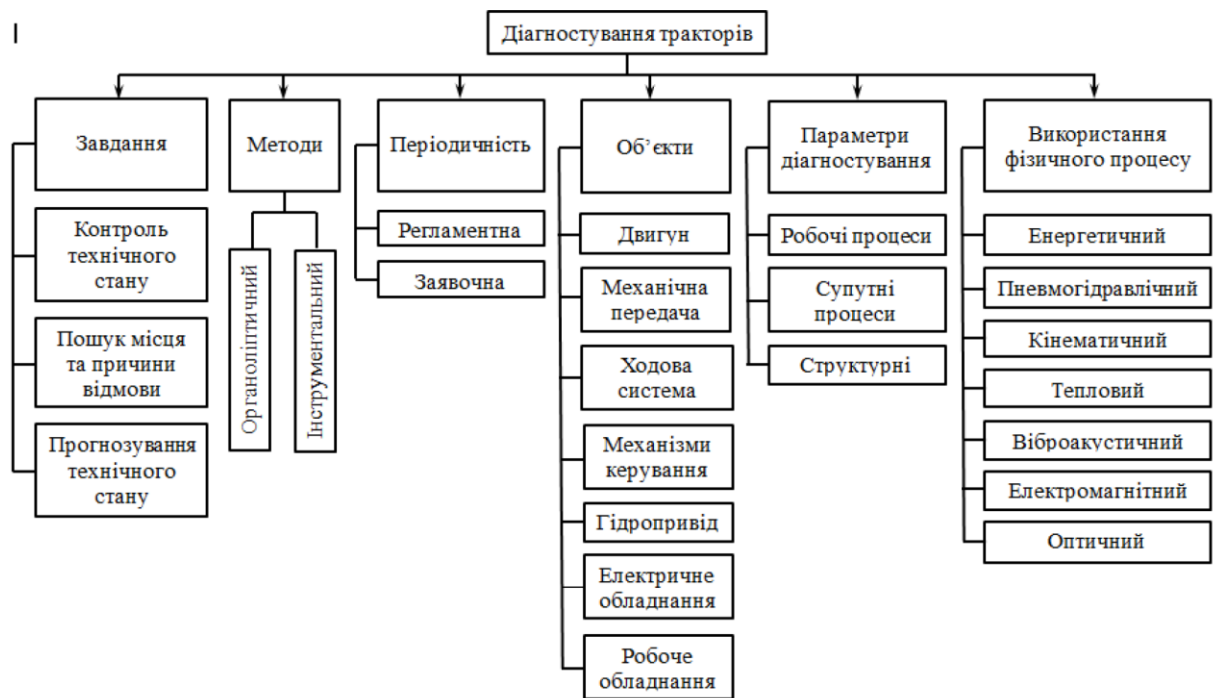


Рисунок 2.2 - Складові процесу діагностування тракторів

➤ Завдання діагностування

Основні завдання процесу діагностування тракторів полягають у:

- Виявленні несправностей та дефектів: своєчасне виявлення зношених або пошкоджених елементів для запобігання поломкам і зупинкам у роботі техніки.
- Прогнозуванні термінів технічного обслуговування: на основі аналізу стану компонентів визначення часу, коли необхідно провести технічне обслуговування чи заміну елементів.
- Зменшенні простоїв техніки: забезпечення безперервної роботи тракторів шляхом раннього діагностування несправностей.
- Оптимізації витрат на технічне обслуговування: планування обслуговування на основі фактичного технічного стану, а не за фіксованим графіком, що дозволяє уникнути зайвих витрат.

➤ Методи діагностування

Методи діагностування можуть бути поділені на кілька категорій:

- Візуальний огляд: базовий метод, який включає перевірку зовнішніх ознак зносу або пошкоджень. Хоча цей метод є простим і швидким, він не дозволяє виявляти приховані дефекти.

- Інструментальні методи: включають використання спеціальних приладів для вимірювання технічних параметрів, таких як:

- Вібраційна діагностика: аналіз вібраційних характеристик компонентів, таких як двигун, трансмісія чи підшипники. Зміни у вібраціях вказують на можливий знос або дисбаланс.

- Акустична діагностика: аналіз шумів і звуків, що виникають під час роботи двигуна та інших механізмів.

- Тепловізійне обстеження: використовується для виявлення перегріву компонентів, що може свідчити про надмірне навантаження або зношення елементів.

- Аналіз мастил: діагностування за станом мастильних матеріалів, які можуть містити металеві частки, що свідчать про знос механізмів.

- Цифрові методи діагностики: з розвитком технологій стають популярними системи дистанційного моніторингу на основі сенсорів та телеметрії. Такі системи дозволяють в реальному часі отримувати дані про технічний стан трактора і аналізувати їх автоматично.

- Телеметрія: збір і передача даних від різних сенсорів (тиску, температури, вібрацій) до центральної системи.

- Алгоритми машинного навчання: використовуються для оптимізації графіка технічного обслуговування та аналізування БД та прогнозу поломок.

➤ Періодичність діагностування

Періодичність діагностування тракторів залежить від кількох факторів, таких як тип техніки, інтенсивність її використання, робочі умови та попередні результати діагностики.

- Планове діагностування: проводиться на основі рекомендованих виробником інтервалів або графіка технічного обслуговування, зазвичай після певної кількості відпрацьованих годин або кілометрів.

- Регулярне діагностування: виконується через певні інтервали часу (наприклад, щомісяця, щосезону) для перевірки основних компонентів техніки.
- Діагностика за фактичним станом: сучасні системи дозволяють проводити діагностику в реальному часі, що дозволяє проводити обслуговування тільки тоді, коли це необхідно, на основі фактичного стану обладнання.

➤ Об'єкти діагностування

Об'єктами діагностування є всі основні компоненти та системи трактора, що піддаються зносу або поломкам:

- Двигун: оцінюється стан компонентів, таких як поршні, клапани, підшипники, система охолодження та паливна система.
- Трансмісія: перевіряється робота передач, зчеплення, коробки передач, мастильна система.
- Гідравлічна система: діагностуються насоси, клапани, трубопроводи та рівень гідравлічної рідини.
- Електрична система: діагностика акумуляторів, стартерів, генераторів та інших електричних компонентів.
- Ходова частина: оцінюється стан осей, підшипників, шин, підвіски.

➤ Параметри діагностування

Для кожного з об'єктів діагностування визначаються ключові параметри, які контролюються під час процесу:

- Температура: перевірка температури двигуна, коробки передач, підшипників для виявлення перегріву.
- Тиск: контроль тиску масла в двигуні, гідравлічної рідини та інших рідинних систем.
- Рівень вібрації: вимірюється для виявлення дисбалансу або зносу рухомих частин.
- Швидкість обертання: вимірюється оберти двигуна та інших механізмів для визначення відхилень від нормативів.
- Стан мастил: перевіряються на наявність металевих часток або інших забруднень, що свідчать про зношення.

➤ Використання фізичного процесу

Фізичні процеси, що використовуються під час діагностування, включають взаємодію механічних, теплових і гідравлічних систем трактора.

- Вібрація: фізичний процес вібрації є ключовим показником стану рухомих механізмів, таких як підшипники, вали, шестерні.
- Теплообмін: контроль температурних характеристик дозволяє виявляти перегрів механізмів або порушення у роботі систем охолодження.
- Мастило та гідравліка: процеси циркуляції рідин (мастила та гідравлічних рідин) дозволяють забезпечити плавність роботи механізмів. Контроль за цими процесами допомагає виявити втрати тиску, витоки, проблеми з насосами.

Складові процесу діагностування тракторів охоплюють широкий спектр завдань, методів та об'єктів, зокрема контроль різних параметрів технічного стану, використання фізичних процесів та сучасних технологій. Правильно організований процес діагностування забезпечує своєчасний ТОіР та планування його, а також підвищує ефективність роботи тракторів, знижуючи експлуатаційні витрати та збільшуючи надійність техніки.

Застосування методів і засобів діагностування технічного стану елементів трактора є невід'ємною частиною сучасного аграрного виробництва. Використання як традиційних методів, так і сучасних дистанційних технологій забезпечує ефективне управління технікою, підвищує її надійність та економічну ефективність. Завдяки дистанційним та інтелектуальним системам діагностування можна суттєво зменшується витратна частина технічного обслуговування та мінімізується ризик несподіваних поломок.

2.3 Безперервна діагностика та прогнозування технічного стану тракторів [5,12,17]

Безперервна діагностика та прогнозування технічного стану тракторів є важливими елементами сучасних систем управління сільськогосподарською технікою. Ці процеси дозволяють забезпечити своєчасне передбачення

можливих поломок, що дозволяє підтримувати трактор у робочому стані з мінімальними витратами на обслуговування та ремонт.

Сутність безперервної діагностики

Безперервна діагностика — це процес постійного моніторингу технічного стану трактора за допомогою встановлених на ньому датчиків і сенсорів, які відстежують ключові параметри роботи обладнання в режимі реального часу. Ці датчики фіксують показники, такі як температура двигуна, тиск масла, рівень палива, робота електронних систем та інші критичні параметри.

Дані з сенсорів надходять у бортову електронну систему або передаються на віддалений сервер для обробки та аналізу. Спеціалізоване програмне забезпечення порівнює отримані значення з нормативними показниками і може відразу сигналізувати про відхилення від норми, що вказують на можливі несправності.

Основні переваги безперервної діагностики:

1. Швидке виявлення проблем: Оператори отримують попередження про найменші зміни в роботі трактора, що дозволяє вчасно вживати заходів.
2. Запобігання серйозним поломкам: Виявлення проблем на ранніх стадіях допомагає уникнути великих поломок, що скорочує час простою техніки і витрати на ремонт.
3. Ефективне планування обслуговування: Безперервний моніторинг дозволяє прогнозувати оптимальні моменти для ТО в реальних умовах експлуатації, а не на стандартних інтервалах.

Прогнозування технічного стану

Прогнозування технічного стану тракторів є доповненням до безперервної діагностики і ґрунтується на аналізі даних, отриманих від сенсорів.

Прогнозування працює за рахунок накопичення та аналізу великих обсягів даних про роботу техніки. Завдяки цьому можна визначити:

- Можливі терміни зносу окремих компонентів.
- Ймовірність виникнення несправностей у найближчий час.
 - Оптимальні інтервали ТО (заміни окремих деталей).

Прогнозується ремонт здійснюється як після поломки, так і перед нею. Це

значно знижує ризики простою техніки та підвищує загальну надійність її експлуатації.

