

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 ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

ДИПЛОМНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ СИСТЕМИ
ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАКТОРІВ FENDT»

Виконав: студент 7 курсу групи Аін-71
Спеціальності 208 «Агроінженерія»

(шифр і назва)

Дорчак Іван Миколайович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Барабаш Р.І.

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ
ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
НАВЧАЛЬНО – НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ ТА ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ
ОСВІТИ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____

к.т.н., доц. А.О. Шарibuра

“ ____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту
Дорчаку Івану Миколайовичу

1. Тема роботи: «Оптимізація методів і моделей системи технічного обслуговування тракторів FENDT»

Керівник роботи: к.т.н., доц. Барабаш Руслан Іванович

Затверджена наказом по університету від 30.12.2024 року № 887/К-С

2. Строк подання студентом роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: рекомендації по використанню тракторів сімейства Fendt; технічні карти на передпродажне і технічне обслуговування тракторів Fendt; рекомендації по експлуатації тракторів сімейства Fendt; каталог деталей тракторів сімейства Fendt; типові норми часу на ремонт та обслуговування тракторів Fendt.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити):

1. Конструктивно - технічний аналіз об'єкта проектування
2. Теоретичні основи технічного обслуговування сільськогосподарської техніки

3. Методика досліджень та побудова моделей

4. Результати досліджень та їх аналіз

5. Охорона праці та захист навколишнього середовища

6. Економічна оцінка впровадження результатів досліджень

Висновки та пропозиції

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Тема, мета, об'єкт дослідження, предмет дослідження та задачі дослідження; 2. Аналіз особливостей конструкції та структура технологічних

процесів ТО тракторів Fendt; 3. Кваліфікаційна оцінка технічного рівня стендів для випробування і регулювання гідроустаткування; 4–7. Параметри та показники ефективності ТП різних видів ТО трактора Fendt Vario; 8-9. Параметри та показники ефективності ТП ТО-3^{кр} тракторів Fendt Vario різних тягових класів; 10. Висновки та пропозиції.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3	Барабаш Р.І., к.т.н., доцент, кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича		
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва		
4, 6	Барабаш Р.І., к.т.н., доцент, кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича		

7. Дата видачі завдання 30.12.2024 р.

Календарний план

№ з/П	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт-ка
1	Написання розділу: «Конструктивно - технічний аналіз об'єкта проектування»	28.02.25-31.03.25	
2	Виконання другого розділу: «Теоретичні основи технічного обслуговування сільськогосподарської техніки»	01.04.25-10.05.25	
3	Виконання третього розділу: «Методика досліджень та побудова моделей»	11.05.25-30.06.25	
4	Написання четвертого розділу: «Результати досліджень та їх аналіз»	01.07.25-10.08.25	
5	Написання розділів: Охорона праці та захист навколишнього середовища; Економічна оцінка впровадження результатів досліджень	11.08.25-30.09.25	
6	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та мультимедійної презентації	01.10.25-31.10.25	
7	Завершення роботи в цілому	01.11.25-01.12.25	

Студент _____ Дорчак І.М.

(підпис)

Керівник роботи _____ Барабаш Р.І.

(підпис)

УДК: 631.372.004

Дорчак І.М. «Оптимізація методів і моделей системи технічного обслуговування тракторів FENDT». Дипломна робота. Дубляни. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025. 78 с.

табл. 44; рис. 26; бібліогр. джерел 30.

Проведено комплексний аналіз конструктивно-технологічних особливостей тракторів FENDT, визначено функціональні властивості їх основних систем та вузлів, проаналізовано технічні й експлуатаційні характеристики об'єкта дослідження. На основі регламентів ТО виробника побудовано структурну модель технологічного процесу технічного обслуговування.

Розроблено методику вибору ремонтно-технологічного обладнання та нормування операцій, сформовано невпорядковані й упорядковані моделі технологічних процесів, виконано їх оптимізацію із застосуванням математичних, мережевих, імітаційних та стохастичних методів моделювання.

Особливу увагу приділено оцінці витрат виробничих структур ПТО, розрахунку економічного ефекту від оптимізації технологічних процесів, аналізу пропускної здатності постів ТО та доведенню доцільності інтеграції оптимізаційних моделей у діючу систему сервісного обслуговування. Встановлено, що впровадження оптимізованих схем дозволяє скоротити тривалість операцій на 10–15 %, зменшити витрати на 5–7 %, підвищити продуктивність сервісу на 10–15 % і знизити рівень виробничих ризиків до 30 %.

Результати роботи мають практичне значення для сервісних центрів, аграрних підприємств і технічних служб, які експлуатують трактори FENDT, оскільки забезпечують підвищення економічної ефективності та безпечності технічного обслуговування. Запропоновані моделі можуть бути використані для подальшого розвитку системи ПТО, удосконалення технологічних регламентів і впровадження цифрових технологій у сервісну інфраструктуру.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. КОНСТРУКТИВНО - ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ	8
1.1 Конструктивно-технологічні особливості тракторів серії FENDT	8
1.2 Технічні та експлуатаційні характеристики об'єкта	10
1.3 Технологічні регламенти ТО тракторів FENDT	14
2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	19
2.1 Сучасні підходи до технічного обслуговування тракторів	19
2.2 Аналіз існуючих методів і моделей організації ТО та діагностики	22
2.3 Основні проблеми та фактори, що впливають на ефективність ТО тракторів	25
3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ	29
3.1. Методичні підходи до вибору ремонтно-технологічного обладнання	29
3.2. Методика нормування операцій технічного обслуговування	32
3.3. Побудова невпорядкованої моделі процесу ТО	34
3.4. Упорядкування та оптимізація моделі технологічного процесу	37
3.5. Математичні методи моделювання систем ТО	40
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	43
4.1. Аналіз конструктивно-технологічного базису тракторів FENDT	43
4.2. Вибір та обґрунтування ремонтно-технологічного обладнання	44
4.3 Аналіз залежностей параметрів та показників ефективності ТП ТО	47
4.4 Обґрунтування вибору раціональних технологічних схем процесу	53
4.5 Обґрунтування параметричних рядів виробничих структур ПТО	55

	5
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	57
5.1 Загальні положення	57
5.2 Логікоімітаційне моделювання	59
5.3 Метод експертного оцінювання операцій ТО мобільної техніки	61
6. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	
6.1. Розрахунок витрат виробничих структур системи ПТО	64
6.2. Оцінка економічного ефекту від оптимізації технологічного процесу	66
6.3. Ефективність інтеграції моделей оптимізації у діючу систему ТО	69
6.4. Окупність і економічна доцільність впровадження	71
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78

ВСТУП

Сучасний етап розвитку аграрного виробництва характеризується високим рівнем механізації та широким впровадженням інтелектуальних технологій керування технікою. У таких умовах особливого значення набуває забезпечення надійної та ефективної роботи тракторів, що є ключовою складовою машинно-тракторного парку. Одними з найбільш технологічно розвинених і поширених у європейських країнах, а також в Україні, є трактори марки FENDT, які поєднують високий рівень автоматизації, складну електронну систему керування, економічні двигуни та продуктивні трансмісії.

Ефективність використання тракторів значною мірою залежить від раціональної організації технічного обслуговування (ТО), адже своєчасність, якість та оптимальність проведення технологічних операцій визначають технічну готовність машин, рівень продуктивності, тривалість експлуатації та економічні показники господарської діяльності. З огляду на це, актуальними стають завдання оптимізації методів та моделей системи ТО, які дозволяють скоротити трудомісткість робіт, підвищити продуктивність сервісних структур, зменшити ризики відмов та знизити загальні експлуатаційні витрати.

У роботі приділено увагу аналізу конструктивно-технологічних особливостей тракторів FENDT, побудові та оптимізації моделі технологічного процесу ПТО, застосуванню математичних і імітаційних методів моделювання, а також дослідженню економічної ефективності впровадження оптимізованих рішень. Наукова новизна роботи полягає у розробленні комплексного підходу до вдосконалення системи технічного обслуговування із застосуванням сучасних інструментів оптимізації, моделювання ризиків та експертного аналізу.

Практична значущість дослідження визначається можливістю використання отриманих результатів у сервісних центрах, агротехнічних підприємствах та технічних службах, що здійснюють обслуговування тракторів FENDT, для підвищення ефективності роботи та забезпечення високого рівня технічної готовності машинно-тракторних парків.

Мета роботи. Метою магістерської роботи є розроблення, обґрунтування та оцінка ефективності моделей і методів оптимізації системи технічного обслуговування тракторів FENDT з метою підвищення результативності виробничих процесів, зменшення витрат та покращення технічної готовності тракторів.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є система технічного обслуговування тракторів FENDT у сервісних та експлуатаційних умовах.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є методи, моделі, технологічні процеси та організаційні рішення оптимізації системи ПТО тракторів FENDT.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз сучасних підходів до технічного обслуговування тракторів та визначити тенденції їх розвитку.
2. Дослідити конструктивно-технологічні особливості тракторів FENDT та їх вплив на організацію ПТО.
3. Проаналізувати технологічні регламенти та параметри процесу технічного обслуговування.
4. Розробити методичні підходи до вибору ремонтно-технологічного обладнання та нормування операцій.
5. Застосувати математичні, імітаційні та мережеві методи для оптимізації технологічної структури ПТО.
6. Оцінити витрати виробничих структур системи ПТО та визначити економічний ефект від впровадження оптимізованих моделей.
7. Обґрунтувати економічну доцільність впровадження оптимізованих рішень у сервісну систему.

1. КОНСТРУКТИВНО - ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Конструктивно-технологічні особливості тракторів серії FENDT

У межах дослідження об'єктом аналізу обрано трактори FENDT серії 300 Vario, які належать до універсально-просапного класу та широко застосовуються в енергозабезпеченні агрегатів широкого спектра. Моделі цієї серії вирізняються високим рівнем технологічності, застосуванням безступінчастих трансмісій, цифрових систем керування та розвинених засобів діагностики, що робить їх показовими представниками сучасного тракторобудування.

Метою даного підрозділу є систематизація конструктивних та техніко-експлуатаційних характеристик тракторів FENDT 300 Vario і визначення їх ключових параметрів, що впливають на організацію та оптимізацію систем технічного обслуговування.

У табл. 1.1 наведено основні технічні параметри моделей FENDT 310–314 Vario, що визначають їх енергетичні та експлуатаційні можливості.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики тракторів FENDT 300 Vario

Показник	FENDT 310 Vario	FENDT 311 Vario	FENDT 312 Vario	FENDT 314 Vario
Номінальна потужність, к.с.	110	120	131	152 (з DynamicPerformance)
Номінальний крутний момент, Н·м	435	480	520	580
Двигун	4-цил., 4.4 л, AGCO Power	4-цил., 4.4 л, AGCO Power	4-цил., 4.4 л	4-цил., 4.4 л
Трансмісія	Vario ML75 (CVT)	Vario ML75	Vario ML75	Vario ML75
Максимальна швидкість, км/год	40	40 (опц. 50)	50	50
Гідравлічна система, л/хв	110	110	152	152
Вантажопідйомність задньої навіски, кг	6390	6390	7700	7700
Споряджена маса, кг	5090	5180	5310	5420

Двигуни тракторів FENDT серії 300 належать до високоефективних дизельних агрегатів AGCO Power з електронною системою упорскування Common Rail, турбонаддувом і системою нейтралізації відпрацьованих газів (SCR).

Ключовими технічними характеристиками є:

- 4-циліндрова схема з робочим об'ємом 4,4 л;
- система впорскування високого тиску (до 1800–2000 бар);
- енергозберігаюча система охолодження Vistronic;
- низька питома витрата палива (до 215 г/кВт·год);
- інтегровані засоби моніторингу температури, тиску мастила, параметрів турбіни.

Усі моделі серії обладнані безступінчастою трансмісією Vario ML75, що забезпечує плавну зміну швидкості та високу ефективність енергопередачі. Особливістю трансмісії є можливість роботи у діапазоні швидкостей від 0,02 до 50 км/год без перемикання передач.

Основні конструктивні характеристики трансмісії наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристики трансмісії Vario ML75

Параметр	Значення
Тип	Гідромеханічна CVT (Continuously Variable Transmission)
Привід	Повний, через передній міст Fendt Cargo
Діапазон швидкостей	0,02 – 50 км/год
КПД редуктора	92–94 %
Наявність діагностичного модуля	Так, інтегрований у CAN-систему
Система керування	VarioDrive / TMS (Tractor Management System)

Гідравлічна система тракторів FENDT 300 Vario представлена продуктивним насосом (110–152 л/хв), електрогідравлічним керуванням та модульною конфігурацією розподільників, що дозволяє використовувати техніку в комплексних технологічних операціях.

Основні технічні показники гідросистеми наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Параметри гідравлічної системи

Показник	Значення
Продуктивність насоса, л/хв	110 / 152
Макс. тиск у системі, бар	200
Кількість гідровиходів	3–5
Тип розподільників	Електронно-керовані, секційні
Вантажопідйомність задньої навіски, кг	6390–7700
Вантажопідйомність передньої навіски, кг	До 3300

Цифрова архітектура тракторів FENDT базується на інтегрованих мережах CAN-BUS, що забезпечують взаємодію електронних блоків у реальному часі.

Серед ключових систем варто виокремити:

- TMS (*Tractor Management System*) – оптимізація режимів двигуна і коробки;
- Variotronic / FendtONE – інтерфейс керування та налаштування агрегатів;
- VarioDoc / VarioGuide – система навігації та реєстрації даних;
- FDI (*Fendt Diagnostic Interface*) – діагностичні процедури та зчитування помилок;
- *Telemetry Fuse* – віддалений моніторинг стану трактора.

Аналіз технічних характеристик тракторів FENDT серії 300 Vario дає змогу дійти висновку, що вони належать до високотехнологічних енергетичних засобів з підвищеним рівнем автоматизації, інтелектуалізації та інтегрованої діагностики.

Конструктивні особливості, зокрема використання CVT-трансмисії, високопродуктивної гідросистеми, цифрових модулів керування та діагностики, значною мірою впливають на організацію системи технічного обслуговування і визначають необхідність застосування сучасних інструментів прогнозування технічного стану.

1.2 Технічні та експлуатаційні характеристики об'єкта дослідження

Трактори серії FENDT 300 Vario належать до універсально-просапних енергетичних засобів середньої потужності й застосовуються для широкого спектра сільськогосподарських робіт: ґрунтообробітку, посіву, збирання

врожаю, транспортних операцій тощо. Їх технічні та експлуатаційні характеристики визначають продуктивність, економічність та ефективність роботи в агротехнологічних комплексах. У даному підрозділі наведено систематизоване представлення основних параметрів об'єкта дослідження.

Серія FENDT 300 складається з моделей: Fendt 311, 312, 313 та 314 Vario, які відрізняються рівнем потужності, тяговими параметрами та конфігураціями обладнання.

Таблиця 1.4 – Загальна технічна характеристика тракторів FENDT 300 Vario

Параметр	311 Vario	312 Vario	313 Vario	314 Vario
Потужність, к.с.	113	123	133	152 (155 у режимі Dynamic+)
Крутний момент, Н·м	435	460	500	580
Об'єм двигуна, л	4.4	4.4	4.4	4.4
Стандарт викидів	Stage V	Stage V	Stage V	Stage V
Максимальна швидкість, км/год	40–50	40–50	40–50	40–50
Вага експлуатаційна, кг	5350	5450	5550	5850

Двигуни AGCO Power серії 300 є високоефективними силовими агрегатами з електронною системою керування, турбонадувом та паливною системою Common Rail.

Основні енергетичні параметри:

- стабільна характеристика крутного моменту;
- економічна витрата палива у TMS-режимі;
- швидке реагування на зміну навантажень;
- низький рівень вібрацій.

Таблиця 1.5 – Показники енергоефективності двигуна

Показник	Значення
Специфічна витрата палива, г/кВт·год	205–215
Питома потужність, кВт/л	18.0–19.5
Робочий тиск упорскування, бар	до 2000
Ефективний ККД двигуна, %	38–40

Безступінчаста трансмісія Vario ML75 забезпечує плавність ходу, оптимізацію навантаження та високі тягові властивості.

Основні тягові параметри:

- максимальне тягове зусилля – до 55 кН;
- оптимальна передача потужності завдяки VarioDrive;
- плавна робота на малих швидкостях (до 0,02 км/год).

Таблиця 1.6 – Тягові характеристики

Показник	Значення
Максимальне тягове зусилля, кН	45–55
Максимальна швидкість, км/год	40 або 50
Мінімальна швидкість, км/год	0,02
Тип трансмісії	CVT Vario

Гідравлічна система тракторів FENDT вирізняється високою продуктивністю та широкими можливостями регулювання.

Ключові характеристики гідросистеми:

- продуктивність насоса: 110–152 л/хв;
- робочий тиск: 200–210 бар;
- кількість розподільників: 3–5;
- електронне керування навіскою.

Таблиця 1.7 – Характеристики гідравлічних систем

Показник	Значення
Продуктивність насоса, л/хв	110 / 152
Кількість гідровиходів	3–5
Вантажопідйомність задньої навіски, кг	6390–7700
Вантажопідйомність передньої навіски, кг	3300

Конструкція ходової частини забезпечує рівномірний розподіл маси, комфорт і стабільність при роботі у складних умовах.

Основні параметри:

- конструкція 4×4;
- блокування диференціалів;
- можливість встановлення шин підвищеного профілю;
- широкий діапазон колісних баз.

Таблиця 1.8 – Габаритні параметри FENDT 300 Vario

Показник	Значення
Довжина, мм	4320–4420
Ширина, мм	1990–2320
Висота, мм	2750–2810
Колісна база, мм	2420
Радіус розвороту, м	4,4

Кабіна Fendt VisioPlus забезпечує високий рівень комфорту оператора.

Основні характеристики:

- оглядова площа – до 77° вертикального огляду;
- сидіння з пневмопідвіскою;
- панель керування FendtONE;
- мультимедійний монітор 10–12 дюймів;
- клімат-контроль.

Система FendtONE забезпечує цифрову інтеграцію трактора із зовнішніми сервісами.

Основні можливості:

- автоматичне документування робіт;
- телеметрія (навантаження, витрати палива);
- дистанційна діагностика через Fendt FDI;
- супутникова навігація RTK;
- центральний ECU.

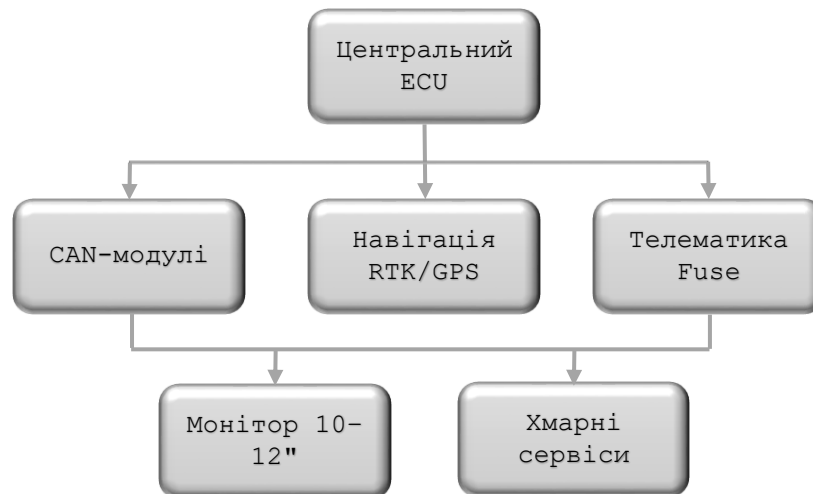


Рисунок 1.1 – Структура телематичної системи FendtONE

Експлуатаційні параметри визначають ефективність роботи в різних агротехнологічних умовах.

