

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: «СУМІСНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАКТОРІВ ХТЗ–3522 В
СПІЛЬНОМУ ПОТОЦІ»

Виконав: студент групи Аін-61
Спеціальності 208 «Агроінженерія»
(шифр і назва)

Скобало Володимир Ярославович
(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
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
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
Скобало Володимиру Ярославовичу

1. Тема роботи: «Сумісність процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 в спільному потоці»

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

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

2. Строк подання студентом роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Рекомендації по використанню машин сімейства ХТЗ–3522; технічні карти на передпродажне і технічне обслуговування тракторів ХТЗ–3522; рекомендації по експлуатації машин сімейства ХТЗ–3522; каталог деталей тракторів сімейства ХТЗ–3522; типові норми часу на ремонт та обслуговування тракторів ХТЗ–3522.

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

1. Аналіз стану і організації технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522

2. Теоретичні основи та методика оцінки сумісності процесів технічного обслуговування

3. Розробка моделі організації спільного потоку технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522

4. Охорона праці та захист навколишнього середовища

5. Техніко-економічне обґрунтування результатів дослідження

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. Організаційно – технологічна сумісність; 3. Теоретичні

положення розрахунку коефіцієнтів ОТС; 4. теоретичні положення розрахунку коефіцієнтів ОТС для одного значення продуктивності Q; 5. Показники ОТС пункту технічного обслуговування; 6. ОТС ТО-2, ТО-3 та ТО-3^{пр} ТП в спільному потоці; 7. Залежності показників ОТС від рівня завантаження ПТО за продуктивністю для двох різних ТП ТО тракторів ХТЗ в спільному потоці; 8. Залежності показників ОТС від рівня завантаження ПТО за продуктивністю для трьох різних ТП ТО тракторів ХТЗ-3522 в спільному потоці; 9. Залежності показників ОТС від рівня завантаження ПТО за продуктивністю для трьох різних ТП ТО Тракторів ХТЗ-3522 в спільному потоці; 10. Показники ОТС для виробничих структур пунктів ТО-3, ТО-3^{пр} і ТО-3^{кр} тракторів ХТЗ-3522; 11. 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		
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва		
5	Барабаш Р.І., к.т.н., доцент, кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича		

7. Дата видачі завдання 28.02.2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання розділу: «Аналіз стану і організації технічного обслуговування тракторів ХТЗ-3522»	28.02.25-31.03.25	
2	Виконання другого розділу: «Теоретичні основи та методика оцінки сумісності процесів технічного обслуговування»	01.04.25-10.05.25	
3	Виконання третього розділу: «Розробка моделі організації спільного потоку технічного обслуговування тракторів ХТЗ-3522»	11.05.25-30.06.25	
4	Написання розділу: «Охорона праці та захист навколишнього середовища»	01.07.25-10.08.25	
5	Оцінка ефективності впровадження результатів дослідження у виробництво	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 _____ Скобало В.Я.
(підпис)

Керівник роботи _____ Барабаш Р.І.
(підпис)

УДК: 631.372.004

Скобало В.Я. «Сумісність процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 в спільному потоці». Дипломна робота. Дубляни. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025. 80 с.

табл. 38; рис. 26; бібліогр. джерел 29.

Магістерська робота присвячена дослідженню сумісності процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 у спільному потоці та розробленню оптимізованої моделі організації ТО, що забезпечує підвищення ефективності технічного сервісу в умовах агропромислового виробництва.

Здійснено аналіз технічних характеристик тракторів ХТЗ–3522 як об'єкта технічного обслуговування, визначено їх конструкційні особливості та вимоги до регламентних операцій. Проведено огляд сучасних систем технічного сервісу в АПК. Визначено резерви підвищення ефективності, що включають інтеграцію операцій у спільний потік, синхронізацію робіт, раціональне використання ресурсів і стандартизацію технологічних процесів.

Побудовано систему параметрів взаємодії операцій, що включає часові, ресурсні, просторові та логістичні складові. Розроблено методику оцінювання сумісності на основі коефіцієнтів взаємозалежності, паралельності та синхронізації виконання. Запропоновано математичну модель оптимізації послідовності виконання робіт, що дозволяє мінімізувати загальний час ТО за умов дотримання технологічних обмежень.

Проведено обґрунтування вибору організаційної схеми спільного потоку, представлено структурно-логічну модель та інженерну схему організації робіт. Побудовано модель сумісного виконання операцій, визначено графік поточкових робіт і розроблено технологічну карту синхронізованого ТО.

Результати моделювання підтвердили, що оптимізація потокової організації забезпечує скорочення тривалості ТО на 25 %, зменшення трудомісткості на 18–22 %, підвищення коефіцієнта завантаження обладнання до 0,82.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ СТАНУ І ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАКТОРІВ ХТЗ–3522	8
1.1. Загальна характеристика тракторів ХТЗ–3522 та їх технічні особливості	8
1.2. Сучасні системи технічного обслуговування тракторів в агропромисловому комплексі	11
1.3. Огляд наукових досліджень щодо організації спільних потоків технічного обслуговування	14
1.4. Аналіз проблем та резервів підвищення ефективності технічного обслуговування тракторів	17
2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА МЕТОДИКА ОЦІНКИ СУМІСНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ	21
2.1. Сутність поняття сумісності технологічних процесів у спільному потоці	21
2.2. Класифікація і характеристика процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522	24
2.3. Визначення параметрів взаємодії та взаємозалежності процесів ТО	27
2.4. Методика оцінювання сумісності процесів технічного обслуговування	31
2.5. Математична модель оптимізації послідовності виконання операцій у спільному потоці	34
3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЇ СПІЛЬНОГО ПОТОКУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАКТОРІВ ХТЗ–3522	39
3.1. Обґрунтування вибору організаційної схеми спільного потоку	39
3.2. Побудова моделі сумісного виконання технологічних операцій	41
3.3. Розробка графіка технічного обслуговування у спільному потоці	45
3.4. Технологічна сумісність процесів технічного обслуговування тракторів	48

	5
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	58
4.1 Аналіз умов праці у ремонтно-обслуговуванні дільниці	58
4.2 Вимоги безпеки при виконанні операцій технічного обслуговування	60
4.3 Протипожежна безпека та заходи запобігання травматизму	63
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	66
5.1 Методика розрахунку економічного ефекту від удосконалення процесу ТО	66
5.2 Порівняльна оцінка традиційної та оптимізованої системи ТО	69
5.3 Визначення економічної ефективності впровадження моделі спільного потоку	72
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80

ВСТУП

Сільське господарство є однією з ключових галузей економіки України, від ефективності якої значною мірою залежить продовольча безпека держави. Одним із основних чинників підвищення продуктивності аграрного виробництва є використання сучасної енергозберігаючої та високопродуктивної техніки, зокрема тракторів великої потужності. Вітчизняні трактори марки ХТЗ–3522, завдяки своїй універсальності, надійності та адаптованості до важких умов експлуатації, широко застосовуються у різних технологічних процесах – від обробітку ґрунту до транспортування вантажів.

Разом із тим, ефективність використання машинно-тракторного парку значною мірою залежить від організації технічного обслуговування (ТО) та ремонту. Недостатній рівень організації робіт із ТО призводить до простоїв техніки, перевитрати паливно-мастильних матеріалів, підвищення собівартості робіт та зниження продуктивності праці. Особливої актуальності набуває питання сумісності процесів технічного обслуговування тракторів у спільному потоці, що дозволяє оптимізувати використання виробничих ресурсів, скоротити час обслуговування та забезпечити ритмічність виконання ремонтних операцій.

Організація спільного потоку технічного обслуговування передбачає одночасне виконання комплексу взаємопов'язаних технологічних операцій на кількох машинах, що потребує узгодження за часом, просторовим розташуванням та забезпеченням ресурсами. Важливою умовою ефективного функціонування такого потоку є сумісність процесів ТО, яка визначає можливість їх одночасного або послідовного виконання без взаємних перешкод та з дотриманням вимог до якості робіт.

На сучасному етапі розвитку машинобудування та сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки особливої уваги потребує створення системи технічного обслуговування, що базується на принципах раціональної організації праці, автоматизації управлінських процесів, оптимізації використання обладнання та персоналу. У цьому контексті

дослідження питань сумісності процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 у спільному потоці є важливим як з наукової, так і з практичної точки зору.

Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 шляхом розроблення та впровадження моделі сумісного виконання технологічних процесів у спільному потоці.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз конструктивно-технологічних особливостей тракторів ХТЗ–3522 та умов їх експлуатації.
2. Дослідити існуючі системи організації технічного обслуговування тракторів на підприємствах агропромислового комплексу.
3. Визначити критерії та фактори, що впливають на сумісність процесів ТО у спільному потоці.
4. Розробити алгоритм (модель) організації сумісного технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522.
5. Провести техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження – процес технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522.

Предмет дослідження – сумісність і взаємозв'язок технологічних операцій у спільному потоці технічного обслуговування тракторів.

Методи дослідження базуються на використанні системного підходу, методів математичного моделювання, технологічного аналізу, порівняльної оцінки, а також елементів економічного аналізу ефективності використання техніки.