Використання сучасних технологій

Для забезпечення ефективної роботи систем безперервної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів використовуються такі технології:

1. Інтернет речей (IoT): Датчики, встановлені на тракторі, підключені до Інтернету, що дозволяє передавати дані на віддалені сервери для аналізу. Це дає змогу операторам або технічному персоналу відстежувати стан техніки незалежно від її місцезнаходження.

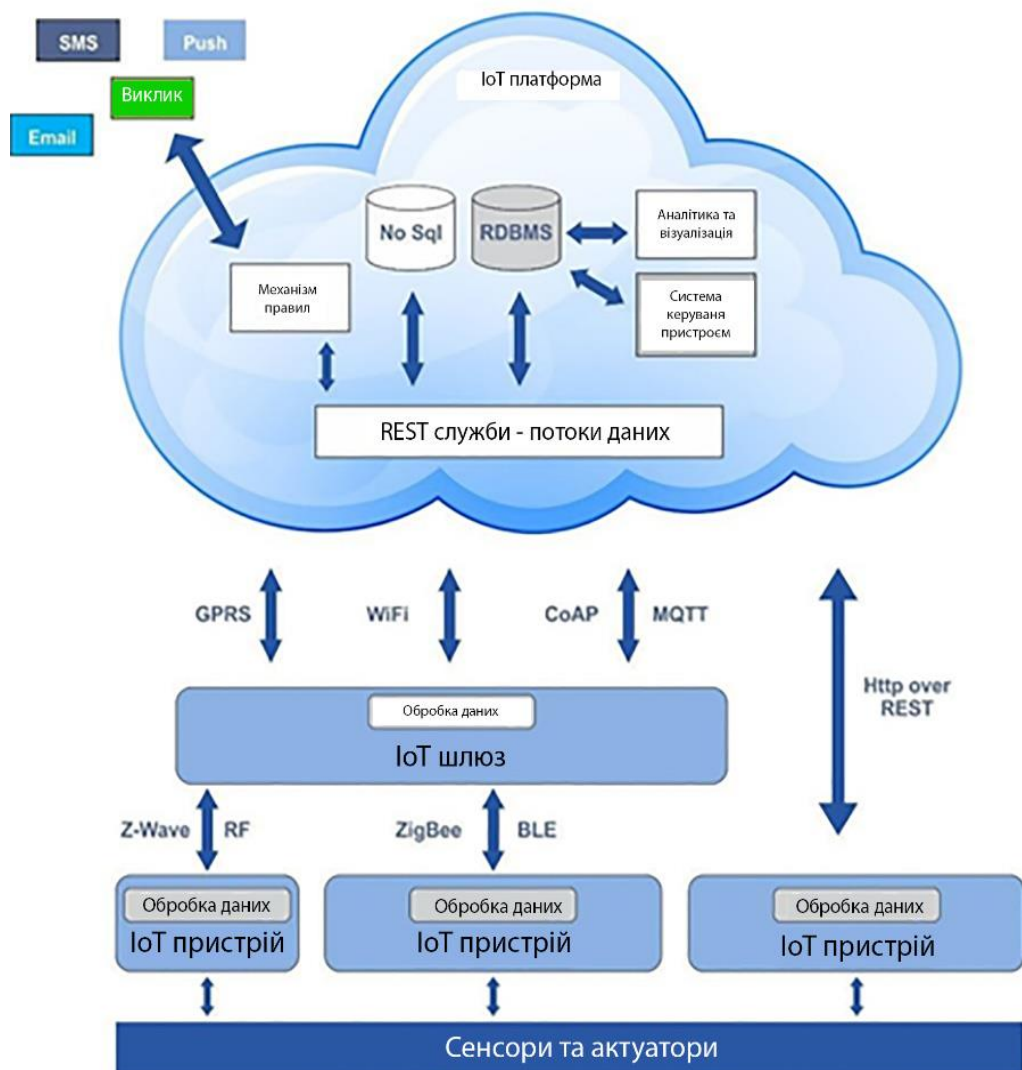
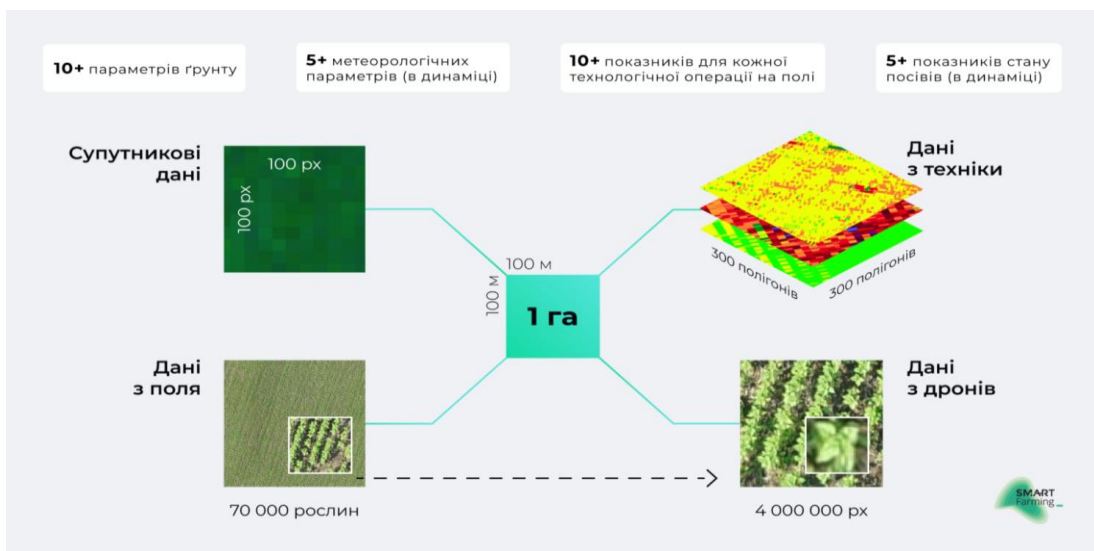


Рисунок 2.3 - Приклад реалізації архітектури Інтернету речей



б)



в)

Рисунок 2.5 - Приклади використання Big Data для прогнозування (а.б.в.)

3. Машинне навчання: Алгоритми машинного навчання використовуються для автоматичного аналізу даних та розпізнавання прихованих залежностей між різними показниками. Вони можуть покращувати свої прогнози на основі нових даних, що робить систему прогнозування ще точнішою та надійнішою.

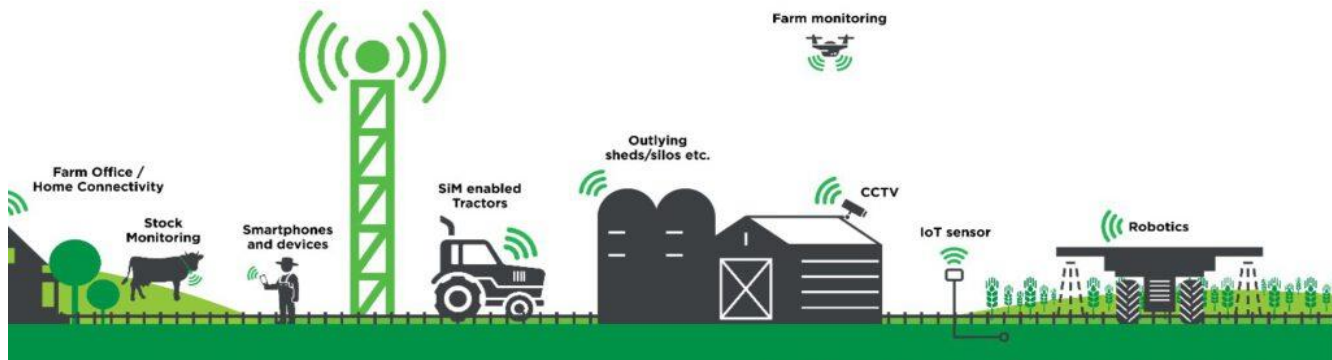


Рисунок 2.6 - Приклад машинного навчання

Економічна ефективність

Впровадження безперервної діагностики та систем прогнозування має важливі економічні переваги:

- Зменшуються ремонтні затрати, своєчасне виявлення несправностей дозволяє провести ремонтні роботи на початкових етапах, що знижує загальні витрати.
- Оптимізація технічного обслуговування: Завдяки точним прогнозам обслуговування можна виконувати тільки тоді, коли це дійсно необхідно.
- Зниження простоїв техніки: Прогнозування допомагає уникати несподіваних зупинок техніки через поломки, що позитивно впливає на продуктивність сільськогосподарських операцій.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА СИСТЕМА БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАКТОРІВ

3.1 Аналіз вимог до діагностичної системи

Постійна модернізація та оновлення технологій та засобів є обов'язковими для ефективного розвитку сільськогосподарського виробництва. Аналіз науково-технічних публікацій показав, що мехатронні (телематичні) бічні системи стають основою технічного прогресу у сільськогосподарському машинобудуванні. При цьому час, діагностика їх технічного стану є стандартна процедура для всіх мікропроцесорних систем. Таким чином, рівень технологічної інфраструктури с.-г виробництва визначається наявністю мехатронних систем управління та контролю продуктивності тракторів та іншої сільськогосподарської техніки. Поділяючи мехатронні системи на вищезазначені згадані компоненти, можна говорити про тристоронню безперервну функціонально-завершену систему. Її силовий агрегат складається з досить простих механічних вузлів, які виступають виконавцями в цій системі. Інформативна частина вбудована у виконуваче програмне забезпечення і записані в мікропроцесорах, що утворюють цілу систему МТА.

Функції оператора (тракториста-машиніста) в цій системі обмежені. Ці функції включають запуск двигуна, контролюючи роботу всіх систем, водіння та зупинку агрегату, перешкоджання роботі автоматики система управління (САУ) в екстремальних ситуаціях зупиня двигун. У деяких випадках керує оператор МТА безпосередньо за допомогою сигналами від датчиків або елементів керування на інформаційному дисплеї. Однак лише деякі системи можуть здійснювати самоконтроль.

Так, наприклад, система Motronic від Bosch може самодіагностувати запалювання та вприскування палива. Інтегровані системи типу "Hardware-in-the-Loop" для с.-г тракторів дозволяють визначити несправності та відобразити коди помилок під час сканування.

Проаналізувавши результати робіт, можна систематизувати вимоги до діагностичної системи:

По-перше, система повинна забезпечити попередження оператора та власника об'єкта управління про несправності системи або самої діагностичної системи за допомогою індикаторів, дисплею та блоку звукового оповіщення, а також записатися на прийом в сервісний центр.

По-друге, система повинна забезпечувати доступ до технічної інформації та її зберігання, зокрема, попереджувальної інформації в ППК і дані про окремі несправності.

