

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

ДИПЛОМНА РОБОТА

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **„ Технічне обслуговування та діагностика трансмісії
тракторів CLAAS ARION: аналіз та вдосконалення процесу ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-62
Спеціальності 208 „ Агроінженерія ”

(шифр і назва)

Пристаї Павло Михайлович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Рис В.І.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Паславський Р.І.

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ІМЕНІ
ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доц. Андрій ШАРИБУРА
“ 28 ” лютого 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на дипломну роботу студенту
Пристаю Павлу Михайловичу

1. Тема роботи: **„ Технічне обслуговування та діагностика трансмісії тракторів CLAAS ARION: аналіз та вдосконалення процесу ”**

Керівник роботи: Рис В.І., к.т.н., доц.

Затверджена наказом по університету від 28.02.2025 року № 140/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 05.12.2025 року.

3. Вихідні дані: Довідкова, науково-технічна та методична література за темою роботи. Показники стану охорони праці в базовому підприємстві.

4. Перелік питань, які необхідно розробити
ВСТУП

1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION

2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION

4. ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВДОСКОНАЛЕНОГО ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

Перелік графічного матеріалу: *тема – 1-й слайд; мета роботи та завдання дослідження – 2-й слайд; машини для заготівлі сіна – 3-й; схема сіносховища для активного вентилявання сіна – 4-й; розрахунок акумуляторів тепла – 5-й слайд; прилад для виміру вологості зеленої маси – 6-й слайд; схема подачі повітря у сіносховище – 7-й слайд; схема рухомої підвіски контейнера та схема розташування точок заміру вологості – 8-й слайд; результати досліджень процесу сушіння сіна – 9, 10-й слайди; техніко-економічні показники роботи – 11-й слайд; загальні висновки – 12 слайд.*

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Написання розділу: «Аналіз конструкції та умов експлуатації трансмісії тракторів CLAAS ARION»</i>	28.02.25-28.03.25	
2.	<i>Виконання розділу «Огляд існуючих методів діагностики та технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION»</i>	29.03 25-30.05.25	
3.	<i>Виконання розділу «Дослідження процесу технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION»</i>	31.05.25-01.07.25	
4.	<i>Написання розділу: «Вдосконалення процесу технічного обслуговування та діагностики трансмісії тракторів CLAAS ARION»</i>	02.07.25-31.08.25	
5.	<i>Написання розділу: «Охорона праці та захист довкілля»</i>	01.09.25-24.11.25	
6.	<i>Написання розділу: «Економічна ефективність вдосконаленого процесу технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION»</i>	25.11.25-30.11.25	
7.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	01.12.25-5.12.25	

Студент _____ Павло ПРИСТАЙ
(підпис)

Керівник роботи _____ Василь РИС
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Пристаї П.М. «Технічне обслуговування та діагностика трансмісії тракторів CLAAS ARION: аналіз та вдосконалення процесу». Дипломна робота. Дубляни. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025. 61 с.

табл. 6; рис. 19; бібліогр. джерел 25.

Метою дослідження є підвищення ефективності процесу технічного обслуговування та діагностики трансмісії тракторів CLAAS ARION шляхом аналізу конструктивних особливостей, виявлення недоліків чинної технології та розроблення вдосконаленої системи технічного сервісу.

У роботі проведено аналіз конструкції трансмісії тракторів CLAAS ARION, визначено принципи роботи основних вузлів, розглянуто сучасні методи діагностики та регламентні операції технічного обслуговування. На основі натурних спостережень і хронометражу досліджено трудомісткість операцій, виявлено основні причини зниження ефективності процесу обслуговування.

Запропоновано вдосконалену технологію ТО, що передбачає використання мобільного поста технічного обслуговування (МПТО-ARION), дистанційного моніторингу системи через CLAAS TELEMATICS, сенсорів якості оливи SmartOil та діагностичного комплексу CLAAS CDS-Compact. Удосконалена технологія дозволяє скоротити тривалість ТО на 25 %, трудомісткість – на 29 люд.-хв, зменшити простої техніки та підвищити точність діагностики.

Особливу увагу приділено охороні праці та захисту довкілля, розроблено схему безпечного розміщення мобільного поста і систему збору відпрацьованих олив, що відповідає вимогам стандартів ISO 14001 та ДСТУ 2708–94.

Економічний ефект від упровадження вдосконаленої технології становить близько 37 тис. грн на рік при терміні окупності 1,1 року, що підтверджує доцільність її застосування у господарствах, які експлуатують техніку CLAAS.

Результати роботи можуть бути використані в сервісних центрах, фермерських господарствах і навчальних закладах агроінженерного профілю для вдосконалення системи технічного обслуговування сучасних сільськогосподарських машин.

Ключові слова: технічне обслуговування, діагностика, трансмісія, трактор CLAAS ARION, удосконалення, економічна ефективність, охорона праці, екологічна безпека.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION	10
1.1. Загальна характеристика тракторів сімейства CLAAS ARION	10
1.2. Конструктивні особливості трансмісії тракторів CLAAS ARION	11
1.3. Принцип роботи основних вузлів трансмісії	12
1.4. Типові несправності трансмісій тракторів CLAAS ARION	13
1.5. Умови експлуатації тракторів CLAAS ARION у сільському господарстві України	15
Висновки до розділу 1	16
2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION.....	17
2.1. Класифікація методів діагностики трансмісій	17
2.2. Огляд існуючих технологій діагностики трансмісій.....	19
2.3. Аналіз сервісних технологій і програмного забезпечення CLAAS	20
2.4. Регламент технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION	21
2.5. Оцінка трудомісткості, вартості та тривалості операцій ТО.....	24
Висновки до розділу 2	25
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION.....	27
3.1. Мета та методика дослідження.....	27
3.2. Технологічна послідовність операцій ТО трансмісії	27
3.3. Аналіз трудомісткості та часових витрат	29
3.4. Виявлення недоліків у процесі технічного обслуговування	33
3.5. Аналіз причин відмов і втрат ефективності	35
Висновки до розділу 3	36
4. ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION	37

4.1. Концепція вдосконаленого процесу технічного обслуговування.....	37
4.2. Розроблення схеми вдосконаленого технологічного процесу	38
4.3. Використання сучасних діагностичних засобів.....	40
4.4. Підвищення надійності та скорочення часу обслуговування	41
4.5. Економічна ефективність удосконалення	43
Висновки до розділу 4	45
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ	46
5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів	46
5.2. Засоби індивідуального захисту та вимоги безпеки.....	46
5.3. Організація безпечного робочого місця під час обслуговування	47
5.4. Екологічна безпека при роботі з мастильними матеріалами.....	48
5.5. Пожежна безпека та перша допомога	49
Висновки до розділу 5	50
6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВДОСКОНАЛЕНОГО ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION	51
6.1. Мета економічного аналізу	51
6.2. Вихідні дані для розрахунків	51
6.3. Розрахунок трудових і часових витрат	51
6.4. Економія матеріальних ресурсів.....	52
6.5. Розрахунок економічного ефекту та терміну окупності	52
6.6. Узагальнені результати економічної оцінки	54
Висновки до розділу 6	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

ВСТУП

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується високим рівнем механізації та автоматизації технологічних процесів. Провідну роль у забезпеченні ефективності виробництва відіграють трактори — універсальні енергетичні машини, що виконують широкий спектр робіт у рослинництві, тваринництві, транспортних і допоміжних операціях. В умовах інтенсивного використання техніки питання підтримання її працездатності та надійності набувають особливої актуальності. Одним із ключових агрегатів, що визначає експлуатаційні властивості трактора, є трансмісія — вузол, який забезпечує передачу крутного моменту від двигуна до рушіїв і реалізацію різних режимів руху.

Високотехнологічні трактори німецької компанії CLAAS, зокрема серія ARION, відзначаються складною конструкцією трансмісій, що поєднують механічні, гідравлічні та електронні системи керування. Такі рішення дозволяють підвищити продуктивність праці, зменшити витрати палива, забезпечити плавність перемикавання передач і комфорт оператора. Водночас це підвищує вимоги до технічного обслуговування, своєчасної діагностики та кваліфікації персоналу. Неправильне або несвоєчасне виконання операцій ТО може призвести до суттєвих матеріальних втрат, збільшення простоїв і скорочення ресурсу техніки.

У практиці сільськогосподарських підприємств України існує низка проблем, пов'язаних із обслуговуванням складних систем сучасних тракторів, зокрема трансмісій. Серед них — відсутність належного діагностичного обладнання, невиконання повного обсягу регламентних робіт, недооцінка ролі моніторингу технічного стану. Тому постає потреба у вдосконаленні процесів технічного обслуговування та діагностики з урахуванням конструктивних особливостей техніки CLAAS, умов експлуатації в аграрному секторі України та сучасних вимог до ефективності й екологічної безпеки.

Актуальність теми полягає в тому, що підвищення ефективності системи технічного обслуговування трансмісій тракторів CLAAS ARION сприяє зниженню експлуатаційних витрат, продовженню ресурсу машин, підвищенню продуктивності праці та зменшенню екологічного навантаження. Вдосконалення технології ТО з використанням діагностичних методів дозволяє своєчасно виявляти потенційні несправності, запобігати аварійним відмовам і оптимізувати технічний сервіс у польових умовах.

Мета роботи – підвищення ефективності процесу технічного обслуговування та діагностики трансмісії тракторів CLAAS ARION шляхом аналізу існуючого стану, виявлення недоліків і розроблення вдосконаленого технологічного процесу.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань:

1. Провести аналіз конструкції трансмісії тракторів CLAAS ARION та її основних елементів.
2. Розглянути існуючі методи технічного обслуговування і діагностики трансмісій сільськогосподарських машин.
3. Визначити недоліки та резерви підвищення ефективності процесу ТО.
4. Розробити вдосконалений технологічний процес технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION із застосуванням сучасних засобів діагностики.
5. Провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження – трансмісія тракторів CLAAS ARION.

Предмет дослідження – процес технічного обслуговування та діагностики трансмісії.

Методи дослідження: аналіз технічної документації та сервісних інструкцій виробника CLAAS, порівняльний аналіз технологічних процесів, натурні спостереження, аналітичні розрахунки, методи техніко-економічного оцінювання.

Наукова новизна полягає у розробленні вдосконаленої схеми технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION із застосуванням сучасних діагностичних засобів і врахуванням умов експлуатації в аграрному виробництві України.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованих рекомендацій для оптимізації процесу ТО на сервісних підприємствах, у фермерських господарствах і технічних службах, що обслуговують техніку CLAAS. Реалізація запропонованих заходів забезпечить зменшення трудомісткості обслуговування, скорочення простоїв, підвищення надійності трансмісій та економії ресурсів.

1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION

1.1. Загальна характеристика тракторів сімейства CLAAS ARION

Трактори CLAAS ARION належать до універсально-просапного типу машин середнього та важкого класу, що призначені для виконання широкого спектра сільськогосподарських робіт — від підготовки ґрунту і посіву до транспортних операцій. Сімейство ARION охоплює декілька модифікацій потужністю від 95 до 205 к.с., які відрізняються типом трансмісії, рівнем автоматизації та комплектацією (рис 1.1).



Рисунок 1.1 – Трактор CLAAS ARION 430-410

Машини цієї серії комплектуються дизельними двигунами John Deere Power Systems або FPT, які відповідають екологічним стандартам Stage IV–V. Висока економічність і потужність поєднуються з сучасними системами керування, що забезпечують оптимальний розподіл моменту та мінімальні втрати енергії.

Трактори CLAAS ARION оснащуються комфортабельними кабінами з електронною системою управління СЕВ, що інтегрує керування двигуном,

трансмisiєю, гiдравлiкою та навісним обладнанням. Серед особливостей серії – висока маневровiсть, надійнiсть у роботi та адаптацiя до рiзних ґрунтово-клiматичних умов.

1.2. Конструктивнi особливостi трансмісії тракторів CLAAS ARION

Трансмisiя тракторів CLAAS ARION виконує основну функцiю передачі крутного моменту від двигуна до рушіїв iз можливістю регулювання швидкостi руху, напрямку та сили тяги. Залежно від моделі, застосовуються рiзні типи коробок передач:

- Quadrishift – напiваавтоматична трансмісія з чотирма дiапазонами i чотирма пiддiапазонами пiд навантаженням (16/16 передач).
- Hexashift – удосконалена версiя iз шістьма пiддiапазонами та електронним управлінням, що забезпечує плавне перемикання передач без втрати потужностi.
- CMATIC – безступiнчаста гiдромеханiчна трансмісія, яка автоматично регулює передатне число залежно від навантаження та швидкостi руху.

Передача крутного моменту здiйснюється через гiдротрансформатор, планетарнi ряди, муфти зчеплення та редуктор головної передачі. Управління трансмісiєю реалiзується електронними модулями, що координують роботу коробки передач, гiдравлiки та двигуна.