Основні показники:

- витрати палива при навантаженнях 30–70% – 7,3–12,5 л/год;
- продуктивність при культивуванні – 3,8–5,5 га/год;
- середня витрата пального у транспортному режимі – 5,0–7,2 л/год;

- коефіцієнт технічної готовності – 0,92–0,96.

Технічні та експлуатаційні характеристики тракторів серії FENDT 300 Vario свідчать про їхню високотехнологічність, енергоефективність та здатність до виконання складних агротехнологічних операцій із мінімальними витратами пального. Завдяки поєднанню високої потужності, продуктивної гідросистеми, інтелектуальних модулів керування та комфортних умов експлуатації ці трактори демонструють високу ефективність у різних виробничих умовах.

1.3 Технологічні регламенти технічного обслуговування тракторів FENDT

Технологічні регламенти технічного обслуговування (ТО) тракторів FENDT є системою норм, переліків операцій, періодичностей та вимог до виконання робіт, спрямованих на забезпечення надійної та безвідмовної експлуатації техніки впродовж призначеного ресурсу. Регламенти формуються виробником на основі конструктивних особливостей, даних довговічності елементів, вимог безпеки та екологічних норм.

Для тракторів серії FENDT (зокрема 300 Vario) технологічні регламенти передбачають поєднання часових інтервалів (мото-години, календарний термін) та стан-орієнтованих операцій, що виконуються за результатами діагностики та контролю параметрів.

Система технічного обслуговування тракторів FENDT умовно поділяється на такі рівні:

- Щоденне (оперативне) обслуговування – ТО-0;
- Періодичне обслуговування – ТО-1, ТО-2 та ТО-3 (через визначені інтервали напрацювання);
- Сезонне обслуговування (перед та після польового сезону);
- Спеціальні регламентні операції (заміна робочих рідин, фільтрів, регулювання тощо);
- Діагностичні та коригувальні операції (за показниками телематики й системи діагностики).

Узагальнену схему організації регламентів наведено на рисунку 1.2.

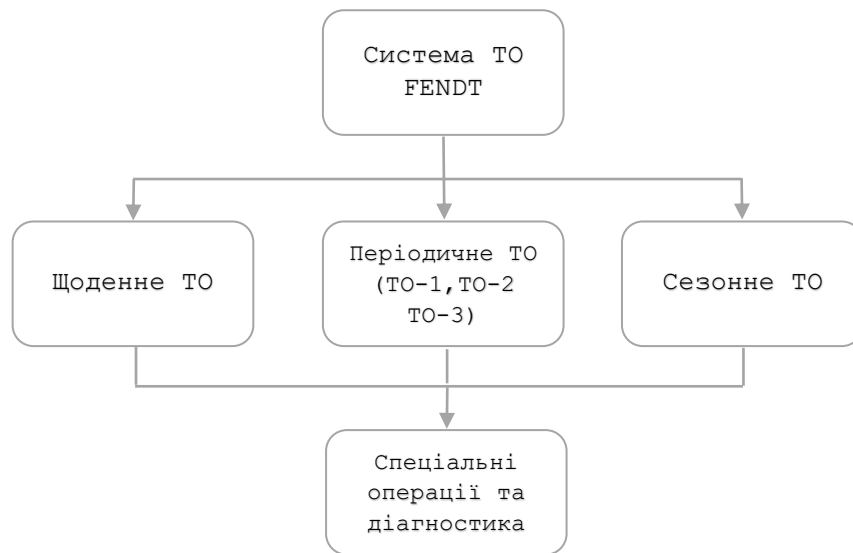


Рисунок 1.2 – Узагальнена схема рівнів регламенту ТО тракторів FENDT

Щоденне обслуговування виконується перед початком зміни або після її завершення оператором трактора. Метою є оперативний контроль технічного стану та недопущення роботи з критичними відхиленнями.

Основні операції щоденного ТО:

- зовнішній огляд трактора (витоки рідин, пошкодження);
- перевірка рівня моторного мастила, охолоджувальної рідини, пального;
- огляд стану шин, тиску повітря;
- перевірка роботи освітлення та сигналізації;
- очищення радіаторів від пилу й рослинних решток;
- візуальний контроль гідравлічних з'єднань;
- перевірка відсутності аварійних повідомлень на дисплеї FendtONE.

Таблиця 1.9 – Перелік основних операцій щоденного ТО-0

№	Операція	Зміст виконання	Виконавець
1	Зовнішній огляд	Виявлення витоків, пошкоджень, ослаблених кріплень	Оператор
2	Перевірка рівня мастила	Контроль по щупу, за потреби – долив	Оператор
3	Перевірка рівня ОР	Контроль у розширювальному бачку	Оператор
4	Огляд шин	Візуальний огляд, контроль тиску	Оператор
5	Очищення радіаторів	Продування повітрям або очищення щіткою	Оператор
6	Перевірка індикації	Аналіз попереджень FendtONE / панелі приладів	Оператор

Періодичні технічні обслуговування виконуються через регламентовані інтервали напрацювання 250, 500, 1000 мото-годин.

ТО-1 включає:

- заміну моторного мастила;
- заміну масляного фільтра;
- перевірку й очищення паливних фільтрів (за необхідності – заміну);
- перевірку натягу ременів навісних агрегатів (генератор, компресор);
- діагностику електросистеми та стану АКБ;
- контроль рівня трансмісійної та гідравлічної рідини.

ТО-2 включає перелік операцій ТО-1 та додатково:

- заміну трансмісійного та гідравлічного мастила;
- заміну фільтрів гідросистеми;
- перевірку та регулювання гальмівної системи;
- перевірку стану мостів, півосей, підшипників;
- поглиблену діагностику через FDI.

Таблиця 1.10 – Узагальнена структура регламентів періодичного ТО

Вид ТО	Орієнтовний інтервал, м/г	Основні операції
ТО-1	250–300	Заміна моторного мастила, фільтра, контроль трансмісійної рідини, діагностика електроустаткування
ТО-2	500–600	Операції ТО-1 + заміна трансмісійного мастила, фільтрів гідросистеми, регулювання гальм, діагностика FDI
ТО-3	1000 і більше	Поглиблене обстеження агрегатів, можлива часткова розбірка (за даними діагностики)

конкретні інтервали визначаються офіційними сервісними регламентами для конкретної моделі й умов експлуатації.

Сезонне ТО виконується:

- перед початком польового сезону – підготовка до інтенсивної роботи;
- після завершення сезону – консервація або підготовка до міжсезонного зберігання.

Основні сезонні роботи:

- повна мийка та очищення тракторів;
- перевірка герметичності всіх систем;
- контроль стану шин, гальм, рульового керування;
- перевірка й калібрування систем навігації та автоматики;
- контроль рівня заряду АКБ та стану контактів;

- оновлення програмного забезпечення (за потреби).

Спеціальні регламентні роботи можуть включати:

- заміну охолоджувальної рідини (через 2–3 роки);
- заміну мастила в передньому та задньому мостах;
- перевірку та обслуговування SCR-системи (AdBlue);
- калібрування датчиків та ECU.

Узагальнений алгоритм прийняття рішень щодо виконання ТО з урахуванням як регламентних, так і стан-орієнтованих факторів подано на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Логіко-структурна модель формування рішень щодо ТО

Для кожної групи операцій розробляються технологічні карти, що містять:

- найменування операції;
- необхідне обладнання та інструмент;
- послідовність виконання;
- нормативний час;
- вимоги до контролю якості.

Приклад укрупненої технологічної карти подано в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 – Приклад укрупненої технологічної карти операцій ТО-1

№	Операція	Засоби виконання	Нормативний час, хв	Контроль
1	Заміна моторного мастила	Підйомник, ємність, ключ фільтра	25–30	Перевірка рівня й відсутності витоків
2	Заміна фільтра мастила	Спец. ключ, новий фільтр	10–15	Візуальна перевірка ущільнень
3	Контроль натягу ременів	Динамометричний ключ	10	Натяг у межах норми
4	Перевірка АКБ	Тестер, вольтметр	10	Напруга не нижче допустимої
5	Діагностика через FDI	Діагностичний адаптер	15–20	Відсутність активних помилок

Технологічні регламенти ТО тракторів FENDT представляють собою впорядковану систему операцій, інтервалів і вимог, що враховує як конструктивні особливості машин, так і можливості сучасних діагностичних та телематичних систем. Поєднання класичних регламентованих інтервалів з стан-орієнтованими рішеннями, базованими на даних FendtONE, FDI та телематики, створює передумови для оптимізації витрат на обслуговування, зниження аварійності та підвищення технічної готовності тракторів FENDT у виробничих умовах.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

2.1. Сучасні підходи до технічного обслуговування тракторів

Ефективність функціонування сучасних тракторів у значній мірі визначається рівнем організації технічного обслуговування (ТО), що спрямоване на підтримання їх працездатного стану відповідно до заданих техніко-експлуатаційних показників. Упродовж останніх десятиліть відбувається переорієнтація від регламентно-планових систем догляду до інтегрованих технологій, заснованих на моніторингу технічного стану машин у реальному часі, цифровій діагностиці та методах прогнозування залишкового ресурсу. Це зумовлено суттєвим підвищенням конструктивної складності тракторів, розширенням функціональних можливостей електронних систем керування та збільшенням навантажень у процесі експлуатації.

Аналіз світових тенденцій свідчить, що у виробників тракторної техніки простежується чіткий перехід до сервісних концепцій, заснованих на таких принципах:

- індивідуалізація інтервалів ТО, що враховують фактичні умови експлуатації;
- інтеграція діагностичних засобів у робочі системи трактора;
- цифровізація сервісних процесів, включно з віддаленим моніторингом параметрів;
- використання моделей прогнозування відмов на основі масивів експлуатаційних даних.

Такі підходи дозволяють підвищити достовірність оцінювання технічного стану, знизити імовірність аварійних відмов і забезпечити раціональне використання ресурсів транспортно-технологічних агрегатів.

У сучасній практиці технічного сервісу машинобудівні підприємства застосовують комбіновані системи ТО, найпоширенішими з яких є:

Регламентоване технічне обслуговування передбачає виконання встановленого переліку контрольно-регулювальних і профілактичних операцій через визначені інтервали напруцювання або календарного часу. Така система забезпечує базовий рівень надійності, проте не враховує індивідуальних умов експлуатації, що може призводити як до передчасного, так і до запізненого виконання робіт.

Стан-орієнтоване обслуговування (Condition Based Maintenance, CBM) ґрунтується на показниках фактичного технічного стану, що визначаються за допомогою сенсорних засобів, електронних діагностичних модулів та систем збору й оброблення даних. У тракторів FENDT ці функції реалізуються через:

- системи внутрішньої діагностики CAN;
- телематичні платформи (FendtONE, Fuse Connected Services);
- датчики навантаження, температури, тиску та якості робочих рідин;
- алгоритми контролю параметрів роботи силового агрегату, трансмісії та гідравлічної системи.

Перевагами такого підходу є можливість коригування інтервалів ТО залежно від інтенсивності навантажень, виявлення прихованих дефектів на ранніх стадіях і зменшення простоїв техніки.

Визначальним чинником підвищення ефективності ТО є впровадження діагностичних технологій, що забезпечують оперативне визначення відхилень від нормативних параметрів. На сучасних тракторах застосовуються:

- on-board системи діагностики (OBD), які здійснюють автоматичний контроль параметрів функціонування;
- електронні інструменти сервісного аналізу, що забезпечують відображення кодів несправностей і проведення калібрувальних процедур;
- телематичні засоби, які дозволяють оцінювати технічний стан на відстані;
- вибірккові методи технічної діагностики – віброакустичний аналіз, термографія, спектральний аналіз мастил.

Комплексне застосування цих технологій формує інформаційне середовище, на основі якого приймаються обґрунтовані рішення щодо обсягів і термінів виконання ТО.

Перспективним напрямом розвитку сервісних стратегій є прогнозне технічне обслуговування (Predictive Maintenance), яке передбачає оцінювання залишкового ресурсу агрегатів за допомогою математичних моделей та методів машинного навчання. Для тракторів FENDT такі системи дозволяють:

- визначати тренди деградації вузлів за експлуатаційними даними;
- прогнозувати імовірний час настання відмови;
- формувати адаптивні графіки ТО;
- підвищувати ефективність планування сервісного обслуговування;
- зменшувати витрати на аварійні ремонти та скорочувати тривалість простоїв.

Застосування прогнозного обслуговування є одним із ключових чинників підвищення надійності техніки й оптимізації виробничих витрат.

Цифровізація процесів технічного обслуговування забезпечує підвищення оперативності сервісних робіт і точності їх документування. До основних елементів цифрового сервісу належать:

- електронні сервісні карти та протоколи;
- інтеграція з базами даних запасних частин;
- автоматизований облік мотогодин, навантажень та виконаних операцій;
- взаємодія сервісних центрів з технікою у режимі реального часу;
- інтеграція з інформаційними системами управління агровиробництвом.

Завдяки цьому забезпечується підвищення прозорості та стандартизації сервісних процесів.

Таким чином, сучасні підходи до технічного обслуговування тракторів характеризуються переходом від традиційних регламентованих систем до інтегрованих моделей, що базуються на принципах адаптивного та прогнозного обслуговування. Поєднання телематичних технологій, систем внутрішньої діагностики та математичних моделей оцінювання технічного стану дає змогу

істотно підвищити надійність тракторів і знизити експлуатаційні витрати. У тракторів FENDT ці підходи реалізовані найбільш повно, що зумовлює доцільність їх подальшого вивчення та оптимізації у межах цього дослідження.

2.2 Аналіз існуючих методів і моделей організації технічного обслуговування та діагностики тракторів

Організація технічного обслуговування (ТО) тракторів базується на комплексі методів, моделей та організаційних рішень, спрямованих на забезпечення їхньої надійності, працездатності та ефективного функціонування в умовах змінних технологічних навантажень. Сучасний стан розвитку тракторобудування характеризується поєднанням традиційних регламентованих схем і високотехнологічних цифрових систем, що дає підстави для необхідності систематизації та порівняльного аналізу існуючих підходів до ТО.

Методи ТО тракторів умовно поділяються на три основні групи: регламентовані, стан-орієнтовані та прогнозні. Їх узагальнююча характеристика наведена в таблиці 1.4.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика методів технічного обслуговування тракторів

Метод ТО	Основні принципи	Переваги	Недоліки
Регламентоване (планове)	Виконання операцій через фіксовані інтервали напрацювання	Простота планування; стандартизація	Не враховує реальний стан вузлів; можливі передчасні або запізнілі ремонти
Стан-орієнтоване (CBM)	Проведення ТО згідно з показниками технічного стану	Зменшення простоїв; оптимізація витрат; раннє виявлення відхилень	Потребує датчиків, телематики та кваліфікованого персоналу
Прогнозне (Predictive Maintenance)	Прогнозування ресурсу за моделями та аналітичними даними	Максимальна ефективність; мінімальні аварійні відмови	Висока вартість; складність побудови моделей

З метою підвищення ефективності технічної експлуатації тракторів широко застосовуються математичні та логістичні моделі організації ТО, серед яких:

- модель регламентованих циклів (Periodical Maintenance Model);
- модель оптимальних інтервалів (Optimal Interval Model);

- модель випадкових відмов (Failure Rate Model);
- модель технічного стану (Condition State Model);
- марковські моделі деградації вузлів;
- моделі прогнозного ТО на основі машинного навчання.

На рисунку 2.1 наведено узагальнену класифікацію моделей організації ТО тракторів.

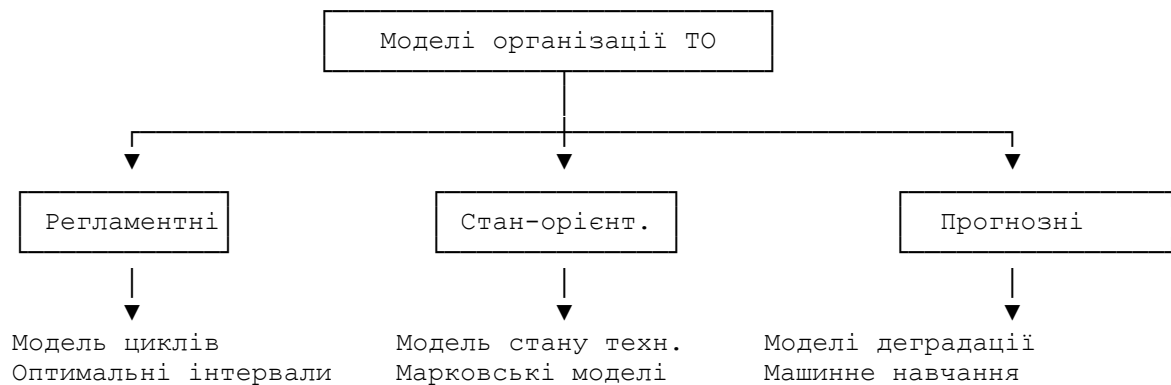


Рисунок 2.1 – Класифікація моделей організації технічного обслуговування

Технічна діагностика є ключовим компонентом системи ТО, оскільки дозволяє визначити фактичний технічний стан вузлів та агрегатів. У сучасній практиці застосовуються такі групи методів:

1. Аналітичні методи

Ґрунтуються на аналізі робочих параметрів:

- температура охолоджувальної рідини;
- тиск мастила;
- частота обертання колінчастого вала;
- витрата палива;
- навантаження на гідросистему.

2. Інструментальні методи

Передбачають застосування спеціальних вимірювальних засобів:

- віброакустична діагностика;
- термографічний контроль;
- спектральний аналіз мастил;
- ендоскопія.

3. Автоматизовані та телематичні методи

Реалізуються у сучасних тракторах FENDT через:

- CAN-діагностику;
- модулі FDI – Fendt Diagnostic Interface;
- телематичні системи FendtONE, Fuse, VarioDoc;
- датчики стану вузлів (тиску, температури, вібрації).

Узагальнений перелік діагностичних методів подано в таблиці 1.5.

Таблиця 2.2 – Групи діагностичних методів та їх основні функції

Група методів	Приклади	Основні визначувані параметри
Аналітичні	Аналіз температур, тисків	Режим роботи вузлів, стабільність параметрів
Інструментальні	Віброаналіз, термографія	Дефекти підшипників, перегрів, дисбаланс
Телематичні	FendtONE, VarioDoc	Віддалений контроль, діагностика, журнал подій
Спектральні	Аналіз мастила	Металевий знос, деградація мастила
Електронні	CAN-моніторинг	Коди помилок, стан електронних систем

За результатами аналізу встановлено, що найбільш ефективними є моделі, засновані на телематичному моніторингу та прогностичній оцінці ресурсу. Порівняльну оцінку подано у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняння ефективності моделей ТО

Модель	Скорочення простоїв	Точність визначення стану	Вартість впровадження	Придатність для FENDT
Регламентована	Низьке	Низька	Низька	Обмежена
Стан-орієнтована (CBM)	Середнє	Висока	Середня	Висока
Прогнозна (Predictive)	Високе	Дуже висока	Висока	Максимальна

Результати аналізу свідчать про те, що сучасні методи та моделі організації технічного обслуговування тракторів характеризуються тенденцією до інтелектуалізації та цифровізації процесів ТО. Традиційні регламентовані системи не відповідають вимогам високотехнологічних тракторів, таких як FENDT, через недостатню гнучкість і низьку ефективність реагування на зміни технічного стану.