При цьому дані про умови роботи двигуна буде збережено під час виявлення несправності. Тип і повнота інформації відповідає стандартам SAE J1978, SAE J1979 і SAE J2205. Дані, що зберігаються в пам'яті системи самодіагностики переведено на стенд виявлення відмов, обладнаний з відображенням через канал GSM. Після цього персонал зв'яжеться через Інтернет з центральним сервером, виявивши несправності та запропонує алгоритм її усунення у форматі покрокової інструкції. Такі протоколи визначені в стандартах ISO 9141-3 та ISO 14230-4.

По-третє, трактори та сільськогосподарські машини сучасних конструкцій повинні бути обладнані автономними аварійними системами. Наприклад, постійний контроль технічного стану МТА забезпечує своєчасне технічне обслуговування, що збільшується рівень експлуатаційної надійності та економічності машини.

Контроль мікропроцесорів може значно розширити технологічні можливості, побічний мікропроцесор системи забезпечує автоматизовану діагностику в технічний стан МТА. Він надає інформацію про необхідне технічне обслуговування трактора, якщо це необхідно. Опція звукового попередження полегшує роботу оператора, що вдосконалив виконання польових робіт МТА.

Тому робота спрямована на дослідження системи та взаємозв'язки під час реалізації дистанційної постійної діагностики та прогнозування роботи системи трактора та сільськогосподарської техніки.

Практичне використання результатів дослідження оптимізує МТА діагностичний процес і підвищує надійність роботи його обладнання.

Система безперервної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів змінює ключову роль прогнозу в забезпеченні ефективної та безпечної роботи сучасної сільськогосподарської техніки. У контексті розвитку технологій точного землеробства та автоматизованих систем управління дистанційна діагностика стає інструментом для підтримки стабільної та надійної роботи машинно-тракторних агрегатів. Основними вимогами до системи діагностики є: безперервність збору даних. Система повинна забезпечувати постійний моніторинг ключових параметрів роботи трактора, таких як температура двигуна, тиск масла, витрати палива, стан електронних систем та інших важливих компонентів. Все це своєчасно виявить відхилення від норми та запобіжить можливим поломкам.

3.2 Матеріали та методи дослідження

Предметом дослідження є дистанційна безперервна діагностика і система прогнозування роботи, що забезпечує обмін технічною інформацією, що надходить від датчиків МТА в процесі руху зі зміною тягового навантаження. Як додаткові датчики, рекомендується використовувати датчик якості масла ESM-27E і датчик залишкової товщини гальмівних накладок типу Z-TP1 (рис.3.1, табл. 3.1). Інформація надходить з системи на центральний діагностичний сервер, який визначає несправність і пропонує варіанти їх усунення у вигляді покрокової інструкції для оператора трактора, індивідуально для обслуговуючого персоналу і в програмному забезпеченні у вигляді прогнозу несправностей та необхідні ремонтні роботи. Об'єкт дослідження був виконаний в польових умовах експлуатації з використанням режиму моделювання складних технологічних процесів, з використанням теорії масового обслуговування та методів спостереження і експериментів.



Рисунок 3.1: Схема розподілу датчиків в силових агрегатах машини

Проведена математична обробка експериментальних даних виконується за допомогою програмного забезпечення трьома підходами: за допомогою дисперсійного аналізу, що забезпечує значущість відмінності між групами за кожною змінною; використовуючи кластерний аналіз, пов'язаний з поділом на однорідні групи в межах усієї добірки; за допомогою Data Mining аналіз, який діагностує логічні закономірності.

Достовірність результатів і висновків дослідження забезпечувалась вибіркою, використанням математичними і статистичними методами, і змістовним аналізом виявлений фактичний матеріал.

Наукова новизна полягає в можливості дистанційної безперервної діагностики, прогнозування несправностей і планування ремонту тракторів та сільськогосподарської техніки оперативно.

3.3 Результати експериментальних досліджень та їх аналіз

МТА, що використовували в досліді, оснащувався трактором МТЗ 1523 з 155 к.с. двигуном і мілким плугом ЛДГ-5 з бороною дисковою БДН-3 (рис. 3.2).

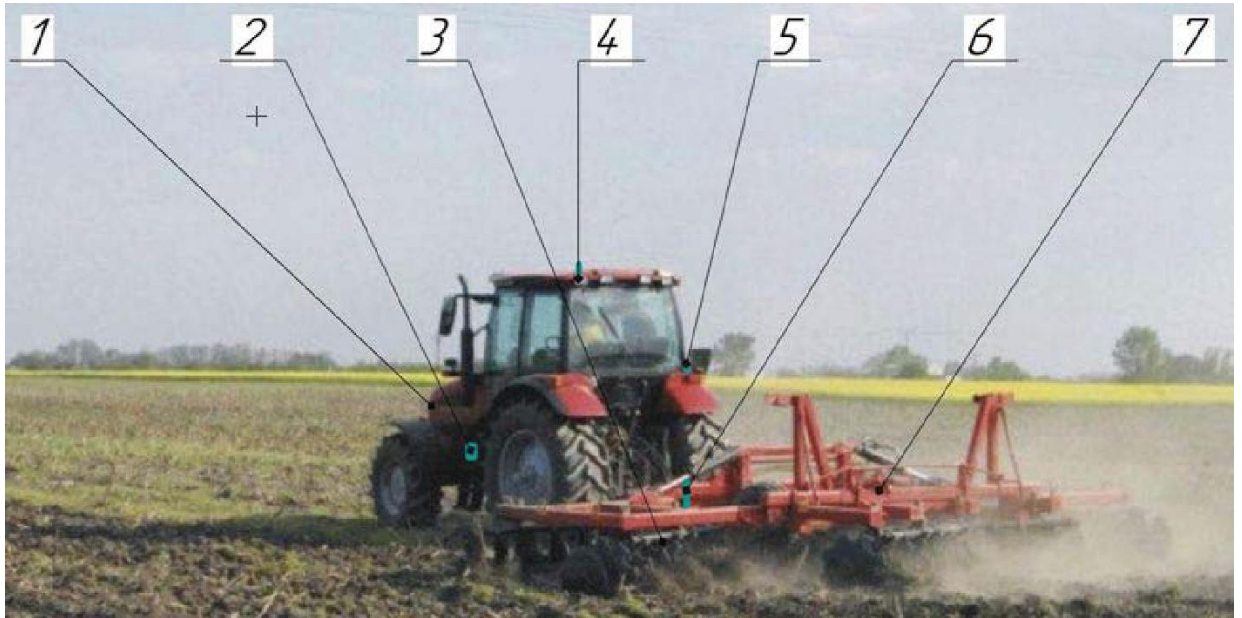


Рисунок 3.2 - Базова експериментальна установка;

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

Розглянемо роботу цього агрегату як динамічну систему під впливом середовища $F_i(t)$ (рис.3.3). У даному випадку суб'єкт господарювання - тракторист, приймає тільки вихідні сигнали $x_i(t)$ від трактора і використовує прилади для зчитування (обертота частота валу (колінчатого) двигуна, швидкість пересування, температура охолоджувальної рідини, тиск масла, глибина обробки ґрунту тощо), забезпечуючи зворотний зв'язок і впливає на керування $c_i(t)$. При цьому він постійно контролює технологічний процес (під час лушення, головним чином відсутність провалів і нахилів), забезпечує необхідні задані параметри $z_i(t)$ і безпеку агрегату під час експлуатації.

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 ПРАВД 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
	ϵ_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, М <ul style="list-style-type: none"> • D100. 	$Pa, Po, Pc,$	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

Під час дослідів трактористу довелося приймати рішення щодо контролю діяльності, наприклад зміна напрямку, подача палива або перемикання передач, щоб вирішити проблему позапланових завдань з урахуванням підтримки швидкості зазначеної технології (12 км/год), а також при відхиленнях із за зовнішніх факторів. Конструкція неглибокого плугу передбачала зміну кута випередження в межах 0-300 за допомогою гідравлічної системи..

У результаті виявилось, що людина не завжди може вміти повністю обробляти взаємопов'язаний потік інформації і прийняти найбільш адекватне рішення протягом проведення технологічної операції через його обмежені фізіологічні можливості..

Частота відхилень від ширини захоплення за зміну з фіксованим кутом удару становило до 3 разів на годину до кінця робочої зміни. Під час додаткового навантаження тракториста, коли йому доводилося записувати технічні індикатори двигуна раз на годину, цей індикатор зріс до 5.



Рисунок 3.3. - Існуюча схема керування роботою машинно-тракторного агрегату

Щоб розвантажити тракториста під час випробувань, трактор оснащувався рядом нестандартних датчиків (вони наведені в табл. 1 без знаку *). Крім того, схема (рис.3.3) була використана для складання спеціальної системи.

Пропонований контроль, побічну діагностику та прогноз несправностей система (CDS) забезпечила через зворотний зв'язок $y_i(t)$. Цей CDS варіант прийнятих вихідних сигналів $y_i(t)$, перетворив їх у цифрову форму, оброблену відповідно до заданого алгоритму при заданих параметрах $z_i(t)$, порівнював вихідні сигнали з необхідними для даної конструкції і відправляв контрольний

сигнал до виконавчих механізмів $z_{i1}(t)$, приводячи в дію роботу механізмів трактора, визначив похибку i , якщо необхідно, він також інформував тракториста, службу чи сільськогосподарські відділи за змінені параметрами, на планову заміну або регулювання параметрів запчастин.

Основними елементами запропонованої системи були електронний блок керування (як на рис.3.5: мікропроцесор, збірка з терміналом зв'язку А,, супутниковою антеною В, джгут С і GPS-антеною D для передачі даних на сервер за допомогою бездротової мережі) і датчики, підключені до передачі даних ходової частини та вузлів (рис. 3.6), що дозволяють виконувати безперервний контроль технічного стану МТА. Збірка мікропроцесора виконана на основі мікропроцесора SAB100C917A компанії SIEMENS; він має 25 Кбайт оперативної пам'яті (RAM) і 2018 Кбайт постійної пам'яті (ROM) 2018..

Збірка мікропроцесора системи побудована в програмі діагностики та прогнозування, яка використовується для визначення приналежності вихідного контролю і технічні параметри-адаптери x_i вимірюваних значень до необхідного набору інтервалів, обмежених мінімумом $x_i \min$ і максимумом x_i максимальних значень.

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

Якщо значення x_i знаходилося в межах заданого прийнятого інтервалу, то агрегатна робота системи (збірка, запчастина) вважається можливою і стабільною. В іншому випадку CDBS посилає керуючий сигнал, щоб перевести систему в стабільний режим і записує помилку, якщо відповідь незадовільна. Після цього помилка аналізується для вибору подальші дії.