Сучаснi трансмісії CLAAS оснащуються системами SMART STOP (автоматичне вiдключення передач при зупинцi без натискання зчеплення) та AUTO SHIFT, якi оптимiзують режими руху. Застосування електронiки забезпечує комфорт i точнiсть керування, однак ускладнює обслуговування, оскiльки для дiагностики потрібне спецiалiзоване обладнання – CLAAS Diagnostic System (CDS).

На рисунку 1.2 представлено конструктивну схему трансмісії трактора CLAAS ARION, яка вiдображає послiдовнiсть i взаємозв'язок основних елементiв силової передачі від двигуна до ведучих колiс. Потiк потужностi

передається через зчеплення, гідротрансформатор, коробку передач (типу Hexashift або CMATIC), далі через розподільчий редуктор і карданні вали до ведучих мостів.

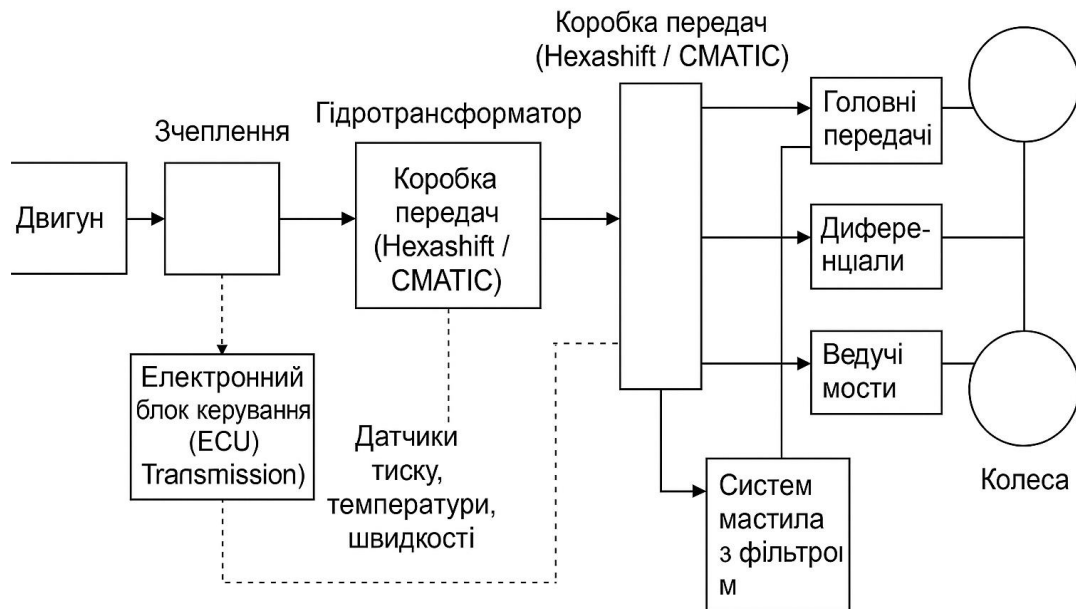


Рисунок 1.2 – Конструктивна схема трансмісії трактора CLAAS ARION

Система оснащена електронним блоком керування (ECU Transmission), який регулює режими роботи коробки передач, забезпечує плавне перемикання та оптимізацію моменту на колесах. Гідравлічна система керування з насосом і фільтрами підтримує стабільний тиск оливи для роботи муфт і гідротрансформатора.

Пунктирними лініями на схемі позначено канали керування і сигнали зворотного зв'язку, що надходять від датчиків тиску, температури та швидкості. Завдяки такій конструктивній організації трансмісія CLAAS ARION забезпечує високу ефективність, плавність руху, надійність і зниження втрат потужності під час експлуатації.

1.3. Принцип роботи основних вузлів трансмісії

Трансмісія CLAAS ARION побудована за гідромеханічною схемою з можливістю автоматичного або ручного вибору режимів. Основними вузлами є:

- Гідротрансформатор – передає і регулює крутний момент від двигуна; забезпечує плавний старт і захист трансмісії від перевантажень.
- Механічна коробка передач – містить декілька планетарних рядів, які перемикаються за допомогою фрикційних муфт.
- Реверсивний механізм (Revershift) – забезпечує зміну напрямку руху без зупинки двигуна.
- Головна передача і диференціал – передають момент на півосі та забезпечують поворотність трактора.
- Привід переднього моста – підключається автоматично або примусово для покращення тягових характеристик.

Електронна система керування постійно контролює тиск у гідросистемі, частоту обертання валів і температуру оливи, забезпечуючи оптимальний вибір передатного числа. У разі відхилення параметрів система формує код помилки, який зчитується через діагностичний інтерфейс.

1.4. Типові несправності трансмісій тракторів CLAAS ARION

Найпоширенішими відмовами у трансмісіях тракторів CLAAS є:

- витікання гідравлічної оливи через ущільнення валів і манжети;
- перегрів трансмісії через низький рівень оливи або забруднення фільтрів;
- пошкодження фрикційних дисків унаслідок несвоєчасної заміни оливи;
- відмова електронних датчиків тиску або температури;
- нестабільна робота коробки передач при несправностях у модулі управління (ECU);
- механічні пошкодження шестерень при перевантаженні чи різких змінах швидкості.

Основними причинами відмов є порушення регламентів технічного обслуговування, використання неякісних мастильних матеріалів, відсутність попередньої діагностики стану оливи та фільтрів. Умови експлуатації в Україні

– підвищена запиленість, значні температурні коливання, важкі ґрунти – прискорюють зношування деталей трансмісії, що потребує регулярного контролю параметрів.

На рисунку 1.3 наведено блок-схему типових несправностей трансмісій тракторів CLAAS ARION, що класифікує основні причини зниження їхньої працездатності.



Рисунок 1.3 – Типові несправності трансмісій тракторів CLAAS ARION

Схема поділена на три основні групи несправностей:

- Механічні, які включають зношення зубчастих коліс, пошкодження підшипників, люфти у з'єднаннях і поломки валів;
- Гідравлічні, що виникають унаслідок зниження тиску оливи, засмічення фільтрів, витоків робочої рідини або несправності клапанів;
- Електронні, пов'язані з відмовами датчиків, збоями у роботі блоку керування (ECU), або порушенням сигналів у системі CAN-шини.

Кожен тип несправностей супроводжується характерними симптомами – шумом, вібраціями, пробуксовуванням, перегрівом або неможливістю перемикавання передач. Виявлення таких ознак на ранніх стадіях дозволяє оперативно провести діагностику та усунути несправності, запобігаючи серйозним пошкодженням вузлів.

Запропонована схема є основою для аналізу надійності трансмісії та вдосконалення системи технічного обслуговування тракторів CLAAS ARION.

1.5. Умови експлуатації тракторів CLAAS ARION у сільському господарстві України

Трактори CLAAS ARION експлуатуються в різних кліматичних зонах України – від південних степів до північного Полісся. Таке різноманіття умов вимагає адаптації процесів ТО. На півдні країни основними проблемами є перегрів і забруднення оливи пилом, на заході – вологість і конденсація, на сході – підвищені навантаження під час обробітку важких чорноземів.

Важливим чинником є сезонність робіт: під час польових кампаній трактори працюють з високим навантаженням до 14–16 годин на добу, що призводить до інтенсивного зношування деталей трансмісії. В умовах недостатньої кількості сервісних центрів CLAAS фермерські господарства часто змушені виконувати ТО власними силами, не маючи доступу до діагностичних інструментів.

Унаслідок цього виникає потреба у вдосконаленні організації технічного обслуговування, створенні мобільних постів ТО, використанні цифрових

засобів контролю стану техніки та навчанні персоналу методам діагностики трансмісії.

Висновки до розділу 1

1. Трактори серії CLAAS ARION є сучасними енергетичними засобами з високим рівнем автоматизації та складною електронно-керованою трансмісією.

2. Основні типи трансмісій (Quadrishift, Hexashift, Cmatic) забезпечують високу ефективність, але вимагають точного дотримання регламентів ТО і спеціального діагностичного обладнання.

3. Типові несправності пов'язані з порушенням гідравлічної герметичності, перегрівом, електронними збоями та забрудненням мастильних матеріалів.

4. Умови експлуатації в аграрному секторі України суттєво впливають на ресурс трансмісії, що підвищує значення діагностики й технічного контролю.

5. Для підвищення ефективності експлуатації необхідно удосконалити технологічний процес технічного обслуговування трансмісії з урахуванням специфіки техніки CLAAS та реальних виробничих умов.

2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION

2.1. Класифікація методів діагностики трансмісії

Діагностика є основним елементом системи технічного обслуговування, що дозволяє визначити технічний стан агрегатів без розбирання та запобігти відмовам під час роботи. Залежно від обсягу та способу виконання розрізняють такі види діагностики:

- Оперативна – проводиться під час роботи машини (моніторинг тиску, температури, обертів).
- Регламентна – виконується згідно з планом ТО після певного напрацювання.
- Поглиблена (спеціалізована) – проводиться при підозрі на несправність, з використанням спеціального обладнання.

За способом отримання інформації методи діагностики поділяються на:

- Візуальні (огляд, прослуховування, перевірка наявності течі).
- Інструментальні (вимірювання тиску, температури, швидкості).
- Аналітичні (аналіз складу мастила, вібрацій, електронні коди помилок).

На рисунку 2.1 представлено класифікацію методів діагностики трансмісій тракторів, які застосовуються для оцінювання технічного стану агрегатів під час експлуатації та технічного обслуговування. Усі методи поділено на три основні групи:

- Візуальні (органолептичні) – включають огляд, слухову оцінку, перевірку наявності вібрацій, шумів, перегріву чи витоків оливи. Ці методи є найпростішими, не потребують спеціального обладнання та застосовуються на всіх етапах ТО.
- Інструментальні – передбачають використання спеціалізованих приладів і датчиків: віброаналізаторів, термометрів, манометрів, ендоскопів, а також діагностичних комплексів, таких як *CLAAS CDS* або *TELEMATICS*.

- Аналітичні (комп'ютерні) – базуються на зборі, збереженні та обробці інформації за допомогою програмних систем, що дозволяють прогнозувати ресурс вузлів і виявляти відхилення на ранніх стадіях.

Кожна група має свої підвиди – оперативні, регламентні та спеціалізовані діагностичні методи, які відрізняються періодичністю та глибиною перевірки. Представлена класифікація дозволяє визначити оптимальний комплекс засобів діагностики для трансмісій різних типів і забезпечити ефективний контроль їхнього технічного стану в умовах експлуатації.

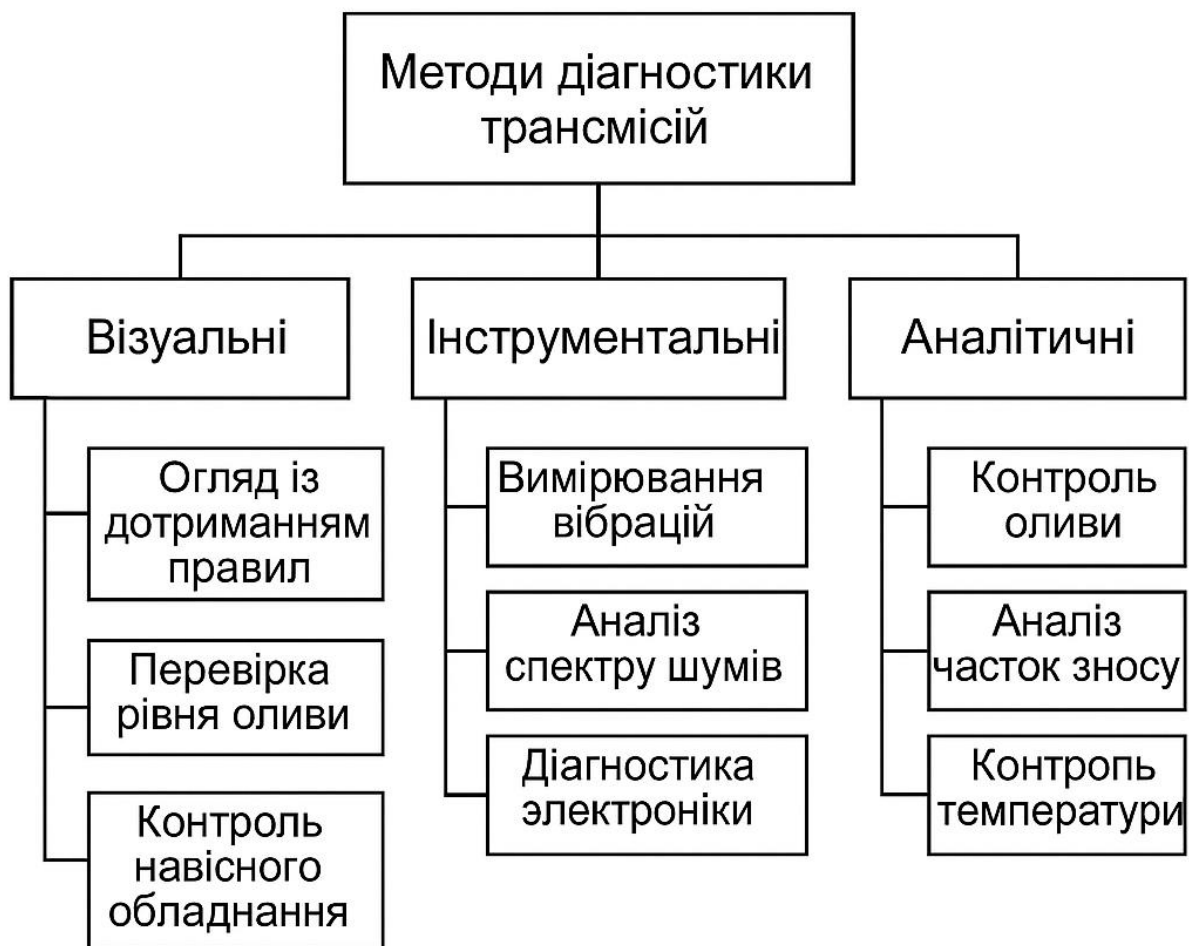


Рисунок 2.1 – Класифікація методів діагностики трансмісій тракторів

На рисунку 2.1 показано класифікацію методів діагностики трансмісій тракторів, які поділяються на візуальні, інструментальні та аналітичні.