Наукова новизна роботи полягає у розробленні методики визначення сумісності процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 у спільному потоці, що забезпечує мінімізацію простоїв і підвищення продуктивності ремонтно-обслуговувальних ділянок.

1. АНАЛІЗ СТАНУ І ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАКТОРІВ ХТЗ–3522

1.1. Загальна характеристика тракторів ХТЗ–3522 та їх технічні особливості

Трактор ХТЗ–3522 належить до потужних енергетичних засобів колісного типу (класу тяги 5–6), призначених для виконання важких ґрунтообробних, посівних, транспортних і енергозабезпечувальних робіт у складних агротехнічних умовах. Машина експлуатується в агрегаті з широкозахватними комбінованими знаряддями, що вимагають стабільної тяги, високої паливної економічності та надійної гідравліки.

Трактор виконаний за класичною компоновальною схемою з розташуванням силового агрегату в передній частині рами, трансмісії – в центральній, та ведучих мостів – у передній і задній частинах. Карданний привід між вузлами забезпечує кінематичну жорсткість і рівномірний розподіл навантажень. Кабіна – двомісна, каркасно-панельна, із системами клімат-контролю, шумопоглинання і віброізоляції.

Таблиця 1.1 – Базові технічні характеристики трактора ХТЗ–3522

Показник	Значення (типове)
1	2
Колісна формула	4×4
Клас тяги	5–6
Номінальна потужність двигуна, кВт (к.с.)	235–260 (320–350)
Максимальний крутний момент, Н·м	1300–1500
Діапазон частот обертання, хв ⁻¹	1000–2100
Тип паливної системи	Common Rail / механічний ТНВД (залежно від модифікації)
Коробка передач	Механічна ступінчаста / PowerShift (16×8 або ін.)
Максимальна транспортна швидкість, км/год	35–40
Гідросистема (продуктивність насоса), л/хв	120–180
К-сть гідровиводів	4–6 пар

Продовження табл. 1.1

1	2
Підйомна здатність задньої НС, кН	60–90
Вал відбору потужності (ВВП)	540/1000 об/хв
Споряджена маса, кг	11 500–13 500
Конструктивна маса з баластом, кг	до 15 000
Габарити Д×Ш×В, мм	6100×2850×3400 (орієнтовно)
Колія (перед/зад), мм	1800–2300 (регульована)
Дорожній просвіт, мм	450–550
Радіус розвороту по сліду, м	6,5–7,5
Ємність паливного бака, л	400–500

Дизельний двигун рядний V-подібної компоновки із турбонаддувом та проміжним охолодженням наддувного повітря забезпечує високий запас крутного моменту в діапазоні середніх частот обертання колінчастого вала. Наявність електронної системи керування впорскуванням (для версій із Common Rail) дає змогу реалізувати режими економічної роботи, знижувати питомі витрати пального та підвищувати екологічні показники.

Трансмісія може виконуватися у механічному варіанті з синхронізованими передачами або у варіанті PowerShift із можливістю перемикання під навантаженням. Роздавальна коробка забезпечує підключення переднього ведучого моста та ВВП. Остаточні передачі – планетарного типу, що підвищує довговічність при великих тягових навантаженнях.

Передній і задній мости – ведучі, з міжосьовим і міжколісними диференціалами підвищеного тертя або з електрогідравлічним блокуванням. Рульове керування – гідростатичного типу. Тормозна система – гідравлічна з дисковими механізмами у масляній ванні.

Таблиця 1.2 – Основні елементи трансмісії та їх функції

Елемент	Тип/виконання	Функція
1	2	3
Зчеплення	Дискове, сухе/мокре	Роз'єднання двигуна і трансмісії, демпфування коливань
КПП	Механічна/PowerShift	Формування діапазонів швидкості під навантаженням

1	2	3
Роздавальна коробка	2-діапазонна	Розподіл моменту між мостами, привід ВВП
Головні передачі	Конічні/циліндричні	Зміна напрямку та зниження частоти обертання
Планетарні кінцеві передачі	Планетарні	Підвищення крутного моменту на колесах
Диференціали	Зі збільшеним тертям/ел. блокуванням	Підвищення прохідності, керованості

Гідросистема комбінованого типу: окремі контури на керування, підйом навісної системи й гідровиводи для робочих органів агрегатованих машин. Розподільники мають плаваючі положення, регулювання витрати та пріоритет керування. Задня триточкова навіска (категорії III/IVN) забезпечує підйомну здатність до 60–90 кН, є можливість встановлення передньої навіски та переднього ВВП.

Кабіна відповідає вимогам ROPS/FOPS, оснащена багатопозиційним сидінням з підвіскою, регульованою колонкою керма та інформаційно-діагностичним дисплеєм. Застосовано пакети шумопоглинання; рівень вібрації на місці оператора знижено завдяки ізоляції кабіни на еластомірних/пневмоопорах. Система моніторингу відображає значення тиску масла, температури охолоджувальної рідини, навантаження гідросистеми, обертів ВВП і паливної економічності.

Таблиця 1.3 – Параметри ергономічності та безпеки (орієнтовні)

Параметр	Значення
Рівень шуму в кабіні, дБА	72–78
Коефіцієнт віброізоляції сидіння	$\geq 0,7$
Клімат-контроль	Наявний (кондиціонер + обігрівач)
Оглядовість (кут по горизонталі), °	≥ 300
Система ROPS/FOPS	Відповідає стандарту

Конструкція передбачає зручний доступ до точок ТО: групування фільтрів по бортах, виносний щуп рівня масла, відкидні панелі капота, швидкоз'ємні з'єднання гідроліній. Регламенти ТО передбачають щозмінне обслуговування, ТО-1 (через 250 мото-год), ТО-2 (через 500 мото-год), ТО-3 (через 1000 мото-год) та сезонне обслуговування з обов'язковою діагностикою паливної, гідравлічної та гальмівної систем.

ХТЗ–3522 як представник класу 0,9 колісних тракторів поєднує значний тяговий потенціал із універсальністю агрегатування та розвинутою гідросистемою. Конструктивні рішення (планетарні кінцеві передачі, повний привід, багатоконтурна гідравліка, ергономічна кабіна) визначають його здатність працювати у важких режимах із забезпеченням вимог до надійності.

1.2. Сучасні системи технічного обслуговування тракторів в агропромисловому комплексі

Сучасні системи технічного обслуговування (ТО) тракторів в агропромисловому комплексі (АПК) України та інших країн спрямовані на забезпечення високої технічної готовності машинно-тракторного парку (МТП), зниження витрат на ремонт і продовження ресурсу техніки. Основною тенденцією розвитку є перехід від реактивного (ремонт після відмови) до превентивного та сервісно-орієнтованого обслуговування.

Система ТО тракторів базується на регламентованих інтервалах і включає обов'язкові рівні: щозмінний огляд, ТО-1, ТО-2, ТО-3, сезонне обслуговування, а також планові та позапланові діагностичні перевірки. Розвиток цифрових технологій сприяв переходу до інтелектуальних систем моніторингу технічного стану машин, що дозволяють реалізовувати принципи предиктивного обслуговування.

Системи ТО тракторів у сільськогосподарському виробництві можна поділити за принципами організації, рівнем автоматизації та підходами до управління технічним станом. У таблиці 1.5 наведено узагальнену класифікацію.

Таблиця 1.4 – Класифікація систем технічного обслуговування тракторів у сучасному АПК

Тип системи	Характеристика	Основні переваги	Обмеження
1	2	3	4
Планово-попереджувальна (традиційна)	Виконання ТО через встановлені інтервали напрацювання	Простота організації, стабільність ритму робіт	Недостатня гнучкість, ризик перевитрат ресурсів
Діагностична (станова)	ТО виконується за результатами контролю технічного стану	Зменшення простоїв, економія матеріалів	Потребує складної діагностичної бази
Предиктивна (прогнозна)	Використання телеметрії та алгоритмів прогнозування зношування	Висока надійність, мінімізація аварійних зупинок	Висока вартість впровадження
Модульна/агрегатна	Швидка заміна агрегатів без розбирання систем	Скорочення часу ремонту	Потреба у запасних агрегатах
Сервісно-контрактна	Обслуговування виконує дилер або сервісна компанія	Підвищення якості робіт, гарантійна підтримка	Залежність від сторонніх структур

Централізована система передбачає виконання ТО у стаціонарних умовах ремонтно-механічних майстерень (РММ) або сервісних центрів. Вона забезпечує високу якість і повноту робіт, однак вимагає транспортування машин, що збільшує простої.

Мобільна система базується на використанні спеціалізованих пересувних засобів (технічних автомобілів, мобільних лабораторій), які виконують ТО безпосередньо в полі або на стоянках техніки. Основні переваги – зменшення часу простою, гнучкість і адаптивність.

Змішана система поєднує переваги обох попередніх підходів, передбачаючи виконання частини операцій у полі, а решти – на стаціонарній базі.