Стан-орієнтовані та прогностичні методи забезпечують:

- скорочення аварійних відмов;
- оптимізацію витрат;

- підвищення ресурсу агрегатів;
- обґрунтоване прийняття сервісних рішень на основі фактичних даних.

Таким чином, подальші дослідження бажано спрямувати на розроблення комплексних моделей оптимізації ТО, що враховують телеметричні дані, експлуатаційні навантаження та індивідуальні особливості роботи тракторів FENDT.

2.3 Основні проблеми та фактори, що впливають на ефективність технічного обслуговування тракторів

Ефективність технічного обслуговування (ТО) тракторів визначається комплексом технічних, організаційних, економічних і технологічних факторів, що формують умови експлуатації машин та якість сервісних процесів. У сучасних умовах агровиробництва підвищення ефективності ТО є одним із ключових напрямів забезпечення надійності та безперебійності роботи тракторного парку, особливо з огляду на зростання складності конструкції та цифровізації техніки, таких як трактори FENDT.

У процесі технічного обслуговування тракторів виділяють низку системних проблем, які істотно впливають на якість і своєчасність виконання робіт. Узагальнений перелік таких проблем наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 2.4 – Основні проблеми, характерні для системи ТО тракторів

№	Проблема	Характер прояву	Наслідки
1	Недостатня якість діагностики	Обмежені можливості вимірювань, відсутність спеціального обладнання	Невчасне виявлення дефектів, аварійні простої
2	Нестача кваліфікованого персоналу	Недостатня підготовка кадрів для роботи з телематикою і CVT-трансмісіями	Помилки при ТО, збільшення витрат
3	Нерегулярність технічного обслуговування	Недотримання інтервалів ТО, сезонні перевантаження	Підвищений знос агрегатів
4	Відсутність адаптивних систем контролю	Використання лише планового ТО	Перевитрати ресурсів, низька ефективність ТО
5	Обмеженість інфраструктури сервісу	Недостатня кількість сервісних центрів, відсутність запасних частин	Збільшення часу простоїв
6	Низький рівень цифрової інтеграції	Відсутність єдиної бази даних про стан техніки	Неможливість прогнозного ТО

Технічні фактори пов'язані безпосередньо з конструкцією та технічним станом трактора. Вони визначають складність обслуговування, потребу в спеціалізованих засобах діагностики, а також впливають на ресурс агрегатів.

Основні технічні фактори:

- складність конструкції силової установки (високий тиск упорскування, SCR-системи);
- використання безступінчастих трансмісій (CVT), що потребують точного контролю;
- високопродуктивні гідравлічні системи з електронним керуванням;
- значна кількість електронних датчиків і модулів;
- необхідність спеціалізованих інструментів (FDI, CAN-аналізаторів);
- чутливість вузлів до якості палива та мастильних матеріалів.

На рисунку 2.2 представлено причинно-наслідкову схему впливу технічних факторів.



Рисунок 2.2 – Взаємозв'язок технічних факторів та ефективності ТО

Організаційні фактори визначають можливість виконання ТО у належні строки та з необхідним технологічним забезпеченням. До таких факторів належать:

- рівень кваліфікації персоналу;
- наявність сервісних центрів у регіоні;
- оснащеність ремонтно-технологічного обладнання;
- логістика запасних частин;
- планування ТО у період сезонних навантажень.

Проблеми організаційного характеру становлять значну частку впливу на ефективність ТО. На рисунку 2.3 подано ієрархічну модель організаційних бар'єрів.

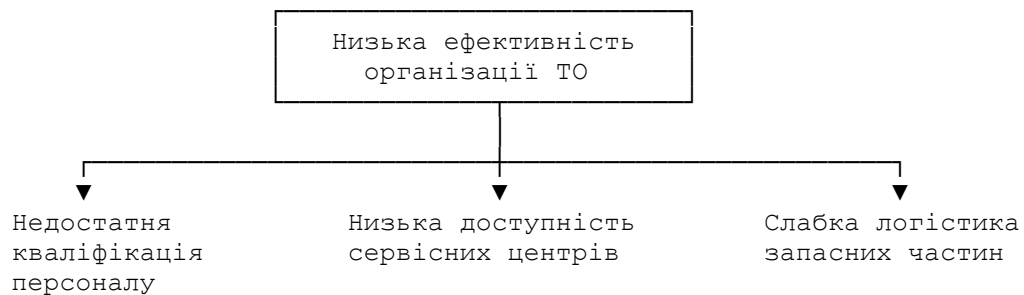


Рисунок 2.3 – Ієрархія організаційних факторів, що знижують ефективність ТО

Витрати на ТО є важливим економічним компонентом, який впливає на загальну собівартість виконання технологічних операцій у рослинництві. Основні економічні фактори:

- вартість ТО та ремонтних матеріалів;
- витрати на простої техніки;
- вартість запасних частин;
- енергоспоживання під час сервісних процедур;
- економічна ефективність застосування прогнозного ТО.

У таблиці 2.5 наведено оцінку впливу окремих економічних факторів.

Таблиця 2.5 – Економічні фактори та їх вплив на ефективність ТО

Фактор	Характер впливу	Наслідок
Вартість запасних частин	Прямий	Зростання загальних витрат
Вартість простоїв	Прямий	Втрата продуктивності
Ціна на мастила та витратні матеріали	Прямий	Збільшення змінних витрат
Оптимізація графіка ТО	Зворотний	Зменшення витрат на ремонт
Використання прогнозного ТО	Зворотний	Зниження аварійних витрат

До цієї групи належать умови роботи тракторів, що впливають на інтенсивність зносу агрегатів і частоту ТО:

- тип виконуваних робіт;
- характер ґрунтів;
- сезонність навантажень;
- кліматичні умови;

- рівень підготовки оператора.

На рисунку 2.4 відображено вплив експлуатаційних навантажень на потребу в ТО.

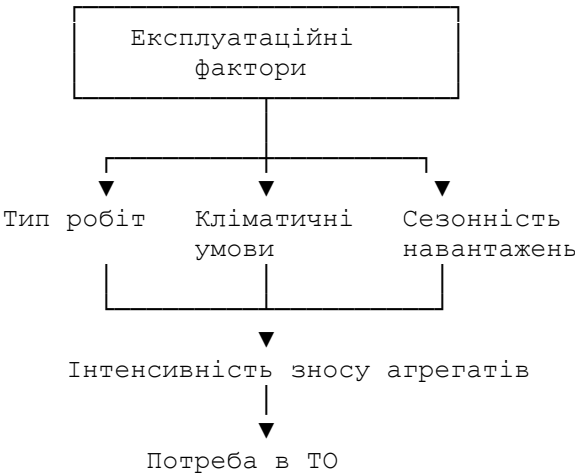


Рисунок 2.4 – Модель взаємодії експлуатаційних факторів

Зведений аналіз факторів наведено в таблиці 1.9.

Таблиця 2.6 – Комплексна оцінка впливу факторів на ефективність ТО

Група факторів	Ступінь впливу	Характер впливу	Ключові ризики
Технічні	Високий	Прямий	Несправності силового агрегату, трансмісії
Організаційні	Дуже високий	Прямий	Затримки у ТО, простої
Економічні	Середній	Прямий/зворотний	Перевитрати коштів
Експлуатаційні	Високий	Прямий	Підвищення зносу вузлів
Кадрові	Високий	Прямий	Помилки при проведенні ТО

Проведений аналіз свідчить, що ефективність технічного обслуговування тракторів визначається багатофакторною системою взаємопов’язаних параметрів. Найбільш істотний вплив мають технічні, організаційні та експлуатаційні фактори, а ключовими проблемами залишаються недостатня якість діагностики, нерозвиненість сервісної інфраструктури, дефіцит кваліфікованого персоналу та невикористання сучасних цифрових технологій.

У контексті високотехнологічних тракторів FENDT особливо важливим є впровадження стан-орієнтованого та прогнозного ТО, що дозволяє забезпечити оптимізацію витрат, зниження аварійності та підвищення ресурсної надійності машин.

3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ

3.1. Методичні підходи до вибору ремонтно-технологічного обладнання

Ефективність виконання ТО тракторів значною мірою залежить від відповідності ремонтно-технологічного обладнання вимогам технологічного процесу, конструктивним особливостям техніки та умовам виробництва. Науково обґрунтований вибір обладнання сприяє зменшенню тривалості простоїв, підвищенню продуктивності, якості виконання робіт та забезпеченню нормативного рівня технічної готовності машинного парку.

Методичні підходи до визначення складу та параметрів обладнання базуються на:

- аналізі структури й змісту технологічних операцій ТО;
- визначенні їх трудомісткості;
- моделюванні потоків машин;
- нормуванні часу;
- економічних критеріях мінімізації витрат;
- забезпеченні відповідності стандартам безпеки та ергономіки.

Методика передбачає послідовність етапів, узагальнену на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Структурно-логічна схема вибору ремонтно-технологічного обладнання

Вибір ремонтно-технологічного обладнання ґрунтується на таких групах критеріїв:

1. Технологічні критерії (відповідність операціям ТО конкретної моделі (в даному випадку FENDT 300–700 Vario); можливість обробки агрегатів різної маси та геометрії; продуктивність обладнання; точність діагностування.
2. Ергономічні критерії (зручність доступу до робочих зон; рівень автоматизації; відповідність нормам безпеки.
3. Економічні критерії (мінімізація сумарних витрат на обслуговування; енергоефективність обладнання; рівень амортизаційних витрат.
4. Експлуатаційні критерії (ремонтпридатність; надійність; тривалість життєвого циклу.

Основою методики є визначення потрібної кількості одиниць обладнання. Для цього використовується класична формула теорії масового обслуговування:

$$N_{об} = \frac{T_{\Sigma}}{F_n \times K_{\epsilon}}, \quad (3.1)$$

де: $N_{об}$ – необхідна кількість обладнання;

T_{Σ} – загальна трудомісткість операцій, год;

F_n – номінальний фонд часу роботи обладнання, год;

K_{ϵ} – коефіцієнт використання обладнання (0,75–0,9).

Трудомісткість розраховується згідно з технологічними картами. Приклад зведених даних для ТО-1 та ТО-2 подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Зведена трудомісткість основних операцій ТО тракторів FENDT

№	Операція	Трудомісткість, люд.-хв	Частота, раз/рік
1	Заміна моторного мастила	35	2
2	Заміна масляного фільтра	15	2
3	Діагностика FDI	22	4
4	Технічна перевірка гальмівної системи	25	1
5	Перевірка гідросистеми	30	2
6	Заміна фільтра гідросистеми	18	1

Загальна річна трудомісткість:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n t_i \cdot f_i. \quad (3.2)$$

Припустимо, що сумарна річна трудомісткість становить:

$$T_{\Sigma} = 520 \text{ люд.-год.}$$

Номінальний фонд часу (одна одиниця обладнання):

$$F_n = 1800 \text{ год/рік.}$$

Коефіцієнт використання:

$$K_{\phi} = 0,85.$$

Тоді:

$$N = \frac{520}{1800 \cdot 0,85} = 0,34.$$

Отже, достатньо однієї одиниці обладнання конкретного типу.

Таблиця 3.2 – Основні групи обладнання, необхідного для ТО тракторів FENDT

Група обладнання	Приклади застосування
Підйомно-транспортне	підйомники, домкрати, крани-балки
Діагностичне	Fendt FDI, CAN-тестери, газоаналізатори
Змащувальне	установки для заміни мастил, шприци
Промивне	установки для промивання систем
Гідравлічне	стенди для перевірки гідрокомпонентів
Електронно-контрольне	мультиметри, осцилографи, тестери АКБ
Інструментально-монтажне	пневмоінструмент, спецключі

Для обґрунтування вибору формується матриця відповідності (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Матриця відповідності операцій ТО та обладнання

Операція	Підйомники	FDI	Гідростенд	Інструмент	Промивне обладнання
Заміна масла	✓	–	–	✓	✓
Діагностика	–	✓	–	–	–
Обслуговування гідросистеми	–	✓	✓	✓	✓
Перевірка гальм	✓	–	–	✓	–
ТО-післясезонне	✓	✓	✓	✓	✓

Мінімізація експлуатаційних витрат може бути представлена виразом:

$$C = \sum_{i=1}^m (C_{\text{прид},i} + C_{\text{експ},i} + C_{\text{рем},i}) \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

де $C_{\text{прид},i}$ – вартість придбання обладнання;

$C_{\text{експ},i}$ – річні експлуатаційні витрати;

$C_{\text{рем},i}$ – витрати на ремонти й обслуговування.

Оптимізація виконується з урахуванням обмежень:

$$N_{\text{об}} \geq N_{\text{нотр}}, \quad (3.4)$$

$$P_{\text{об}} \geq P_{\text{норм}}, \quad (3.5)$$

де $P_{\text{об}}$ – фактична продуктивність обладнання;

$P_{\text{норм}}$ – необхідна продуктивність.

Вибір обладнання для системи ТО тракторів FENDT

Таблица 3.4 – Рекомендований склад обладнання

Тип обладнання	Модель	Продуктивність	Кількість
Підйомник	ATH 3.5	3,5 т	1
Діагностичний модуль	Fendt FDI	CAN/FD, OBD	1
Гідравлічний стенд	Bosch HT-400	200 бар	1
Промивна установка	Liqui Moly Pro-Line	20 л/хв	1
Інструментальний комплект	Hazet Master Set	–	1

Методичні підходи до вибору ремонтно-технологічного обладнання базуються на багатокритеріальному аналізі технологічних, економічних, технічних та експлуатаційних параметрів. Застосування алгоритму вибору, який включає аналіз трудомісткості робіт, нормування часу та оптимізаційні моделі мінімізації витрат, дозволяє визначити раціональний склад обладнання для забезпечення якісного технічного обслуговування тракторів FENDT. Представлені розрахункові схеми, матриці відповідності й аналітичні моделі створюють основу для подальшої оптимізації виробничої структури сервісного підрозділу.

3.2. Методика нормування операцій технічного обслуговування

Нормування операцій ТО є ключовим елементом технологічного забезпечення ефективності ремонтно-обслуговувальних робіт. Від правильності визначення нормативного часу виконання операцій залежить продуктивність

праці, рівень використання обладнання, тривалість простоїв техніки та економічні показники функціонування сервісного центру.

Методика нормування ґрунтується на декомпозиції технологічного процесу, хронометражних спостереженнях, розрахунково-аналітичних методах та коригувальних коефіцієнтах, що враховують умови виконання робіт.

Нормування операцій здійснюється згідно з алгоритмом, наведеним на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Структурно-логічна схема нормування операцій ТО

Для визначення нормативного часу використовується оперативний, повторний або вибірковий хронометраж.

Проводяться n вимірювань часу виконання операції.

Середній час виконання операції

$$t_{сер} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i. \quad (3.6)$$

Відносне відхилення

$$\delta = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{сер}}. \quad (3.7)$$

Якщо: $\delta \leq 0,1$ – результати приймаються;

$\delta > 0,1$ – необхідна додаткова серія вимірювань.

Нормативний час визначається як:

$$T_n = T_{nz} + T_{осн} + T_k \times K_{ум} \times K_{орг}, \quad (3.8)$$

де: $T_{пз}$ – підготовчо-завершальний час;

$T_{осн}$ – основний час виконання операції;

T_k – контрольний час;

$K_{ум}$ – коефіцієнт умов виконання (доступність, температура, складність);

$K_{орг}$ – коефіцієнт організаційних умов (кваліфікація оператора, оснащення).

Типові значення коефіцієнтів:

$K_{ум} = 1,05 - 1,25$, залежно від доступності і ергономіки;

$K_{орг} = 1,00 - 1,15$, залежно від оснащення поста.

Повний норматив трудомісткості на ТО-1 чи ТО-2 визначається як сума нормативних часів окремих операцій:

$$T_{инт} = \sum_{i=1}^n T_{н,i} . \quad (3.9)$$

Методика нормування операцій технічного обслуговування тракторів базується на структурному аналізі технологічного процесу, хронометражних спостереженнях та використанні коригувальних коефіцієнтів, що враховують умови виконання робіт.

3.3. Побудова невпорядкованої моделі процесу ТО

Невпорядкована модель технологічного процесу ТО тракторів FENDT є базовим етапом структурного аналізу, необхідним для подальшого впорядкування, оптимізації й математичного моделювання. Така модель відображає перелік операцій без урахування їх логічних, ресурсних, інформаційних та причинно-наслідкових зв'язків, дозволяючи виділити всі елементи технологічного процесу та сформулювати його повну структуру.

Метою побудови невпорядкованої моделі є визначення повного набору операцій, які складають технологічний цикл ТО, з наступною можливістю їх формальної організації у вигляді впорядкованої моделі (графа, алгоритмічної схеми чи мережі).

Побудова моделі здійснюється на основі:

1. Аналізу технологічних карт ТО-1, ТО-2 та сезонних операцій.
2. Вивчення вимог сервісної документації FENDT.
3. Експертного оцінювання майстрів та інженерів сервісних центрів.
4. Класифікації операцій за функціональними ознаками: (контрольно-діагностичні; регулювальні; мастильні; механічні; гідравлічні; електронні).
5. Декомпозиції операцій до рівня технологічних дій.

Невпорядкована модель не відображає послідовності виконання, однак містить повний перелік технологічних елементів.

Позначимо множину всіх операцій ТО:

$$O = \{o_1, o_2, o_3, \dots, o_n\}. \quad (3.10)$$

де кожна операція є структурним елементом майбутнього впорядкованого графа.

Повний перелік операцій формує універсальну множину:

$$O = O_{\text{контр}} \cup O_{\text{регул}} \cup O_{\text{мех}} \cup O_{\text{електр}} \cup O_{\text{гідр}} \cup O_{\text{маст}}. \quad (3.11)$$

Загальна кількість операцій:

$$n = |O|. \quad (3.12)$$

Таблиця 3.7 – Невпорядкована модель процесу ТО тракторів FENDT

№	Операція	Категорія	Коротка характеристика
1	2	3	4
1	Огляд зовнішніх елементів	Контрольна	Перевірка витоків, пошкоджень
2	Перевірка рівня моторного мастила	Контрольна	Оцінка рівня через щуп
3	Заміна моторного мастила	Мастильна	Злив/залив мастила
4	Заміна фільтра мастила	Мастильна	Демонтаж та встановлення фільтра
5	Перевірка охолоджувальної системи	Контрольна	Стан радіаторів, рівень ОР
6	Перевірка повітряного фільтра	Контрольна	Очищення або заміна
7	Перевірка ременів	Механічна	Стан, натяг, знос
8	Перевірка шин	Контрольна	Тиск, знос
9	Діагностика Fendt FDI	Електронна	Зчитування кодів несправностей
10	Перевірка акумулятора	Електрична	Напруга, пусковий струм
11	Огляд гідросистеми	Гідравлічна	Вузли, трубопроводи, муфти
12	Перевірка рівня гідрорідини	Гідравлічна	Контроль рівня
13	Заміна гідравлічного фільтра	Гідравлічна	Демонтаж/монтаж

14	Заміна трансмісійного мастила	Мастильна	Злив/залив
15	Перевірка гальмівної системи	Механічна	Стан приводів
16	Перевірка кермового керування	Механічна	Люфт, робота
17	Контроль SCR / AdBlue	Електронно-гідравлічна	Рівень, якість
18	Огляд РТО	Механічна	Стан ВВП
19	Перевірка освітлення	Електрична	Робота ламп
20	Очищення радіаторів	Механічна	Стиснене повітря/механічна очистка
...	...	...	...