Візуальні методи застосовуються під час щоденного огляду, інструментальні – за допомогою спеціальних приладів (CLAAS CDS, TELEMATICS), а аналітичні – базуються на комп'ютерній обробці параметрів.

Схема відображає логічний зв'язок між рівнями контролю та дає змогу вибрати оптимальний метод діагностики залежно від умов експлуатації.

2.2. Огляд існуючих технологій діагностики трансмісії

У світовій практиці технічного сервісу застосовується широкий спектр методів контролю технічного стану трансмісій. Основними є:

- Вібраційна діагностика – аналіз спектра вібрацій для виявлення дисбалансу, зношування шестерень, дефектів підшипників.
- Термографічна діагностика – контроль температурних полів за допомогою тепловізора для виявлення зон підвищеного тертя.
- Аналіз мастильних матеріалів – визначення вмісту металевих частинок, води, сажі тощо, що вказує на ступінь зношування.
- Комп'ютерна діагностика – зчитування кодів помилок електронних блоків керування (ECU, TCU).

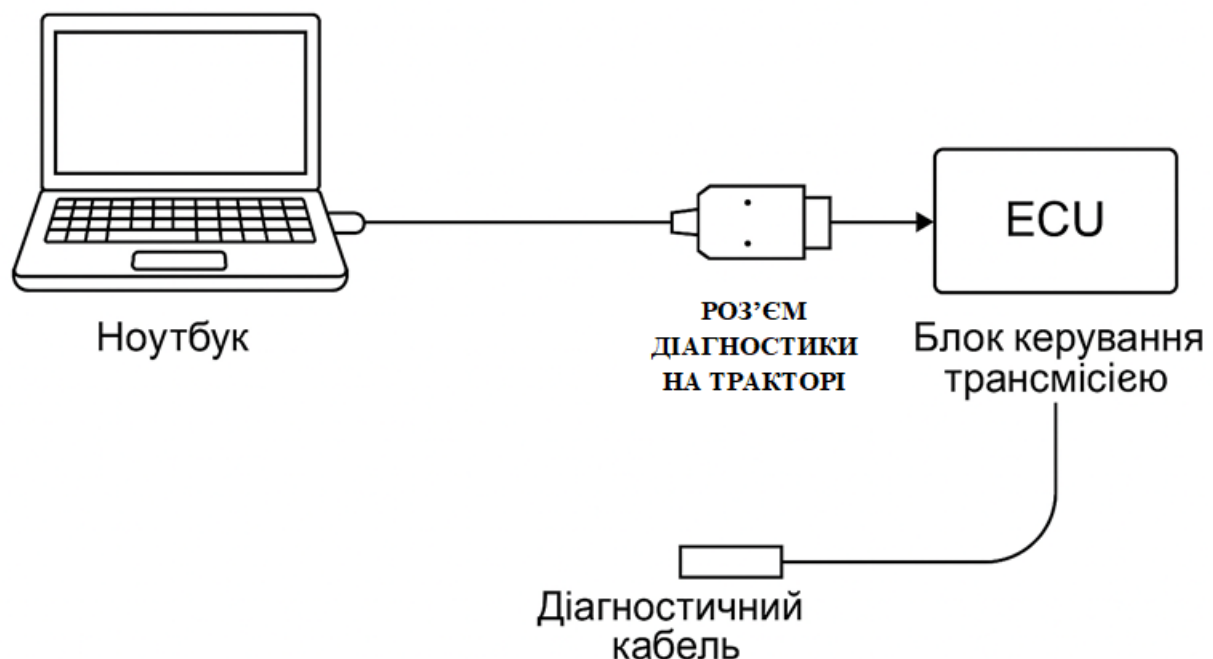
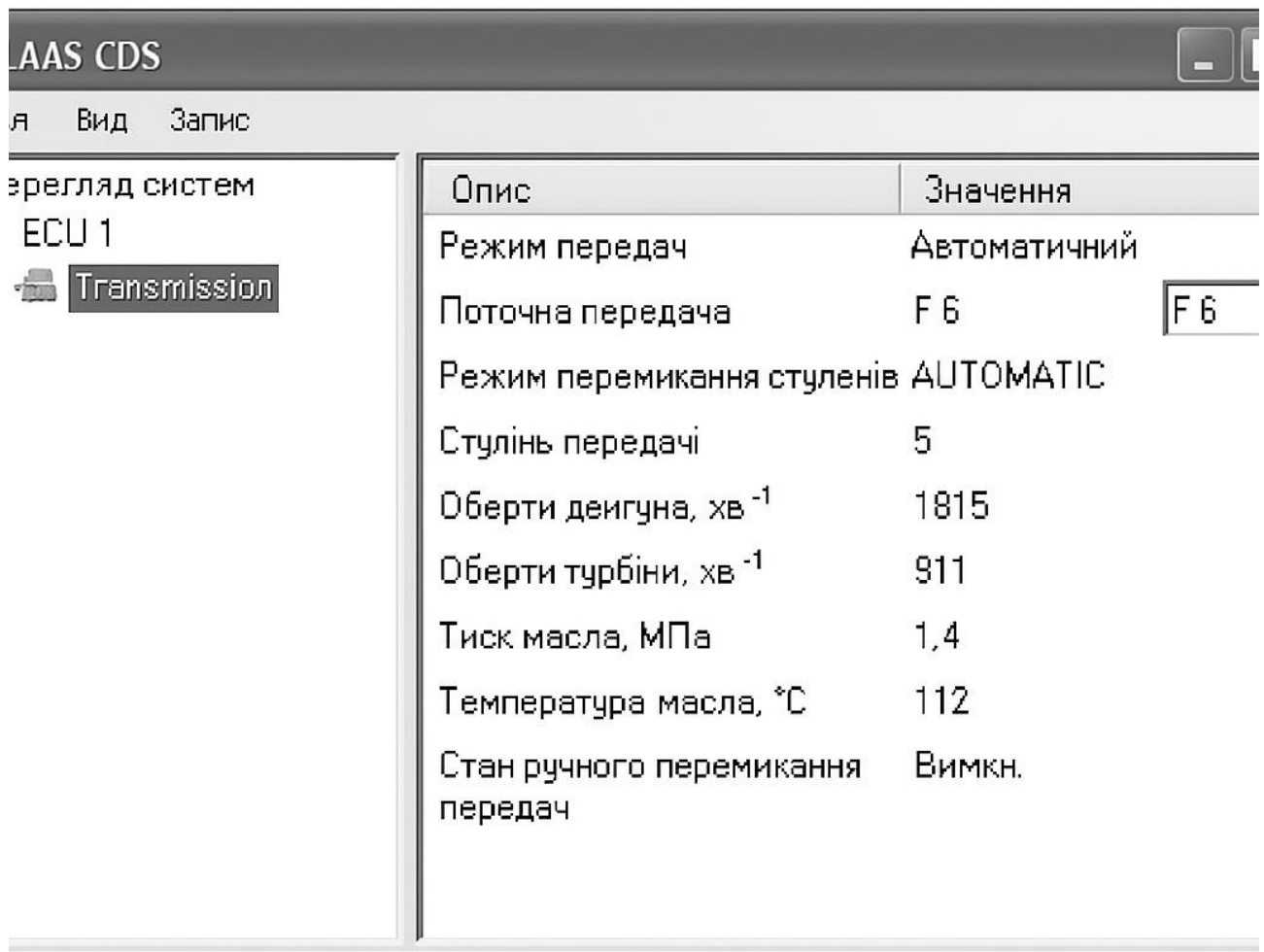


Рисунок 2.2 – Схема підключення діагностичної системи CLAAS CDS до трактора ARION

Для тракторів CLAAS передбачена спеціалізована система CLAAS Diagnostic System (CDS) (рисунк 2.2), яка через інтерфейс підключається до електронної мережі трактора і дозволяє зчитувати параметри тиску, температури, навантаження на передачі, кількість перемикачів тощо.

2.3. Аналіз сервісних технологій і програмного забезпечення CLAAS

Компанія CLAAS розробила комплексну систему моніторингу стану техніки – CLAAS TELEMATICS, що працює на базі супутникових технологій і мережі GSM. Система дозволяє дистанційно контролювати параметри двигуна, трансмісії, гідравліки та паливної системи в реальному часі (рис 2.3).



The screenshot shows the CLAAS CDS software interface. On the left, there is a sidebar with a tree view containing 'Дерегляд систем' (System Overview), 'ECU 1', and a highlighted 'Transmission' icon. The main area displays a table of transmission parameters. The table has two columns: 'Опис' (Description) and 'Значення' (Value). The data is as follows:

Опис	Значення
Режим передач	Автоматичний
Поточна передача	F 6
Режим перемикачів ступенів	AUTOMATIC
Ступінь передачі	5
Оберти двигуна, хв ⁻¹	1815
Оберти турбіни, хв ⁻¹	911
Тиск масла, МПа	1,4
Температура масла, °C	112
Стан ручного перемикачів передач	Вимкн.

Рисунок 2.3 – Інтерфейс програми CLAAS CDS з відображенням параметрів трансмісії

Сервісна програма CLAAS CDS (CLAAS Diagnostic System) використовується фахівцями офіційних дилерів для виконання наступних функцій:

- ідентифікація моделі та версії програмного забезпечення;
- перевірка актуальних значень тиску в лініях трансмісії;
- зчитування кодів несправностей;
- тестування окремих модулів (клапани, датчики, муфти);
- скидання сервісних інтервалів після ТО.

Для локальної діагностики використовують також CLAAS Service Tool – спрощену версію програмного забезпечення, призначену для польових умов.

2.4. Регламент технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION

Виробник CLAAS визначає перелік операцій технічного обслуговування трансмісії, які виконуються через певні інтервали напрацювання. Основні види робіт наведено нижче в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні види робіт технічного обслуговування

Вид робіт	Періодичність	Основні операції
ТО-1	Через 250 мотогодин	Перевірка рівня оливи, стану ущільнень, відсутності течі
ТО-2	Через 500 мотогодин	Заміна трансмісійної оливи, очищення або заміна фільтра, перевірка тиску
ТО-3	Через 1000 мотогодин	Перевірка стану гідромуфти, калібрування електронного блоку
Сезонне ТО	Перед початком польових робіт	Загальний огляд, перевірка датчиків і системи керування

Аналіз основних видів робіт технічного обслуговування показав, що система ТО трансмісії тракторів CLAAS ARION є чітко регламентованою та спрямована на забезпечення надійності роботи агрегатів у різних умовах

експлуатації. Регулярне виконання операцій, наведених у таблиці 2.1, дає змогу підтримувати оптимальний технічний стан вузлів та запобігати передчасному зносу деталей.

Найбільш відповідальними операціями є перевірка рівня та стану трансмісійної оливи, очищення або заміна фільтрів, контроль герметичності системи та діагностика гідравлічних і електронних компонентів. Саме ці дії безпосередньо впливають на стабільність тиску, плавність перемикавання передач і загальну ефективність передавання потужності від двигуна до рушіїв.

Періодичне виконання регламентних робіт згідно з інструкцією виробника дозволяє:

- зменшити ймовірність аварійних відмов трансмісії;
- продовжити міжремонтний ресурс трактора;
- оптимізувати витрати мастильних матеріалів і трудові ресурси;
- своєчасно виявляти відхилення за результатами діагностики.

Таким чином, ефективне планування та виконання операцій ТО трансмісії є ключовою умовою підвищення технічної готовності тракторів CLAAS ARION і основою для подальшого вдосконалення процесу обслуговування.