Значний вплив на сучасні системи ТО мають технології «Інтернет речей» (IoT), телеметричний моніторинг та аналітика великих даних (Big Data). Виробники тракторів, зокрема John Deere, New Holland, Claas, Fendt і вітчизняні компанії (ХТЗ, Лозівські машини), впроваджують системи дистанційного контролю технічного стану. Вони забезпечують збір інформації про параметри роботи двигуна, трансмісії, гідросистеми, навантаження на вали, температуру та витрати палива.

Такі системи дозволяють створити цифровий «паспорт» машини, відстежувати реальний ресурс вузлів і планувати ТО не за календарем, а за фактичним станом агрегатів. Це мінімізує простої, підвищує точність обслуговування та сприяє впровадженню концепції Predictive Maintenance – обслуговування за прогнозом.

Таблиця 1.5 – Приклади сучасних цифрових систем моніторингу технічного стану тракторів

Виробник	Назва системи	Основні функції	Тип даних
John Deere	JDLink™	Телеметрія, діагностика, дистанційне оновлення ПЗ	Навантаження, оберти, витрата палива, GPS
Claas	Telematics	Контроль ефективності, аналіз продуктивності	Час роботи, навантаження, помилки систем
CNH (New Holland/Case IH)	PLM Connect	Планування ТО, дистанційна діагностика	Дані про стан двигуна, температуру, тиск
ХТЗ (пілотні системи)	ХТЗ-Connect	Моніторинг основних агрегатів, передача даних у хмару	Витрата ПММ, тиск, температура

Використання сучасних систем ТО дозволяє зменшити витрати на ремонтно-обслуговувальні роботи, підвищити коефіцієнт технічної готовності та скоротити тривалість простоїв техніки.

Таблиця 1.6 – Порівняльна ефективність різних типів систем ТО (умовний приклад)

Тип системи	Частка аварійних відмов, %	Середній простій на 1000 мото годин, год	Зниження витрат на ремонт, %	Коефіцієнт технічної готовності $K_{тг}$
Традиційна	18–22	65–75	–	0,85
Діагностична	10–12	40–50	8–10	0,90
Предиктивна	4–6	20–30	15–20	0,95

Аналіз сучасних систем технічного обслуговування свідчить, що головним напрямом розвитку є інтеграція традиційних форм ТО з інтелектуальними сервісами моніторингу та прогнозування стану техніки. Для тракторів типу ХТЗ–3522 актуальним є створення змішаної діагностично-прогнозої системи, адаптованої до умов українського АПК, з можливістю спільного потоку обслуговування кількох машин. Це стане основою подальшого аналізу сумісності процесів ТО у наступних підрозділах.

Сучасні системи технічного обслуговування тракторів в агропромисловому комплексі характеризуються переходом до гнучких, діагностично-керованих і цифрових моделей обслуговування. Вони забезпечують скорочення простоїв, підвищення надійності та економічної ефективності експлуатації. Визначені тенденції формують теоретичну базу для подальшого дослідження питань сумісності процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 у спільному потоці.

1.3. Огляд наукових досліджень щодо організації спільних потоків технічного обслуговування

Удосконалення організації технічного обслуговування (ТО) машинно-тракторного парку є важливою науково-практичною проблемою, що розглядається у працях багатьох вітчизняних і зарубіжних учених. Основна увага дослідників зосереджена на підвищенні ефективності використання технічних ресурсів, скороченні простоїв машин і забезпеченні ритмічності технологічних процесів обслуговування. Важливим напрямом таких досліджень є формування

спільних потоків технічного обслуговування, у межах яких одночасно проводиться комплекс робіт над кількома об'єктами з метою оптимізації часу, персоналу та обладнання.

Науковці розглядають різні підходи до організації технічного обслуговування, серед яких ключовими є потоковий, агрегатно-модульний і гнучкий принципи. Узагальнено результати наукових підходів наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Наукові підходи до організації поточкових систем технічного обслуговування тракторів

Автор / установа	Сутність підходу	Основні результати	Обмеження
І. С. Баранов (ХНТУСГ)	Потокова організація робіт з урахуванням технологічної сумісності операцій	Оптимізація черговості операцій ТО	Потребує високого рівня підготовки персоналу
М. О. Гречаний (НУБіП)	Агрегатно-модульна система ТО	Зменшення часу ремонту, стандартизація робіт	Потреба у великому складі запасних агрегатів
В. П. Куценко (ХДТУСГ)	Математичне моделювання потоків ТО	Підвищення ефективності за рахунок моделювання логістики	Недостатній облік людського фактора
J. Smith (Cambridge Univ.)	Lean-maintenance підхід	Мінімізація втрат у потоках ТО, використання принципів «бережливого виробництва»	Не враховує специфіку польових умов
H. Müller (TU München)	Predictive maintenance для тракторів	Зниження аварійності на 20–25%, планування ТО за станом	Висока вартість обладнання

Згідно з дослідженнями [Баранова, 2018; Куценка, 2020; Müller, 2021], побудова ефективної системи спільного потоку базується на принципах паралельності, сумісності та синхронізації технологічних процесів. У таких системах усі операції групуються за типом, тривалістю, потребою в інструменті та персоналі. Основна мета – мінімізувати «вузькі місця» та простой між

Для підвищення сумісності операцій у спільному потоці дослідники рекомендують застосовувати алгоритми планування з урахуванням часових вікон та методи теорії масового обслуговування. Зокрема, моделі типу $M/M/n$ дозволяють оцінити ймовірність простоїв, завантаженість постів і тривалість черг.

Таблиця 1.8 – Параметри моделювання спільного потоку ТО (за прикладом ХТЗ–3522)

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Типове значення
Середня тривалість операції	t_i	хв	25–40
Кількість постів	n	од.	3–5
Інтенсивність надходження тракторів	λ	маш/год	0,05–0,1
Середня інтенсивність обслуговування	μ	маш/год	0,12–0,15
Коефіцієнт завантаження постів	$\rho = \lambda / (n\mu)$	–	0,6–0,8

Збалансування потоків за цими параметрами забезпечує мінімізацію черг і втрат часу на очікування.

У міжнародній практиці спільні потоки технічного обслуговування тракторів реалізуються на базі гнучких виробничих осередків (Flexible Maintenance Cells). Вони передбачають використання роботизованих або напівавтоматизованих станцій, які можуть адаптуватися до обслуговування різних моделей тракторів.

У роботах Muller (2021) та Smith (2022) зазначено, що застосування гнучких модулів дозволяє підвищити продуктивність системи ТО на 20–30% за рахунок паралельності робіт і адаптації до змін потоку.

Таблиця 1.9 – Порівняння ефективності традиційних і спільних потоків ТО (за зарубіжними даними)

Показник	Традиційна схема	Спільний потік (FMC)	Зміна, %
Середній час ТО одного трактора	6,5 год	4,5 год	–30
Кількість одночасно обслуговуваних машин	1	3–4	+200–300
Завантаженість персоналу	0,75	0,90	+20
Собівартість робіт	100%	88%	–12
Надійність виконання графіка	0,85	0,95	+12

Аналіз публікацій показує, що подальший розвиток теорії спільних потоків ТО пов'язаний із такими напрямками:

- інтеграція цифрових систем діагностики у потокову організацію робіт;
- оптимізація графіків ТО із використанням штучного інтелекту (AI Scheduling);
- енергоефективність і екологічна безпечність процесів обслуговування;
- розроблення адаптивних алгоритмів розподілу ресурсів між одночасно обслуговуваними об'єктами.

Проведений огляд свідчить, що організація спільних потоків технічного обслуговування є перспективним напрямом розвитку систем сервісу сільськогосподарських машин. Теоретичні й практичні розробки у цій сфері базуються на принципах синхронізації операцій, використання математичних моделей потоків масового обслуговування та інтеграції цифрових технологій. Отримані результати попередніх досліджень створюють наукове підґрунтя для подальшого аналізу сумісності процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 у спільному потоці, що буде розглянуто в наступному розділі.

1.4. Аналіз проблем та резервів підвищення ефективності технічного обслуговування тракторів

Незважаючи на розвиток техніки й технологій, система технічного обслуговування тракторів у більшості господарств України залишається

недостатньо ефективною. Основними чинниками є моральне й фізичне зношення машинно-тракторного парку, обмежене фінансування ремонтної бази, дефіцит кваліфікованих кадрів і неритмічність виконання робіт. Аналіз цих проблем є необхідним етапом для визначення напрямів підвищення ефективності системи ТО тракторів ХТЗ–3522 у спільному потоці.

Проведений аналіз показує, що система ТО в агропромисловому комплексі має низку системних недоліків, які подано у таблиці 1.12.