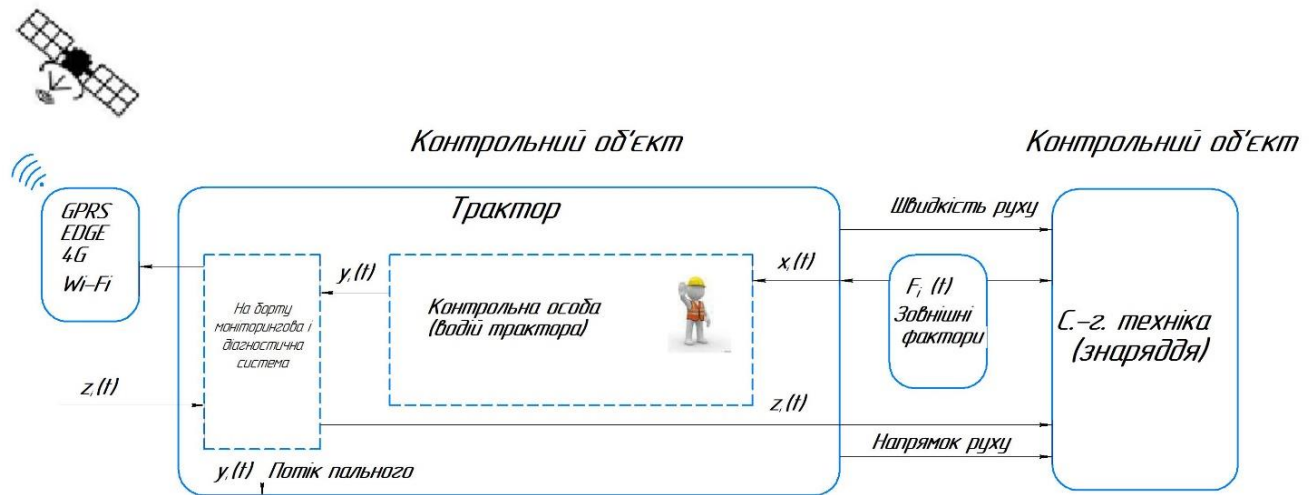


Рисунок 3.4:- Модифікована схема керування роботою машинно-тракторного агрегату

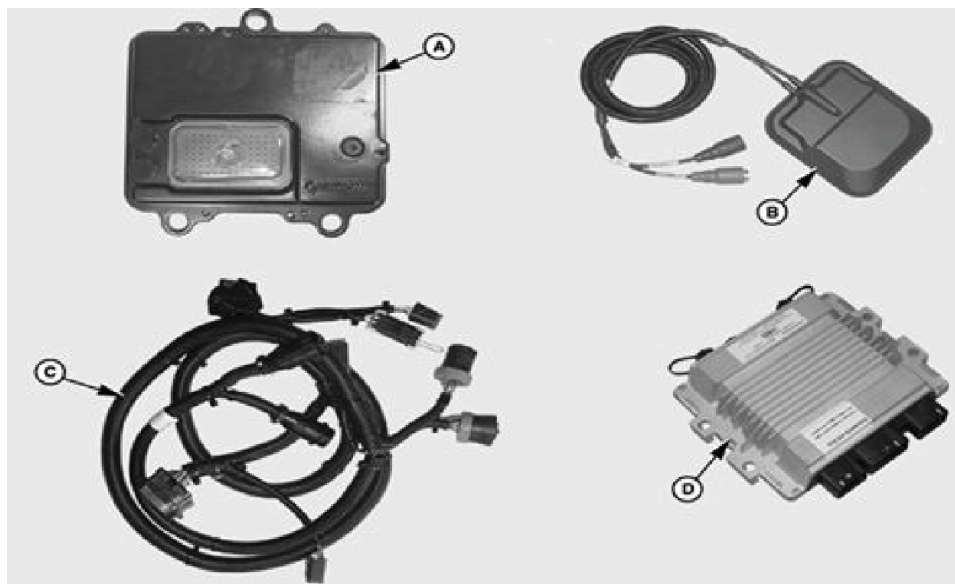


Рисунок 3.5- Компоненти CDBS (перевірка, діагностика і система прогнозування несправностей): А – мікропроцесор збірка з терміналом зв'язку, Б – супутникова антена, С - джгут проводів і D - антена GPS

Таким чином, ми показали функцію (1) як інтервальний шаблон

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

Де Δx - допустиме відхилення параметра x_i від оптимального значення x_i^{TP} .

Параметри (маркери) контрольної операції x_i розбиваємо на економічний і робочий, заради зручності (табл.3.1). До першої групи належать значення, які залежать від палива, що вприскується в циліндр, тобто ефективна потужність Ne

та питомі ефективні витрати палива g_e момент M_e , коефіцієнт регулювання k_m і обертання колінчастого вала двигуна - частота ω_n . Ці параметри були скориговані перед технологічною операцією. Остаточна операція Маса m трактора з баластом становила 6260 кг. Ця величина не змінилася під час операції. Робочі параметри, що характеризують технічні і економічні агрегатні показники за робочий хід були виміряні та контрольовані. Коефіцієнт навантаження по крутному моменту, як результуючий показник використано $\epsilon_m = M_k/M_n$, який характеризує режим навантаження..

Прогноз параметрів роботи двигуна склав виготовлені на основі окремих вузлів діючих маркерів, а вхідні показники - за випадковими величинами, як вони відповідають нормальному закону ймовірності. Таким чином, ми розглянули параметри трактора і робочої машини, регульовані під час робочого ходу і агрегатно-технологічні і економічні показники як випадкові величини.

Показано на рис.3.6 весь потік даних у системі МТА -СДС як множинна динамічна система, що входить до складу заповнювач Зручно було розділити систему на чотири групи пристроїв відповідно до заданої конструктивної схеми: двигун, трансмісія, система пересування та обладнання. Експерименти довели, що неточності існуючих вітчизняних датчиків і виконавчі пристрої у кілька разів перевищує допустимі похибки параметрів двигуна і умов його процесу, які були визначені на основі аналізу регулювання характеристик двигуна.

Щоб описати кожен групу, що функціонує для адаптації, ми впорядковуємо вихідні параметри-маркери залежності на вході. Таким чином, відбувається обертання колінчастого валу, частота ω , яка залежить від моменту опору $M_c = M_e$, буде використано як вихідний параметр-маркер при встановлених енергетичних параметрах трактора ($N_e = 116$ кВт·м) і характеристикою двигуна ($M_e = 603$ Н·м, $k_m = 16,5\%$, $n = 2100$).

Вказану нижче залежність можна використовувати для опису функціонування цієї групи обладнання при використанні трактора в тяговому режимі.

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

Стан цієї групи можна оцінити за допомогою наступних параметрів датчиків $p_m, t_m, p_o, t_o, h_g, \gamma$ (див. табл. 3.1). Для контролю якості моторної оливи було впроваджено додатковий електричний датчик заміни оливи ЕСМ-27Е (табл. 3.1). Перед підключенням датчика до контролера було запрограмовано активний рівень. Після цього були встановлені «межі зони тривоги» таким чином, щоб вхідна напруга в неактивному стані знаходилася в середині зони тривоги, а в разі замикання шлейфу або його обриву - виходила за її межі. Вхідна напруга 5 В - максимальний рівень 100%.

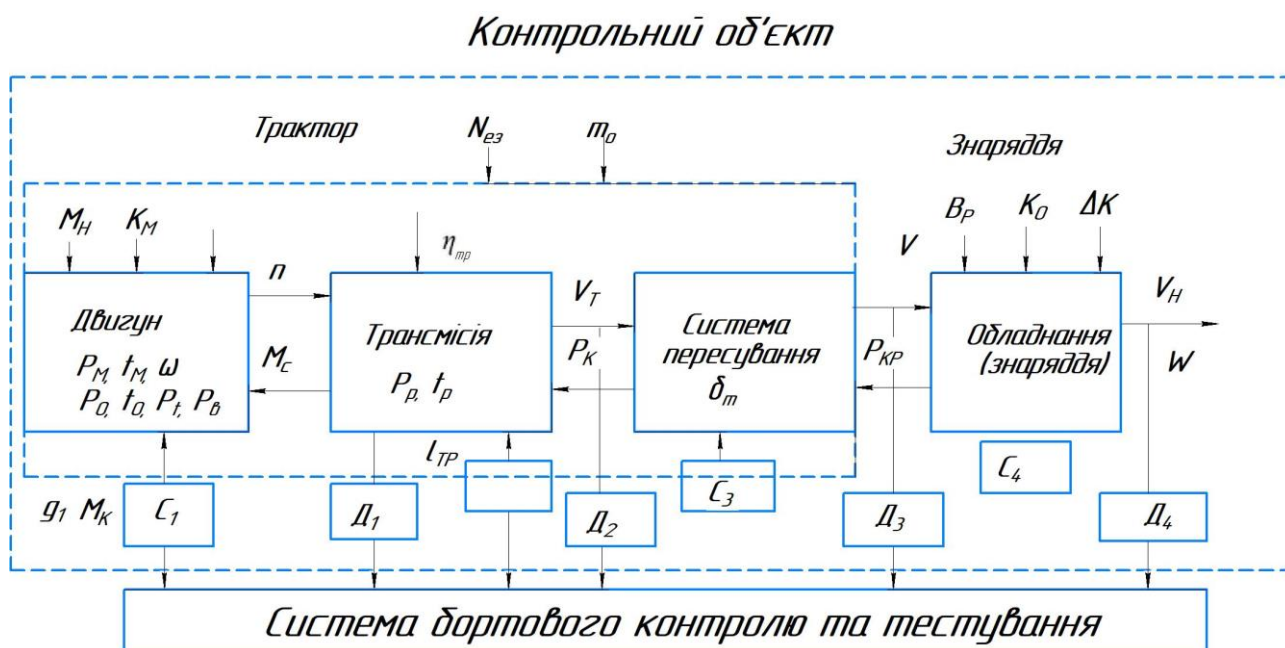


Рисунок 3.6 - Структурна схема об'єкта управління «Трактор як сільськогосподарське знаряддя»

Механічна трансмісія трактора перетворює параметр ω в теоретичну швидкість трактора V_t (ведучі колеса швидкості ω_w), тому друга група функціонує на вхідний параметр - тангенціальна тяга ведучих коліс P_t , є оцінюється, використовуючи такі вирази:

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

Де i_{TP} - передаточне число трансмісії.