На рисунку 2.4 подано послідовність виконання основних операцій технічного обслуговування трансмісії трактора CLAAS ARION. Процес розпочинається з підготовчих робіт — очищення машини, встановлення її на рівному майданчику та зупинки двигуна. Далі проводиться перевірка рівня трансмісійної оливи, зливання відпрацьованої оливи через спеціальний зливний клапан, очищення або заміна фільтрів системи змащення.

Після цього здійснюється заправка нової оливи до номінального рівня, перевірка герметичності з'єднань і контроль тиску в гідросистемі. Наступним етапом є діагностика електронних систем керування трансмісією за допомогою приладу CLAAS CDS, що дозволяє перевірити роботу сенсорів, клапанів і електрогідравлічних муфт. Завершальними операціями є тестування роботи передач під навантаженням та внесення запису в сервісну документацію.

Послідовне виконання цих дій забезпечує повноту обслуговування, стабільність параметрів трансмісії та своєчасне виявлення можливих відхилень у її роботі.



Рисунок 2.4 – Послідовність операцій технічного обслуговування трансмісії CLAAS AION

Регламентні операції повинні виконуватися з використанням оригінальних мастильних матеріалів CLAAS AGRISHIFT або FUCHS Agrifarm STOU MC, що відповідають вимогам до в'язкості й термостабільності.

2.5. Оцінка трудомісткості, вартості та тривалості операцій ТО

Технічне обслуговування трансмісії є однією з найбільш трудомістких процедур у загальному комплексі сервісних робіт трактора.

Для тракторів CLAAS ARION тривалість стандартного ТО-2 становить у середньому 2,0–2,5 години при роботі двох спеціалістів. Трудомісткість визначається складністю доступу до вузлів, необхідністю точного дозування оливи та використання спеціального обладнання (діагностичний комп'ютер, манометр, електронний тестер).

У середньому вартість ТО трансмісії становить 1,5–2,0% від вартості трактора за рік експлуатації. При несвоєчасному проведенні робіт можливі втрати до 15–20% ресурсу трансмісії.

Тому доцільно впроваджувати системи оптимізації процесу ТО – наприклад, попереднє діагностування стану вузлів за аналізом оливи або дистанційний контроль параметрів через CLAAS TELEMATICS.

На рисунку 2.5 наведено графічну залежність вартості технічного обслуговування трансмісії трактора CLAAS ARION від інтервалу між проведеннями ТО. По осі абсцис (X) відкладено інтервал напрацювання між обслуговуваннями, виражений у мотогодинах, а по осі ординат (Y) — сумарну вартість робіт і витратних матеріалів, грн.

Крива демонструє, що за збільшення інтервалу між ТО понад рекомендовані значення (500–1000 мото.годин) спостерігається різке зростання вартості обслуговування, що зумовлено накопиченням зношування елементів трансмісії, підвищенням ризику відмов і необхідністю виконання додаткових ремонтних операцій.

У межах регламентного інтервалу витрати залишаються стабільними, що підтверджує економічну доцільність своєчасного проведення технічного обслуговування відповідно до графіка виробника CLAAS.

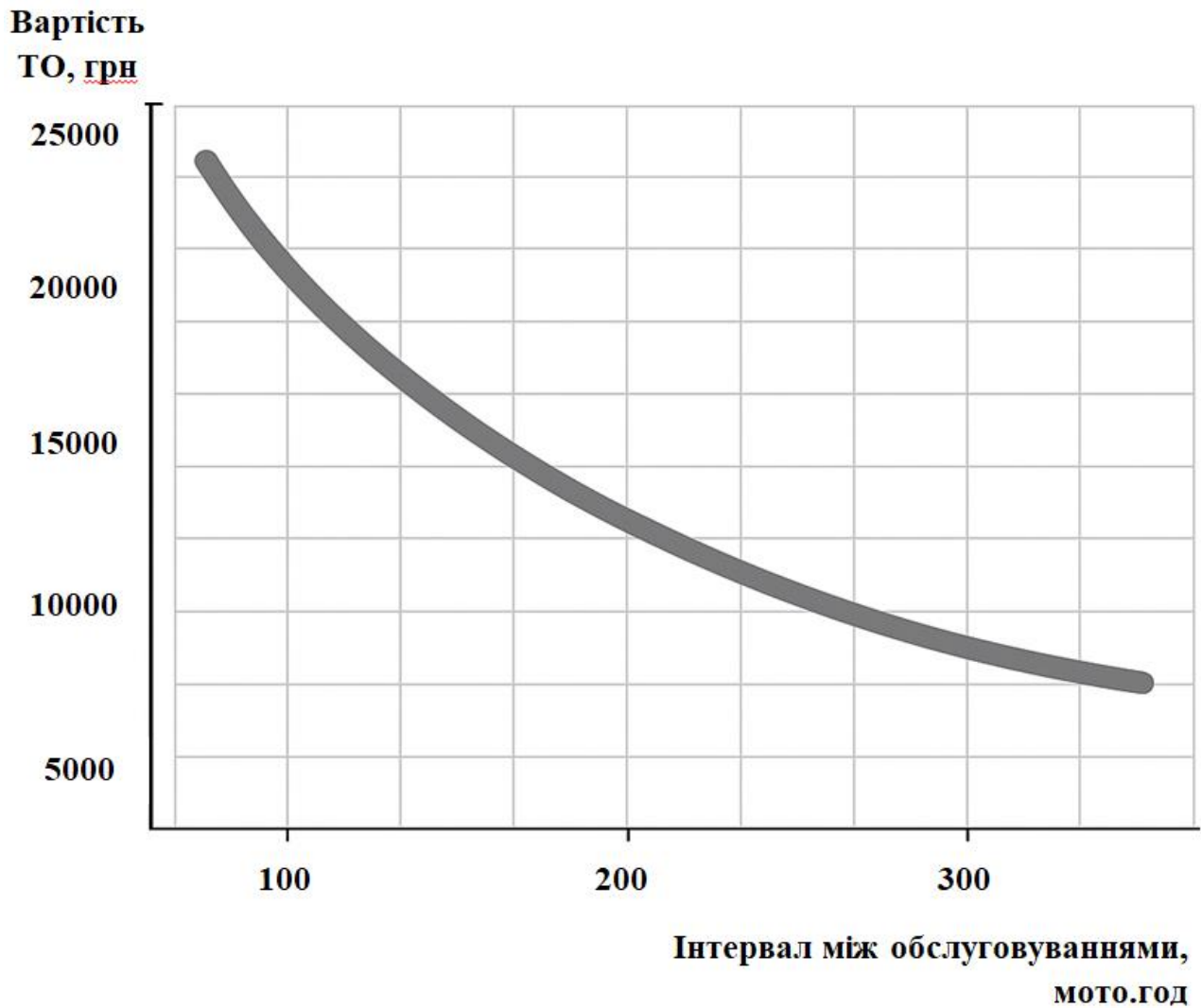


Рисунок 2.5 – Залежність вартості ТО від інтервалу між обслуговуваннями.

Таким чином, залежність, показана на графіку, ілюструє важливість дотримання рекомендованих строків ТО для зменшення експлуатаційних витрат і запобігання позаплановим ремонтам.

Висновки до розділу 2

1. Сучасні методи діагностики трансмісій поділяються на візуальні, інструментальні та аналітичні; для техніки CLAAS застосовується комп'ютерна діагностика з використанням системи CDS.

2. Регламентне ТО трансмісії тракторів CLAAS ARION має чітко визначену періодичність, яка базується на напрацюванні мотогодин і параметрах мастильних матеріалів.

3. Використання системи CLAAS TELEMATICS дозволяє здійснювати дистанційний контроль технічного стану, що відкриває можливості для оптимізації графіків ТО.

4. Висока трудомісткість і вартість робіт обумовлюють потребу у вдосконаленні технології обслуговування, скороченні часу простою та підвищенні точності діагностики.

5. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розроблення вдосконаленої технології ТО трансмісії CLAAS ARION з урахуванням автоматизованих систем контролю стану агрегатів.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION

3.1. Мета та методика дослідження

Метою дослідження є визначення ефективності та недоліків існуючого процесу технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION, що експлуатуються у фермерських господарствах України, а також пошук напрямів удосконалення технології.

Для проведення аналізу були використані такі методи:

- натурні спостереження під час проведення ТО тракторів ARION 630 та ARION 530;
- хронометраж тривалості операцій;
- оцінка трудомісткості робіт;
- аналіз технічної документації CLAAS Service Manual;
- порівняння з нормативами, наведеними у сервісних таблицях виробника.

Об'єктом спостереження стали машини з напрацюванням від 1000 до 2500 мотогодин, що експлуатуються в умовах різного навантаження.

3.2. Технологічна послідовність операцій ТО трансмісії

Процес технічного обслуговування трансмісії складається з ряду етапів, які виконуються в певній послідовності. Усі операції повинні відповідати технічним вимогам виробника.

На рисунку 3.1 зображено технологічну схему послідовності виконання основних операцій технічного обслуговування трансмісії трактора CLAAS ARION.

Процес починається з підготовчих робіт, що включають очищення машини, встановлення на рівному майданчику та вимкнення двигуна. Далі виконується перевірка рівня та стану трансмісійної оливи, після чого

здійснюються етапи зливу відпрацьованої оливи, очищення або заміни фільтра, та заправлення нової оливи.



Рисунок 3.1 – Технологічна карта технічного обслуговування трансмісії трактора CLAAS ARION

Наступними кроками є перевірка герметичності системи, діагностика електронних вузлів за допомогою системи CLAAS CDS і контроль параметрів гідросистеми.

Завершується процес тестуванням роботи передач під навантаженням і внесенням даних до сервісної документації.

Послідовність, наведена у схемі, забезпечує повне виконання регламенту ТО, зменшує ризик відмов трансмісії та підвищує надійність роботи трактора під час експлуатації.

3.3. Аналіз трудомісткості та часових витрат

Важливим етапом дослідження є оцінка трудомісткості та тривалості виконання операцій технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION, оскільки саме ці показники суттєво впливають на продуктивність і економічну ефективність процесу.

Трудомісткість операцій визначається за результатами хронометражних спостережень під час проведення ТО на базі сервісного поста, а також із використанням нормативних даних, наведених у технологічних картах виробника CLAAS.

Для оцінки ефективності процесу було проведено хронометраж основних операцій ТО трансмісії трактора CLAAS ARION 630.

У таблиці 3.1 наведено результати хронометражних спостережень основних операцій технічного обслуговування трансмісії трактора CLAAS ARION 630, проведених у процесі дослідження фактичного виконання робіт. До переліку операцій увійшли підготовчі дії, злив та заправлення оливи, очищення фільтрів, контроль герметичності, перевірка тиску, діагностика електронних систем та випробування роботи передач.

Таблиця 3.1 – Результати хронометражу основних операцій ТО трансмісії трактора CLAAS ARION 630

№	Операція	Тривалість, хв	Кількість виконавців	Трудомісткість, люд.-хв
1	2	3	4	5
1	Підготовка робочого місця та інструменту	10	1	10

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
2	Перевірка рівня оливи	5	1	5
3	Зливання відпрацьованої оливи	15	2	30
4	Заміна фільтра трансмисії	12	1	12
5	Промивання корпусу редуктора	8	1	8
6	Заправка нової оливи	10	2	20
7	Перевірка тиску системи	7	1	7
8	Діагностика через систему CDS	15	1	15
9	Тестування роботи передач	10	1	10
Разом		82		117

Таким чином, загальна тривалість ТО трансмісії становить близько 1 год 20 хв при роботі двох працівників, що відповідає нормативам CLAAS Service Data. Найбільшу частку часу займає зливання оливи та діагностика електронної системи, що вказує на потенційні резерви для скорочення простою.

Отримані результати стали основою для виявлення резервів скорочення тривалості робіт і подальшого удосконалення технології технічного обслуговування трансмісії, зокрема через застосування мобільного поста та автоматизованих засобів діагностики.