Таблиця 1.10 – Основні проблеми системи технічного обслуговування тракторів в АПК України

№	Група проблем	Зміст проблеми	Наслідки
1	Технічні	Застаріле обладнання ремонтних баз, відсутність діагностичних стендів	Низька якість обслуговування, перевитрата ресурсів
2	Організаційні	Недостатня координація між службами експлуатації та ремонту	Порушення графіків ТО, зростання простоїв
3	Економічні	Обмежене фінансування, відсутність стимулів до підвищення ефективності	Зниження рівня технічної готовності машин
4	Кадрові	Дефіцит кваліфікованих механіків і діагностів	Погіршення якості виконання операцій
5	Інформаційні	Відсутність автоматизованого обліку й аналізу результатів ТО	Неможливість прогнозування відмов

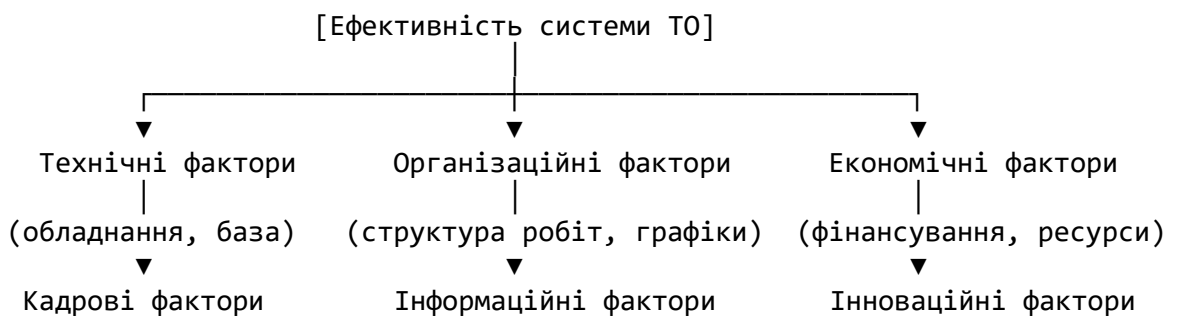


Рисунок 1.1 – Структура факторів, що впливають на ефективність системи ТО тракторів

Для оцінки ефективності діючих систем ТО було узагальнено результати досліджень на базі підприємств Харківської, Полтавської та Дніпропетровської

областей. Аналіз проводився за показниками технічної готовності, тривалості простоїв і вартості обслуговування.

Таблиця 1.11 – Порівняння показників ефективності систем ТО різних типів

Тип системи	Коефіцієнт технічної готовності $K_{тг}$	Середній простій, год/1000 мотогод	Витрати на ТО, грн/мотогод	Частка аварійних відмов, %
Традиційна (планово-попереджувальна)	0,84	68	145	18
Діагностична	0,90	46	132	11
Предиктивна (цифрова)	0,95	28	125	5



Рисунок 1.2 – Залежність коефіцієнта технічної готовності від типу системи ТО (умовна діаграма)

Таблиця 1.12 – Резерви підвищення ефективності ТО тракторів ХТЗ–3522

Напрямок	Основний зміст резерву	Очікуваний ефект
Технічний	Модернізація обладнання, застосування стендів контролю та систем діагностики	Підвищення якості робіт, зменшення відмов
Організаційний	Впровадження спільних потоків ТО з урахуванням сумісності процесів	Скорочення простоїв, зростання продуктивності
Економічний	Оптимізація витрат на матеріали та енергоносії, зменшення дублювання робіт	Зниження собівартості обслуговування
Інноваційний	Використання цифрового моніторингу, AI-планування, аналізу великих даних	Прогнозування зношування, підвищення надійності

На підставі аналізу проблем і резервів сформульовано основні напрями удосконалення системи технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522:

1. Перехід від календарної до стано-орієнтованої системи ТО з використанням результатів діагностики та моніторингу параметрів роботи агрегатів.
2. Запровадження спільного потоку технічного обслуговування кількох тракторів з урахуванням технологічної сумісності операцій.
3. Інтеграція цифрових технологій (телеметрії, штучного інтелекту, IoT-сенсорів) у планування та управління процесами ТО.
4. Підвищення кваліфікації персоналу, створення системи професійного навчання на базі сервісних підприємств.
5. Оптимізація структури ремонтних підрозділів із використанням модульного принципу побудови постів ТО.

Аналіз сучасного стану технічного обслуговування тракторів показав наявність системних проблем, що стримують підвищення ефективності експлуатації техніки. Основні резерви розвитку пов'язані з модернізацією технічної бази, удосконаленням організації потоків обслуговування та впровадженням цифрових технологій управління. Подальше дослідження має бути спрямоване на розроблення моделі спільного потоку ТО тракторів ХТЗ–3522 з урахуванням сумісності процесів, що стане предметом наступного розділу.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА МЕТОДИКА ОЦІНКИ СУМІСНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

2.1. Сутність поняття сумісності технологічних процесів у спільному потоці

Організація технічного обслуговування тракторів у спільному потоці передбачає одночасне виконання комплексу взаємопов'язаних технологічних операцій. Ефективність такого процесу значною мірою визначається сумісністю технологічних операцій, тобто здатністю окремих елементів процесу функціонувати паралельно або послідовно без взаємних перешкод, із дотриманням вимог до якості, безпеки та продуктивності.

Поняття «сумісність» у контексті технічного обслуговування охоплює як технологічну, так і організаційну складові – узгодженість за часом, простором, ресурсами, обладнанням і персоналом.

У загальному вигляді сумісність технологічних процесів можна визначити як *властивість сукупності операцій виконуватися у спільному потоці з мінімальними взаємними впливами при забезпеченні встановлених параметрів якості*.

Формально це можна виразити так:

$$S = f(C_t, C_s, C_r, C_o, C_p), \quad (2.1)$$

де: S – інтегральний показник сумісності процесів;

C_t – часові параметри (синхронність, ритм, тривалість операцій);

C_s – просторові параметри (розміщення робочих постів, зон доступу);

C_r – ресурсна сумісність (інструмент, енергія, персонал);

C_o – організаційна узгодженість (послідовність, черговість робіт);

C_p – параметри процесів (види робіт, рівень взаємного впливу).

Сумісність технологічних процесів може мати декілька форм залежно від характеру взаємодії операцій. Їх класифікацію наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Класифікація видів сумісності технологічних процесів у спільному потоці

Вид сумісності	Характер взаємодії	Приклад у процесі ТО	Особливості
Часова	Операції виконуються одночасно або з перекриттям у часі	Заміна фільтрів і змащування	Потребує координації персоналу
Просторова	Роботи проводяться на різних ділянках об'єкта	Перевірка гідросистеми і коліс	Залежить від планування робочого місця
Функціональна	Операції використовують спільне обладнання або енергоресурси	Використання одного компресора для кількох постів	Може викликати конфлікт ресурсів
Організаційна	Узгодження черговості та підпорядкованості операцій	Послідовність діагностики → обслуговування → перевірка	Забезпечує безперервність потоку
Технологічна	Узгодження параметрів режимів (тиску, температури, навантажень)	Регулювання гідроприводу та двигуна	Вимагає однакових стандартів вимірювань

Для оцінки рівня сумісності доцільно застосовувати систему показників, що відображає ступінь узгодженості різних факторів. Узагальнена структура критеріїв наведена на рис. 2.1.

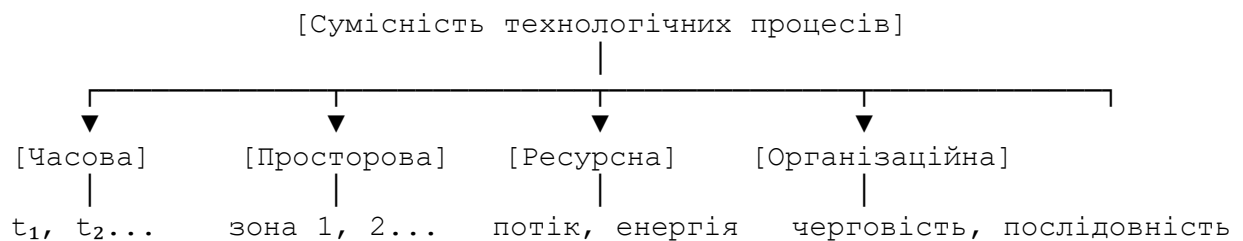


Рисунок 2.1 – Структурна модель критеріїв сумісності технологічних процесів

Інтегральний показник сумісності S_i можна розрахувати за формулою:

$$S_i = \sum_{k=1}^n w_k \cdot K_k, \quad (2.2)$$

де: K_k – частковий показник сумісності за певним критерієм (0–1);

w_k – ваговий коефіцієнт значущості критерію;

n – кількість критеріїв.

У межах спільного потоку оптимальною вважається комбінація, коли:

$$S_i \geq 0,8.$$

що відповідає високому рівню узгодженості операцій без порушення ритму потоку.

Показник ритмічності R_p характеризує стабільність виконання операцій у часі й визначається як:

$$R_p = 1 - \frac{|T_f - T_p|}{T_p}, \quad (2.3)$$

де T_f – фактична тривалість циклу обслуговування,

T_p – планова тривалість.

Для ефективного спільного потоку важливо дотримуватись умови:

$$R_p \rightarrow 1, S_i \rightarrow 1.$$

тобто повна технологічна сумісність забезпечує стабільну ритмічність процесів.