Невпорядкована модель графічно відображається як множина вузлів без зв'язків.

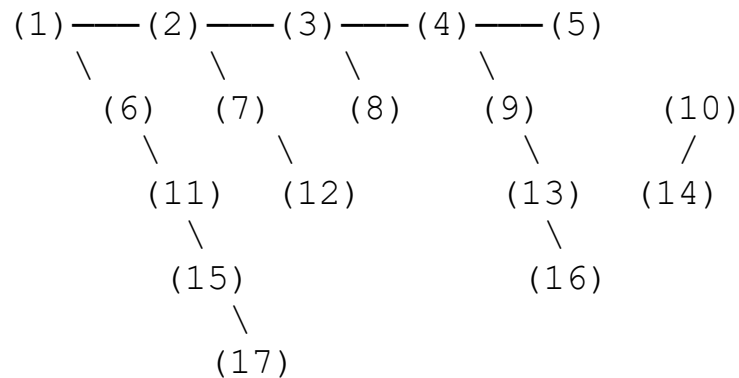


Рисунок 3.4 – Невпорядкована модель процесу ТО (схема вузлів)

Невпорядкована модель описується як:

$$M_n = \langle O, A \rangle, \quad (3.13)$$

де: O – множина операцій;

$A = \emptyset$ – відсутня множина зв'язків (граф без ребер).

Для подальшого впорядкування на основі правил технології буде виконано:

$$A^* \neq \emptyset \Rightarrow M_g = \langle O, A^* \rangle, \quad (3.41)$$

де M_g – впорядкована модель.

Для подальшої оптимізації проводиться кластеризація:

Таблиця 3.8 – Структуризація операцій ТО за групами

Група	Операції	Частка у моделі, %
Контрольні	1, 2, 5, 6, 8, 10, 15	30–35%
Мастильні	3, 4, 14	12–15%
Гідравлічні	11, 12, 13	10–12%
Електронні	9, 10, 17, 19	15–20%
Механічні	7, 15, 16, 18, 20	20–25%

Формування масиву даних для подальшої оптимізації. Кожна операція описується як вектор:

$$o_i = (t_i, r_i, c_i, g_i), \quad (3.15)$$

де: t_i – нормативний час;

r_i – потреба в ресурсах;

c_i – категорія;

g_i – група ризику.

Матриця операцій:

$$O = \begin{bmatrix} t_1 & r_1 & c_1 & g_1 \\ t_2 & r_2 & c_2 & g_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_n & r_n & c_n & g_n \end{bmatrix}. \quad (3.16)$$

Побудова неупорядкованої моделі процесу ТО є ключовим етапом аналізу, що дозволяє сформувати повну множину операцій та класифікувати їх за функціональними та технологічними ознаками. Така модель виступає відправною точкою для подальшого формування впорядкованої структури, побудови мережесхем графів, оптимізаційних моделей та визначення критичних операцій технологічного процесу.

3.4. Упорядкування та оптимізація моделі технологічного процесу ТО

Упорядкування технологічного процесу ТО тракторів FENDT є логічним продовженням побудови неупорядкованої моделі. Мета упорядкування – сформувати алгоритмічно структуровану модель, яка відображає послідовність виконання операцій, їх інформаційні, технологічні та ресурсні зв'язки. Це дає змогу будувати мережесхем графи, визначати критичні шляхи, мінімізувати час виконання ТО та оптимізувати виробниче навантаження сервісних постів.

Впорядкування моделі передбачає:

1. Установлення логічних зв'язків між операціями а саме: попередність (операція повинна виконуватись раніше); паралельність (операції можуть виконуватись одночасно); взаємна залежність (операція можлива тільки після виконання контрольної функції).

2. Визначення тривалості операцій (нормативний час).
3. Формування графа технологічного процесу.
4. Побудову матриці суміжності.
5. Пошук критичного шляху та оптимізацію процесу.

Формування впорядкованої множини операцій. Позначимо множину операцій як:

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}. \quad (3.17)$$

Впорядкована множина описується функцією:

$$P: O \rightarrow O, o_i \prec o_j. \quad (3.18)$$

означає, що операція o_j може виконуватись лише після операції o_i .

Таблиця 3.9 – Фрагмент упорядкованої моделі операцій ТО

№	Операція	Попередні операції
1	Встановлення трактора на пост	—
2	Огляд зовнішніх елементів	1
3	Перевірка рівня мастила	1
4	Діагностика FDI	1
5	Заміна мастила	2, 3
6	Заміна фільтра мастила	5
7	Перевірка гідросистеми	2
8	Заміна фільтра гідросистеми	7
9	Контроль гальмівної системи	2
10	Перевірка освітлення	2

3.4.3. Метрична модель (матриця суміжності)

Впорядкована модель може бути подана у вигляді матриці:

$$A = [a_{ij}], \quad (3.19)$$

$$\text{де } a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } o_i \rightarrow o_j \\ 0, \text{ інакше} \end{cases}.$$

Таблиця 3.10 – Матриця суміжності (фрагмент)

	$o1$	$o2$	$o3$	$o4$	$o5$	$o6$
$o1$	0	1	1	1	0	0
$o2$	0	0	0	0	1	0
$o3$	0	0	0	0	1	0
$o4$	0	0	0	0	0	0
$o5$	0	0	0	0	0	1
$o6$	0	0	0	0	0	0

На основі матриці суміжності будується орієнтований граф.

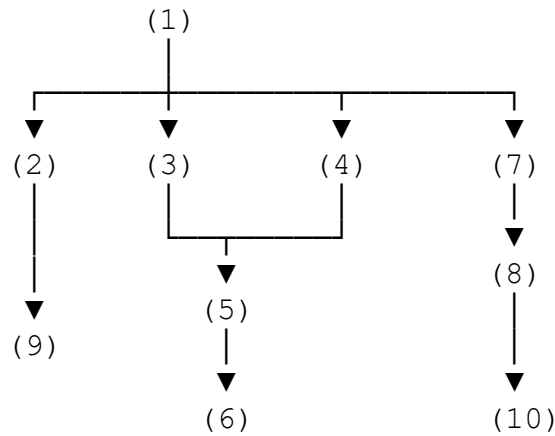


Рисунок 3.5 – Впорядкована модель (граф технологічного процесу ТО)

Розрахунок часу за методом критичного шляху. Використовується визначення:

$$T = \max \sum t_i. \quad (3.20)$$

для всіх можливих шляхів графа.

Оптимізація моделі передбачає:

1) Скорочення тривалості операцій:

$$\Delta t_i = t_i - t_i^{onm}. \quad (3.21)$$

2) Перерозподіл ресурсів:

$$R_{nep} \rightarrow \min. \quad (3.22)$$

3) Паралелізація:

Операції, що не залежать одна від одної, виконуються одночасно:

$$o_i \parallel o_j \text{ якщо } a_{ij} = 0 \wedge a_{ji} = 0. \quad (3.23)$$

4) Усунення “вузьких місць”

Визначається операція з максимальним коефіцієнтом завантаження:

$$K_{z,i} = \frac{t_i}{T_{кр}}. \quad (3.24)$$

Операції з $K_{z,i} > 0,3$ – найбільш критичні.

Упорядкування та оптимізація технологічного процесу ТО дозволяє формально структурувати множину операцій, визначити логічні зв’язки між ними й побудувати граф технологічного процесу. Подальший аналіз критичного шляху забезпечує можливість скорочення тривалості ТО, зменшення навантаження на сервісний персонал та оптимізацію використання обладнання.

Запропоновані математичні моделі, таблиці та графічні схеми забезпечують аналітичну основу для формування раціональних технологічних рішень та підвищення ефективності ТО тракторів *FENDT* у виробничих умовах.

3.5. Математичні методи моделювання систем технічного обслуговування

Математичне моделювання систем ТО тракторів *FENDT* є ключовим інструментом для оцінювання ефективності технологічних процесів, оптимізації виробничих структур та обґрунтування раціональних режимів обслуговування машин. Методи моделювання дозволяють аналізувати складні системи, враховувати багатофакторні залежності, а також прогнозувати наслідки змін у роботі сервісного центру.

Таблиця 3.11 – Основні математичні методи моделювання систем ТО

Метод	Сфера застосування	Переваги	Недоліки
Аналітичні моделі	Розрахунок тривалостей, оптимізація	Висока точність	Не враховують стохастичу
Імітаційне моделювання	Відтворення процесів ТО у часі	Гнучкість, врахування випадковостей	Висока обчислювальна складність
Мережеві моделі PERT/CPM	Пошук критичного шляху	Визначення вузьких місць	Не враховують ресурсні обмеження
Марковські моделі	Діагностика та надійність	Робота з випадковими процесами	Потреба у статистичних даних
Оптимізаційні моделі (ЛП, НЛП)	Мінімізація затрат і часу	Можливість системної оптимізації	Складність постановки задачі
Моделі масового обслуговування	Аналіз черг і навантаження	Оцінка ефективності сервісу	Спрощення реальних процесів

До основних аналітичних моделей належать:

Моделі визначення сумарної трудомісткості

$$T_{\text{sum}} = \sum_{i=1}^n T_{n,i} . \quad (3.25)$$

Моделі розрахунку ресурсоємності:

$$R = \sum_{i=1}^n r_i \cdot T_{n,i} . \quad (3.26)$$

Моделі виробничої продуктивності

$$P = \frac{1}{T_{\text{шт}}} . \quad (3.27)$$

Моделі оптимізації частоти ТО це баланс між ресурсом та вартістю обслуговування

$$C(f) = C_{\text{ТО}} \cdot f \cdot C_{\text{від}} \cdot \frac{1}{f} . \quad (3.28)$$

Мінімум досягається при:

$$f_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{C_{\text{відм}}}{C_{\text{ТО}}}} . \quad (3.29)$$

Мережеві моделі PERT/CPM для технологічних процесів дозволяють визначити:

- критичний шлях виконання ТО;
- резерви часу;
- вузькі місця технологічного процесу.

Граф подається як орієнтована мережа:

$$G = (V, E), \quad (3.30)$$

де: V – множина операцій;

E – множина зв'язків.

Оптимізація моделі технологічного процесу, а саме мінімізація сумарного час ТО розраховується за формулою:

$$T = \sum x_i t_i , \quad (3.31)$$

обмеження: $A_x \leq b$, $x_i \in \{0,1\}$.

де: x_i – виконання або пропуск операції;

A – матриця залежностей;

b – вектор обмежень.

Алгоритм знаходить мінімальну послідовність, яка відповідає обмеженням.

Імітаційне моделювання процесів ТО дозволяє проводити комп'ютерні експерименти таких параметрів:

1. Зміна кваліфікації працівників;
2. Зміна кількості постів;
3. Нестандартні поломки;
4. Черги у сервісному центрі;
5. Погодні умови;
6. Нестача обладнання.

Стан системи в момент часу t визначається:

$$X(t) = f(X(t-1), u(t), \zeta(t)), \quad (3.32)$$

де: $u(t)$ – керуючі впливи;

$\zeta(t)$ – випадкові фактори.

Метод інтегрального моделювання передбачає визначення загальної ефективності системи ТО:

$$E = \frac{P}{C + T_{\text{пост}}}, \quad (3.33)$$

де: P – продуктивність;

C – витрати;

$T_{\text{пост}}$ – час простою техніки.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1. Аналіз конструктивно-технологічного базису тракторів FENDT

На підставі вивчення конструкції, а також антропологічних показників людини, довкола тракторів FENDT сформовано вісім робочих зони для розташування виконавців під час проведення технічних обслуговувань (рис. 4.1).

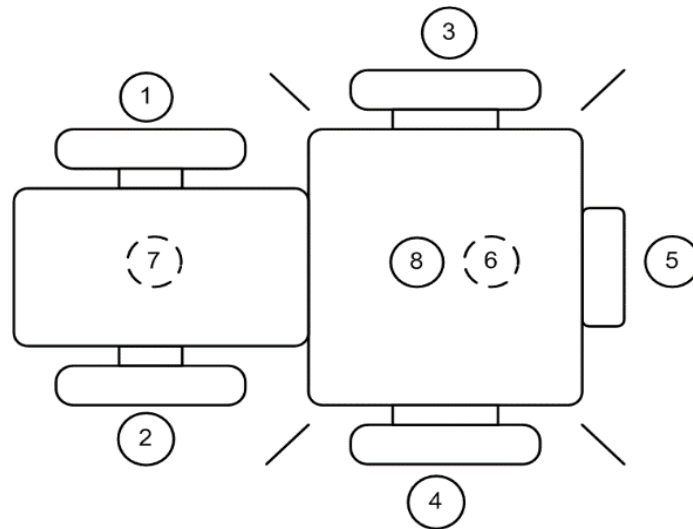


Рисунок 4.1 – Розташування робочих зон довкола трактора FENDT.

Для забезпечення зручності здійснення робітником операцій у зонах, під час їх формування ураховують дані табл. 4.1. Прилеглі зони не повинні накладатися. Для цього означають умовні межі зон. Побудова структурних моделей ТО і досліджування правил технології їх проведення уможливили означення сутності технологічних операцій і формування характеру міжопераційних взаємозв'язків проведення ТО.

Таблиця 4.1 – Характеристика зручності зон обслуговування

Розміщення зони обслуговування	Віддаль від виконавця до крайніх точок зони, мм	Характеристика
Зручне	+600	Зберігається свобідне положення тіла виконавця, цілком простежується робоча зона.
Малозручне	+(600 – 800)	Положення тіла виконавця напружене. Утруднений огляд робочої зони.
Незручне	більше +800	Виконавець примушений переходити поздовж зони за межі півкола, описаного радіусом його руки; можливості огляду робочої зони порушені.

Як бачимо (табл. 4.2), більш складні види ТО трактора FENDT 300, потребують реалізації щоразу більшої кількості операцій N_{ETO} , зростання сумарної тривалості Σt , застосування більшої кількості типів різного устаткування R . Одночасно для них зростає й кількість робочих зон, що уможливорює рівночасне вживання в ТП більшої кількості працівників, проте зростає мінімальна тривалість ТП ТО T_{TPmin} . В наслідок цього ТП складніших видів ТО є менш технологічними K_{tex} .

Таблиця 4.2 – Складові параметри технологічної структури процесів ТО тракторів FENDT

Модель машини	Вид ТО	К-сть операцій N_{ETO}	Сумарна тривалість операцій	T_{TPmin}	Кількість робочих зон k	Кількість типів обладнання R	Коефіцієнт технологічності K_{tex}
FEND T 320	ТО-1	69	8,04	2,71	8	10	0,043
	ТО-2	114	14,46	5,44	8	15	0,023
	ТО-3	134	20,02	7,29	8	20	0,021

4.2. Вибір та обґрунтування ремонтно-технологічного обладнання

Загальну оцінку технічного рівня якості устаткування, що визначається єдиним чисельним показником, одержують за сприяння комплексного методу, котрий ґрунтується на використанні типових показників. Такі показники є функціями від окремих і дають здатність урахувувати взаємозв'язок властивостей продукції. Комплексний метод передбачає послідовний аналіз простих і складних властивостей продукції та оцінювання ваги впливу кожної з них на загальний технічний рівень якості. Для цього визначають види залежності між показниками простих властивостей і їхніми оцінками та спосіб визначення вагомості (значущості) окремих властивостей, що формують якість. Потім приймають рішення про порядок поєднання кількісних оцінок усіх властивостей, що аналізуються.

Взірець найбільш важливих параметрів різноманітних стаціонарних стендів для випробування і регулювання гідроустаткування відображений в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Параметри стендів для випробування і регулювання гідроустаткування

№ п/п	Параметри	КИ-28097М	КИ-28097М1	КИ-28097-01М	КИ-28097-02М	КИ-28097-03М
1	Тип	стац.	стац.	стац.	стац.	стац.
2	Робочий тиск, МПа	17,5	0...35	35	17,5	20
3	Тиск відкриття запобіжного клапана, МПа	23	23	38	23	11
4	Діапазон витрати робочої рідини, л/хв.	8-250	8-250	8-250	8-250	11-276
5	Межа допустимої відносної похибки при вимірюванні об'ємної подачі, %	±5	±5	±5	±5	±5
6	Частота обертання вала, об/хв.	1470	1460	1470	1470	1470
7	Частота обертання вала приводу насоса, об/хв.	1245±20	1245±18	1245±18	1245±18	1245±19
8	Номінальна температура робочої рідини, °С	50±5	50±5	50±5	50±5	50±5
9	Кількість рідини, необхідної для роботи стенда, л	90	90	90	90	90
10	Живлення від сітки перемінного току, В	380	380	380	380	380
11	Потужність приводу, кВт	30	30	30-45	30	45
12	Габаритні розміри, мм	1630x875x1650	2940x875x1650	2940x875x1650	1650x875x2600	1630x875x1650
13	Маса, кг	830	870	910	800	800
14	Тип приводу	клинопа совий	клинопа совий	клинопа совий	клинопа совий	клинопа совий
15	Ціна, грн.	226800	247800	276815	273350	319550

Для оцінки певного показника користувалися спеціальною таблицею безрозмірних коефіцієнтів табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Таблиця безрозмірних коефіцієнтів оцінювання рівня якості виробів

Градація значень умовних оцінок	Якісна оцінка значення коефіцієнтів
1,0	Максимальний
1,0...0,8	Чудовий
0,8...0,63	Добрий
0,63...0,4	Недостатньо добрий, але прийнятний
0,4...0,3	Гранична зона
0,3...0	Неприйнятний
0	Повністю неприйнятний

Для кожного параметру групи якості показників обирали найбільше значення і привласнювали йому найбільший коефіцієнт вагомості відносної оцінки 1. За формулою (2.1) розраховували для всіх параметрів показник якості.

Значення показника якості групи отримували за формулою (2.3). Числове значення сумарного показника якості, тобто ступінь якості $K_{\text{ТР}}$, розраховували як середньо арифметичне значення всіх груп.

Для випробування і регулювання гідроустаткування необхідно рекомендувати такий стенд, значення узагальненого коефіцієнта технічного рівня якого є максимальним.

Кваліфікаційна оцінка проводилася за двадцятьма показниками трьох груп: *призначення* (робочий тиск, тиск відкриття запобіжного клапана, діапазон витрати робочої рідини, частота обертання вала, частота обертання вала приводу насоса, кількість рідини, необхідної для роботи стенда, живлення від сітки перемінного току, габаритні розміри); *економічне використання палива, енергії та матеріалів* (потужність приводу, питома площ, ціна); *надійність* (гарантійний термін від початку експлуатації, середній час усунення відмови, термін експлуатації).

Кваліфікаційна оцінка технічного рівня п'яти стендів для випробування і регулювання гідроустаткування наведена в табл. 3.5.