Визначено взаємозв'язок вихідних V_T і вхідних P_K параметрів на основі функціонального стану при $r_d = \text{const}$, $i_{TP} = i_{дем}$

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

Можна оцінити стан трансмісії та прогнозування роботи на основі значень p_p , t_p . Ми діагностували стан вузла і планували ремонт на основі показань цих датчиків разом з датчиком стану мастила, аналогічним датчику, описаному нижче. Перед початком експерименту ми заповнили систему змащення двигуна моторною оливою M10G2, що призвело до зниження тиску під час експерименту з 7 до 4,5 бар при частоті обертання двигуна 2100 хв-1.

Зовнішніми впливами на третю групу дослідів були сила тяги $P_{кр}$ та опір коченню трактора $P_f = m_3 \cdot g \cdot f$. Вихідним параметром є фактична швидкість руху трактора $V = V_T \cdot (1 - \delta)$, яка одночасно є основним параметром-маркером тягового агрегату. Його зв'язок з вхідними та заданими параметрами визначається системою рівнянь:

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

Критерій оптимізації параметрів (n , M_k , і t_p) для визначення енергетичних (N_e) і тягово-зчіпних параметрів трактора ($\eta_T \max$, δ_{opt}), відомих характеристик агрегатного тягового зусилля (P_{hook} , ω_{hook}) і інтервалів зміни значень робочої швидкості ($V_H \pm \Delta V$) можна представити у вигляді мінімізуючої функції.

$$F = \left| \frac{\pi \cdot M_e \cdot \omega_H}{30 \cdot N_e} - 1 \right| + \left| \frac{\pi \cdot \omega_H \cdot \varepsilon_N}{30 \cdot V_H \cdot i_k \cdot \varepsilon_M} - 1 \right| + \left| \frac{P_{KP} \cdot m_3 \cdot g \cdot f}{\eta_{TP} \cdot \varepsilon_M \cdot M_H \cdot i_k} - 1 \right| \rightarrow \min \quad (3.7)$$

Ефективність роботи МТА із заданими параметрами заданого тягового зусилля, в нашому випадку, визначалася за показниками чистої продуктивності W (м² /с), питомого енергоспоживання $E_{п}$ (кДж/м²) та погектарної витрати палива g_w (кг/га):

$$\begin{cases} W = \varepsilon_N \cdot N_e \cdot \eta_m / K_o [1 + \Delta K (V_H^2 - V_0^2)] \rightarrow W^* \\ E_{п} = \varepsilon_N^* \cdot \frac{N_{\varepsilon 3}}{W} \rightarrow \min, \\ g_w = \frac{2,77 G_m}{W} \rightarrow \min. \end{cases} \quad (3.8)$$

При відхиленні цих параметрів від граничних значень бортова система безперервної діагностики видає керуючий сигнал S_i для корекції системи і

переведення її в стабільний стан. У разі повторної незадовільної реакції сигналізується про помилку, що служить підставою для прийняття подальших рішень про необхідність голосового набору, SMS, зв'язку з оператором машини через зовнішній мікрофон (за допомогою GPS), автотрекінгу, технічного обслуговування або ремонту.

Експерименти виявили необґрунтовану появу сигналів тривоги про несправності. Тому було впроваджено алгоритм самодіагностики та аварійний режим роботи в разі виходу з ладу датчиків. Вихідні ключі керування приводами були оснащені захистом від короткого замикання.

Підсистема діагностики була реалізована в програмному забезпеченні електронного блоку управління, що дозволило визначати поточні несправності системи та агрегату і фіксувати їх. Помилки, отримані електронним блоком під час експериментів, передавалися на контролер для обробки і подальшої передачі на діагностичну станцію сервісної компанії (рис. 3.7). Схема дистанційної діагностики виглядала наступним чином:

1. Перевірка роботи бортової системи діагностики та діагностичного ланцюга.
2. Визначення кодів несправностей.
3. Передати несправності, що впливають на якість роботи МТА, на діагностичну станцію сервісного центру.

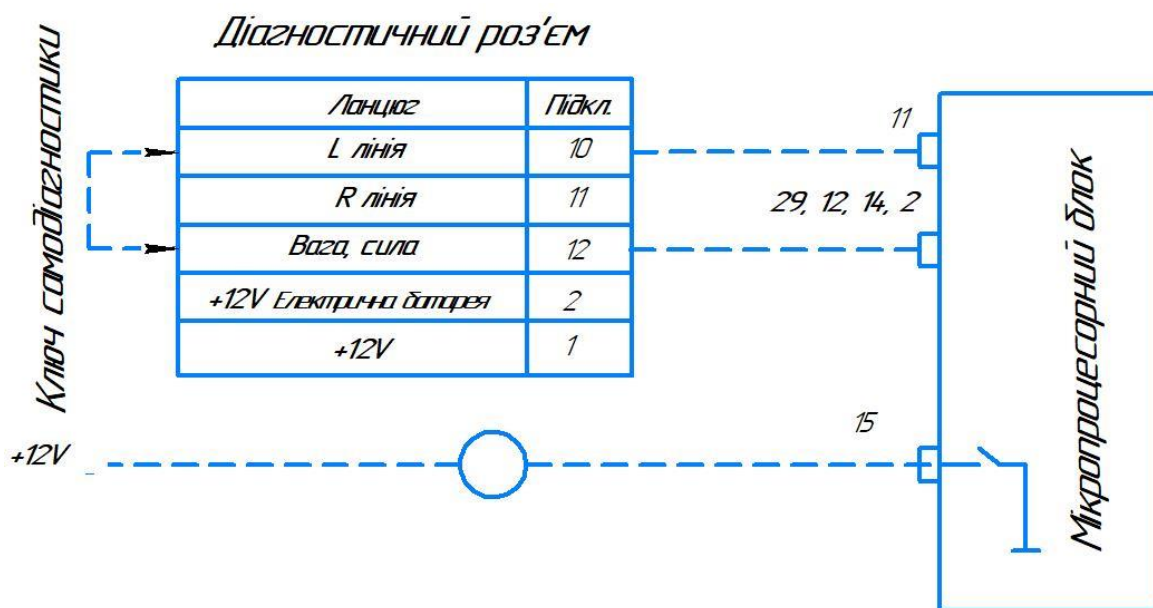


Рисунок 3.7: Схема модифікованого діагностичного ланцюжка

У цьому дослідженні розглядалася послідовність проходження транспортних засобів, що знаходяться в експлуатації, через станції діагностики та технічного обслуговування. Це двофазна система з режимом очікування, на яку надходить майже необмежений потік заявок. Оскільки різні сервісні підрозділи можуть обслуговувати різні вузли та агрегати, основним завданням моделювання та оптимізації є отримання таких узагальнюючих закономірностей та результатів, які можуть бути застосовані до будь-якого типу транспортного засобу за будь-яких умов. Для визначення технічних показників функціонування двофазної системи діагностики та технічного обслуговування використовуємо показники кількості тягових одиниць, що знаходяться на першій фазі (на діагностиці) m_{o1} та на другій фазі (на технічному обслуговуванні) m_{o2} , а також відповідні ймовірності простою m_n . На рис.3.8 показано зведений графік залежності у фазі діагностики m_{o1} та фазі технічного обслуговування m_{o2} відповідно від α_1 та α_2 , залежно від співвідношення $\alpha_1 = \lambda/\mu_1$ та $\alpha_2 = \lambda/\mu_2$ між щільністю вимог λ та інтервалами між технічними обслуговуваннями μ_1 та μ_1 у кожній фазі.

Зведений графік залежності на етапі діагностики m_{o1} та технічного обслуговування m_{o2} відповідно від α_1 та α_2 наведено на рис. 3.8. Згідно з графіком значення m_{o1} визначається за допомогою залежності від α_1 , а m_{o2} - за допомогою залежності від α_2 . Значення m_{o1} і m_{o2} при відповідному зростанні α_1 і α_2 зростають за гіперболічною залежністю. Використовуючи допустимі значення m_{o1} і m_{o2} і беручи до уваги виробничі приміщення, можна визначити відповідні значення α_{1o} і α_{2o} .

Необхідні інтервали технічного обслуговування

$$\mu_{1o} = \lambda_o / \alpha_{1o} \text{ і } \mu_{2o} = \lambda_o / \alpha_{2o}$$

можна визначити, використовуючи задану інтенсивність потоку вимог λ_o .

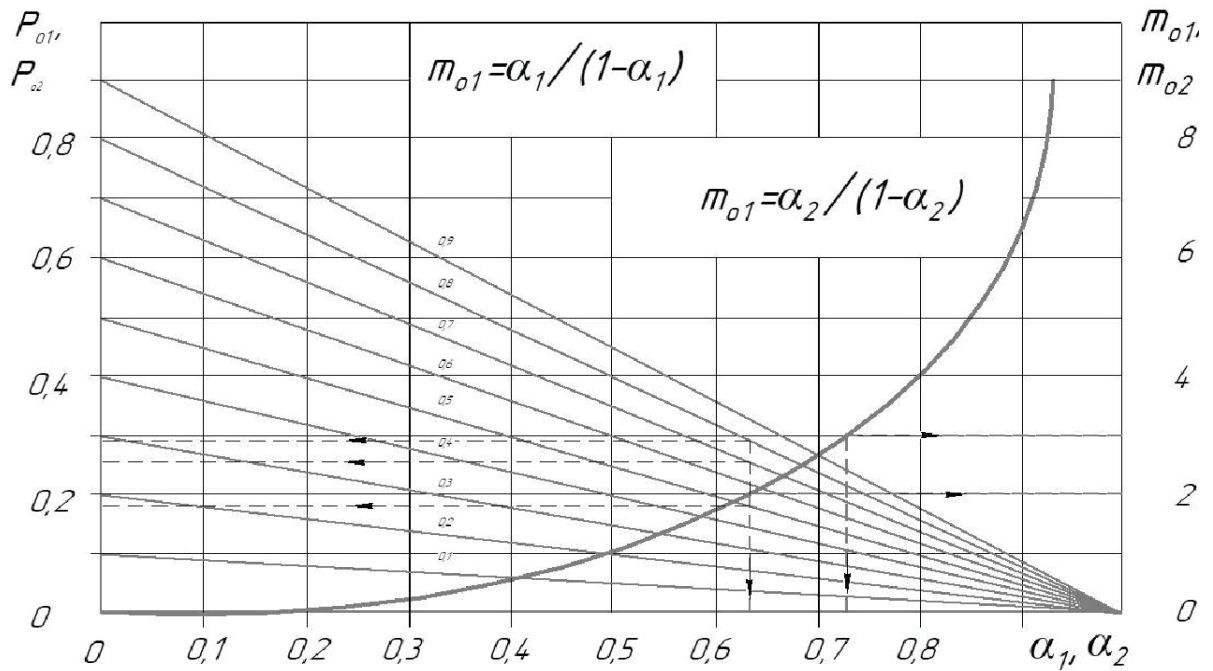


Рисунок 3.8 - Зведений графік залежностей на етапі діагностики m_{o1} і етапі технічного обслуговування m_{o2} відповідно на α_1 та α_2

Наприклад, якщо в кожній фазі по два транспортні засоби ($m_{o1}=2$, $m_{o2}=2$), то, як показано на рисунку 3.8, $\alpha_{1o} = \alpha_{2o} = 0,63$. Якщо щільність заявок $\lambda_o = 1,2$, то необхідні інтервали ТО $\mu_{1o} = \mu_{2o} = \lambda_o / \alpha_{1o} = 1,2/0,63 = 1,9$. Аналогічне рішення можна отримати і при інших значеннях m_{o1} і m_{o2} . Наприклад, якщо в першу фазу можна поставити два транспортні засоби ($m_{o1}=2$), а в другу - три ($m_{o2}=3$), то $\alpha_{1o} = 0,63$, $\alpha_{2o} = 0,72$ в графіку на рисунку 7. При цьому інтервали між технічними обслуговуваннями повинні становити $\mu_{1o} = 1,9$ та $\mu_{2o} = 1,67$. За допомогою значень μ_{1o} та μ_{2o} можна визначити кількість станцій, спеціалістів з діагностики та ремонтників.