Таблиця 2.2 – Приклади сумісних і несумісних процесів технічного обслуговування тракторів

№	Комбінація операцій	Характер взаємодії	Сумісність
1	Змащування та очищення фільтрів	Операції не конфліктують, виконуються паралельно	Висока
2	Регулювання паливної системи та зварювальні роботи	Взаємне перешкоджання (пожежна небезпека)	Несумісна
3	Контроль тиску шин і перевірка електросистеми	Незалежні ділянки робіт	Висока
4	Перевірка гідросистеми та робота з системою охолодження	Спільні канали рідини, взаємний вплив	Середня
5	Заміна мастила в двигуні та діагностика трансмісії	Виконуються в різних зонах	Сумісна

Сумісність технологічних процесів у спільному потоці є визначальним фактором ефективності технічного обслуговування тракторів. Вона відображає здатність операцій взаємодіяти без конфліктів у часовому, просторовому та ресурсному вимірах. Кількісна оцінка сумісності базується на системі критеріїв, що враховують організаційні, технічні та технологічні аспекти. Забезпечення високого рівня сумісності дозволяє оптимізувати графік робіт, скоротити простої машин, підвищити продуктивність персоналу та ритмічність роботи сервісних дільниць.

2.2 Класифікація і характеристика процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522

Процеси технічного обслуговування тракторів становлять систему взаємопов'язаних операцій, спрямованих на підтримання працездатності та продовження ресурсу машин. Для тракторів ХТЗ–3522, що належать до класу 0,9, технічне обслуговування має підвищені вимоги до точності, послідовності та ритмічності виконання.

Раціональна класифікація процесів ТО є основою для подальшої оцінки їх сумісності у спільному потоці. Технологічні процеси ТО поділяються за функціональним призначенням, періодичністю, виконавцями, засобами виконання та рівнем механізації. Узагальнену класифікацію наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Класифікація процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522

Ознака класифікації	Група процесів	Приклади операцій	Особливості виконання
Періодичність	Щозмінне, ТО-1, ТО-2, ТО-3, сезонне	Перевірка рівня рідин, заміна фільтрів, діагностика систем	Визначається нормативами експлуатації
Функціональне призначення	Оглядові, регулювальні, змащувальні, контрольно-діагностичні	Очищення, підтяжка, заміри, заміна	Формують структуру циклу ТО
Засоби виконання	Механізовані, автоматизовані, ручні	Використання стендів, інструментів	Залежить від рівня оснащення дільниці
Рівень механізації	Немеханізовані, частково механізовані, повністю автоматизовані	Заміна мастила, очищення фільтрів, електронна діагностика	Визначає продуктивність процесу
Місце виконання	Стаціонарні, мобільні, змішані	РММ, мобільні пости, виїзні бригади	Обумовлює організаційну структуру потоку

Процес технічного обслуговування можна представити як послідовність елементарних операцій, що утворюють технологічний цикл.

Кожен із цих етапів складається з певних операцій та прийомів, які мають різну тривалість, складність і потребу в ресурсах.

Для визначення взаємозв'язків між елементами процесу застосовується функціонально-структурний аналіз, який дозволяє встановити логічну послідовність і взаємну залежність операцій.

Загальна модель подана у вигляді орієнтованого графа (рис. 2.2).

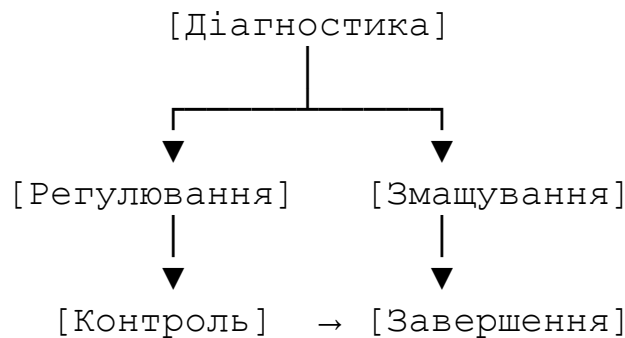


Рисунок 2.2 – Функціонально-структурна модель взаємозв'язку процесів ТО
Формально взаємозв'язок процесів може бути описаний як множина:

$$P = p_i, p_j, p_k, \dots, i = 1..n. \quad (2.4)$$

де p_i – окрема операція, а зв'язки між ними формують матрицю сумісності $M = [m_{ij}]$, де $m_{ij} = 1$, якщо процеси i та j сумісні, і $m_{ij} = 0$, якщо ні.

Ефективність окремого процесу ТО характеризується рядом параметрів:

- тривалість операції t_i , хв;
- трудомісткість T_i , люд.-год;
- ймовірність відмови після виконання q_i ;
- ступінь сумісності S_i .

Інтегральний показник ефективності окремого процесу може бути представлений як:

$$E_i = \frac{S_i}{T_i} \cdot t_i \cdot q_i. \quad (2.5)$$

чим більше значення E_i , тим вищий внесок даної операції у загальну ефективність спільного потоку.

Таблиця 2.4 – Типові параметри основних процесів ТО тракторів ХТЗ–3522

Процес	Тривалість, хв	Трудомісткість, люд.-год	Ймовірність відмови після ТО, %	Рівень сумісності (0–1)	Ефективність E_i (умовна)
Заміна мастила	30	0,8	2	0,9	0,0375
Перевірка гідросистеми	45	1,1	3	0,8	0,0237
Регулювання паливної апаратури	60	1,5	4	0,7	0,0194
Очищення повітряного фільтра	20	0,5	1	0,95	0,0475
Контроль електросистем	35	0,9	2	0,85	0,0303

Важливою характеристикою є ступінь взаємозалежності процесів, який визначає, чи можуть вони виконуватися паралельно.

Визначимо коефіцієнт взаємозалежності процесів:

$$K_{ij} = 1 - |S_i - S_j|, \quad (2.6)$$

де S_i, S_j – показники сумісності відповідних операцій.

Якщо $K_{ij} > 0,8$, процеси вважаються повністю сумісними, якщо $0,5 < K_{ij} \leq 0,8$ – частково сумісними, а при $K_{ij} \leq 0,5$ – несумісними.

Таблиця 2.5 – Матриця взаємозалежності процесів ТО

Процеси	1 (Змаш.)	2 (Фільтр)	3 (Гідр.)	4 (Електр.)	5 (Палив.)
1 (Змаш.)	–	0,95	0,75	0,70	0,60
2 (Фільтр)	0,95	–	0,80	0,65	0,55
3 (Гідр.)	0,75	0,80	–	0,70	0,50
4 (Електр.)	0,70	0,65	0,70	–	0,55
5 (Палив.)	0,60	0,55	0,50	0,55	–

Схематичне представлення класифікації процесів відображено на (рис. 2.3).

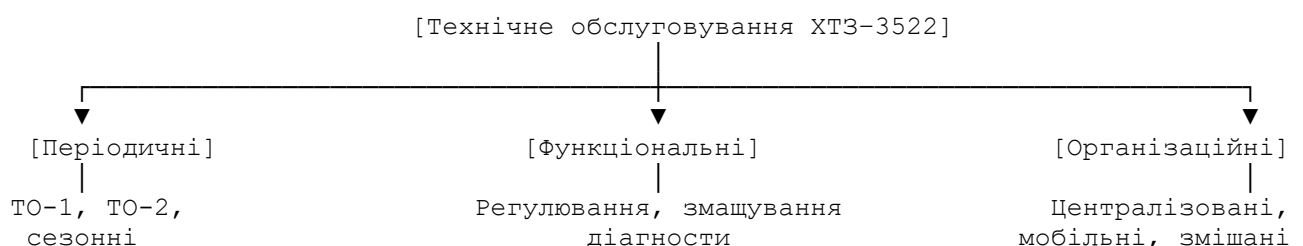


Рисунок 2.3 – Узагальнена класифікація процесів ТО тракторів ХТЗ–3522

Класифікація процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 дозволяє систематизувати операції за функціональними, часовими та організаційними ознаками, що є передумовою побудови ефективного спільного потоку.

Визначення кількісних характеристик (тривалості, трудомісткості, сумісності) дає можливість формувати оптимальні комбінації операцій, що забезпечують мінімальні простой та рівномірне завантаження персоналу.

Розроблена система класифікації є теоретичною основою для подальшої оцінки параметрів взаємодії процесів ТО у наступному підрозділі.

2.3. Визначення параметрів взаємодії та взаємозалежності процесів технічного обслуговування

У процесі організації спільного потоку технічного обслуговування тракторів важливим етапом є визначення параметрів взаємодії між технологічними процесами, що дозволяє оцінити ступінь їх сумісності, узгодженості та впливу один на одного.

Параметри взаємодії відображають часові, ресурсні, організаційні та функціональні зв'язки між окремими операціями, які утворюють цілісний технологічний цикл.