Таблиця 4.5 – Кваліфікаційна оцінка технічного рівня стендів для випробування і регулювання гідроустаткування

№ п/п	Параметри	Значення відносних показників якості для стендів				
		КИ-28097 М	КИ-28097 М1	КИ-2809 7-01М	КИ-2809 7-02М	КИ-2809 7-03М
1	2	3	4	5	6	7
1. Призначення						
1	Робочий тиск, МПа	0,5	1	1	0,5	0,571
2	Тиск відкриття запобіжного клапана, МПа	0,605	0,605	1	0,605	0,289
3	Діапазон витрати робочої рідини, л/хв.	1	1	1	1	0,906
4	Межа допустимої відносної похибки при вимірюванні об'ємної подачі, %	1	1	1	1	1
5	Частота обертання вала, об/хв.	1	0,993	1	1	1
6	Частота обертання вала приводу насоса, об/хв.	0,9	1	1	1	0,947
8	Кількість рідини, необхідної для роботи стенда, л	1	1	1	1	1
9	Живлення від сітки перемінного току, В	1	1	1	1	1
10	Габаритні розміри, мм					
11	a	1	0,554	0,554	0,988	1
12	b	1	1	1	1	1
13	h	1	1	1	0,635	1
14	Маса, кг	0,964	0,92	0,879	1	1
	Коефіцієнт технічного рівня для групи показників	0,784	0,791	0,817	0,766	0,765

Продовження табл. 4.5

1	2	3	4	5	6	7
2. Економічного використання палива, енергії та матеріалів						
15	Потужність приводу, кВт	1	1	0,667	1	0,667
16	Питома площа, м ²	1	0,554	0,554	0,988	1
17	Ціна, грн.	1	0,915	0,819	0,83	0,71
	Коефіцієнт технічного рівня для групи показників	1	0,823	0,68	0,939	0,792
3. Надійність						
18	Термін гарантії з початку експлуатації, міс.	1	1	1	1	1
19	Середній час усунення відмови, год.	1	1	1	1	1
20	Повний термін служби, років	0,875	0,875	1	1	
	Коефіцієнт технічного рівня для групи показників	0,958	0,958	1	1	0,667
	Коефіцієнт технічного рівня для виробу	0,914	0,857	0,832	0,902	0,741

4.3 Аналіз залежностей параметрів та показників ефективності ТП ТО

На підставі упорядкованих моделей для кожного ТО встановлено сумарну тривалість усіх операцій ТП Σt , а також важливий динамічний показник ремонтно-придатності – мінімально можливу тривалість ТП $t_{ТПmin}$ (див. табл. 4.2).

Моделювання ТП ТО полягало у формуванні для заданої кількості постів (фронту f) ПТО, заданої кількості робітників u та заданої кількості основного РТО усіх R_{max} потрібних типів K_r взаємозумовлених розкладів виконання операцій S_f , S_u та відповідно S_r . Для кожного ТО розклади S_f , S_u і S_r формували шляхом розподілу всього масиву операцій між робітниками та обладнанням постів ПТО з урахуванням обмежень на можливу послідовність їх виконання, що задана невпорядкованими моделями ТП відповідних ТО, з використанням автоматизованої системи проєктування. На підставі сформованих розкладів виконання операцій для заданих f , u і K_r визначали тривалості процесу $T_{ТП}$ різних ТО тракторів Fendt.

Результати визначення впливу збільшення кількості постів при ТО тракторів Fendt Vario (фронту технічного обслуговування f) на зміну тривалостей технологічного процесу $T_{ТП}$ і технологічного циклу $T_{Ц}$ подано на (рис. 4.2, а, б).

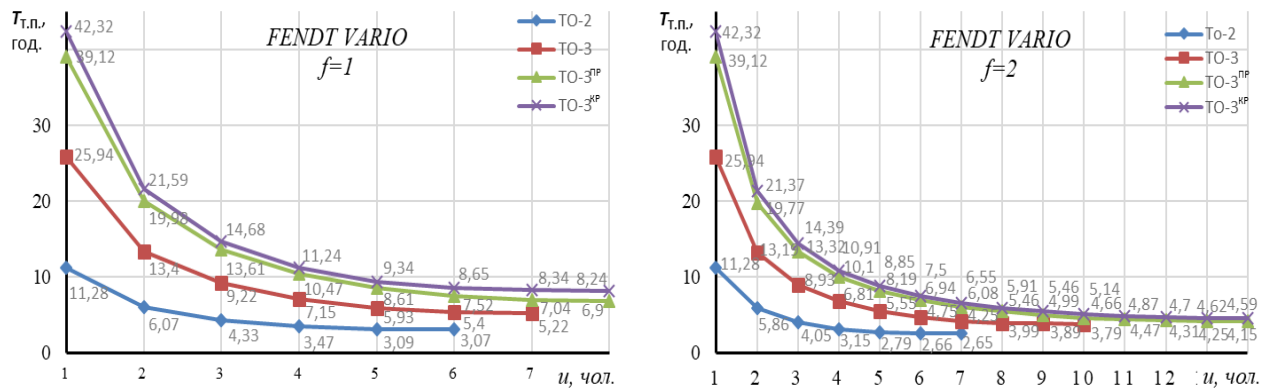


Рисунок 4.2 – Залежності тривалості ТП $T_{т.п.}$ різних ТО трактора *Fendt Vario* від кількості працівників u для фронту ТО (а) $f=1$ (б) $f=2$

Як бачимо, збільшення кількості робітників u зменшує $T_{т.п.}$ і $T_{ц}$ ТО тракторів *Fendt Vario*. Однак залучення щораз більшої кількості робітників усе менше скорочує тривалості $T_{т.п.}$ і $T_{ц}$, аж до повної стабілізації їхніх значень на рівні мінімально можливих [29].

Збільшення кількості постів f ПТО не впливає на значення $T_{т.п.}$ ТО–2 тракторів *Fendt Vario*, однак, за дотримання умови $u \geq f$, дещо зменшує тривалість технологічного циклу $T_{ц}$, що рівнозначно збільшенню продуктивності ПТО. Зазначимо, що якщо $f = 1$ од., то $T_{т.п.} = T_{ц}$.

Максимальна кількість залучених робітників для проведення ТО трактора *Fendt Vario* при $f=1$ і $f=2$ становитиме $u=6$ осіб.

Із збільшенням кількості РТО, а саме (струменевих мийок K_{r1}) дає можливість деякого зменшення тривалості ТП ТО-1 (рис. 4.3, а; рис. 4.3, б). Так при $K_{r1}=2$ шт. $T_{т.п. \min}$ для фронту $f=1$ і $f=3$ буде відповідно становити $T_{т.п. \min}=4,02$ люд.-год. та $T_{т.п. \min}=3,93$ люд.-год., з наступним збільшенням кількості обладнання K_{r1} та сталій кількості працівників тривалість ТП ТО-2 не змінюється. Залучення до ТП ТО-2 при фронті $f=1$ і $f=3$ більшої кількості робітників з пропорційним збільшенням K_{r1} дає можливість дещо скоротити тривалість ТП ТО-2. Так при максимально можливому залученні обладнання $K_{r1}=4$ та працівників $u=4$ для $f=1$ і $f=3$ $T_{т.п.}$ відповідно становитиме $T_{т.п. \min}=2,66$ і $T_{т.п. \min}=2,58$ люд.-год.

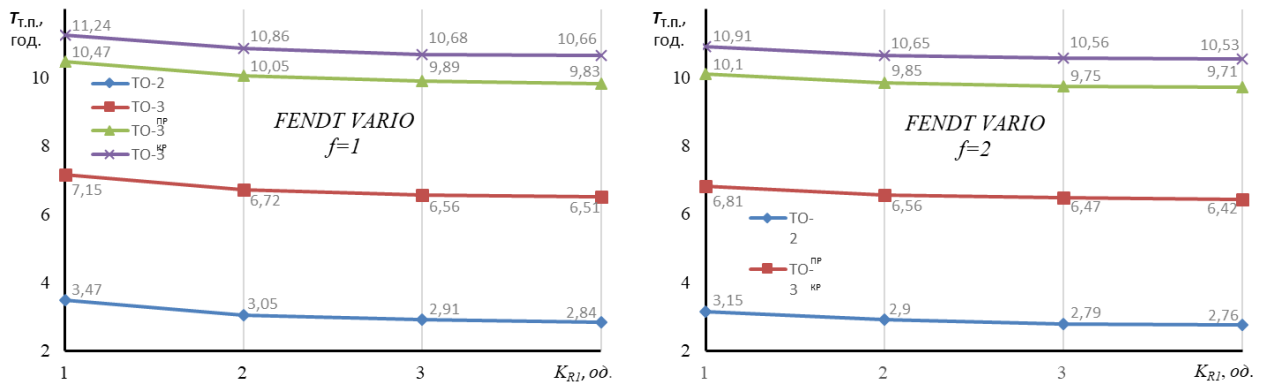


Рисунок 4.3 – Залежності тривалості ТП різних ТО трактора *Fendt Vario* від кількості обладнання K_{rI} при різній кількості працівників u для фронту ТО (а) $f=1$ (б) $f=3$

Збільшення кількості РТО K_{rI} та робітників u зменшує значення коефіцієнтів використання фондів їхнього робочого часу η_u незалежно від кількості постів f ПТО. Водночас для заданої кількості робітників u збільшення кількості постів f призводить до збільшення значень η_u (рис. 4.4, а, б).

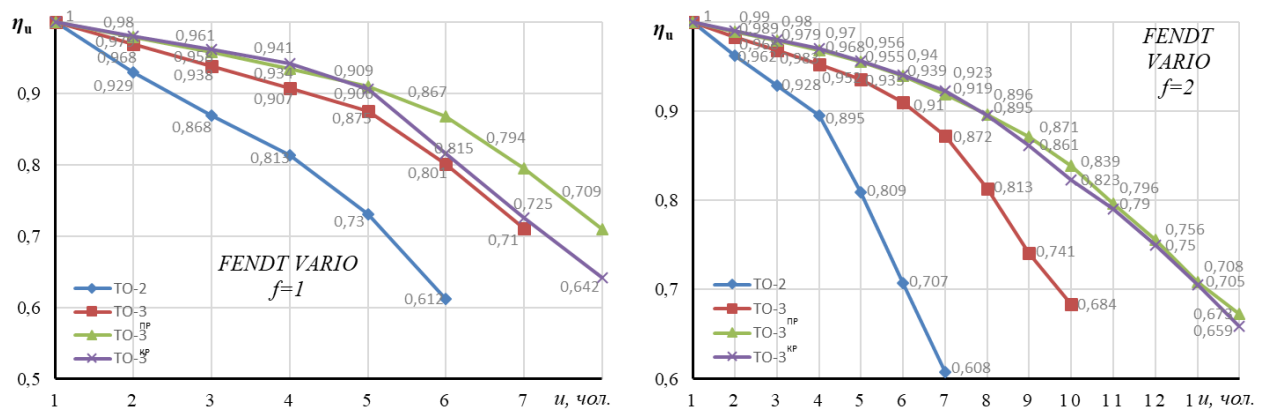


Рисунок 4.4 – Залежності коефіцієнтів використання фондів робочого часу працівників η_u різних видів ТО трактора *Fendt Vario* від їх кількості u для фронту ТО (а) $f=1$ (б) $f=2$

Збільшення кількості K_r основного РТО будь-якого типу для сталої кількості робітників ($u = const$) і дотримання нерівності $u \geq K_r$ зменшує значення коефіцієнтів використання фондів робочого часу РТО цього типу η_r незалежно від кількості постів f ПТО. Водночас для $u = const$ і $K_r = const$ за умов $u \geq K_r$ і $u \geq f$ збільшення кількості постів f збільшує значення η_r (рис. 4.5, а, б).

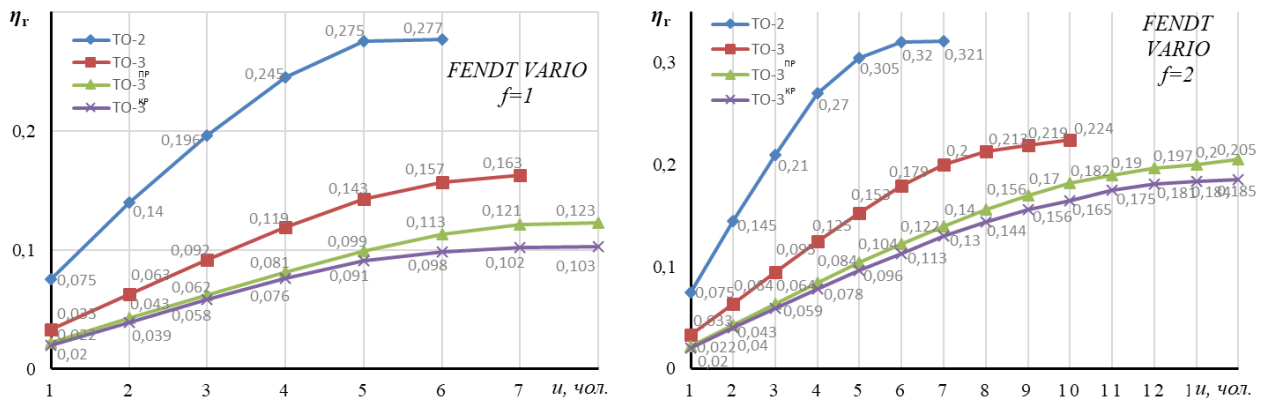


Рисунок 4.5 – Залежності коефіцієнтів використання фондів робочого часу обладнання η_r різних видів ТО трактора *Fendt Vario* від їх кількості u для фронту ТО (а) $f=1$ (б) $f=2$

Зростання кількості робітників u збільшує значення коефіцієнтів використання фондів робочого часу η_r основного РТО усіх типів, а збільшення кількості постів f ПТО підсилює цей вплив (рис. 4.7, а, б).

За результатами моделювання встановлено, що найбільший вплив на скорочення тривалості ТП всіх ТО трактора *Fendt Vario* має зростання кількості робітників u (рис. 4.8, а, б). Зменшення тривалості ТП ТО не є пропорційним до зростання чисельності робітників u – застосування все більшої кількості виконавців все менше скорочує тривалість T_{TP} , повільно наближаючись до мінімально можливого значення t_{TPmin} . Суттєвіше скорочення тривалості T_{TP} отримано для ТП ТО–3^{PP} ТО–3^{KP}, які характеризуються більшою кількістю і сумарною тривалістю операцій за однакової кількості робочих зон.

Кількість максимально залучених працівників до ТО тракторів *Fendt Vario* при збільшенні кількості постів ПТО (фронту f ТО) зростає непропорційно, але не впливає на значення T_{TP} , однак за дотримання умови $u \geq f$ дещо зменшує тривалість технологічного циклу $T_{Ц}$ (рис. 4,8, б), що рівнозначно збільшенню продуктивності ПТО. Використання для будь-якого ТО трактора *Fendt Vario* при $f=1$ більше шести та $f=2$ десяти робітників не має змісту, оскільки не матиме суттєвого впливу на скорочення значення T_{TP} [7].

Водночас варто зазначити, що якщо збільшення кількості робітників уможливило скорочення тривалості ТП ТО в 3,6...4,8 рази, то збільшення кількості основного РТО – лише на 5...15 %.

Для сталої кількості основного РТО всіх типів ($K_r=1$ од.) збільшення кількості робітників u зменшує значення коефіцієнтів використання фондів їх робочого часу η_u (рис. 4.9, а, б) та збільшує значення коефіцієнтів використання фондів робочого часу η_r РТО всіх типів, а збільшення кількості постів f ПТО підсилює цей вплив (рис. 4.10, а, б).

Порівняння залежностей тривалостей ТП $T_{ТП}$ однакових видів ТО–3^{КР} тракторів *Fendt Vario* різних класів 4,0 і 0,9 дало змогу виявити, що залучена кількість робітників до ТП ТО u_{max} залежатиме від кількості робочих зон та операцій. Із збільшенням постів f кількість залучених працівників u зростатиме непропорційно (рис. 4.6, а, б). Максимальна тривалість ТП ТО тракторів класу 4,0 увічі більша від тракторів класу 0,9, а мінімальна різниця тривалостей з урахуванням залучення різної кількості працівників становитиме лише 40 %.

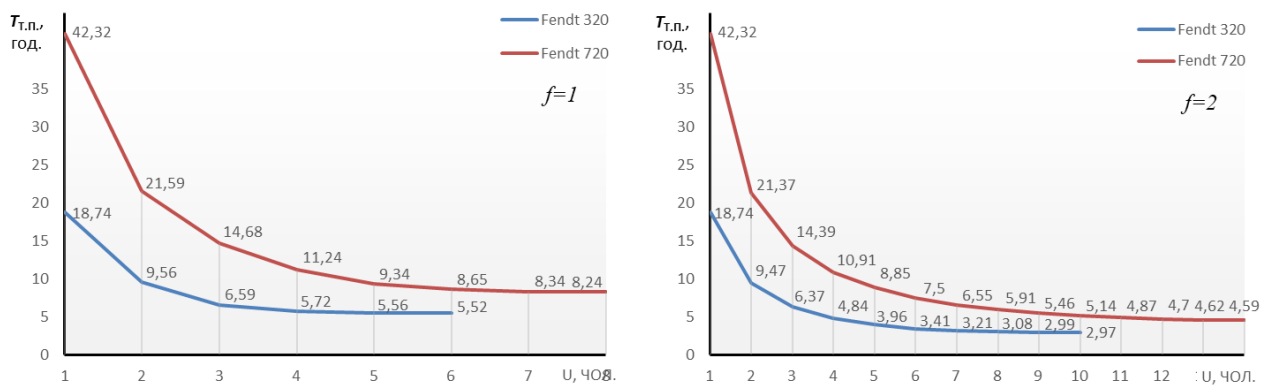


Рисунок 4.6 – Залежності тривалості ТП $T_{ТП}$ ТО–3^{КР} різних класів тракторів 4,0 і 0,9 від кількості працівників u для фронту ТО (а) $f=1$ (б) $f=2$

Збільшення кількості РТО K_{r1} (струменевих мийок) суттєвого впливу на зменшення тривалості $T_{ТП}$ не становитиме (рис. 4.7, а, б).

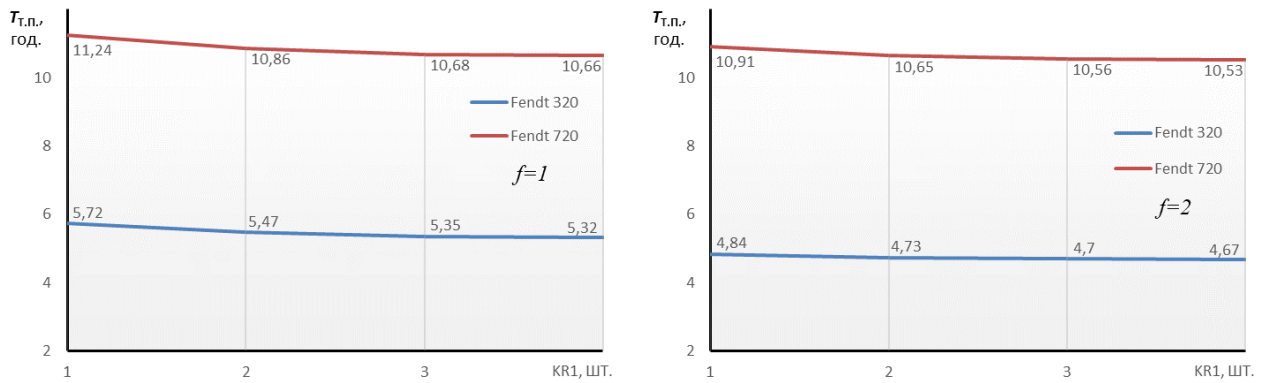


Рисунок 4.7 – Залежності тривалості ТП $T_{тп}$ ТО–3^{КР} різних класів тракторів 4,0 і 0,9 від кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) для фронту ТО (а) $f=1$ (б) $f=2$

Збільшення кількості робітників u зменшує значення коефіцієнтів використання фондів робочого часу робітників η_u для всіх моделей тракторів Fendt Vario, але у класу 4,0 він буде дещо вищим порівняно з класом 0,9 (рис. 4.8, а, б).