Використання відомих значень α_1 та α_2 дозволяє визначити відповідні ймовірності простою станції діагностики P_{o1} та технічного обслуговування P_{o2} (рис. 3.8). Наприклад, у першому випадку при $\alpha_{1o} = \alpha_{2o} = 0,65$ отримуємо $P_{o1} = P_{o2} = 0,277$, як показано стрілками на рис.3.8. При $\alpha_{1o} = 0,65$, $\alpha_{2o} = 0,72$ для визначення P_{o1} значення α_{1o} відкладається по горизонтальній осі, а α_{1o} - на відповідному півпромені. У цьому випадку отримуємо $P_{o1} = 0,26$. Аналогічно, при визначенні P_{or} відкладаємо значення $\alpha_{2o} = 0,72$ по горизонтальній осі, а $\alpha_{1o} = 0,65$ - по півпроменю. У цьому випадку $P_{o2} = 0,188$, як показано пунктирними лініями.

Для полегшення ідентифікації та пошуку система була оснащена інтерфейсом, в якому вказувалося місце розташування агрегату на карті, виявлені несправності, час роботи та необхідне технічне обслуговування (рис. 3.9). Експериментальне дослідження показало, що щільність попиту на усунення технічних несправностей може перевищувати можливу кількість транспортних засобів, відремонтованих у сервісному центрі (ремонтній майстерні). Приймавши потік технічних несправностей за розподіл, було визначено, що ймовірність $P_k(\tau)$ надходження заявки t за період τ обчислюється за формулою Пуассона.

$$P_k(\tau) = ((\lambda\tau)^t / t!) \cdot e^{-\lambda\tau}$$

Багато вчених за допомогою експериментів довели, що потік відмов тракторів з достатньою точністю можна вважати пуассонівським (вважав Пуассон). Виходячи з цього, визначимо щільність відмов λ за допомогою рівняння

$$\lambda = 1/\tau_{отк}$$

де $\tau_{отк}$ - середній час між відмовами (напрацювання на відмову), 1/год. Передбачається, що обслуговування кожної заявки виконується одним стаціонарним засобом, тому інтервал відповідного обслуговування обчислюється за формулою

$$\mu = 1/\tau_{об}$$

де $\tau_{об}$ - середня тривалість усунення однієї несправності, год.

Внаслідок збільшення тривалості усунення несправності та щільності відмов утворюється черга з транспортних засобів, що очікують на обслуговування. Таким чином, потік повинен бути перерозподілений на інші послуги за допомогою комп'ютерної програми.

Експеримент показав, що при використанні розділеного методу, коли резервуються окремі машини та елементи агрегатів, час простою зменшується до 19%. Можна замовити резервування з цілою або дробовою кратністю, в залежності від кількісного співвідношення між основними і резервними елементами або комплектними агрегатами. Якщо будь-який резервний елемент

або агрегат може замінити несправний основний, то це вважається резервуванням з рухомим резервуванням. У цьому випадку час простою скорочується ще на 5%.

Під час експериментів ми запропонували реалізувати в програмі ймовірність гарячого, легкого та холодного резервування. Така реалізація схеми є покращеним вдосконаленим аналогом технічного обслуговування обладнання (для порівняння показано червоним кольором на рис. 3.10) та схеми профілактики за графіком поточних ремонтів.

Впроваджуючи систему безперервної діагностики (СБД), ми використовували зворотний зв'язок для коригування роботи двигуна в режимі реального часу. Це дозволило безперервно контролювати показання датчиків і вчасно прогнозувати необхідність ремонту. Використання непрямих показників діагностики (за температурою та складом відпрацьованих газів, вібрацією під час роботи) дозволило розширити кількість діагностованих параметрів, у тому числі для визначення стану механічних компонентів двигуна, циліндрів, колінчастого валу, систем подачі та змащування палива, тощо. Попередження про ремонт працює наступним чином: інформація надходить від машини до моделі об'єкта управління через GPS-канал, а потім зберігається та обробляється. У разі необхідності ремонту модель об'єкта управління приймає рішення та інформує сервісну компанію (СК) про приблизну дату прибуття обладнання в ремонт та його заміну, якщо це необхідно.

Зазвичай, доступ до таких робіт має лише виробник або дилерська компанія. При цьому, технічне обслуговування - це профілактичний захід, що включає в себе ряд робіт, спрямованих на попередження несправностей, забезпечення повної працездатності агрегату, вузла або системи транспортного засобу. Технічне обслуговування виконується планово, через певні пробіги або певний час експлуатації транспортного засобу, не допускаючи простоїв. При використанні номінальної схеми трактор з несправними агрегатами, вузлами, системами і деталями, які можуть загрожувати безпеці руху, не допускається до роботи і простоює. У цій ситуації обслуговування здійснюється самим суб'єктом

управління (трактористом-машиністом, рис. 3.1 і 3.9), як правило, згідно з графіком роботи.

Запропонована система передбачає надсилання повідомлення на телефон механізатора перед початком зміни із зазначенням лише необхідного технічного обслуговування за зміну та автономне інформування сервісної компанії про очікувану поломку. Аналітики сервісної компанії приймають остаточне рішення.