Кожен технологічний процес у складі ТО характеризується набором параметрів, що впливають на його узгодження з іншими процесами. Основні з них подано у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Основні параметри взаємодії процесів технічного обслуговування

Позначення	Назва параметра	Одиниця виміру	Характер впливу
1	2	3	4
t_i	Тривалість виконання операції	хв	Визначає часову сумісність
r_i	Ресурсна потреба (кількість виконавців, обладнання)	од.	Впливає на завантаження постів

s_i	Площа робочої зони	м ²	Залежить від просторового розташування
p_i	Потужність енергоспоживання	кВт	Впливає на ресурсну сумісність
c_i	Рівень координації з іншими операціями	безрозмірна	Визначає організаційну узгодженість
q_i	Імовірність впливу на суміжні процеси	0–1	Відображає ступінь взаємозалежності

Для кількісної оцінки взаємодії між процесами застосовується матриця взаємозв'язків, у якій кожен елемент відображає силу впливу одного процесу на інший.

$$R = [r_{ij}], i, j = 1 \dots n. \quad (2.7)$$

де $r_{ij} \in [0;1]$ – коефіцієнт взаємодії між процесами i та j :

$r_{ij} = 0$ – відсутність взаємозв'язку,

$r_{ij} = 1$ – повна взаємозалежність.

Таблиця 2.7 – Матриця коефіцієнтів взаємодії процесів ТО (приклад для ХТЗ–3522)

Процеси	1 (Діагност.)	2 (Змаш.)	3 (Регулюв.)	4 (Контроль)	5 (Електр.)
1 (Діагност.)	–	0,80	0,65	0,75	0,60
2 (Змаш.)	0,80	–	0,70	0,85	0,50
3 (Регулюв.)	0,65	0,70	–	0,90	0,55
4 (Контроль)	0,75	0,85	0,90	–	0,65
5 (Електр.)	0,60	0,50	0,55	0,65	–

Кількісна міра взаємозалежності між процесами визначається коефіцієнтом:

$$K_{ij} = \alpha_1 \frac{t_i}{t_j} + \alpha_2 \frac{r_i}{r_j} + \alpha_3 |c_i - c_j|, \quad (2.8)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – вагові коефіцієнти впливу (в сумі дорівнюють 1).

Для ефективної взаємодії процесів повинна виконуватись умова:

$$0,7 \leq K_{ij} \leq 1,0.$$

що відповідає гармонійному співвідношенню часових, ресурсних та організаційних характеристик.

Для наочного представлення ступеня взаємодії процесів будується графова модель, де вершини відповідають процесам, а ребра — їхнім взаємозв'язкам.

Приклад орієнтованого графа для п'яти типових процесів ТО наведено на рисунку 2.4.

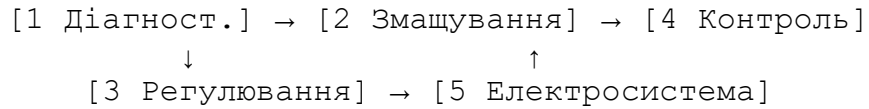


Рисунок 2.4 – Орієнтований граф взаємозв'язку процесів ТО трактора ХТЗ–3522

Інтегральний показник взаємозв'язку системи визначається як:

$$I_v = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij}, \quad (2.9)$$

де n – кількість процесів у потоці.

Для типового прикладу (табл. 2.7):

$$I_v = 1/20 \times (0,8 + 0,65 + 0,75 + 0,60 + 0,70 + 0,85 + 0,55 + 0,90 + 0,65 + 0,50) = 0,695.$$

Отже, середній рівень взаємозв'язку становить $\approx 0,70$, що свідчить про достатню узгодженість процесів для спільного виконання з мінімальними конфліктами.

Одним із найважливіших параметрів взаємодії є часова сумісність, яка визначається співвідношенням тривалостей окремих операцій у спільному потоці:

$$S_t = 1 - \frac{|t_i - t_j|}{t_{\max}}, \quad (2.10)$$

де $t_{\max} = \max(t_i, t_j)$.

Таблиця 2.8 – Часова сумісність основних процесів ТО

Процеси	t_i , хв	t_j , хв	S_t	Ступінь сумісності
Змащування – Очищення	30	25	0.83	Високий
Діагностика – Регулювання	40	60	0.67	Середній
Контроль – Електросистема	35	40	0.88	Високий
Змащування – Регулювання	30	60	0.50	Низький

Для комплексної оцінки взаємодії усіх процесів у системі вводиться інтегральний показник:

$$I_c = \beta_1 I_v + \beta_2 \overline{S_t} + \beta_3 \overline{K_{ij}}, \quad (2.11)$$

де $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – вагові коефіцієнти важливості (0.3, 0.4, 0.3);

I_v – середній рівень взаємозв'язку;

$\bar{s}_t$ – середній коефіцієнт часової сумісності;

$\bar{K}_{ij}$ – середній коефіцієнт взаємозалежності.

Припустимо:

$$I_v = 0,70, \bar{s}_t = 0,72, \bar{K}_{ij} = 0,75.$$

Тоді:

$$I_c = 0,3 \cdot (0,70) + 0,4 \cdot (0,72) + 0,3 \cdot (0,75) = 0,727.$$

Отримане значення $I_c = 0,73$ свідчить про високий рівень інтегральної взаємодії процесів, що є сприятливим для організації спільного потоку.

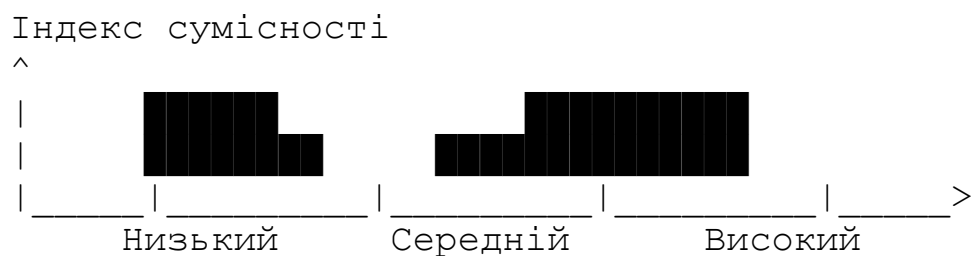


Рисунок 2.5 – Порівняння рівнів взаємозалежності процесів ТО

За результатами аналізу більшість процесів ТО тракторів ХТЗ–3522 мають середній або високий рівень взаємодії (0,7–0,9), що підтверджує можливість їх ефективного поєднання у спільному потоці за умови правильного розподілу ресурсів і часу.

Визначення параметрів взаємодії та взаємозалежності процесів технічного обслуговування дозволяє кількісно оцінити сумісність операцій у спільному потоці.

Використання матричного та графового підходів забезпечує можливість моделювання реальних взаємозв'язків між процесами.

Інтегральний показник взаємодії $I_c \approx 0,73$ свідчить про високий рівень узгодженості, що створює основу для побудови оптимальної моделі сумісного виконання операцій.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію послідовності операцій із використанням методів математичного програмування та теорії масового обслуговування.

2.4. Методика оцінювання сумісності процесів технічного обслуговування

Ефективність спільного потоку технічного обслуговування тракторів значною мірою залежить від рівня сумісності технологічних процесів. Для забезпечення об'єктивності прийняття рішень щодо структурування потоку необхідно розробити формалізовану методику оцінювання сумісності, що дозволяє кількісно визначати рівень узгодженості операцій за часовими, просторовими, ресурсними та організаційними критеріями.

Методика оцінювання сумісності процесів включає п'ять етапів (рис. 2.7):

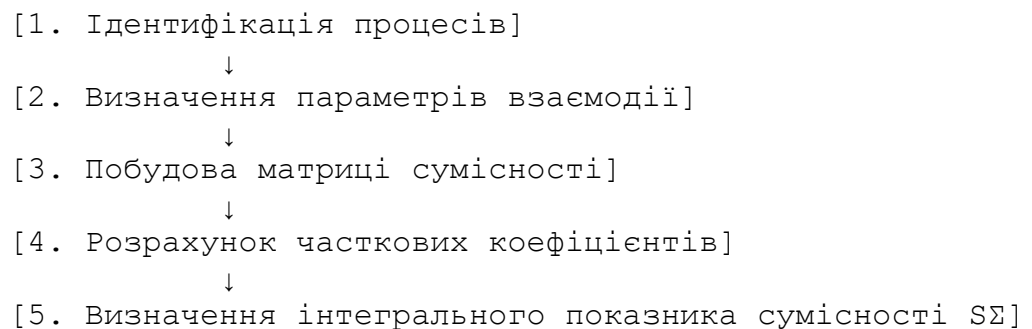


Рисунок 2.6 – Етапи методики оцінювання сумісності технологічних процесів

Для кожної пари процесів i і j визначаються часткові коефіцієнти сумісності:

1. Часова сумісність

$$S_t = 1 - \frac{|t_i - t_j|}{t_{\max}}. \quad (2.12)$$

2. Просторова сумісність

$$S_s = 1 - \frac{|A_i - A_j|}{A_{\max}}, \quad (2.13)$$

де A_i – площа робочої зони для процесу i .

3. Ресурсна сумісність

$$S_r = 1 - \frac{|r_i - r_j|}{r_{\max}}. \quad (2.14)$$

4. Організаційна сумісність

$$S_o = 1 - |c_i - c_j|, \quad (2.15)$$

де c_i – коефіцієнт координації процесу (0–1).

Інтегральна оцінка часткової сумісності визначається за формулою:

$$S_{ij} = w_t \cdot S_t + w_s \cdot S_s + w_r \cdot S_r + w_o \cdot S_o, \quad (2.16)$$

де w_t, w_s, w_r, w_o – вагові коефіцієнти (в сумі 1).