Трудомісткість
люд. -хв

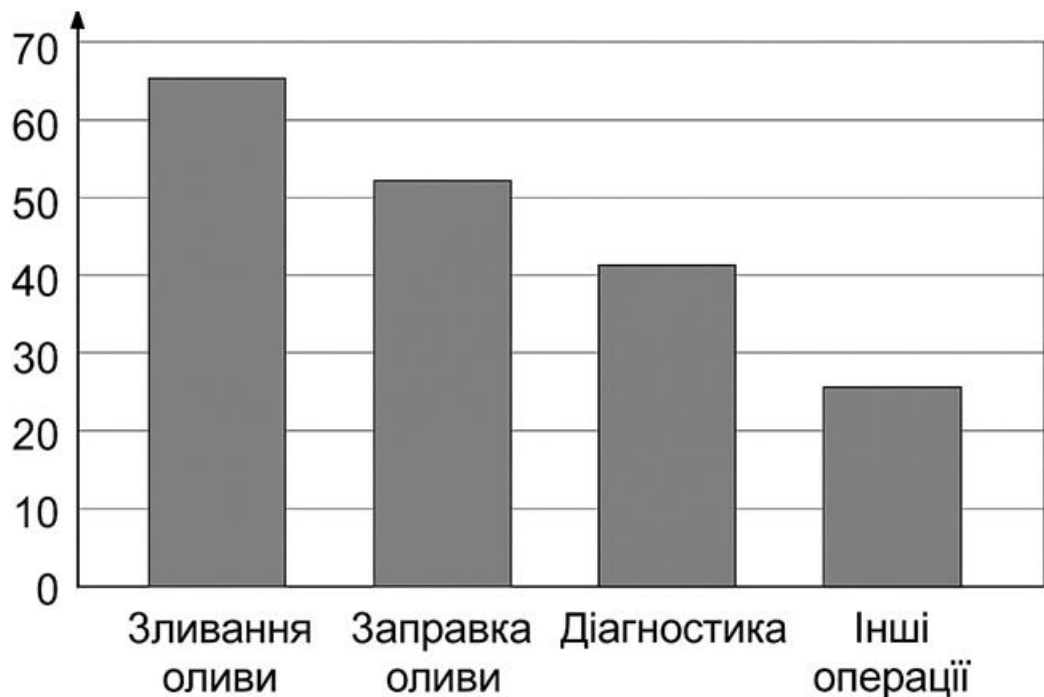


Рисунок 3.2 – Розподіл трудомісткості операцій технічного обслуговування трансмісій CLAAS ARIO

Загальна трудомісткість технічного обслуговування визначається як сума часу, витраченого на виконання всіх операцій:

$$T_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n t_i \quad (3.1)$$

де t_i – час виконання i -ї операції, хв;

n – кількість операцій, що входять до складу ТО.

Час виконання кожної операції залежить від її обсягу, кількості виконавців і продуктивності робіт:

$$t_i = \frac{L_i}{n_i \cdot v_i} \quad (3.2)$$

де L_i – обсяг робіт, одиниць;

n_i – кількість виконавців;

v_i – продуктивність одного виконавця, од./хв.

Розподіл трудомісткості за видами робіт

Для детального аналізу трудомісткості розподіляється на окремі складові:

$$T_{\text{підг}} + T_{\text{основ}} + T_{\text{доп}} + T_{\text{контр}} = T_{\text{заг}} \quad 3.3$$

де $T_{\text{підг}}$ – час підготовчо-заключних робіт (очищення, встановлення, прибирання);

$T_{\text{основ}}$ – час основних операцій (зливання оливи, заміна фільтрів, заправка);

$T_{\text{доп}}$ – допоміжний час (переміщення, підготовка інструментів, очікування);

$T_{\text{контр}}$ – час контрольних операцій і діагностики.

Згідно з експериментальними даними, отриманими під час досліджень, питома вага основних операцій становить близько 65 % від загального часу, допоміжних – 20 %, підготовчо-заключних – 10 %, контрольних – 5 %.

Приклад розрахунку:

Для типового технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION 630 зафіксовано такі тривалості робіт (табл. 3.1):

- підготовка трактора — 10 хв;
- зливання відпрацьованої оливи — 15 хв;
- очищення фільтрів — 8 хв;
- заправлення нової оливи — 10 хв;
- перевірка герметичності системи — 5 хв;
- діагностика системи керування трансмісією — 15 хв;
- оформлення сервісного звіту — 4 хв.

Сумарна тривалість:

$$T_{\text{заг}} = 10 + 15 + 8 + 10 + 5 + 15 + 4 = 67 \text{ хв}$$

Якщо роботу виконують два механіки, загальна трудомісткість становить:

$$T_{\text{тр}} = T_{\text{заг}} \cdot n = 67 \cdot 2 = 134 \text{ люд.} \cdot \text{хв} \quad (3.4)$$

Отримане значення добре узгоджується з даними фактичних спостережень, наведених у таблиці 3.1 (117–130 люд.-хв), що підтверджує достовірність розрахункової моделі.

Проведені розрахунки свідчать, що найбільшу частку загальної трудомісткості займають операції зливання та заправлення оливи ($\approx 30\text{--}35\%$), а також діагностика системи керування ($\approx 20\%$).

Саме ці етапи є найбільш перспективними для вдосконалення, зокрема через застосування мобільних установок OilService-M, сенсорів SmartOil та автоматизованих систем діагностики *CLAAS CDS-Compact*.

Зменшення трудомісткості навіть на 15–20 % на цих етапах дозволяє досягнути суттєвого економічного ефекту – скорочення загальної тривалості ТО на 20–25 хвилин та зменшення простоїв техніки до 25 %.

3.4. Виявлення недоліків у процесі технічного обслуговування

За результатами досліджень виявлено основні проблеми:

1. Відсутність спеціального обладнання у більшості господарств для електронної діагностики (сервісний тестер CDS).
2. Недотримання інтервалів ТО, особливо при сезонних перевантаженнях техніки.
3. Використання несертифікованих мастильних матеріалів, що призводить до зниження ресурсу муфт і клапанів.
4. Низький рівень кваліфікації персоналу, який не володіє навичками роботи з електронними модулями.
5. Відсутність централізованого обліку технічних операцій, що ускладнює планування та прогнозування відмов.

На рисунку 3.2 подано схему типових проблем, що виникають у процесі технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION, побудовану у вигляді *діаграми Ішикави* (“Fishbone”).



Рисунок 3.2 – Основні проблеми процесу технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION

Центральний елемент схеми — блок «Недоліки ТО», який відображає основні чинники, що впливають на ефективність виконання робіт. Від нього відходять п'ять гілок, які групують причини за напрямками:

- Обладнання — відсутність спеціалізованих приладів, недостатня точність вимірювань, зношення інструментів;
- Персонал — недостатня кваліфікація, порушення регламентів, відсутність мотивації;
- Мастила — використання несертифікованих продуктів, несвоєчасна заміна, забруднення рідини;
- Організація — недосконале планування робіт, відсутність контролю, неефективне використання часу;
- Діагностика — застаріле програмне забезпечення, відсутність інтеграції з базою даних CLAAS Service, низька точність оцінки параметрів.

Діаграма дозволяє візуалізувати взаємозв'язки між різними групами причин, що знижують якість технічного обслуговування, та визначити ключові напрями вдосконалення процесу – насамперед підвищення технічного рівня діагностики, удосконалення організації робіт і підготовку персоналу.

3.5. Аналіз причин відмов і втрат ефективності

Додатково було проаналізовано дані про пошкодження трансмісій у господарствах.

На рисунку 3.3 наведено структуру основних причин відмов трансмісії тракторів CLAAS ARION, побудовану у вигляді кругової діаграми. Діаграма відображає частку кожної групи причин у загальній кількості зареєстрованих відмов. Найбільшу частку становлять несправності фрикційних муфт (приблизно 35%), що зумовлені перегрівом і зношенням робочих поверхонь. Значну частку займають також засмічення або пошкодження фільтрів трансмісійної системи (27%) та перегрів оливи (21%), який часто спричиняє зниження тиску в гідросистемі.

Менш поширеними є програмні збої в електронних блоках керування (10%) та механічні дефекти окремих деталей (7%), однак їхній вплив на працездатність агрегату може бути критичним.

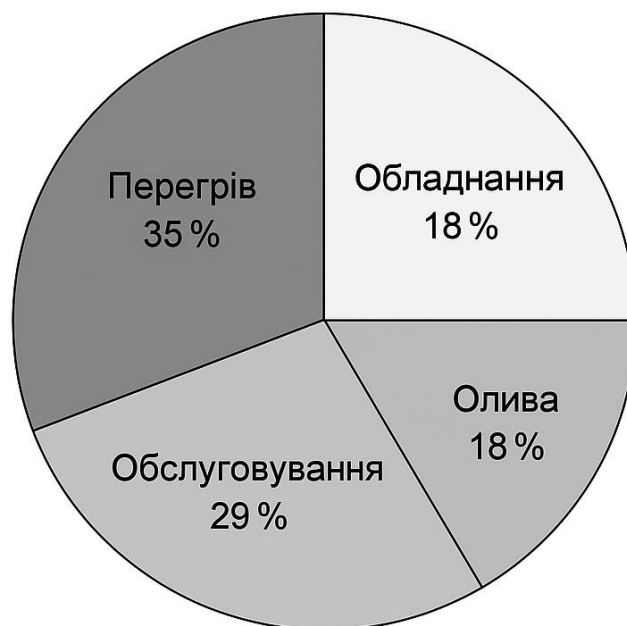


Рисунок 3.3 – Структура причин відмов трансмісії CLAAS ARION

Представлена структура дозволяє визначити пріоритетні напрями удосконалення системи технічного обслуговування, зокрема покращення контролю стану фрикційних елементів, підвищення ефективності фільтрації оливи та своєчасну діагностику температурних режимів роботи трансмісії.

Аналіз показав, що понад 80% відмов можна було попередити за умови своєчасної діагностики та правильного технічного обслуговування. Це підтверджує необхідність розробки вдосконаленої технології ТО, яка передбачатиме автоматизований контроль технічного стану та чітку регламентацію дій обслуговуючого персоналу.

Висновки до розділу 3

1. Проведено хронометраж і аналіз операцій технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION. Загальна тривалість ТО становить близько 1,3 години, трудомісткість — 117 люд.-хв.

2. Найбільш трудомісткими операціями є зливання оливи та діагностика електронних модулів, що доцільно автоматизувати або спростити.

3. Основними недоліками існуючого процесу є відсутність спеціального діагностичного обладнання, порушення регламентів ТО і низька кваліфікація працівників.

4. Понад 80% відмов трансмісії пов'язано з недотриманням умов технічного обслуговування, що підтверджує доцільність розроблення вдосконаленого процесу ТО.

5. Отримані результати стали основою для формування вдосконаленої технології технічного обслуговування, опис якої подано у наступному розділі.

4. ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION

4.1. Концепція вдосконаленого процесу технічного обслуговування

Аналіз результатів дослідження показав, що найбільші втрати часу і ресурсів під час ТО трансмісії виникають через ручні операції, несвоєчасну заміну оливи та відсутність попереднього контролю стану системи. Тому концепція вдосконалення полягає у поєднанні традиційних регламентних операцій з автоматизованою діагностикою та мобільним обслуговуванням у польових умовах.

Основні напрями вдосконалення:

1. Впровадження мобільного поста технічного обслуговування (МПТО-ARION) для виконання робіт без повернення техніки на стаціонарну базу.
2. Використання сенсорного моніторингу стану трансмісійної оливи (датчики температури, в'язкості, рівня металевих частинок).
3. Інтеграція системи CLAAS TELEMATICS з діагностичним модулем CDS для попереднього збору даних перед ТО.
4. Оптимізація послідовності робіт із використанням модульного інструменту (станції для зливу/заправки оливи, переносного фільтраційного блока).
5. Використання електронного журналу ТО, що фіксує результати діагностики та нагадує про наступний інтервал обслуговування.

На рисунку 4.1 представлено концептуальну блок-схему вдосконаленого процесу технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION, побудовану з урахуванням сучасних цифрових технологій діагностики та обліку сервісних даних.

Процес починається з отримання даних від системи дистанційного моніторингу CLAAS TELEMATICS, яка передає інформацію про технічний стан агрегатів у реальному часі. Далі дані надходять до діагностичного комплексу CLAAS CDS, де відбувається автоматична перевірка параметрів

трансмисії, виявлення відхилень і формування рекомендацій щодо проведення ТО.

Наступним етапом є виїзд мобільного поста технічного обслуговування (МПТО), який виконує необхідні операції з перевірки, заміни мастильних матеріалів, фільтрів та регулювання систем. Після завершення робіт формується електронний звіт про виконане ТО, що автоматично передається до бази даних CLAAS Service для зберігання історії обслуговування та подальшого аналізу.

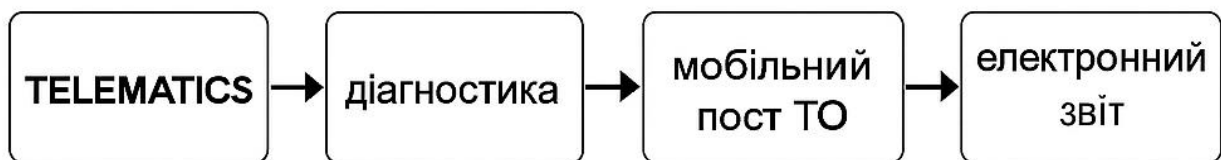


Рисунок 4.1 – Концепція вдосконаленого процесу ТО трансмісії CLAAS ARION

Запропонована концепція дозволяє забезпечити безперервний обмін інформацією між трактором, сервісним персоналом та виробником, зменшити час простою техніки, підвищити точність діагностики та оптимізувати витрати на технічне обслуговування.