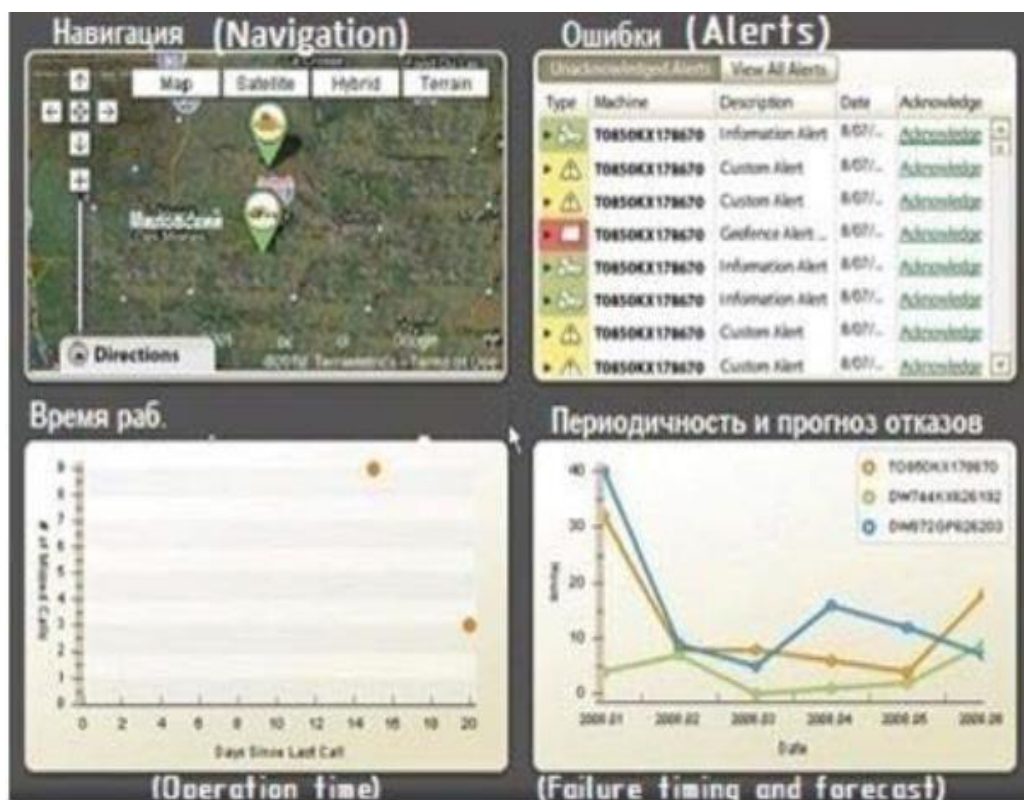


Рисунок 3. 9: Знімок програмного інтерфейсу

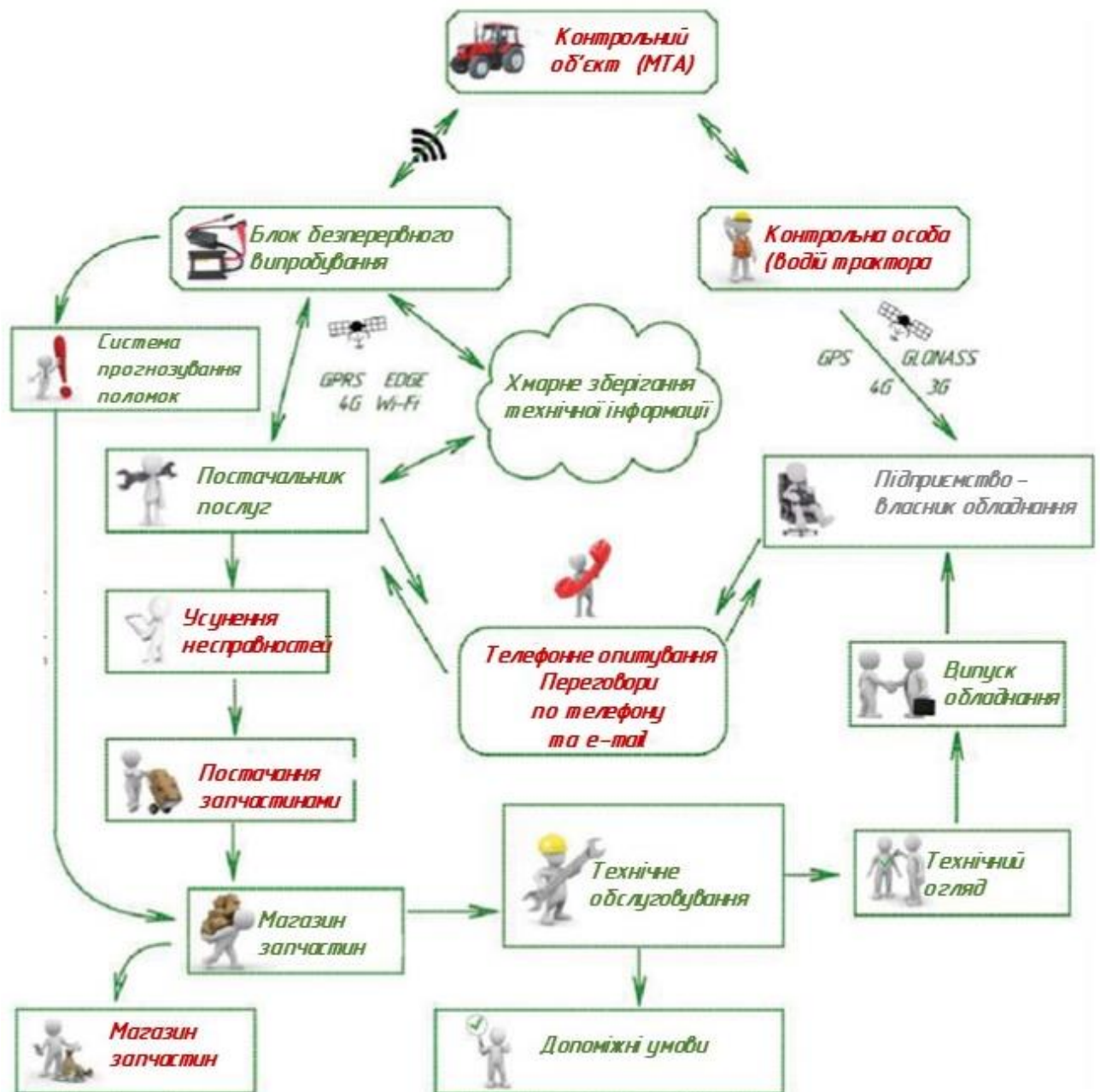


Рисунок 3. 10 - Блок-схема системи безперервної діагностики МТА-СБД-СК

Обробка статистичних даних здійснювалась регресійним аналізом функціональних залежностей. Математичний аналіз дав наступні результати для формування рівнянь регресії:

- коефіцієнт множинної регресії $R = 0,9998971$;
- критерій Фішера $F = 390,2639$;

Дані оціночних критеріїв під час дистанційного моніторингу порівнюються з хмарними даними, які дещо відрізняються від вбудованих критичних значень, що використовуються системою управління замовника. Дані, що надходять з конкретної машини, порівнюються з величезною базою

даних машин цього класу, що дозволяє використовувати весь досвід, доступний системі, і, передбачаючи тенденцію відхилення від певного параметра, своєчасно виключити серйозні пошкодження до того, як це створить аварійну ситуацію або аварійну зупинку обладнання. Оцінка економічного ефекту здійснили за різницею сумарних приведених витрат на порівнянний разовий обсяг робіт. Впровадження таких пропозицій (проектних) приніс економічний ефект більше 5%.

ВИСНОВКИ

До складу системи безперервного діагностування технічного стану та прогнозування несправностей тракторів і сільськогосподарської техніки входять чотири групи взаємопов'язаних швидкісних, навантажувальних і тягово-зчіпних параметрів-маркерів, що забезпечують ефективну роботу трактора в складі МТА. Використання систем дистанційного діагностування та самодіагностування МТА дозволяє суб'єкту господарювання прискорити проведення діагностики, знизити коло можливих несправностей та зменшити час простою.

Встановлено, що створення пристрою для дистанційного діагностування тягового обладнання транспортних засобів за допомогою телекомунікаційних засобів стандарту GSM усуває час очікування транспортного засобу на обслуговуванні та забезпечує заданий швидкісний, навантажувальний, тепловий режим випробувань в реальних умовах експлуатації для проведення якісного діагностування. Алгоритм програми для вимірювання робочих параметрів повинен компенсувати похибки перетворення, виходячи з припущення, що вони мають як систематичний, так і випадковий характер.

Для ремонтної майстерні отримано зведені оптимальні ресурсозберігаючі комбінації між щільністю вимог λ та інтервалом їх обслуговування μ у всьому можливому діапазоні їх зміни $\lambda_{\text{опт}}=0...12$ та $\mu_{\text{опт}}=0...11$.

Отримані значення $\lambda_{\text{опт}}$ та $\mu_{\text{опт}}$ дозволяють обґрунтувати оптимальні ресурсозберігаючі параметри відповідних систем обслуговування, що впроваджуються у виробництво. Практичне застосування отриманих загальних результатів дослідження забезпечує суттєве підвищення ефективності роботи СТО, що спеціалізуються на виробництві та обслуговуванні машинних агрегатів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення безпечних умов праці при технічному обслуговуванні тракторів є одним з ключових аспектів у діяльності аграрних підприємств.

У сучасних умовах розвитку транспортної галузі важливою є систематизація вимог ТЗ (та їх компонентів) з метою забезпечення безпеки та ефективності їх експлуатації.

Об'єкти регулювання, на які поширюються зазначені вимоги див. рис.4.1. Важливо відзначити, що загальна кількість об'єктів регулювання збільшилась в рамках регламенту Це свідчить про постійне удосконалення нормативної бази у відповідь на нові виклики в галузі безпеки та екології транспортних засобів, а також впровадження нових технологій у їх розробку та експлуатацію.


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

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

Впровадження методів дистанційної діагностики при обслуговуванні техніки не тільки підвищує ефективність управління процесами, але й сприяє поліпшенню умов праці, знижуючи рівень травматизму та захворювань серед персоналу.

Основні фактори ризику під час технічного обслуговування

Технічне обслуговування тракторів та іншої сільськогосподарської техніки пов'язане з низкою потенційно небезпечних факторів, серед яких:

- фізичні навантаження, пов'язані з виконанням ремонтних робіт;
- дія шкідливих хімічних речовин (мастильні матеріали, паливо тощо);
- ризик травмуватися електричним струмом під час експлуатації електрообладнання;
- небезпека отримання травм через несправне обладнання або неправильну експлуатацію техніки;
- вплив шуму та вібрацій від працюючих агрегатів.

Вплив дистанційної діагностики на охорону праці

Методи дистанційної діагностики дозволяють значно зменшити вплив цих небезпечних факторів на працівників. Основними перевагами впровадження дистанційного моніторингу є:

- Зменшення фізичних навантажень: Дистанційна діагностика дозволяє виявляти несправності на ранніх стадіях, що дозволяє проводити ремонтні роботи більш ефективно та з меншими фізичними зусиллями.
- Зниження контакту з шкідливими речовинами: Оператори можуть отримувати дані про стан техніки без необхідності прямого контакту з вузлами, які містять мастильні матеріали або інші хімічні речовини.
- Зменшення ризику електротравм: Використання дистанційних технологій знижує необхідність контакту з електричними системами, що мінімізує ризик ураження струмом.
- Зменшення ймовірності нещасних випадків: Оскільки несправності можуть бути виявлені без участі людини, це знижує ризик травматизму через несподівані поломки або аварійні ситуації під час експлуатації техніки.
- Контроль шуму та вібрацій: Завдяки використанню сучасних діагностичних систем можна виявити підвищені рівні шуму та вібрацій та своєчасно вжити заходів для усунення цих проблем.

Заходи з охорони праці при впровадженні дистанційної діагностики

Для забезпечення належного рівня охорони праці при впровадженні систем дистанційної діагностики необхідно вжити наступних заходів:

1. Навчання персоналу. Всі працівники повинні пройти відповідну підготовку щодо користування системами дистанційної діагностики, знати принципи їх роботи, а також основи безпечної експлуатації діагностованих об'єктів.

2. Регулярний контроль обладнання. Обладнання для дистанційної діагностики повинно регулярно перевірятися на справність, щоб уникнути можливих відмов, які можуть призвести до небезпечних ситуацій.

3. Незважаючи на дистанційний характер діагностики, персонал повинен використовувати ЗІЗ при безпосередньому контакті з технікою (рукавички, захисні окуляри, спецодяг).

4. Організація робочого місця. Робочі місця операторів дистанційної діагностики повинні бути обладнані відповідно до вимог ергономіки, щоб уникнути перевтоми та мінімізувати ризик професійних захворювань.

Висновок

Впровадження методів дистанційної діагностики при обслуговуванні тракторів позитивно впливає на безпеку праці, значно знижуючи ризики, пов'язані з технічним обслуговуванням. Завдяки ранньому виявленню несправностей, оптимізації процесів ремонту та зниженню необхідності прямого контакту з потенційно небезпечними елементами, дистанційна діагностика приводить до зниження травматизму на аграрних підприємствах.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

В сучасних умовах функціонування аграрних підприємств ефективно управління технічним обслуговуванням тракторів та сільськогосподарської техніки є основа по зниженню витрат. Використання методів дистанційної діагностики для прогнозування швидкості технічного обслуговування дозволяє значно скоротити час простоїв та підвищити надійність роботи обладнання.

Статистичне обґрунтування

Для оцінки економічного ефекту впровадження системи прогнозування швидкості технічного обслуговування було проведено регресійний аналіз функціональних залежностей між параметрами системи обслуговування. Результати аналізу показали високу ступінь адекватності моделі, що підтверджується коефіцієнтом множинної регресії $R=0,9998971R = 0,9998971R=0,9998971$, що вказує на майже ідеальну залежність.

Критерій Фішера $F=390,2639F = 390,2639F=390,2639$ також підтвердив статистичну значущість моделі, що свідчить про високий рівень впевненості у прогнозах.

Оцінка економічного ефекту

Для проведення оцінки економічного ефекту було розраховано різницю між сумарними приведеними витратами на порівнянний обсяг робіт до і після впровадження системи дистанційної діагностики. Економічний ефект від впровадження склав більше 5%, що є значним показником для ремонтної майстерні, яка обслуговує сільськогосподарську техніку.