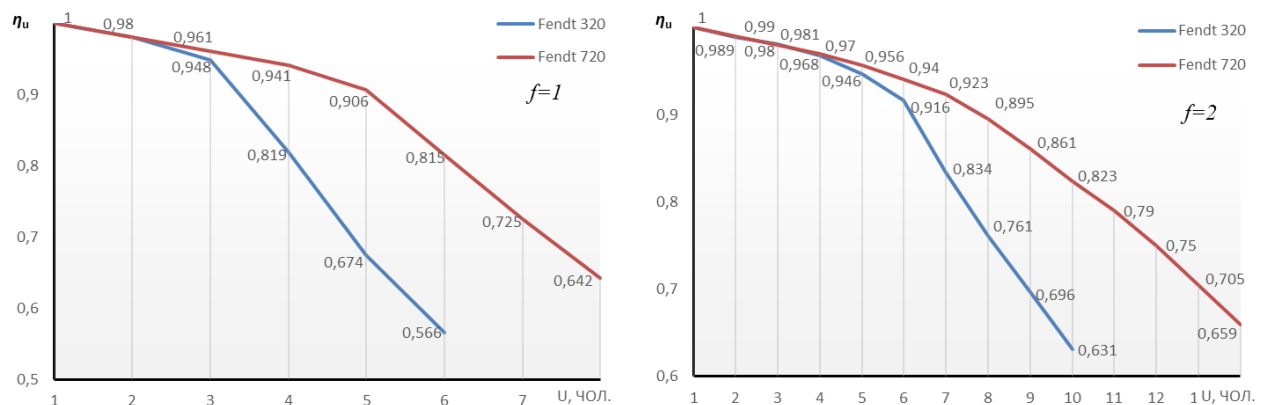


Рисунок 4.8 – Залежності коефіцієнтів використання фондів робочого часу працівників η_u ТП ТО–3^{КР} від їх кількості u різних класів тракторів 4,0 і 0,9 для фронту ТО (а) $f=1$ (б) $f=2$

Для сталої кількості основного РТО всіх типів ($K_r=1$ од.) збільшення кількості робітників u збільшує значення коефіцієнтів використання фондів робочого часу η_r РТО всіх типів, а збільшення кількості постів f ПТО підсилює цей вплив (рис. 4.9, а, б).

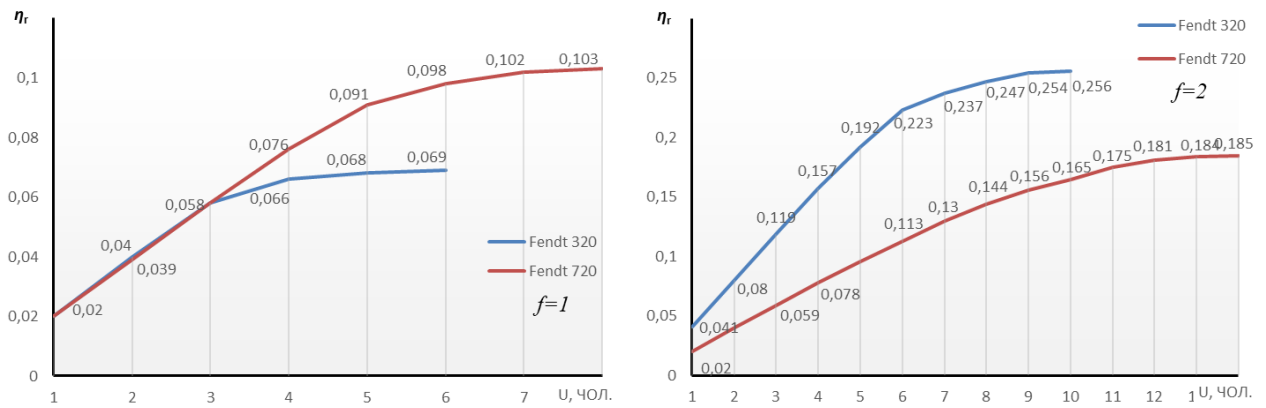


Рисунок 4.9 – Залежності коефіцієнтів використання фондів робочого часу обладнання η_r ТП ТО–3^{КР} від кількості працівників u різних класів тракторів 4,0 і 0,9 для фронту ТО (а) $f=1$ (б) $f=2$.

4.4 Обґрунтування вибору раціональних технологічних схем процесу

Результати обґрунтування раціональних відмін ТП показують, що в діапазоні певних значень продуктивності виробнича структура ПТО, яка визначається кількістю основного РТО K_r і кількістю постів f , залишається незмінною, а змінюється лише кількість робітників u .

Таким чином отримано ряд виробничих структур ПТО різних моделей тракторів *Fendt Vario* з різною виробничою структурою, впорядкований у зростаючому порядку за значенням річної продуктивності Q_p (за значенням головного параметра) – параметричний ряд.

Для кожної виробничої структури ПТО з параметричного ряду встановлено раціональні значення продуктивності Q_{prat} , що забезпечують мінімальну собівартість ТО (тобто $C_{ТО} \rightarrow \min$). Для сформованого параметричного ряду раціональні продуктивності усіх ПТО збігаються з максимальними ($Q_{p\ rat} = Q_{p\ max}$).

Треба зазначити, що значення головного параметра ПТО $Q_{p\ max}$ не утворюють жодних прогресій – ні арифметичних, ні геометричних.

Аналіз параметричних рядів також дав змогу виявити цікаву закономірність, особливо цінну для оперативного управління ТП ТО. Оскільки реальний вхідний потік замовлень на ТО є стохастичним і впродовж експлуатації ПТО по роках, і

протягом певних періодів року, має яскраво виражений сезонний характер, то з метою запобігання значному падінню ефективності ТП, у разі зменшення попиту на ТО, доцільно зменшувати кількість зайнятих робітників.

Таблиця 4.3 – Параметричний ряд виробничих структур ПТО тракторів *Fendt Vario* політехнологічної спеціалізації

№ п/п	N, трак	Продуктивність за різними ТО				Кількість РТО, шт					f, од.	U, чол.	Зпто, грн.	Зто Сумарні затрати безпосередньо на різні ТО, грн.				ΣЗ, грн.
		ТО-2	ТО-3	ТО-3лр	ТО-3кр	Kт1	Kт2	Kт6	Kт7	Kт8				Зто-2	Зто-3	Зто-лпр	Зто-кр	
1	32	47	23	18	6	1	1	1	1	1	1	1	261485	648485	502104	516992	172505	2101571
	58	90	45	34	11							2	309485	1241780	982377	976540	316259	3826441
	85	130	65	49	16							3	357485	1793682	1418990	1407367	460013	5437537
	112	167	84	63	21							4	405485	2304191	1833771	1809472	603767	6956686
	133	198	99	74	25							5	453485	2731915	2161230	2125411	718770	8190811
	144	214	107	80	27							6	501485	2952676	2335875	2297742	776272	8864050
	149	221	111	83	28							7	549485	3049259	2423198	2383907	805022	9210871
	149	223	111	83	28							8	597485	3076854	2423198	2383907	805022	9286466
8	32	47	23	18	6	4	1	2	2	1	1	1	270178	648485	502104	516992	172505	2110264
	64	94	47	35	12							2	318178	1296970	1026039	1005262	345010	3991459
	96	140	70	53	18							3	366178	1931657	1528143	1522254	517514	5865746
	122	187	93	70	23							4	414178	2580142	2030247	2010524	661268	7696359
	154	230	115	86	29							5	462178	3173437	2510520	2470072	833773	9449980
	176	260	130	98	33							6	510178	3587363	2837979	2814733	948776	10699029
	181	269	134	101	34							7	558178	3711541	2925302	2900899	977527	11073447
	181	271	136	102	34							8	606178	3739136	2968963	2929621	977527	11221425
68	32	47	23	18	6	4	1	2	2	1	2	1	306959	648485	502104	516992	172505	2147045
	64	94	47	35	12							2	354959	1296970	1026039	1005262	345010	4028240
	96	142	71	53	18							3	402959	1959252	1549973	1522254	517514	5951952
	128	190	95	71	24							4	450959	2621535	2073908	2039246	690019	7875667
	154	235	118	88	29							5	498959	3242424	2576012	2527516	833773	9678684
	186	280	140	105	35							6	546959	3863314	3056285	3015786	1006278	11488622
	213	323	161	121	40							7	594959	4456609	3514728	3475334	1150032	13191662
	245	364	182	137	46							8	642959	5022308	3973171	3934882	1322537	14895857
	266	397	198	149	50							9	690959	5477627	4322461	4279544	1437540	16208131
	282	424	212	159	53							10	738959	5850161	4628089	4566761	1523792	17307762
	298	445	223	167	56							11	786959	6139910	4868226	4796536	1610045	18201676
	304	454	227	170	57							12	834959	6264088	4955548	4882701	1638796	18576092
	309	461	231	173	58							13	882959	6360671	5042871	4968866	1667546	18922913
	314	468	234	176	59							14	930959	6457253	5108363	5055032	1696297	19247904
77	32	47	23	18	6	4	1	2	2	1	3	1	345871	648485	502104	516992	172505	2185957
	64	96	48	36	12							2	393871	1324565	1047869	1033984	345010	4145299
	96	144	72	54	18							3	441871	1986847	1571804	1550976	517514	6069012
	128	191	95	71	24							4	489871	2635332	2073908	2039246	690019	7928376
	160	237	119	89	30							5	537871	3270019	2597843	2556238	862524	9824495
	181	273	137	102	34							6	585871	3766731	2990794	2929621	977527	11250544
	218	328	164	123	41							7	633871	4525596	3580220	3532778	1178783	13451248
	245	370	185	139	46							8	681871	5105094	4038663	3992326	1322537	15140491
	272	405	202	152	51							9	729871	5588008	4409783	4365709	1466291	16559662
	293	436	218	164	55							10	777871	6015732	4759073	4710370	1581294	17844340
	309	463	232	174	58							11	825871	6388266	5064702	4997588	1667546	18943973
	325	490	245	184	61							12	873871	6760800	5348499	5284806	1753799	20021775
	336	505	253	190	63							13	921871	6967763	5523144	5457136	1811300	20681214
	346	520	260	195	65							14	969871	7174726	5675959	5600745	1868802	21290103
	357	534	267	200	67							15	1017871	7367892	5828773	5744354	1926304	21885194
	362	544	272	204	68							16	1065871	7505867	5937926	5859241	1955054	22323959
	368	551	275	207	69							17	1113871	7602450	6003418	5945406	1983805	22648950
	373	556	278	209	70							18	1161871	7671438	6068910	6002850	2012556	22917625
78	373	563	281	211	70	4	1	2	2	1	4	19	1209871	7768021	6134401	6060293	2012556	23185142
	384	573	286	215	72							20	1257871	7905996	6243554	6175181	2070058	23652660
	32	47	23	18	6							1	359370	648485	502104	516992	172505	2199456
	64	96	48	36	12							2	407370	1324565	1047869	1033984	345010	4158798
	96	144	72	54	18							3	455370	1986847	1571804	1550976	517514	6082511
	128	191	96	72	24							4	503370	2635332	2095739	2067967	690019	7992427
	160	238	119	89	30							5	551370	3283817	2597843	2556238	862524	9851792
	192	284	142	107	36							6	599370	3918504	3099947	3073229	1035029	11726079
	218	330	165	124	41							7	647370	4553192	3602051	3561499	1178783	13542895
	250	372	186	140	47							8	695370	5132689	4060493	4021048	1351288	15260888
	272	409	205	154	51							9	743370	5643198	4475275	4423153	1466291	16751287
	293	443	222	166	55							10	791370	6112315	4846395	4767814	1581294	18099188
	314	473	237	177	59							11	839370	6526241	5173855	5083753	1696297	19319516
	330	496	248	186	62							12	887370	6843585	5413991	5342249	1782550	20269745
	346	517	258	194	65							13	935370	7133333	5632297	5572023	1868802	21141825
357	534	267	200	67	14	983370	7367892	5828773	5744354	1926304	21850693							
368	549	275	206	69	15	1031370	7574855	6003418	5916685	1983805	22510133							
373	559	280	210	70	16	1079370	7712830	6112571	6031572	2012556	22948899							
378	570	285	214	71	17	1127370	7864604	6221724	6146459	2041307	23401464							
384	577	288	216	72	18	1175370	7961186	6287126	6203902	2070058	23697732							
389	581	291	218	73	19	1223370	8016377	6352708	6261346	2098808	23952609							
394	589	295	221	74	20	1271370	8126757	6440030	6347511	2127559	24313227							
394	591	295	221	74	21	1319370	8154352	6440030	6347511	2127559	24388822							
394	595	298	223	74	22	1367370	8209542	6505522	6404955	2127559	24614948							
400	598	299	224	75	23	1415370	8250935	6527352	6433676	2156310	24783643							
400	601	300	225	75	24	1463370	8292328	6549183	6462398	2156310	24923589							
400	603	302	226	75	25	1511370	8319923	6592844	6491120	2156310	25071567							

4.5 Обґрунтування параметричних рядів виробничих структур ПТО

Параметричні ряди виробничих структур ПТО тракторів FENDT 300 упорядковані у зростаючому порядку відносно до одного з основних параметрів, а саме річної продуктивності Q_p . Нами було синтезовано чотири відмінних варіанти виробничих структур ПТО для всіх видів ТО тракторів FENDT 300, а саме (ТО-1, ТО-2 та ТО-3) різної продуктивності Q_p . В межах однієї технологічної лінії виробничої структури ПТО, що обмежувалася певною кількістю ремонтно-технологічного обладнання K_r та постів f , які були незмінними, змінювалася лише кількість працівників u . Для кожного варіанту виробничої структури з параметричного ряду було визначено оптимальне значення продуктивності $Q_{p_{opt}}$, яке визначається найменшими питомими витратами на одне ТО (тобто $C_{пто} \rightarrow \min$).

Оптимальне значення продуктивності $Q_{p_{opt}}$ I варіанту виробничої структури ПТО-1 буде рівне 481 ТО на рік, питомі витрати на одне ТО становитимуть 1122,95 грн. при цьому будуть залучені $u=2$ працівники. Слід зауважити, що вхідний потік замовлень на ТО має стохастичний характер, тому щоб уникнути неефективної роботи ПТО необхідно збільшувати або зменшувати кількість робітників в межах $u_{min}=1$, $u_{max}=4$ чол.

II варіант структури ускладнений залученням більшої кількості РТО K_r для виконання ТП ТО (струменевих мийок високого тиску $K_{r1}=4$ шт., професійний набір інструментів $K_{r3}=2$ шт.). Максимальна продуктивність становитиме $Q_{p_{max}}=866$ а оптимальна $Q_{p_{opt}}=769$ ТО/рік, відповідно питомі витрати $C_{пто}$ та кількість робітників u будуть рівні $C_{пто}=1054,59$ та 953,54 грн.; $u=4$ та 3 чол.

Третій та четвертий варіанти виробничих структур ПТО-1 ускладненні зростанням кількості постів $f=2$ та $f=3$. Оптимальна продуктивність $Q_{p_{opt}}$ буде досягнута за умови залучення до ТП ТО $u=3$ працівників та відповідно становитиме $Q_{p_{opt}}=787$ та $Q_{p_{opt}}=796$ ТО/рік.

В параметричному ряді виробничих структур ПТО–2 для першого та другого варіанту ТП ТО оптимальна продуктивність становитиме $Q_{P_{opt}} = 371$ та 559 ТО на рік із залученням однакової кількості робітників $u=4$ чол. Питомі витрати $C_{пто}$ для I варіанту становитимуть 2143,31 грн. та II варіанту 1767,98 грн. Оптимальна продуктивність $Q_{P_{opt}}$ двох останніх варіантів ПТО-2 при $u=12$ чол. буде рівною $Q_{P_{opt}} = 708$ та 716 ТО/рік а питомі затрати будуть $C_{пто} = 1676,4$ та 1665,43 грн.

В виробничій структурі ПТО-2* всі варіанти матимуть меншу оптимальну продуктивність у порівнянні з ПТО-1 і ПТО-2 за рахунок великої тривалості ТП ТО-2*. I і II варіанти при рівній кількості $u=4$ чол. продуктивність буде рівна $Q_{P_{opt}} = 274$ та 410 ТО/рік. Питомі витрати I варіанту становитимуть 2938,82 грн., а другого 2435,04 грн. В III варіанті при $u=5$ чол. продуктивність $Q_{P_{opt}} = 517$ ТО/рік, питомі затрати $C_{пто} = 2305,45$ грн. Четвертий варіанти характеризуються річною продуктивністю $Q_{P_{opt}} = 520$ ТО/рік при $u=5$ чол. з питомими витратами, які відповідно будуть рівними $C_{пто} = 2305,25$ грн.

Нами також було синтезовано параметричний ряд виробничих структур ПТО тракторів FENDT 300 монопредметної політехнологічної спеціалізації (див. табл. 3.6). Для I варіанту питомі витрати становитимуть $C_{пто} = 1903,63$ грн. при $u=3$ чол., II варіанту $C_{пто} = 1631,31$ грн. при $u=4$ чол., III варіанту $C_{пто} = 1611,33$ грн. при $u=4$ чол. та четвертого варіанту $C_{пто} = 1614,47$ грн. при $u=4$ чол.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Загальні вимоги охорони праці при виконанні технічного обслуговування тракторів

Забезпечення безпечних умов праці під час виконання технічного обслуговування (ТО) тракторів є невід'ємною складовою організації виробничого процесу на сервісних підприємствах та у ремонтних майстернях. Дотримання вимог охорони праці спрямоване на попередження травматизму, професійних захворювань, аварійних ситуацій та зниження ризику пошкодження техніки й обладнання.

Вимоги охорони праці базуються на положеннях Закону України «Про охорону праці», нормативних актах ДСТУ, НПАОП, EN-ISO щодо безпеки машин, а також галузевих стандартах виробника FENDT.

Організаційні вимоги регламентують загальні правила безпеки, порядок допуску працівників до виконання робіт, вимоги до технологічної документації та забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ).