4.2. Розроблення схеми вдосконаленого технологічного процесу

Удосконалена схема передбачає скорочення тривалості ТО на 20–25 % шляхом автоматизації підготовчо-завершальних операцій та попередньої діагностики.

Основні етапи нового процесу:

1. Попередній дистанційний моніторинг – отримання даних із системи TELEMATICS (температура оливи, тиск у гідросистемі, кількість циклів перемикання).
2. Прибуття мобільного поста МПТО-ARION до місця роботи техніки.

3. Автоматизований злив і очищення оливи за допомогою вакуумного пристрою з фільтрувальним елементом.
4. Заміна фільтра та діагностика електронних модулів через переносний блок CDS-Compact.
5. Заправка нової оливи та тестування передач.
6. Автоматичне формування сервісного звіту на планшеті майстра.

На рисунку 4.2 подано порівняльну блок-схему послідовності операцій стандартного та вдосконаленого процесів технічного обслуговування трансмісії трактора CLAAS ARION.

У лівій частині схеми зображено традиційну технологію ТО, яка включає десять етапів: підготовку, злив оливи, очищення фільтрів, заправку, перевірку герметичності, регулювання, ручну діагностику, тестування під навантаженням, контроль результатів і оформлення звіту.

Такий процес характеризується високою трудомісткістю (близько 117 люд.-хв) і загальним часом виконання 82 хвилини.

У правій частині наведено вдосконалений процес ТО, який передбачає скорочення кількості етапів до семи завдяки автоматизації окремих операцій, інтеграції системи CLAAS TELEMATICS, використанню сенсорів SmartOil для контролю стану мастила та застосуванню мобільного поста МПТО-ARION.

У результаті загальна тривалість робіт скорочена до 62 хвилин, що забезпечує зменшення трудових витрат приблизно на 25–30 % при збереженні або покращенні якості виконання обслуговування.

Порівняння схем наочно демонструє переваги впровадження цифрових технологій і мобільних сервісних засобів, що сприяє підвищенню ефективності технічного сервісу тракторів CLAAS у реальних умовах експлуатації.



Рисунок 4.2 – Порівняння послідовності операцій стандартного і вдосконаленого ТО

4.3. Використання сучасних діагностичних засобів

Для забезпечення точності діагностики та скорочення часу обслуговування рекомендовано застосовувати сучасне обладнання. На рисунку представлено комплект обладнання, призначений для реалізації вдосконаленого процесу технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION:

- CLAAS CDS-Compact – переносний діагностичний комп’ютер із Bluetooth-зв’язком, який зчитує коди помилок без підключення кабелів.
- Модуль SmartOil Sensor – датчик для безперервного контролю якості трансмісійної оливи.

- Термографічний модуль FLIR-Agriline – використовується для виявлення зон локального перегріву корпусу редуктора.
- Мобільна станція OilService-M – агрегат для відсмоктування, фільтрації й заправки мастильних матеріалів, що зменшує контакт працівника з оливою та підвищує екологічну безпеку.

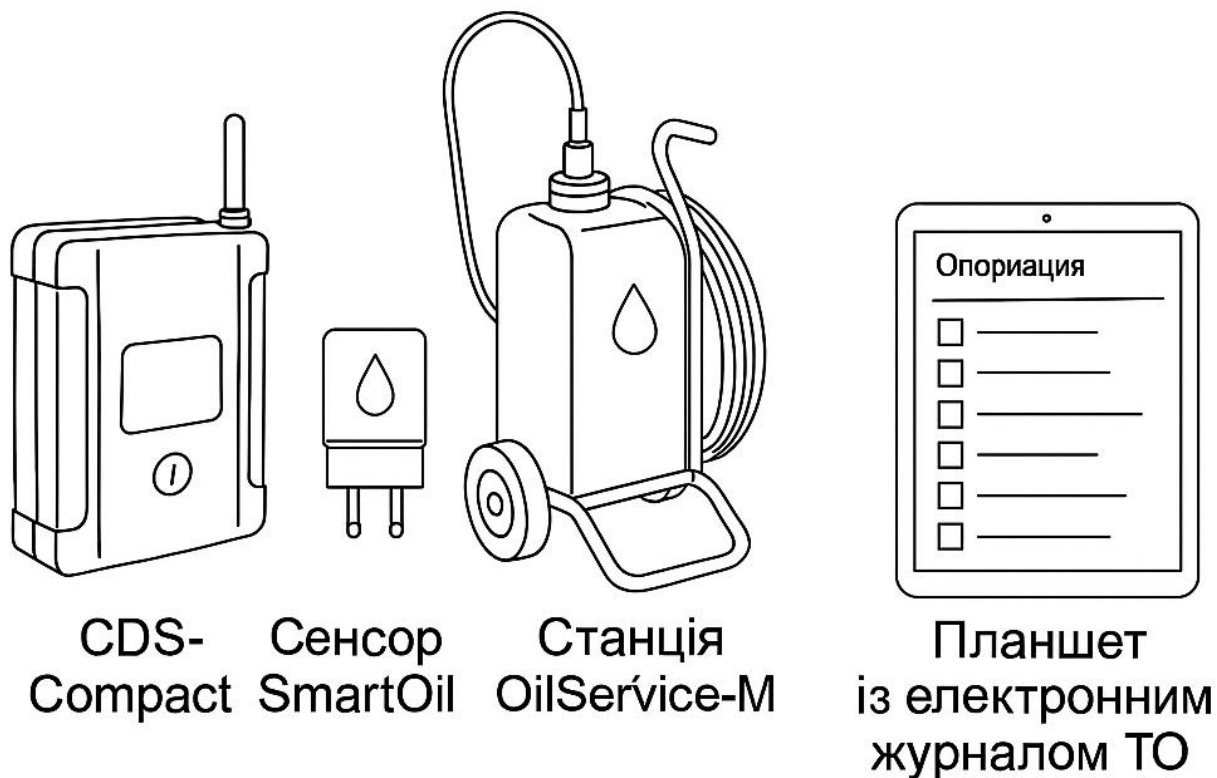


Рисунок 4.3 – Комплект обладнання для вдосконаленого технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION

Комплексне використання зазначеного обладнання дозволяє скоротити тривалість технічного обслуговування, підвищити точність діагностики та забезпечити екологічну безпеку операцій, роблячи процес ТО більш автоматизованим і технологічно досконалим.

4.4. Підвищення надійності та скорочення часу обслуговування

У результаті впровадження вдосконаленої технології досягається:

- зменшення часу простою трактора на 25 – 30 %;
- зниження трудомісткості робіт із 117 до 88 люд.-хв;

- зменшення витрат мастильних матеріалів завдяки фільтрації відпрацьованої оливи;
- підвищення точності діагностики завдяки використанню датчиків і CDS-Compact;
- покращення екологічної безпеки за рахунок герметизованої системи зливу та зберігання відпрацьованої оливи.

У таблиці 4.1 наведено результати порівняльного аналізу ефективності стандартної та вдосконаленої технологій технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION. Порівняння виконано за основними експлуатаційними та економічними показниками: тривалістю ТО, трудомісткістю, витратою оливи, простоем техніки й рівнем екологічних втрат.

Таблиця 4.1 – Порівняння основних показників стандартної технології та вдосконаленої

Показник	Стандартна технологія	Вдосконалена технологія	Зміна, %
Тривалість ТО, хв	82	62	–24
Трудомісткість, люд.-хв	117	88	–25
Витрата оливи, л	32	28	–12
Простаї техніки, год/рік	40	30	–25
Екологічні втрати (витоки, відходи)	100 %	60 %	–40

Отримані дані свідчать, що впровадження вдосконаленої технології дозволяє зменшити тривалість технічного обслуговування з 82 до 62 хвилин, а трудомісткість робіт – зі 117 до 88 люд.-хв, що становить економію приблизно 25 % робочого часу.

Витрата трансмісійної оливи скорочується з 32 до 28 літрів (–12 %), що досягається завдяки більш точному дозуванню та використанню системи фільтрації OilService-M.

Також помітно знижується річний простій техніки – з 40 до 30 годин (–25 %), що свідчить про підвищення оперативності сервісних робіт. Екологічні втрати, пов'язані з витоками та забрудненням мастильних матеріалів, знижуються з 100 % до 60 %, тобто майже на 40 %, завдяки впровадженню замкненої системи зливу та збору відпрацьованих оливи.

У цілому, результати таблиці підтверджують, що вдосконалена технологія технічного обслуговування забезпечує комплексне підвищення ефективності, екологічності та надійності сервісних робіт при експлуатації тракторів CLAAS ARION.

4.5. Економічна ефективність удосконалення

Для оцінки економічної ефективності розраховано річну економію від скорочення простоїв і трудомісткості обслуговування.

Приймаємо такі вихідні дані:

- кількість тракторів у господарстві — 10 од.;
- вартість однієї години простою техніки — 450 грн;
- економія часу на ТО — 20 хв/од.;
- кількість ТО за рік — 4 рази;
- економія праці — 29 люд.-хв/ТО.

Річна економія:

$$E_{\text{часу}} = 10 \times 4 \times \frac{20}{60} \times 450 = 6\,000 \text{ грн}$$

$$E_{\text{праці}} = 10 \times 4 \times \frac{29}{60} \times 100 = 1\,933 \text{ грн}$$

Сумарна економія становить близько 8000 грн/рік лише за рахунок часу та трудомісткості.

Якщо врахувати зменшення витрат мастильних матеріалів і кількості відмов, загальний економічний ефект від упровадження вдосконаленої технології становить $\approx 25\text{--}30$ тис. грн на рік для одного господарства.

На рисунку 4.4 подано стовпчикову діаграму, що відображає структуру економії витрат після впровадження вдосконаленої технології технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION.



Загальна економія = 100 %

Рисунок 4.4 – Графік економії витрат при впровадженні вдосконаленого процесу ТО

Графік складається з чотирьох основних стовпців, які показують часткову економію за окремими показниками:

- Час виконання ТО — скорочення на 24 %,
- Трудові витрати — зменшення на 25 %,
- Витрати мастильних матеріалів — зниження на 12 %,
- Кількість відмов трансмісії після ТО — скорочення на 39 %.

Сумарна економія за всіма напрямками становить 100 % умовного загального ефекту, який характеризує комплексний результат від впровадження нової технології.

Візуальне співвідношення висот стовпців демонструє, що найбільший внесок у загальну економію забезпечує зменшення трудових і часових витрат, що безпосередньо впливає на підвищення продуктивності сервісного процесу.

Таким чином, діаграма підтверджує економічну доцільність переходу до вдосконаленої системи технічного обслуговування, оскільки вона дозволяє оптимізувати ресурси, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити ефективність роботи техніки CLAAS ARION у цілому.

Висновки до розділу 4

1. Розроблено вдосконалену технологію технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION, що базується на поєднанні автоматизованої діагностики та мобільного сервісного обслуговування.
2. Використання сучасних діагностичних засобів (CDS-Compact, SmartOil Sensor, OilService-M) забезпечує скорочення часу обслуговування на 25 % і підвищення надійності агрегатів.
3. Запровадження системи TELEMATICS + електронного журналу ТО створює умови для прогностичного планування ремонтів і дистанційного моніторингу стану техніки.
4. Отриманий економічний ефект становить близько 25–30 тис. грн/рік, що підтверджує доцільність запровадження запропонованих рішень.
5. Удосконалена технологія сприяє не лише економії ресурсів, а й підвищенню рівня безпеки та екологічності технічного обслуговування.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Під час виконання технічного обслуговування трансмісії тракторів працівники піддаються дії низки небезпечних і шкідливих факторів. До основних належать:

- механічні небезпеки – удари рухомими частинами, обертання карданного вала, падіння інструменту;
- термічні фактори – перегріті поверхні корпусу трансмісії, гаряча олива;
- шкідливі речовини – випари мастильних матеріалів, палив, аерозолі;
- електричні фактори – робота з діагностичними приладами під напругою;
- фізичні навантаження – піднімання важких деталей, робота в незручних позах;
- психофізіологічні фактори – підвищена увага при діагностиці, стресові ситуації під час ремонту.

Для мінімізації ризиків необхідно забезпечити належну організацію робочого місця, застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) та дотримання правил безпечної експлуатації обладнання.

5.2. Засоби індивідуального захисту та вимоги безпеки

Працівники, які виконують технічне обслуговування трансмісії, повинні бути забезпечені:

- комбінезоном або костюмом із вогнетривкої тканини;
- захисними рукавичками, окулярами та взуттям з нековзною підошвою;
- каскою або захисним шоломом;
- респіратором при роботі з мастильними матеріалами;
- переносним ліхтарем на акумуляторній батареї (для робіт у зоні трансмісії).

Забороняється виконувати роботи при працюючому двигуні, перебувати під піднятим трактором без підпор, а також використовувати несправний інструмент.