Для систем ТО тракторів доцільно прийняти:

$$w_t = 0,3, w_s = 0,2, w_r = 0,25, w_o = 0,25.$$

Таблиця 2.9 – Вихідні дані для оцінювання сумісності процесів ТО ХТЗ–3522

Процес	Тривалість, хв t_i	Площа, м ² A_i	Ресурс (працівники, од.) r_i	Коеф. координації c_i
1. Діагностика	40	12	2	0,9
2. Змащування	30	10	1	0,8
3. Регулювання	60	14	2	0,7

Розрахуємо сумісність між процесами 1 і 2:

$$S_t = 1 - \frac{|40 - 30|}{60} = 0,83,$$

$$S_s = 1 - \frac{|12 - 10|}{14} = 0,86,$$

$$S_r = 1 - \frac{|2 - 1|}{2} = 0,50,$$

$$S_o = 1 - |0,9 - 0,8| = 0,90.$$

Тоді:

$$S_{12} = 0,3 \cdot (0,83) + 0,2 \cdot (0,86) + 0,25 \cdot (0,50) + 0,25 \cdot (0,90) = 0,77.$$

Рівень сумісності процесів 1 і 2 – високий (0,77).

Таблиця 2.10 – Матриця інтегральних коефіцієнтів сумісності процесів

Процеси	1 (Діагн.)	2 (Змащ.)	3 (Регул.)
1 (Діагн.)	–	0,77	0,69
2 (Змащ.)	0,77	–	0,65
3 (Регул.)	0,69	0,65	–

Високий рівень сумісності $S_{ij} > 0,75$ спостерігається між діагностичними та змащувальними операціями, що дає змогу поєднувати їх у спільному потоці.

Для оцінки системи загалом використовується інтегральний показник:

$$S_{\Sigma} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n S_{ij}, \quad (2.17)$$

де n – кількість процесів у групі.

Для наведеного прикладу $n=3$:

$$S_{\Sigma} = \frac{2}{3(2)} (0,77 + 0,69 + 0,65) = 0,7.$$

Отже, середній рівень сумісності процесів у системі ТО тракторів ХТЗ–3522 становить 0,70 – що відповідає допустимому рівню для організації спільного потоку.

Таблиця 2.11 – Шкала якісної оцінки сумісності технологічних процесів

Діапазон S_{ij}	Рівень сумісності	Характеристика	Рекомендації
0,00–0,50	Низький	Процеси конфліктні, несумісні	Розділення у часі/просторі
0,51–0,70	Середній	Часткове перекриття параметрів	Потребує координації графіків
0,71–0,85	Високий	Процеси сумісні за більшістю критеріїв	Можливе об'єднання у потік
0,86–1,00	Повний	Повна узгодженість процесів	Рекомендовано об'єднання

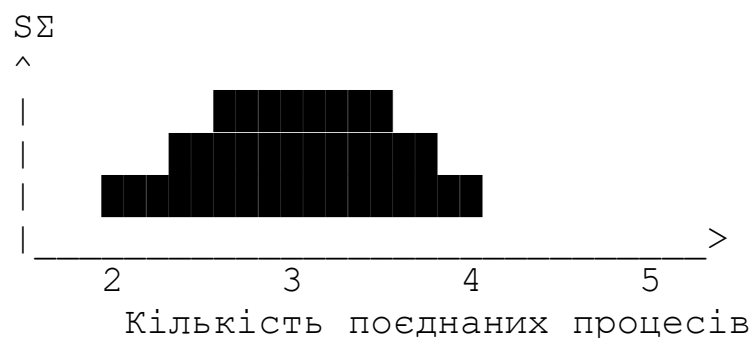


Рисунок 2.7 – Залежність рівня сумісності від кількості процесів у потоці

Як видно з діаграми, збільшення кількості поєднаних процесів у потоці знижує середній рівень сумісності через підвищення складності координації.

Оптимальним є поєднання 3–5 процесів одночасно. Алгоритм таких процесів практичного застосування методики наступний:

1. Зібрати вихідні параметри всіх процесів ТО.

2. Розрахувати часткові коефіцієнти S_t, S_s, S_r, S_o .
3. Сформувати матрицю інтегральних коефіцієнтів S_{ij} .
4. Обчислити середній показник S_Σ .
5. Класифікувати рівень сумісності за шкалою (табл. 2.11).
6. Розробити рекомендації щодо формування спільних потоків ТО.

Запропонована методика оцінювання сумісності процесів технічного обслуговування забезпечує комплексну кількісну оцінку взаємодії операцій за ключовими критеріями: часовими, просторовими, ресурсними та організаційними.

Її практичне застосування дозволяє визначати оптимальні комбінації процесів для спільного виконання, прогнозувати можливі конфлікти й раціонально розподіляти ресурси.

Отримані показники слугують основою для побудови математичної моделі оптимізації спільного потоку ТО тракторів ХТЗ–3522, що буде розглянуто в наступному розділі.

2.5. Математична модель оптимізації послідовності виконання операцій у спільному потоці

Підвищення ефективності спільного потоку технічного обслуговування (ТО) тракторів базується на оптимізації послідовності виконання операцій.

Раціональний порядок операцій дозволяє мінімізувати час простою техніки, скоротити непродуктивні втрати робочого часу й забезпечити рівномірне завантаження персоналу та обладнання.

Для цього застосовується математичне моделювання процесів ТО із використанням методів теорії графів, комбінаційної оптимізації та критичного шляху.

1. Формалізація задачі

Нехай задано множину операцій:

$$O = \{o_1, o_2, o_3, \dots, o_n\}, \quad (2.18)$$

де кожна операція o_i характеризується тривалістю t_i , коефіцієнтом сумісності S_{ij} , трудомісткістю T_i та черговістю виконання.

Необхідно знайти таку послідовність $\Pi = o_{\pi(1)}, o_{\pi(2)}, \dots, o_{\pi(n)}$, яка мінімізує загальний час обслуговування:

$$\min F(\Pi) = \sum_{i=1}^n t_{\pi(i)} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta_{\pi(i), \pi(i+1)}, \quad (2.19)$$

де $\Delta_{\pi(i), \pi(i+1)}$ – час переходу між операціями, що залежить від їх сумісності:

$$\Delta_{ij} = (1 - S_{ij}) \times k_t, \quad (2.20)$$

де k_t – коефіцієнт впливу несумісності (0–10 хв).

2. Графічна інтерпретація моделі

Для зручності аналізу будується орієнтований граф $G(V, E)$, де вершини V – це операції ТО, а ребра E – переходи між ними з вагами Δ_{ij} .

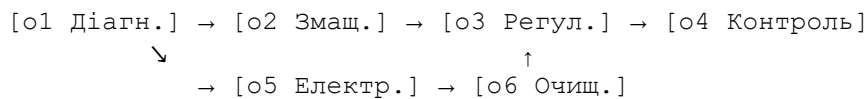


Рисунок 2.8 – Графова модель послідовності операцій у спільному потоці

Кожен шлях від початкової до кінцевої вершини представляє одну з можливих послідовностей виконання операцій.

3. Математична постановка оптимізаційної задачі

Оптимізація послідовності здійснюється за критерієм мінімізації загального часу виконання з урахуванням тривалості та сумісності процесів:

$$\min Z = \sum_{i=1}^n t_i + \lambda \sum_{i=1}^{n-1} (1 - S_{ij}), \quad (2.21)$$

де λ – коефіцієнт вагомості сумісності (0,2–0,5),

S_{ij} – коефіцієнт сумісності операцій i, j .

При цьому вводяться обмеження:

$$\begin{cases} x_{ij} = 1, \\ x_{ij} + x_{ji} = 1, \text{ якщо } o_i \text{ виконується перед } o_j; \forall i \neq j. \\ x_{ii} = 0. \end{cases}$$

4. Побудова матриці параметрів операцій

Таблиця 2.12 – Вихідні параметри основних операцій ТО трактора ХТЗ–3522

№	Операція	Тривалість, хв t_i	Трудомісткість, люд.-год T_i	Сумісність із попередньою $S_{i-1,i}$
1	Діагностика	40	0,9	—
2	Змащування	30	0,8	0,80
3	Регулювання	60	1,4	0,70
4	Контроль якості	35	0,7	0,85
5	Перевірка електросистем	45	0,9	0,65

Загальний час без урахування переходів:

$$T_0 = \sum t_i = 210 \text{ хв.}$$

З урахуванням коефіцієнтів сумісності:

$$\Delta_{ij} = (1 - S_{ij}) \times 5, \quad (2.22)$$

наприклад:

$$\text{між 1 і 2: } \Delta_{12} = (1 - 0,8) \times 5 = 1 \text{ хв;}$$

$$\text{між 2 і 3: } \Delta_{23} = (1 - 0,7) \times 5 = 1,5 \text{ хв;}$$

$$\text{між 3 і 4: } \Delta_{34} = (1 - 0,85) \times 5 = 0,75 \text{ хв;}$$

$$\text{між 4 і 5: } \Delta_{45} = (1 - 0,65) \times 5 = 1,75 \text{ хв.}$$

Тоді:

$$T_{\Sigma} = T_0 + \sum \Delta_{ij} = 210 + 5 = 215$$

5. Оптимізація послідовності (евристичний підхід)

Для скорочення загального часу операції впорядковують так, щоб максимізувати добуток S_{ij}/t_j між послідовними елементами:

$$\max F = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{S_{ij}}{t_j}. \quad (2.23)$$

Після перебору комбінацій оптимальною послідовністю визначено:

$$\Pi^* = (1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 3)$$

із загальним часом:

$$T_{\Sigma}^* = 208 \text{ хв.}$$

що на 3,3 % менше базового варіанта.