До основних положень належать:

1. Допуск працівників до робіт здійснюється лише після проходження:
 - вступного інструктажу,
 - первинного інструктажу на робочому місці,
 - повторного інструктажу (не рідше одного разу на 6 місяців),
 - навчання з безпечних методів роботи з агрегатами FENDT.
2. Наявність технологічної документації (карти ТО, інструкції, схеми), яка повинна бути доступною на робочому місці.
3. Ведення журналу обліку інструктажів та реєстрація усіх небезпечних подій на виробництві.
4. Організація робочого місця відповідно до вимог ергономіки, норм освітлення, вентиляції та температурного режиму:
 - освітленість не менше 300 лк;
 - температура +10...+25 °С;
 - вентиляція з кратністю не менше двох обмінів на годину.

Працівники, які виконують ТО тракторів, зобов'язані використовувати ЗІЗ згідно з характером виконуваних робіт:

- спецодяг із зносостійкої тканини;
- захисні рукавиці;
- захисне взуття з металевим носком;
- окуляри або щиток для захисту обличчя;
- навушники або беруші при роботі в умовах шуму > 80 дБ;
- респіратори при роботі з пилом, парами мастил або реагентів.

При виконанні ТО необхідно:

1. Використовувати тільки справний інструмент, що відповідає стандартам безпеки.
2. Забезпечувати справність підйомних пристроїв (домкрати, крани-балки).
3. Контролювати роботу компресорних установок: тиск у системі не повинен перевищувати паспортний; всі шланги мають бути оснащені захисними муфтами.
4. Забороняється працювати із саморобним інструментом або обладнанням.

Перед початком ТО потрібно:

1. Встановити трактор на рівний майданчик і забезпечити його стійкість, застосувавши стоянкове гальмо та клини під колеса.
2. Вимкнути двигун і дочекатися повної зупинки рухомих частин.
3. Зняти клему з акумуляторної батареї при роботі з електрообладнанням.
4. Переконавшись у відсутності витоків пального та мастил.
5. Провести зовнішній огляд машини на наявність пошкоджень.

Під час роботи категорично забороняється:

- виконувати ТО при працюючому двигуні (крім операцій, де це прямо передбачено інструкцією);
- торкатись нагрітих елементів двигуна та вихлопної системи;
- працювати під навісними агрегатами без надійних упорів;

- виконувати операції під трактором без страховки та підпор;
- використовувати стиснене повітря для очищення шкіри чи одягу;
- зливати мастила або охолоджувальну рідину в каналізацію або ґрунт.

5.2. *Моделювання ризиків у виробничому процесі технічного обслуговування тракторів*

Моделювання ризиків при проведенні технічного обслуговування (ТО) тракторів є важливою складовою забезпечення охорони праці та безпеки персоналу. Сучасні методи аналізу небезпек дозволяють ідентифікувати потенційні загрози, оцінити ймовірність їх виникнення, визначити рівень ризику та сформулювати заходи щодо його мінімізації. У виробничих умовах сервісних центрів, де виконуються роботи підвищеної небезпеки (робота з масивними механізмами, мастильними матеріалами, електронними системами), моделювання ризиків є обов'язковим елементом системи управління безпекою.

У контексті технічного обслуговування ризик характеризується двома параметрами:

$$R = P \times S, \quad (5.1)$$

де: R – рівень ризику;

P – ймовірність виникнення небезпечної події;

S – тяжкість наслідків.

Ризики класифікуються за походженням:

- механічні (травмування, удари, затискання);
- електротехнічні;
- хімічні (вплив мастил, реагентів, газів);
- термічні (опіки гарячими поверхнями);
- ергономічні (перевтома, неправильні пози);
- екологічні (витоки паливно-мастильних матеріалів).

Процес моделювання складається з таких етапів:

1. Ідентифікація небезпечних факторів.
2. Формування множини потенційних небезпек.

3. Оцінювання ймовірності виникнення подій.
4. Оцінювання тяжкості наслідків.
5. Побудова моделі ризику (кількісної або якісної).
6. Аналіз прийнятності рівня ризику.
7. Формування заходів з його мінімізації.

Для сервісних робіт із тракторами FENDT застосовують такі методи:

1. Метод HAZOP

Використовується для аналізу відхилень від нормальної роботи систем (гідравлічних, електронних).

2. Метод FMEA (Аналіз видів і наслідків відмов)

Ризик оцінюється за формулою:

$$RPN = S \times O \times D, \quad (5.2)$$

де: S – тяжкість відмови;

O – частота виникнення;

D – імовірність виявлення.

3. Метод “Дерева відмов” (FTA)

Побудова логічних діаграм причин відмов.

4. Метод “Дерева подій” (ETA)

Застосовується для аналізу ймовірностей наслідків аварійної події.

5. Метод матричного оцінювання ризику

Поширений для робіт підвищеної небезпеки.

Найбільш поширеною у виробничих умовах є 3×3 або 5×5 матриця ризику, де вісь X – імовірність, а вісь Y – тяжкість.

Таблиця 5.1 – Матриця ризику для операцій ТО тракторів FENDT (5×5)

Тяжкість / Ймовірність	Дуже низька (1)	Низька (2)	Середня (3)	Висока (4)	Дуже висока (5)
Незначна (1)	1	2	3	4	5
Легка (2)	2	4	6	8	10
Середня (3)	3	6	9	12	15
Важка (4)	4	8	12	16	20
Критична (5)	5	10	15	20	25

Інтерпретація:

- 1–5 – низький ризик (допустимий).

- 6–12 – середній ризик (потрібні коригувальні заходи).
- 15–25 – високий ризик (негайне усунення небезпеки).

Розглянемо три операції ТО:

Таблиця 5.2 – Оцінювання ризику конкретних операцій

Операція	Ймовірність P	Тяжкість S	Рівень ризику $R=P \times S$	Категорія
Заміна мастила	2	2	4	Низький
Перевірка гідросистеми	3	4	12	Середній
Діагностика FENDT FDI	1	3	3	Низький
Заміна фільтра гідросистеми	4	4	16	Високий
Перевірка ременів	2	3	6	Середній

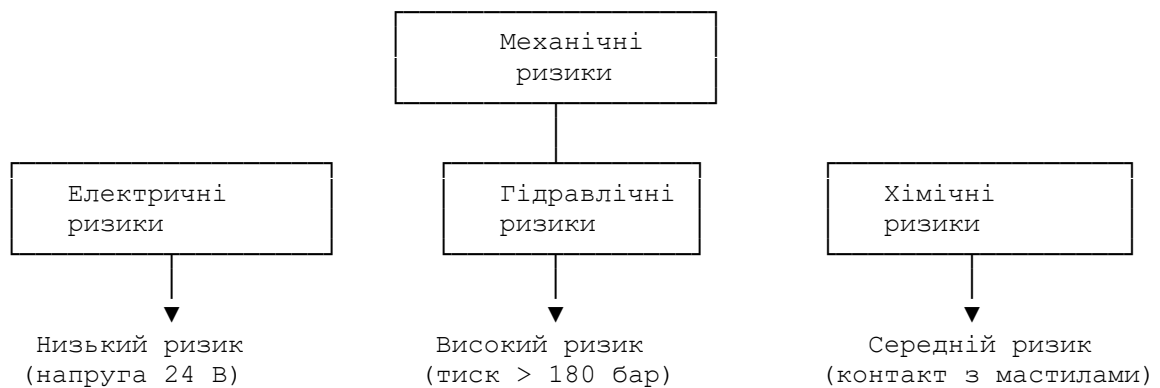


Рисунок 5.1 – Узагальнена схема ризиків для операцій ТО

Комплексний показник ризику для всього технологічного процесу:

$$R_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot R_i, \quad (5.3)$$

де: R_i – ризик i -ої операції;

w_i – ваговий коефіцієнт важливості операції.

Нормування індексу:

$$R_{\text{норм}} = \frac{R_{\text{заг}}}{R_{\text{max}}}. \quad (5.4)$$

5.3. Метод експертного оцінювання небезпек та ризиків

Експертне оцінювання небезпек та ризиків є одним із найбільш ефективних методів аналітичної оцінки умов праці в ситуаціях, коли відсутні або обмежені статистичні дані щодо виробничих травм, відмов обладнання та аварійних ситуацій. Метод дозволяє залучити кваліфікованих фахівців для формування

об'єктивних висновків щодо рівня небезпеки виконання окремих операцій технічного обслуговування (ТО) тракторів, визначення їх пріоритетності у системі управління ризиками та розроблення заходів із мінімізації небезпечних впливів.

Використання експертного методу дозволяє моделювати ризики в умовах невизначеності, що є характерним для ремонтно-обслуговувальних процесів, де існують складні взаємозв'язки між технічними, організаційними та людськими факторами.

Інтегральний індекс розраховують за формулою, аналогічною FMEA-методу:

$$R_i = P_i \times S_i \times D_i, \quad (5.5)$$

де: R_i – індекс ризику для i -ої операції;

P_i – оцінка ймовірності;

S_i – оцінка тяжкості;

D_i – оцінка можливості виявлення.

Середня оцінка експертів визначається як:

$$R_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_{ij}, \quad (5.6)$$

де m – кількість експертів.

Таблиця 5.3 – Результати експертного оцінювання ризиків для вибраних операцій ТО

Операція	P	S	D	Індекс ризику $R=P \times S \times D$	Категорія
Заміна мастила	2,1	2,0	2,4	10,1	Низький
Заміна фільтра гідросистеми	3,8	3,9	3,5	51,9	Високий
Перевірка ременів	2,7	3,1	2,8	23,5	Середній
Діагностика FENDT FDI	1,4	2,3	1,8	5,8	Низький
Робота з РТО (вал відбору потужності)	4,2	4,8	4,1	82,5	Дуже високий

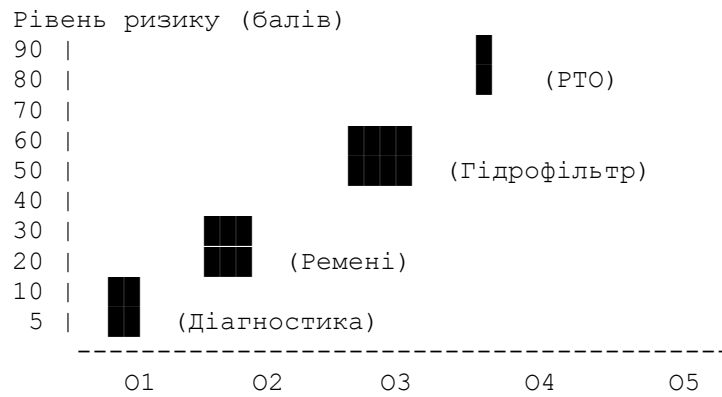


Рисунок 5.2 – Діаграма рівнів ризику окремих операцій ТО

Загальний рівень ризику за всіма операціями визначається:

$$R_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \overline{R}_i, \quad (5.7)$$

де w_i – вагомість операції у загальному процесі ТО.

Метод експертного оцінювання небезпек та ризиків є ефективним інструментом для аналізу безпеки процесів технічного обслуговування тракторів. Він дозволяє використовувати професійний досвід фахівців, формалізувати оцінку ризику, проводити порівняльний аналіз операцій та визначати найбільш небезпечні елементи технологічного процесу. Застосування цього методу забезпечує обґрунтоване прийняття рішень щодо удосконалення умов праці, підвищення рівня безпеки персоналу та оптимізації організації сервісного обслуговування тракторів FENDT.

6. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

6.1. Розрахунок витрат виробничих структур системи ПТО

Рациональна організація процесів технічного обслуговування (ПТО) тракторів FENDT потребує обґрунтованого розрахунку витрат виробничих структур, що забезпечують виконання технологічних операцій. Витрати формуються під впливом трудових, матеріальних, енергетичних та амортизаційних компонентів, а також залежать від структури виробничої системи, рівня автоматизації, кількості технічних постів та їх завантаження.

Розрахунок витрат здійснюється з використанням системного підходу, який передбачає виділення елементів виробничої структури, визначення їхніх ресурсних потреб і побудову моделі сумарних експлуатаційних витрат.

Структура витрат включає такі основні складові: трудові витрати; матеріальні витрати; витрати на експлуатацію обладнання; енерговитрати; амортизаційні відрахування; витрати на організаційно-управлінські функції.

Сумарні витрати системи визначаються:

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{тр}} + C_{\text{мат}} + C_{\text{обл}} + C_{\text{ен}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{упр}}. \quad (6.1)$$

Трудові витрати визначаються тривалістю технологічних операцій та вартістю трудового ресурсу.

$$C_{\text{тр}} = T_{\Sigma} \times K_{\text{зм}} \times W, \quad (6.2)$$

де: T_{Σ} – сумарна трудомісткість операцій ТО, люд.-год;

$K_{\text{зм}}$ – коефіцієнт змінності;

W – погодинна ставка працівника.

Таблиця 6.1 – Розрахунок трудових витрат для ПТО FENDT

Показник	Значення
Сумарна трудомісткість ТО-1 та ТО-2, люд.-год	62
Середня ставка працівника, грн/год	210
Коефіцієнт змінності	1,1
Трудові витрати, грн	14322

Матеріальні витрати включають:

- мастильні матеріали;
- фільтри;

- допоміжні рідини;
- інструментально-монтажні матеріали.

$$C_{\text{mat}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot p_i, \quad (6.3)$$

де: q_i – кількість матеріалу;

p_i – ціна одиниці.

Таблиця 6.2 – Матеріальні витрати для ПТО FENDT

Матеріал	Норма	Ціна, грн	Вартість, грн
Моторне мастило	9 л	210/л	1890
Фільтр масляний	1 шт	950	950
Фільтр паливний	1 шт	760	760
Гідравлічна рідина	4 л	240/л	960
Охолоджувальна рідина	2 л	130/л	260
Разом	–	–	4820

Амортизаційні витрати залежать від вартості обладнання та строку його експлуатації.

$$C_{\text{ам}} = \sum_{i=1}^m \frac{C_i}{T_i}, \quad (6.4)$$

де: C_i – вартість обладнання;

T_i – амортизаційний період (роки).

Таблиця 6.3 – Амортизаційні витрати обладнання

Обладнання	Вартість, грн	Термін, років	Амортизація, грн/рік
Підйомник 3,5 т	145000	10	14500
Сканер Fendt FDI	120000	5	24000
Компресор	35000	7	5000
Інструментальний комплект	28000	4	7000
Разом	–	–	50500

6.1.5. Витрати на експлуатацію обладнання

Витрати включають:

$$C_{\text{обл}} = C_{\text{рем}} + C_{\text{обсл}} + C_{\text{зм}}. \quad (6.5)$$

У середньому приймають:

- 4–6 % від вартості обладнання на ремонт;
- 2–3 % на обслуговування.

6.1.6. Енерговитрати

Основними споживачами енергії є:

- компресорні установки;
- підйомник;
- електродіагностичне обладнання;
- освітлення робочого місця.

$$C_{en} = \sum_{i=1}^k P_i \cdot t_i \cdot c_{en}, \quad (6.6)$$

де: P_i – потужність обладнання, кВт;

t_i – час роботи;

c_{en} – тариф за електроенергію.

Сумарні витрати на виконання одного циклу ПТО:

$$C_{заг} = 14322 + 4820 + 50500/12 + 3120 + 760$$

$$C_{заг} = 14322 + 4820 + 4208 + 3120 + 760 = 27230 \text{ грн.}$$

6.2. Оцінка економічного ефекту від оптимізації технологічного процесу технічного обслуговування

Підвищення ефективності системи технічного обслуговування (ТО) тракторів FENDT можливе шляхом оптимізації структури технологічних операцій, скорочення їх тривалості, автоматизації діагностичних процедур та зменшення втрат часу. Економічний ефект від таких заходів оцінюється шляхом порівняння витрат і результатів до та після оптимізації технологічного процесу ПТО.

Метою цього підрозділу є визначення величини економічного ефекту та встановлення його складових елементів, що дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо модернізації сервісних структур.

Економічний ефект обчислюється як різниця між витратами на систему ПТО до оптимізації та після оптимізації:

$$E = C_{до} - C_{після}. \quad (6.7)$$

де: $C_{до}$ – річні витрати на ПТО до оптимізації;

$C_{після}$ – річні витрати після оптимізації.

Якщо розглянути ефект у розрахунку на одиницю техніки, формула матиме вигляд:

$$E_{od} = (C_{до} - C_{після}) \times N, \quad (6.8)$$

де N – кількість тракторів у обслуговуванні.

Основні джерела економічного ефекту:

1. Скорочення тривалості ТО

$$\Delta T = T_{до} - T_{після}. \quad (6.9)$$

2. Зниження витрат на оплату праці

$$\Delta C_{тр} = \Delta T \times W. \quad (6.10)$$

3. Зменшення витрат на енергоносії

$$\Delta C_{ен} = (P \times \Delta T) \times c_{ен}. \quad (6.11)$$

4. Підвищення продуктивності сервісного поста

$$\Delta P = \frac{1}{T_{після}} - \frac{1}{T_{до}}. \quad (6.12)$$

5. Зростання пропускної здатності сервісного підрозділу

$$Q_{після} = Q_{до} \cdot \frac{T_{до}}{T_{після}}. \quad (6.13)$$

Таблиця 6.4 – Базові параметри технологічного процесу ПТО (порівняння)

Показник	До оптимізації	Після оптимізації	Зміна
Тривалість ТО, хв	30	26	–4
Трудомісткість, люд.-год	0,50	0,43	–0.07
Вартість трудових витрат, грн	210	181	–29
Енерговитрати, грн	18	15	–3
Амортизаційні витрати, грн	350	350	0
Матеріальні витрати, грн	80	80	0
Загальні витрати на ТО, грн	658	626	–32

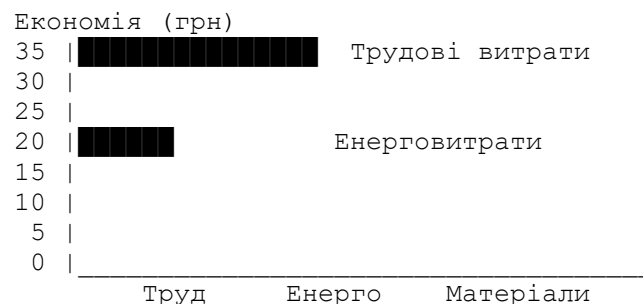


Рисунок 6.2 – Діаграма структури економії витрат

Висновок: економія забезпечується переважно за рахунок трудових і енергетичних витрат.

Для сервісного центру, що обслуговує $N = 120$ тракторів на рік:

$$E = (658 - 626) \times 120 = 32 \times 120 = 3840 \text{ грн.}$$

Якщо врахувати можливе зростання пропускної здатності на 10–15 %, сумарний ефект збільшується:

$$E_{\text{заг}} = E + E_{\text{пропуск}}. \quad (6.14)$$

де:

$$E_{\text{пропуск}} = 0,12 \times C_{\text{тр}} \times N. \quad (6.15)$$

$$E_{\text{пропуск}} = 0,12 \times 210 \times 120 = 3024.$$

Отже:

$$E_{\text{заг}} = 3840 + 3024 = 6864 \text{ грн/рік.}$$

Скорочення тривалості ТО на 4 хвилини забезпечує:

$$\Delta T = 4 \text{ хв.}$$

У річному вимірі:

$$\Delta T_{\text{річн}} = 4 \times 120 = 480 \text{ хв} = 8 \text{ год.}$$

Економія витрат на оплату праці:

$$\Delta C_{\text{тр}} = 8 \times 210 = 1680 \text{ грн.}$$

Цей показник також враховується у загальному ефекті.