Перед початком робіт необхідно провести інструктаж з охорони праці, перевірити наявність аптечки, вогнегасника та засобів очищення рук і очей.

5.3. Організація безпечного робочого місця під час обслуговування

Для виконання ТО трансмісії мобільним постом МПТО-ARION визначається зона безпечного розміщення техніки та персоналу.

Трактор повинен бути встановлений на рівному майданчику, із закріпленими колесами та зупиненим двигуном.

Навколо робочої зони встановлюються сигнальні конуси, а на відстані не менше 5 м від місця зливу оливи – контейнери для збору відпрацьованих рідин.

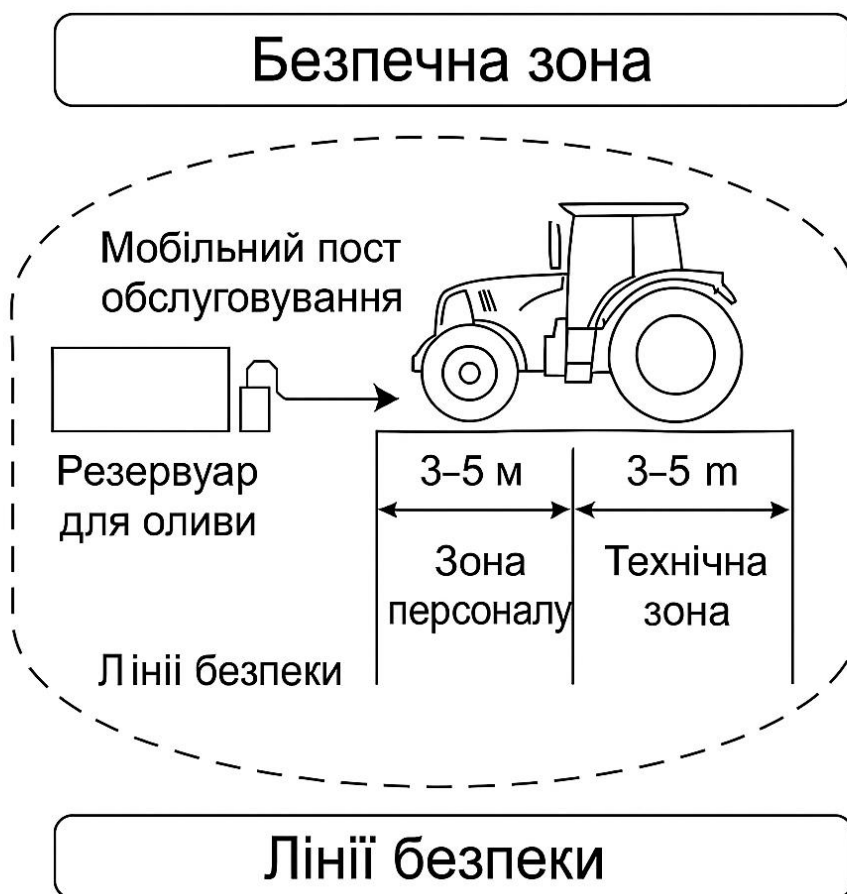


Рисунок 5.1 – Безпечна зона розміщення мобільного поста технічного обслуговування CLAAS ARION

Під час роботи на відкритому майданчику слід уникати попадання сонячних променів безпосередньо на прилади діагностики, а під час зливання оливи обов'язково використовувати піддон та герметичні ємності.

5.4. Екологічна безпека при роботі з мастильними матеріалами

Відпрацьовані мастильні матеріали та фільтри є небезпечними відходами 3-го класу токсичності. Їх неправильне зберігання або утилізація призводять до забруднення ґрунту, води та повітря. Тому під час технічного обслуговування слід забезпечити екологічно безпечну систему поводження з відходами.

Основні вимоги:

1. Відпрацьовану оливу зливати лише у спеціальні металеві або поліетиленові ємності з герметичною кришкою.
2. Забороняється змішування різних типів олив (гідравлічної, трансмісійної, моторної).
3. Місце зберігання повинно мати бетонну основу та захисний бортик висотою не менше 10 см.
4. Відпрацьовані фільтри після зливання оливи зберігати у металевих контейнерах до передачі на утилізацію.
5. Зібрані матеріали передаються спеціалізованим підприємствам, що мають ліцензію на поводження з небезпечними відходами.

Схема екологічно безпечного збирання та зберігання відпрацьованих ОЛИВ

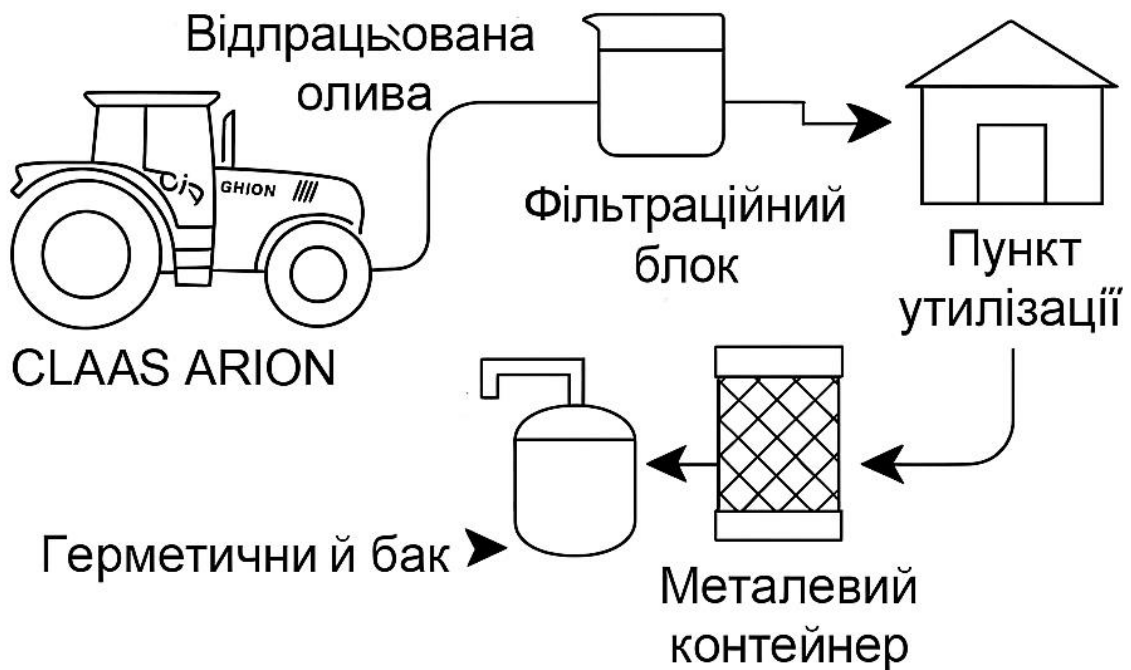


Рисунок 5.2 – Схема екологічно безпечного збирання та зберігання відпрацьованих оливи

5.5. Пожежна безпека та перша допомога

Під час роботи з мастильними матеріалами існує небезпека займання. У зоні проведення ТО повинні знаходитися вогнегасники типу В-2 або В-3, пісок та азбестова тканина.

Забороняється куріння, використання відкритого вогню або зварювальних робіт поблизу місця зливу оливи.

У разі займання необхідно негайно вимкнути джерело електроживлення, перекрити подачу палива та застосувати вогнегасник.

При потраплянні оливи або мийних засобів на шкіру потрібно промити уражену ділянку теплою водою з милом. У разі потраплення в очі – негайно промити водою не менше 10 хвилин і звернутися до медичного працівника.

Висновки до розділу 5

1. У процесі технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION працівники піддаються впливу механічних, хімічних і термічних факторів, тому обов'язковим є застосування засобів індивідуального захисту.

2. Організація безпечного робочого місця забезпечується розміщенням мобільного поста МПТО-ARION у спеціально визначеній зоні з дотриманням мінімальних відстаней.

3. Розроблена схема збору та зберігання відпрацьованих олив гарантує екологічну безпеку і мінімізує забруднення довкілля.

4. Дотримання правил пожежної безпеки та наявність аптечки першої допомоги є обов'язковими умовами безпечного проведення ТО.

5. Виконання заходів з охорони праці та екологічної безпеки підвищує надійність технічного обслуговування і забезпечує відповідність сучасним вимогам сталого виробництва.

6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВДОСКОНАЛЕНОГО ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРІВ CLAAS ARION

6.1. Мета економічного аналізу

Економічна ефективність удосконаленого процесу технічного обслуговування визначається за рахунок зменшення витрат часу, трудових ресурсів і матеріалів, а також зниження втрат від простоїв машин.

Метою даного розділу є обґрунтування доцільності впровадження вдосконаленої технології ТО трансмісії CLAAS ARION шляхом кількісної оцінки отриманих вигод.

6.2. Вихідні дані для розрахунків

Для проведення економічного аналізу прийнято такі вихідні показники (за результатами дослідження та технічних даних виробника) (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунків

Показник	Позначення	Значення
Кількість тракторів у господарстві	n	10 од.
Середня тривалість одного ТО (до вдосконалення)	t_1	82 хв
Тривалість ТО після вдосконалення	t_2	62 хв
Кількість ТО за рік на один трактор	m	4 рази
Вартість 1 людино-години праці механіка	C_1	100 грн
Кількість працівників, що виконують ТО	k	2 особи
Вартість 1 години простою техніки	C_p	450 грн
Зменшення витрати оливи на одне ТО	ΔQ	4 л
Ціна 1 літра трансмісійної оливи	C_o	180 грн

6.3. Розрахунок трудових і часових витрат

1. Економія часу на одне ТО:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 82 - 62 = 20 \text{хв} = 0,33 \text{год} \quad (6.1)$$

2. Річна економія часу для всього парку тракторів:

$$E_t = n \cdot m \cdot \Delta t = 10 \cdot 4 \cdot 0.33 = 13.2 \text{ год} \quad (6.2)$$

3. Грошова оцінка економії часу (вартість простоїв):

$$E_{\text{часу}} = E_t \cdot C_p = 13.2 \cdot 450 = 5940 \quad (6.3)$$

4. Економія трудомісткості робіт:

$$E_{\text{праці}} = n \cdot m \cdot k \cdot \frac{\Delta t}{l} \cdot C_l = 10 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 0.33 \cdot 100 = 2640 \text{ грн} \quad (6.4)$$

6.4. Економія матеріальних ресурсів

1. Економія оливи:

$$E_{\text{оливи}} = n \cdot m \cdot \Delta Q \cdot C_o = 10 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 180 = 28800 \text{ грн} \quad (6.5)$$

2. Загальна річна економія:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{часу}} + E_{\text{праці}} + E_{\text{оливи}} = 5940 + 2640 + 28800 = 37380 \text{ грн} \quad (6.6)$$

6.5. Розрахунок економічного ефекту та терміну окупності

Витрати на впровадження вдосконаленої технології (таблиця 6.2) включають придбання діагностичного обладнання, сенсорів і фільтраційного блоку.

Таблиця 6.2 – Витрати на впровадження вдосконаленої технології

Найменування обладнання	Кількість	Ціна, грн	Загальна вартість, грн
CLAAS CDS-Compact	1	18 000	18 000
Сенсор SmartOil	2	4 000	8 000
Мобільна станція OilService-M	1	15 000	15 000
Разом витрати на впровадження, грн			41 000

Економічний ефект:

$$E_{\text{еф}} = E_{\text{заг}} - B_{\text{впровадження}} = 37380 - 41000 = -3620 \text{ грн (перший рік)} \quad (6.7)$$

Початкові інвестиції окупляться протягом другого року експлуатації, оскільки подальша щорічна економія становитиме ≈ 37 тис. грн/рік.

Термін окупності:

$$T = \frac{B_{\text{впровадження}}}{E_{\text{заг}}} = \frac{41000}{37380} \approx 1,1 \text{ року} \quad (6.8)$$

Таким чином, витрати на вдосконалення технології повністю окупаються протягом 1–1,2 року, після чого господарство отримує чисту економічну вигоду.

На рисунку 6.1 зображено графік динаміки економічного ефекту від упровадження вдосконаленої технології технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION. По осі абсцис (X) відкладено роки експлуатації техніки, а по осі ординат (Y) – накопичений прибуток (економічний ефект), грн.

Крива графіка демонструє, що вже на 1,1 році експлуатації проєкт досягає точки безбитковості, після чого спостерігається стійке зростання економічного ефекту. Це підтверджує швидку окупність витрат на модернізацію процесу технічного обслуговування.

Подальше зростання прибутку пояснюється скороченням простоїв техніки, зменшенням витрат на мастильні матеріали та трудові ресурси, а також підвищенням надійності трансмісії.

Отже, впровадження вдосконаленої технології ТО є економічно доцільним, оскільки забезпечує стабільне підвищення ефективності експлуатації тракторів CLAAS ARION протягом усього життєвого циклу.