Завдяки використанню методів дистанційної діагностики вдалося оптимізувати комбінації між щільністю вимог на технічне обслуговування λ та інтервалом їх виконання μ . Виявлено оптимальні значення цих параметрів: $\lambda_{opt} = 0...12$ та $\mu_{opt} = 0...11$, що дозволяє значно скоротити витрати ресурсів на технічне обслуговування.

На основі отриманих даних була побудована діаграма економічного ефекту (рис. 5.1), яка показує різницю між витратами на технічне обслуговування до і після впровадження методів дистанційної діагностики.

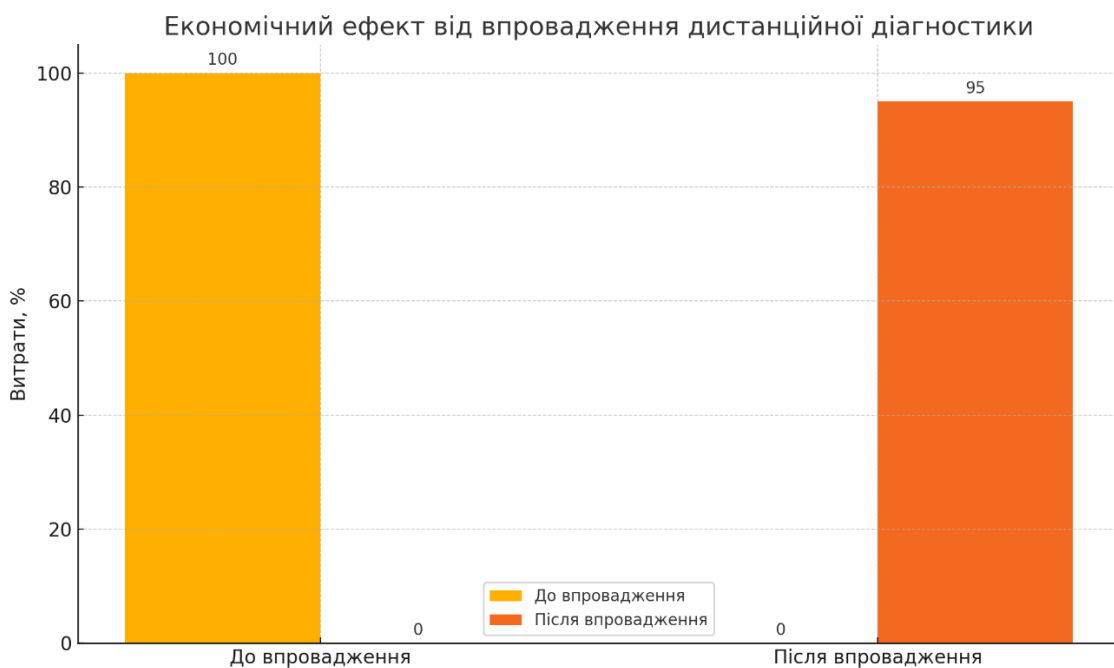


Рисунок 5.1 - Діаграма економічного ефекту

Діаграма показує різницю між витратами на технічне обслуговування до і після впровадження методів дистанційної діагностики. Як видно, впровадження дозволило зменшити витрати на 5%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Магістерська робота на тему «Прогнозування періодичності технічного обслуговування елементів трактора завдяки використанню дистанційних методів діагностування» спрямована на розробку системи, що дозволяє підвищити ефективність і надійність технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. В рамках роботи були виконані наступні ключові завдання:

1. Проведено детальний аналіз існуючих підходів до технічного обслуговування та діагностики тракторів, що дозволило визначити їх сильні та слабкі сторони в умовах сучасного агропромислового виробництва.

2. Розглянуто й проаналізовано сучасні методи дистанційної діагностики для тракторної техніки, а також проаналізовано можливості використання інноваційних методів для прогнозування технічного стану основних вузлів та агрегатів тракторів.

3. Розроблено та проведено дослідження експериментальної системи безперервної дистанційної діагностики та прогнозування технічного стану тракторів, яка забезпечує безперервний моніторинг та обмін технічною інформацією в процесі експлуатації.

4. Сформульовано практичні рекомендації щодо впровадження системи безперервної діагностики і прогнозування технічного стану тракторів для агропідприємств, що включає обґрунтовані інтервали технічного обслуговування та оптимальні параметри роботи системи.

5. Дослідження проводилося в польових умовах експлуатації сільськогосподарської техніки, з використанням моделей, які враховують специфіку технологічних процесів та застосовують теорію масового обслуговування і методи експериментів та спостереження.

6. Структура системи безперервного діагностування технічного стану та прогнозування несправностей тракторів і сільськогосподарської техніки включає чотири групи взаємопов'язаних швидкісних, навантажувальних і тягово-зчіпних параметрів-маркерів, що забезпечують ефективну роботу трактора в складі МТА. Використання систем дистанційного діагностування та самодіагностування МТА дозволяє суб'єкту господарювання прискорити

діагностику, звузити коло можливих несправностей і скоротити час простою. Встановлено, що створення пристрою для дистанційного діагностування тягового обладнання транспортних засобів за допомогою телекомунікаційних засобів стандарту GSM усуває час очікування на обслуговування транспортного засобу та забезпечує заданий швидкісний, навантажувальний, тепловий режим випробувань в реальних умовах експлуатації для формування якісного діагнозу.

7. Алгоритм програми для вимірювання робочих параметрів повинен компенсувати похибки перетворення, виходячи з припущення, що вони мають як систематичний, так і випадковий характер.

8. Для ремонтної майстерні отримано зведені оптимальні ресурсозберігаючі комбінації між щільністю вимог λ та інтервалом їх обслуговування μ у всьому можливому діапазоні їх зміни $\lambda_{\text{опт}}=0...12$ та $\mu_{\text{опт}}=0...11$. Отримані значення $\lambda_{\text{опт}}$ та $\mu_{\text{опт}}$ дозволяють обґрунтувати оптимальні ресурсозберігаючі параметри відповідних систем обслуговування, що впроваджуються у виробництво

9. Практичне застосування отриманих загальних результатів дослідження забезпечує суттєве підвищення ефективності роботи станцій технічного обслуговування, що спеціалізуються на виробництві та обслуговуванні техніки.

Таким чином, результати роботи підтверджують ефективність використання дистанційних методів діагностики для підвищення надійності сільськогосподарської техніки та оптимізації витрат на її обслуговування, що є важливим для сталого розвитку агропромислового комплексу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мигаль В. Д. Технічна експлуатація тракторів. Технічне обслуговування: навч. посібник / В. Д. Мигаль, М. Л. Шуляк. – Х., ХНТУСГ: вид-во «Майдан», 2021. – 300 с.
2. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія / В. Д. Мигаль. Х.: Майдан, 2018. 262 с. ISBN 978-966-372-704-2.
3. Мигаль В. Д. Системи моніторингу ефективної експлуатації автомобілів: навч. посібник / В. Д. Мигаль, І. О. Шевченко, М. Л. Шуляк. – Х.: ДБТУ, «Майдан», 2023. – 288 с.
4. 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.
5. 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.
6. Ildar Gabitov, Andrei Negovora, Eduard Khasanov, Rustam Galiullin, Mars Farhshatov, Rim Khamaletdinov, Vladimir Martynov, Dmitry Gusev, Nail Yunusbayev and Mahmut Razyapov, 2019. Risk Reduction of Thermal Damages of Units in Machinery Heat Preparation for Load Acceptance. Journal of Engineering and Applied Sciences, 14: 709-716. DOI: 10.3923/jeasci.2019.709.716 URL: <http://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2019.709.716>
7. Лебедєв А. Т., Шуляк М. Л., Зубко В. М., Лебедєв С. А. Будова тракторів John Deere серії 6, 8, 9: підручник для здобувачів освіти зі спеціальності 208 «Агроінженерія», за ред. А.Т. Лебедєва. – Суми:СНАУ, 2024. 210 с.
8. Лебедєв А.Т. Кваліметрія та метрологічне забезпечення випробувань тракторів: монографія / А. Т. Лебедєв, С. А. Лебедєв, А. І. Коробко; Під. ред. А. Т. Лебедєва. – Х.: вид-во «Міськдрук», 2018. – 394 с.

9. Мигаль В. Д. Експлуатаційні властивості та надійність тракторів: навч. посібник / В. Д. Мигаль, М. Л. Шуляк. – Х.: ХНТУСГ, вид-во «Майдан», 2021. – 262 с.
10. Антощенко Р. В. Мехатронні системи автомобілів і тракторів: підручник / Р. В. Антощенко, О. В. Нанка, А. Т. Лебедєв, В. М. Антощенко, В. М. Кісь, І. В. Галич – Х.: ХНТУСГ, 2020. – 219 с.
11. Р.Д.Кузьмінський, А.О.Шарибура. Технічний сервіс. Ремонт електрообладнання тракторів і автомобілів. Видатництво «Сполом»,-2017. С. 376.Сукач М.К. С 89 Технічний сервіс машин: навч. посібник.– Київ: Видавництво Ліра-К, 2017.– 288 с..
12. 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](https://doi.org/10.1080/09064710.2021.2024874).
13. Nebraska Tractor Test Laboratory [Електронне джерело]. Режим доступу до ресурсу: TEST REPORT SEARCH | Tractor Test Lab | Nebraska (unl.edu).
14. DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft [Електронне джерело]. Режим доступу до ресурсу: DLG-Qualitätsprüfungen Technik & Betriebsmittel - dlг.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. Лебедєв А., Лебедєв 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. 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. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva, Gustavo Henrique Nazareno Fernandes Costs analysis between predictive and corrective maintenance for an agribusiness machine. 25 th ABCM International Congress of Mechanical Engineering October 20-25, 2019, Uberlândia, MG, Brazil.

22. 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.

23. 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).

24. Cao, Q., Samet, A., Zanni-Merk, C., Beuvron, F.D., and Reich, C. (2020). Combining evidential clustering and ontology reasoning for failure prediction in predictive maintenance. doi:10.1016/j.engappai.2020.103730.

25. Dixon, S., Doster, T., and Emerson, T. (2022). To fail or not to fail: an exploration of machine learning techniques for predictive maintenance. doi:10.1016/j.procs.2022.01.204.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. Yang, J., Chang, Y., Gao, T., and Wang, J. (2020). Failure prediction of rotating machinery based on ceemdanapen feature and ar-ukf model. Applied Sciences. doi: 10.3390/app10062056.
30. Zotov, A., Gritsenko, V., and Gazizov, A. (2020). About some possibilities of diagnosing partial failures arising in complex agricultural machinery. E3S Web of Conferences. doi:10.1051/e3sconf/202016301024.

ДОДАТКИ