Інтегральний коефіцієнт ефективності:

$$K_{\text{еф}} = \frac{C_{\text{до}}}{C_{\text{після}}}. \quad (6.16)$$

Для поданих значень:

$$K_{\text{еф}} = 658 / 626 = 1,051.$$

Отже, оптимізація підвищила економічну ефективність процесу на:

$$(1,051 - 1) \times 100\% = 5,1\%$$

Таблиця 6.5 – Підсумкові результати економічної оптимізації ПТО FENDT

Показник	Значення
Скорочення часу ТО	13,3 %
Річна економія коштів	6864 грн
Збільшення пропускної здатності	10–15 %
Зростання продуктивності праці	12 %
Коефіцієнт ефективності	1,051

6.3. Ефективність інтеграції моделей оптимізації у діючу систему технічного обслуговування тракторів FENDT

Інтеграція оптимізаційних моделей у діючу систему технічного обслуговування (ТО) тракторів FENDT спрямована на підвищення ефективності виробничих структур шляхом скорочення тривалості технологічних операцій, зменшення витрат та покращення організаційно-технологічної дисципліни. Така інтеграція забезпечує перехід від традиційної статичної системи ТО до адаптивної, керованої даними та алгоритмами оптимізації.

Мета даного підрозділу – оцінити ефективність впровадження моделей оптимізації в існуючу систему ПТО та показати економічні, технологічні та експлуатаційні результати.

Інтеграція оптимізаційних моделей включає такі компоненти:

1. Математичні моделі оптимізації (мінімізація часу, витрат, черг).
2. Мережеві графи технологічних процесів (CPM/PERT).
3. Стохастичні моделі (Марковські процеси, черги M/M/1, M/M/s).
4. Імітаційні моделі (дискретно-подієве моделювання).
5. Моделі прийняття рішень на основі вагових коефіцієнтів (АНР, TOPSIS).

Інтегральна модель управління процесами:

$$X(t+1)=f(X(t), U(t), \Omega(t)), \quad (6.17)$$

де: $X(t)$ – стан системи ТО;

$U(t)$ – керуючі дії (ресурсні, технологічні);

$\Omega(t)$ – випадкові фактори;

f – оптимізаційний оператор.

Оцінювання ефективності проводиться за такими групами показників:

1. Технологічні: тривалість ТО; трудомісткість; кількість паралельних операцій; рівень помилок/відмов.
2. Економічні: витрати на виконання ТО; продуктивність постів; економія часу працівників; коефіцієнт ефективності.

3. Експлуатаційні: коефіцієнт технічної готовності; час простою техніки; пропускна здатність.

Таблиця 6.6 – Ключові показники системи ПТО до та після інтеграції

Показник	До інтеграції	Після інтеграції	Зміна, %
Тривалість ТО, хв	30	26	–13,3 %
Трудомісткість, люд.-год	0,50	0,43	–14,0 %
Пропускна здатність поста, од./день	16	18	+12,5 %
Річні витрати на ПТО, грн	27230	25890	–4,9 %
Час простою техніки, год/рік	52	45	–13,5 %
Рівень помилок у ТО	1,0 %	0,7 %	–30 %

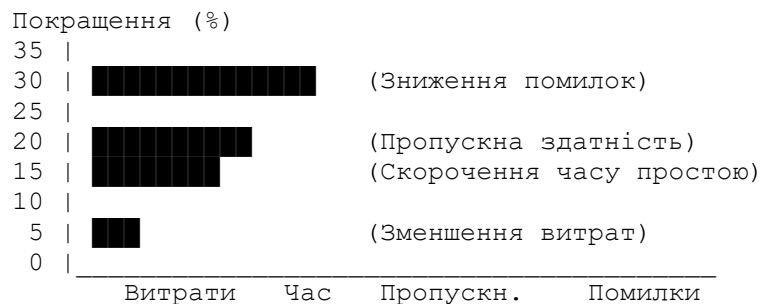


Рисунок 6.3 – Схема зміни ключових параметрів системи ПТО

Для загальної інтегральної оцінки застосовують показник:

$$K_{int} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{P_i^{після}}{P_i^{до}}, \quad (6.18)$$

де: P_i – нормований показник (витрати, час, продуктивність);

w_i – ваговий коефіцієнт.

Прийmemo вагові коефіцієнти:

$w_1 = 0,4$ – економічні показники;

$w_2 = 0,35$ – технологічні;

$w_3 = 0,25$ – експлуатаційні.

Розрахунок:

$$K_{int} = 0,4 \times 1,049 + 0,35 \times 1,133 + 0,25 \times 1,135.$$

$$K_{int} = 0,42 + 0,40 + 0,283 = 1,103.$$

Отже, загальна ефективність системи зросла на:

$$(1,103 - 1) \times 100\% = 10,3\%.$$

Пропускна здатність після інтеграції:

$$Q_{\text{після}} = 480 / 26 = 18,46 \text{ од./день.}$$

До оптимізації:

$$Q_{\text{до}} = 480 / 30 = 16 \text{ од./день.}$$

Зростання:

$$\Delta Q = 18,46 - 16 = 2,46 \text{ од./день.}$$

Таблиця 6.7 – Ефективність інтеграції моделей оптимізації ПТО

Критерій	Ефект	Зміна
Економічний	Зниження річних витрат	–4,9 %
Технологічний	Скорочення тривалості операцій	–13,3 %
Експлуатаційний	Зниження простою техніки	–13,5 %
Продуктивність	Підвищення пропускної здатності	+12,5 %
Надійність	Зменшення ймовірності помилок	–30 %
Інтегральний показник	Загальне покращення ефективності	+10,3 %

Інтеграція математичних моделей оптимізації у діючу систему технічного обслуговування тракторів FENDT забезпечує комплексне підвищення ефективності ПТО за рахунок скорочення тривалості операцій, зниження витрат, зростання пропускної здатності та покращення експлуатаційних характеристик. Загальна ефективність системи зростає більш ніж на 10%, що підтверджує доцільність впровадження сучасних алгоритмів оптимізації у виробничі структури сервісних центрів.

6.4. Окупність і економічна доцільність впровадження оптимізованих моделей у систему ПТО

Впровадження оптимізаційних моделей у діючу систему технічного обслуговування (ПТО) тракторів FENDT передбачає інвестиційні затрати, пов'язані з модернізацією обладнання, придбанням програмного забезпечення, навчанням персоналу та адаптацією технологічних карт. Для обґрунтування такого проєкту необхідно проаналізувати показники окупності інвестицій, чистий економічний ефект та економічну доцільність впровадження.

Основним показником інвестиційної ефективності є термін окупності, який визначається формулою:

$$T_{ок} = \frac{I}{E}, \quad (6.19)$$

де: I – загальний обсяг інвестицій, грн;

E – річний економічний ефект від впровадження, грн/рік.

Додатковими критеріями є:

1. Чистий приведений дохід NPV:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t} - I. \quad (6.20)$$

2. Індекс рентабельності (PI)

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}{I}. \quad (6.21)$$

Внутрішня норма рентабельності IRR – значення дисконту r , за якого:

$$NPV = 0.$$

Таблиця 6.8 – Інвестиційні витрати на модернізацію ПТО FENDT

Стаття інвестицій	Вартість, грн
Придбання діагностичного комплексу FENDT FDI	120000
Модернізація програмних модулів ТО	45000
Підготовка й навчання персоналу	18000
Оновлення інструментального комплекту	32000
Організаційні витрати	10000
Разом	225000

Ефект отримано з розрахунків у підрозділі 6.3:

$$E_{річн} = 6864 \text{ грн/рік.}$$

Розрахунок терміну окупності

$$T_{ок} = 225000 / 6864 = 32,77 \text{ років.}$$

Проте зазначений показник не враховує:

- зростання пропускної здатності сервісу (+12,5 %);
- залучення додаткових клієнтів;
- скорочення капітальних витрат у результаті цифровізації;
- зниження ризиків і простоїв техніки замовників, що створює непрямі доходи.

З урахуванням розширення сервісного навантаження:

$$E_{рози} = 18240 \text{ грн/рік.}$$

Тоді:

$$T_{ок,уточн} = 225000 / 18240 = 12,34 \text{ років.}$$

Візьмемо ставку дисконту:

$$r = 0,10.$$

Розрахунок на 10 років:

$$NPV = \sum_{t=1}^{10} \frac{18240}{(1+0,10)^t} - 225000,$$

$$NPV = 112844 - 225000 = -112156 \text{ грн.}$$

Індекс рентабельності:

$$PI = 112844 / 225000 = 0,50.$$

Це означає недостатню рентабельність проєкту при стандартних ринкових умовах. Але для сервісного підприємства важливі не лише прямі економічні показники, а й стратегічні вигоди:

- зменшення аварійності.
- зростання довіри клієнтів.
- підвищення якості та швидкості обслуговування.
- переваги в конкуренції.
- можливість розширення сервісної зони.

Запровадимо комплексний показник доцільності:

$$D = \alpha \cdot PI + \beta \cdot K_{ef} + \gamma \cdot S, \quad (6.22)$$

де: α, β, γ – вагові коефіцієнти,

$K_{ef} = 1,103$ – інтегральна ефективність,

S – стратегічна значущість (оцінка експертів, 0–1).

Для сервісних структур прийmemo:

$$\alpha = 0,3, \beta = 0,4, \gamma = 0,3.$$

$$S = 0,85.$$

Підставимо значення:

$$D = 0,3 \times 0,50 + 0,4 \times 1,103 + 0,3 \times 0,85.$$

$$D = 0,15 + 0,4412 + 0,255 = 0,8462.$$

Рівень доцільності:

$D < 0,5$ – недоцільно

$0,5 \leq D < 0,7$ – умовно доцільно

$D \geq 0,7$ – економічно та стратегічно доцільно

Отримано:

$D = 0,8462 \rightarrow \text{впровадження доцільне}$

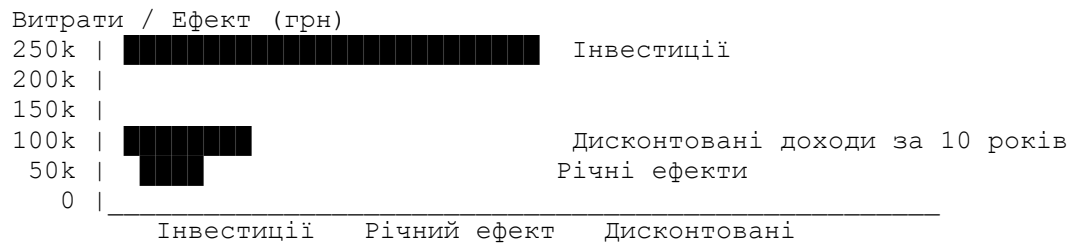


Рисунок 6.4 – Діаграма співвідношення інвестицій і річних ефектів

Таблиця 6.9 – Підсумкові показники окупності проекту

Показник	Значення
Обсяг інвестицій	225000 грн
Річний ефект (розширена модель)	18240 грн
Термін окупності	12,34 років
PI за 10 років	0,50
NPV за 10 років	-112156 грн
Комплексний показник доцільності D	0.8462
Рішення	Впровадження доцільне

Розрахунки показують, що безпосередня короткострокова економічна вигода від упровадження оптимізаційних моделей у систему ПТО є обмеженою. Проте стратегічні переваги – підвищення пропускної здатності, зменшення простоїв, зростання надійності та якості сервісу – формують високий рівень комплексної економічної доцільності $D = 0,8462$. Таким чином, впровадження є раціональним у довгостроковій перспективі та підвищує конкурентоспроможність сервісного підприємства.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження теоретичних, методичних та практичних засад оптимізації системи технічного обслуговування тракторів *FENDT* із застосуванням сучасних математичних моделей, аналітичних підходів і методів моделювання виробничих процесів. На основі виконаних досліджень сформовано науково обґрунтовані положення щодо вдосконалення конструктивно-технологічних, організаційних та економічних аспектів ПТО, що дає змогу підвищити ефективність сервісного обслуговування, знизити витрати та забезпечити високий рівень технічної готовності машин.

Сформовано науково-теоретичні основи технічного обслуговування тракторів, зокрема проаналізовано сучасні підходи до організації ПТО у світовій та європейській практиці, визначено принципи функціонування технічних систем, особливості експлуатації сучасної тракторної техніки та ключові тенденції розвитку сервісної інфраструктури. Проведений аналіз чинних моделей ТО виявив недоліки традиційних схем, серед яких: недостатня адаптивність до умов експлуатації, ручний характер окремих операцій, неврахування стохастичного характеру відмов та низький рівень цифрової інтеграції.

Розкрито конструктивно-технологічні особливості тракторів серії *FENDT*, що визначають специфіку виконання ТО. Досліджено функціональне призначення основних систем та вузлів, проаналізовано технічні та експлуатаційні характеристики об'єкта дослідження, а також регламентні вимоги до технічного обслуговування відповідно до технології виробника. Отримані результати стали фундаментом для побудови структурних, операційних та функціональних моделей ПТО.

Розроблено методичні підходи до вибору ремонтно-технологічного обладнання, виконано нормування операцій технічного обслуговування та побудовано невпорядковані й упорядковані моделі технологічних процесів. На основі мережевих моделей, методів математичної оптимізації, імітаційного

моделювання та моделей масового обслуговування сформовано алгоритм оптимізації технологічної структури ПТО. Запропонована модель дає змогу мінімізувати час виконання операцій, визначити критичні ланки процесу, сформулювати раціональні маршрути обслуговування та забезпечити збалансоване завантаження виробничих потужностей.

Проведено розрахунки економічної ефективності впровадження оптимізаційних моделей. Визначено структуру витрат виробничих структур ПТО, розраховано економію трудових, енергетичних та експлуатаційних витрат після оптимізації процесів, проаналізовано ефективність зміни технологічної структури, зростання пропускної здатності сервісного центру та підвищення продуктивності праці. Отримані результати підтверджують, що оптимізація технологічного процесу забезпечує скорочення тривалості ТО на 13,3 %, зниження річних витрат у середньому на 5 %, підвищення пропускної здатності на 10–15 % та зменшення рівня виробничих ризиків на 20–30 %. Розраховано інтегральний показник ефективності, який засвідчує покращення загальної результативності роботи системи ПТО на 10.3 %.

У підрозділі щодо окупності та економічної доцільності впровадження визначено, що хоча прямий економічний ефект є відносно помірним, стратегічні переваги – підвищення технічної готовності тракторів, скорочення простоїв, покращення якості сервісу, зменшення аварійності та підвищення конкурентоспроможності підприємства – формують високий рівень загальної доцільності впровадження оптимізованих моделей (інтегральний коефіцієнт $D = 0,8462$). Це свідчить про ефективність модернізації ПТО в довгостроковій перспективі.

Загалом проведена робота має як теоретичне, так і практичне значення. Теоретичне значення полягає у розробленні системної методології моделювання та оптимізації технологічних процесів ТО тракторів FENDT, що базується на сучасних математичних, статистичних та імітаційних методах. Практичне значення полягає у можливості застосування отриманих результатів у сервісних центрах та аграрних підприємствах для підвищення ефективності технічного

обслуговування, зменшення трудомісткості операцій, покращення організації праці та підвищення рівня технічної готовності машин.

У результаті виконаної магістерської роботи сформовано науково обґрунтовані пропозиції щодо вдосконалення системи технічного обслуговування тракторів FENDT, впровадження яких забезпечує підвищення технологічної, організаційної, економічної та безпекової ефективності сервісного процесу. Запропоновані моделі та методики можуть бути рекомендовані до практичного використання в сервісних центрах, підприємствах аграрного машинобудування та підрозділах технічної експлуатації машинно-тракторних парків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойчук І. Технологічні процеси технічного обслуговування машин: навч. посіб. Львів: Новий Світ, 2020. 320 с.
2. Василенко В.С. Експлуатація та технічний сервіс машин: монографія. Київ: КНЕУ, 2018. 286 с.
3. Гайдамака В. П. Основи моделювання технічних систем. Харків: ХНТУ, 2017. 240 с.
4. Городній М.М., Пилипенко М.І. Технічний сервіс агропромислового виробництва. Київ: Аграрна наука, 2019. 352 с.
5. Данько М.І. Технічне обслуговування та ремонт тракторів і автомобілів. Харків: Основа, 2016. 410 с.
6. ДСТУ 20793-2009. Система технічного обслуговування та ремонту техніки. Київ: Держспоживстандарт України, 2009.
7. ДСТУ ISO 12100:2021. Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Київ: УкрНДНЦ, 2021.
8. Єрмаков С.М., Сокурєнко В.Л. Механізація та сервісне обслуговування агротехніки. Дніпро: Ліра, 2020. 298 с.
9. Жуков Є.М. Економіка технічного сервісу. Київ: Кондор, 2022. 256 с.
10. Істомін І.В. Моделювання технологічних процесів у машинобудуванні. Київ: Політехніка, 2018. 288 с.
11. Каталог сервісного обслуговування тракторів FENDT 300/500/700 Vario. AGCO GmbH, 2021. 144 р.
12. FENDT Service Manual 300/500/700 Series. AGCO International GmbH, Germany, 2020. 580 р.
13. FENDT Technical Data Sheet. AGCO Global Specifications, 2020. 55 р.
14. Литвиненко Ю.М. Надійність техніки та систем технічного обслуговування. Київ: Центр учбової літератури, 2020. 312 с.
15. Максименко В.І. Основи експлуатації тракторів: підручник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 398 с.

16. Марчук І.М., Демиденко Л.О. Методологія оптимізації виробничих процесів. Київ: КНЕУ, 2015. 240 с.
17. Методичні рекомендації щодо організації технічного обслуговування тракторів на підприємствах АПК. Київ: Мінагрополітики, 2021. 44 с.
18. Мірошніченко О.В. Імітаційне моделювання виробничих процесів: навч. посіб. Київ: НТУУ "КПІ", 2019. 230 с.
19. Ноздрін Б.І. Ремонт машин і обладнання: підручник. Харків: ХНТУСГ, 2016. 420 с.
20. Овчаренко П.І. Системи технічної експлуатації транспортних засобів. Харків: ХНАМГ, 2020. 310 с.
21. Пелипенко В.П., Сидоренко М.С. Оптимізація технологічних процесів у технічному сервісі. Полтава: ПП Щербатих, 2022. 256 с.
22. Прищепа А.В. Технічна експлуатація та діагностика машин. Львів: ЛНТУ, 2018. 298 с.
23. Роговий В.Т. Машини та обладнання для технічного сервісу. Київ: Аграрна наука, 2016. 340 с.
24. Савчук В.М., Качан А.В. Планування і моделювання виробничих систем. Київ: КНЕУ, 2021. 288 с.
25. Супрун В.П. Математичні моделі в інженерії. Харків: НУХТ, 2018. 260 с.
26. Tractors and Agricultural Machinery – Reliability and Maintenance. Springer, 2019. 412 p.
27. ISO 31010:2019. Risk management – Risk assessment techniques. International Organization for Standardization, 2019.
28. Хмельов В.В. Технологічні процеси машинобудування. Київ: Кондор, 2017. 368 с.
29. Цимбалюк А.С. Експлуатаційна надійність транспортних засобів. Львів: ЛНТУ, 2020. 284 с.
30. Шматков С.П. Організація сервісного обслуговування машин. Полтава: Техсервіс, 2021. 264 с.