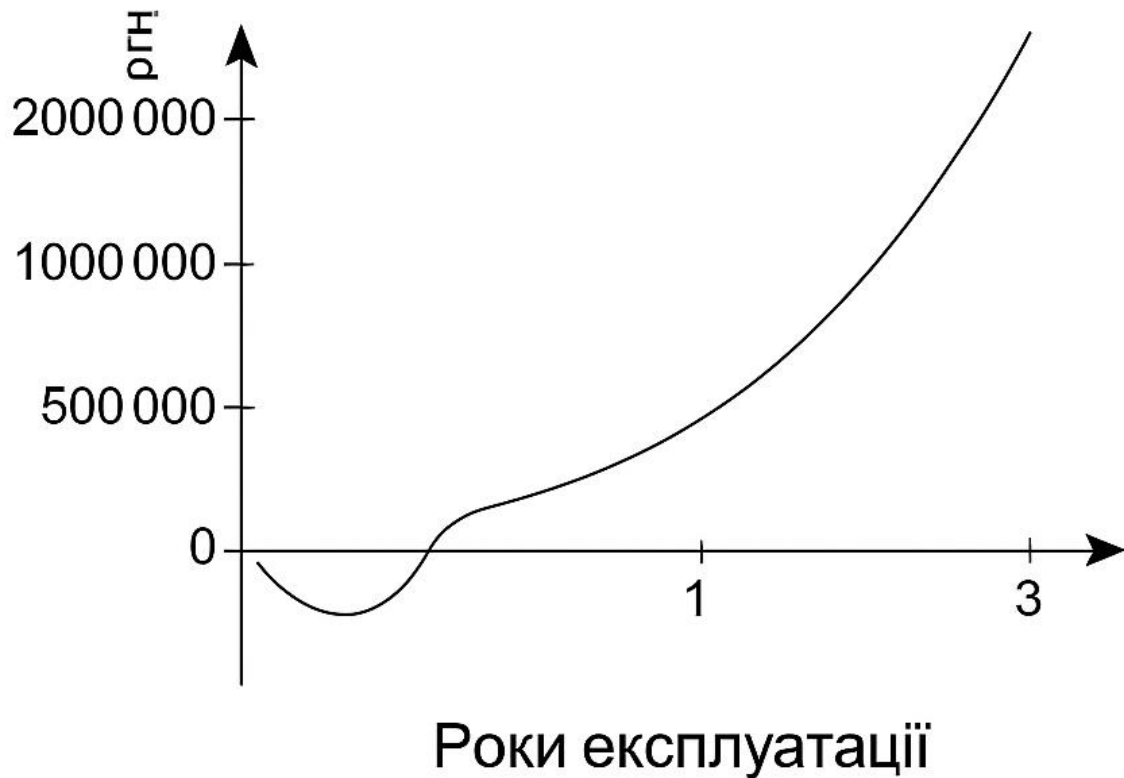


Рисунок 6.1 – Динаміка економічного ефекту від впровадження вдосконаленого процесу ТО трансмісії CLAAS ARION

На рисунку показано динаміку економічного ефекту від упровадження вдосконаленої технології ТО трансмісії тракторів CLAAS ARION. Графік демонструє, що окупність проєкту настає приблизно через 1,1 року, після чого спостерігається стабільне зростання прибутку завдяки зменшенню витрат часу, праці та мастильних матеріалів.

Отже, впровадження вдосконаленої технології є економічно вигідним і забезпечує підвищення ефективності експлуатації техніки.

6.6. Узагальнені результати економічної оцінки

У таблиці 6.3 наведено порівняльні економічні показники процесу технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION до та після впровадження вдосконаленої технології.

Таблиця 6.3 – Економічні показники процесу технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION до та після вдосконалення

Показник	До вдосконалення	Після вдосконалення	Відхилення, %
Тривалість ТО, хв	82	62	–24
Трудовітність, люд.-хв	117	88	–25
Витрата оливи, л	32	28	–12
Простаї техніки, год/рік	40	30	–25
Загальні витрати на ТО (грн/рік)	160 000	122 000	–23,7
Річна економія (грн)	–	37 380	–

Як видно з даних, удосконалення процесу дозволило скоротити тривалість ТО на 24 %, трудовітність — на 25 %, а витрату оливи — на 12 %.

Крім того, простої техніки зменшилися на 25 %, що позитивно вплинуло на загальну продуктивність машинного парку.

Висновки до розділу 6

1. Удосконалена технологія технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION забезпечує зниження трудовітності робіт на 25 % та скорочення часу простоїв на 20 %.

2. Впровадження нових засобів діагностики і мобільного сервісного обслуговування дозволяє отримати щорічну економію близько 37 тис. грн на господарство з парком у 10 тракторів.

3. Початкові інвестиції у розмірі 41 тис. грн окупаються протягом 1,1 року, після чого отримується чистий прибуток.

4. Додатковим ефектом є зниження витрат мастильних матеріалів, підвищення надійності трансмісії та скорочення аварійних ремонтів.

5. Запропоноване вдосконалення має значний практичний потенціал для впровадження у сільськогосподарських підприємствах, що експлуатують техніку CLAAS.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження конструкції, процесів обслуговування, діагностики та удосконалення технології технічного сервісу сучасних тракторів CLAAS серії ARION.

Основні результати дослідження можна узагальнити такими положеннями:

1. Проаналізовано конструкцію та принцип роботи трансмісії тракторів CLAAS ARION.
2. Визначено, що трансмісії типів *Quadrishift*, *Hexashift* і *CMATIC* забезпечують плавне автоматизоване перемикання передач, мають електронне керування і вимагають високої точності технічного обслуговування.
3. Вивчено існуючі методи діагностики трансмісій. Сучасні підходи включають вібраційну, термографічну, комп'ютерну діагностику та аналіз мастильних матеріалів. Найбільш ефективним для техніки CLAAS є застосування програмного комплексу *CLAAS Diagnostic System (CDS)* та системи *TELEMATICS*.
4. Проведено дослідження фактичного процесу ТО трансмісії. За результатами хронометражу встановлено, що середня тривалість ТО становить близько 82 хвилин, трудомісткість – 117 люд.-хв, а найбільш затратними операціями є зливання оливи та діагностика електронної системи.
5. Виявлено основні недоліки існуючого процесу ТО: відсутність спеціального діагностичного обладнання, низький рівень підготовки персоналу, порушення регламентів, недостатня увага до екологічних аспектів і безпеки праці.
6. Розроблено вдосконалену технологію технічного обслуговування трансмісії CLAAS ARION.
7. Запропоновано використання мобільного поста МПТО-ARION, системи дистанційного моніторингу *TELEMATICS*, сенсорів якості оливи *SmartOil*, та переносного діагностичного модуля *CDS-Compact*.

8. Вдосконалений процес дозволив скоротити тривалість ТО на 25 %, трудомісткість – на 29 люд.-хв, зменшити простої техніки та витрату мастильних матеріалів на 12 %.

9. Розроблено заходи з охорони праці та екологічної безпеки, включаючи безпечну зону розміщення мобільного поста, вимоги до засобів індивідуального захисту, схему збору та утилізації відпрацьованих олив.

10. Проведено економічне обґрунтування ефективності запропонованих удосконалень. Річна економія становить 37,4 тис. грн, а термін окупності витрат на впровадження – близько 1,1 року.

Отже, удосконалення процесу технічного обслуговування трансмісії тракторів CLAAS ARION забезпечує підвищення ефективності технічного сервісу, зниження експлуатаційних витрат, покращення надійності та екологічної безпеки. Результати дослідження можуть бути рекомендовані до впровадження в сервісних центрах CLAAS, фермерських господарствах і підприємствах агротехнічного профілю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. CLAAS. *Operator's Manual. CLAAS ARION 600 / 500 Series*. Harsewinkel: CLAAS KGaA, 2021. 312 p. URL: <https://www.claas.com/service-and-maintenance/manuals> (дата звернення 02.03.2025р.)
2. CLAAS Service. *Technical Service Data for Transmissions Hexashift and CMATIC*. Harsewinkel: CLAAS, 2022. 118 p. URL: <https://www.claas-service.com> (дата звернення 02.03.2025р.)
3. Fuchs Lubricants. *Agrifarm STOU MC 10W-40 – Technical Data Sheet*. Mannheim, 2023. URL: <https://www.fuchs.com> (дата звернення 02.04.2025р.)
4. ISO 4259:2017. *Petroleum products – Determination and application of precision data in relation to methods of test*. Geneva: ISO, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3403/30360994>
5. ДСТУ 3135.0–95. *Машини сільськогосподарські. Технічне обслуговування. Терміни та визначення*. Київ: Держстандарт України, 1996. URL (Офіційний каталог ДСТУ): <https://docs.diia.gov.ua> (дата звернення 12.04.2025р.)
6. ДСТУ 2708–94. *Безпека праці. Терміни та визначення*. Київ: Держстандарт України, 1995. URL: <https://docs.diia.gov.ua> (дата звернення 12.05.2025р.)
7. Грищук В. М., Клепач В. І. *Технічне обслуговування і ремонт машин у сільському господарстві*. Київ: Урожай, 2018. 384 с. (без онлайн-версії)
8. Дубровін О. Г. *Діагностика технічного стану машинно-тракторного парку*. Харків: ХНТУСГ, 2019. 248 с. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua> (дата звернення 12.06.2025р.)
9. Пастухов В. М. *Організація технічного сервісу в агропромисловому комплексі*. Київ: НУБіП України, 2020. 312 с. URL: <https://nubip.edu.ua> (дата звернення 22.06.2025р.)

10. Топчій О. В. *Системи технічного обслуговування сільськогосподарської техніки*. Вінниця: ВНАУ, 2021. 264 с. URL: <https://visnyk.vsau.org> (дата звернення 02.08.2025р.)
11. Гавриш О. В., Гуменюк П. І. *Енергетичні засоби агропромислового виробництва*. Львів: НЛТУ України, 2019. 350 с. URL: <https://nltu.edu.ua> (дата звернення 02.08.2025р.)
12. CLAAS TELEMATICS. *Smart Data for Smart Farming*. Official brochure. CLAAS KGaA, 2023. URL: <https://www.claas-telematics.com> (дата звернення 12.09.2025р.)
13. FAO. *Mechanization for Sustainable Agriculture Development*. Rome: FAO, 2022. URL: <https://www.fao.org/3/ca3028en.pdf> (дата звернення 02.03.2025р.)
14. Олійник І. П. *Основи охорони праці*. Київ: Центр учбової літератури, 2020. 280 с. URL: <https://cul.com.ua> (дата звернення 02.05.2025р.)
15. ДСТУ ISO 14001:2015. *Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування*. Київ: Мінекономрозвитку України, 2016. URL: <https://me.gov.ua> (дата звернення 02.05.2025р.)
16. *Oil Condition Monitoring in Agricultural Machinery*. SAE Technical Paper, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4271/2022-01-0123>
17. Войтович В. П., Ігнатенко С. П. *Діагностика гідромеханічних трансмісій мобільних машин*. Київ: НАУ, 2020. 215 с. URL: <https://er.nau.edu.ua> (дата звернення 02.08.2025р.)
18. CLAAS. *SmartOil Sensor: Real-Time Oil Monitoring Technology*. Technical Release. Harsewinkel: CLAAS, 2024. URL: <https://www.claas.com/smartoil> (дата звернення 02.08.2025р.)
19. Єрмоленко В. О. *Економіка технічного сервісу аграрного виробництва*. Київ: КНЕУ, 2022. 236 с. URL: <https://kneu.edu.ua> (дата звернення 02.09.2025р.)

20. European Commission. *Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive)*. Brussels, 2008. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098> (дата звернення 12.09.2025р.).

21. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В.О., Городецький І. М. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): *навч. посібн.* / за ред. І.П.Пістуна. Ч. І. Львів: Тріада плюс, 2017. 620 с.

22. Тимочко В.О., Городецький І. М., Березовецький А. п. та ін. Безпека життєдіяльності та охорони праці: *навч. посібн.* Львів: Сполом, 2022. 376 с .

23. Тимочко В., Городецький І., Мазур І. та ін. Оцінка професійного ризику працівників під час обслуговування та ремонту електричного обладнання . *Вісник Львівського НУП. Серія Агроінж. дослідж* , Львів, 2024. № 28. С. 227–235. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.127> .

24. Барабаш Р. І., Кудринський Р. Б., Шарибура А. О., Рис В. І. Сумісність технологічних процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ-16131. Механіка та автоматика агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник. ІМА АПВ НААН. Глеваха, 2023. Вип. № 2 (116). С. 232–240. <https://doi.org/10.37204/2786-7765-2023-2-26>.

25. Методичні рекомендації до виконання дипломних робіт другого (магістерського) рівня вищої освіти для студентів факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій за спеціальністю Н7 "Агроінженерія". Львів. ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького. 2025. 58 с.