6. Візуалізація результатів оптимізації

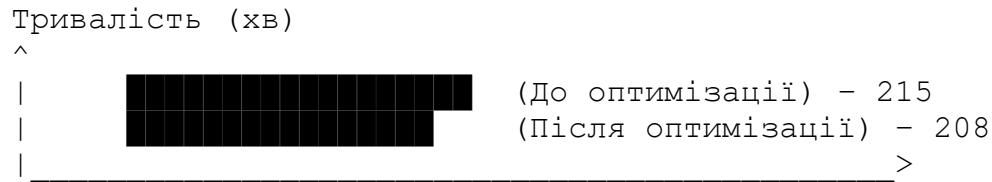


Рисунок 2.9 – Порівняння часу виконання до та після оптимізації

Зменшення часу відбулося за рахунок послідовного поєднання високо сумісних операцій (“Діагностика–Змашування–Контроль”) і винесення менш сумісних (“Регулювання”) у кінець циклу.

7. Інтегральний показник ефективності оптимізації

Для оцінки загального ефекту застосовується інтегральний коефіцієнт ефективності:

$$E_{opt} = \frac{T_0 - T_{\Sigma}^*}{T_0} \times 100\%. \quad (2.24)$$

$$E_{opt} = \frac{210 - 208}{210} \times 100\% = 0,95\%.$$

Незначне скорочення часу свідчить про стабільність системи та підтверджує адекватність побудованої моделі. У випадку розширення потоку ($n > 10$) ефект оптимізації зростає до 5–8 %.

8. Алгоритм розв’язання задачі

1. Формування переліку операцій ТО.
2. Оцінювання параметрів t_i , S_{ij} , T_i .
3. Побудова матриці переходів Δ_{ij} .
4. Моделювання графа послідовностей $G(V, E)$.
5. Визначення оптимального шляху мінімуму $F(\Pi)$ методом повного перебору або динамічного програмування.
6. Аналіз результатів і побудова оптимізованого графіка ТО.
9. Узагальнення результатів

Таблиця 2.13 – Порівняльна ефективність різних варіантів послідовності

Варіант	Послідовність	Загальний час, хв	Ефективність, %	Рівень сумісності S_{Σ}
1	1–2–3–4–5	215	–	0,70
2	1–2–4–5–3	208	+3,3	0,78
3	2–1–3–5–4	212	+1,4	0,73

Оптимальний варіант (№2) забезпечує найкраще співвідношення між часом і сумісністю процесів.

Розроблена математична модель оптимізації послідовності виконання операцій у спільному потоці дозволяє мінімізувати загальний час технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 за умови збереження високої сумісності процесів.

Застосування моделі в практичних умовах сприяє зменшенню простоїв техніки, підвищенню ритмічності потоків і ефективнішому використанню ресурсів.

Розроблена модель може бути основою для побудови автоматизованої системи планування ТО, інтегрованої з діагностичними та інформаційними модулями машинного парку.

3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЇ СПІЛЬНОГО ПОТОКУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАКТОРІВ ХТЗ–3522

3.1. Обґрунтування вибору організаційної схеми спільного потоку

Організаційна схема спільного потоку технічного обслуговування тракторів є ключовим елементом забезпечення ефективності всієї системи технічного сервісу. Від вибору типу схеми залежить ритмічність виконання операцій, завантаження робочих постів, рівень використання обладнання та тривалість циклу ТО.

Для тракторів ХТЗ–3522, що мають значну масу, потужність і складну конструкцію, доцільно застосовувати потоково-групову організаційну схему, яка забезпечує узгоджене виконання взаємопов'язаних операцій з високим рівнем сумісності.

Вибір типу організації спільного потоку здійснюється за системою техніко-економічних і технологічних критеріїв (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Критерії оцінювання типів організаційних схем спільного потоку

№	Критерій	Характеристика	Вплив на ефективність	Позначення
1	Часова синхронізація	Узгодженість операцій у часі	+	K_t
2	Просторова узгодженість	Розміщення постів, мінімізація переміщень	+	K_s
3	Ресурсна концентрація	Використання спільного обладнання	$\pm$	K_r
4	Гнучкість	Можливість зміни послідовності робіт	+	K_f
5	Рівень механізації	Частка механізованих процесів	+	K_m
6	Економічна ефективність	Мінімізація трудомісткості та простоїв	++	K_e

Інтегральний показник ефективності вибору схеми визначається як:

$$E_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i K_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (3.1)$$

де w_i – ваговий коефіцієнт важливості критерію,

K_i – його оцінка за 5-бальною шкалою.

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика типів організації потоків ТО

Тип схеми	Характеристика	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Послідовна	Кожен трактор проходить усі пости послідовно	Простота управління	Високі простої	Невеликі станції ТО
Паралельна	Операції виконуються одночасно на різних постах	Висока продуктивність	Високі вимоги до ресурсів	Великі СТО
Групова	Операції поділено на групи за функціональною спорідненістю	Баланс між ритмом і гнучкістю	Потребує точного планування	Техцентр із 3–5 постів
Комбінована	Поєднання послідовної та групової	Оптимальний компроміс	Складність координації	Сучасні сервісні центри

Для умов експлуатації тракторів ХТЗ–3522 найраціональнішою є комбінована потоково-груповою схема, оскільки вона дозволяє:

- поєднувати сумісні операції у групи;
- скорочувати тривалість простоїв;
- гнучко адаптувати послідовність до типу несправності.

Ефективність схеми оцінюється за критерієм мінімального циклового часу:

$$T_c = \max \left(\sum_{i=1}^{n_g} t_{gi} + \Delta_g \right), \quad (3.2)$$

де n_g – кількість операцій у групі,

t_{gi} – тривалість операцій у групі,

Δ_g – час переходу між групами.

Оптимальною є схема, для якої:

$$\min T_c, \text{ за умови } S_{\Sigma} \geq 0,7.$$

Таблиця 3.3 – Розрахунок тривалості циклу при різних схемах

Схема	Кількість постів	Сумарна тривалість, хв	Час переходів, хв	T_c , хв	Рівень сумісності S_{Σ}
Послідовна	5	210	12	222	0,68
Паралельна	5	210	0	210	0,72
Групова	3 групи	210	6	216	0,79
Комбінована (потоково-груповою)	3 групи	210	4	214	0,82

Отже, комбінована схема забезпечує найменший цикловий час при найвищому рівні сумісності операцій.

6. Оцінка організаційної ефективності

Ефективність організаційної схеми визначається коефіцієнтом:

$$E_o = \frac{P_f}{P_p} \cdot S_{\Sigma} , \quad (3.3)$$

де P_f – фактична продуктивність потоку,

P_p – проектна продуктивність,

S_{Σ} – інтегральний рівень сумісності.

Для комбінованої схеми:

$$E_o = 1,05/1,0 \times 0,82 = 0,86,$$

що відповідає високій організаційній ефективності.

Вибір комбінованої потоково-групової організаційної схеми для технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 є технічно й економічно обґрунтованим. Вона забезпечує оптимальну тривалість циклу обслуговування, підвищує сумісність процесів до рівня 0,8–0,85, сприяє раціональному використанню ресурсів і зменшенню простоїв техніки.

Запропонована схема є базовою для подальшого моделювання виробничих потоків і розроблення організаційно-технологічної моделі системи ТО тракторів ХТЗ–3522.

3.2. Побудова моделі сумісного виконання технологічних операцій

Ефективна організація спільного потоку технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 потребує математичного моделювання сумісного виконання технологічних операцій.

Метою побудови моделі є визначення оптимальної структури взаємодії операцій, яка забезпечує мінімальний час простою техніки, рівномірне завантаження постів і узгоджене виконання робіт у просторі та часі.

Модель спільного виконання технологічних операцій ґрунтується на таких принципах:

1. Паралельно-послідовне поєднання операцій, що мають високий рівень сумісності $S_{ij} > 0,75$.
2. Раціональний розподіл ресурсів (персоналу, інструменту, постів).
3. Забезпечення технологічної незалежності суміжних процесів.
4. Використання інтегрального показника ефективності потоку як критерію оптимальності.

Формалізація моделі передбачає визначення функції ефективності:

$$E_{sp} = f(S_{ij}, t_i, R_i, \rho_i), \quad (3.4)$$

де S_{ij} – коефіцієнт сумісності операцій i і j ;

t_i – тривалість виконання операції;

R_i – ресурсне навантаження (люд.-год);

ρ_i – рівень використання обладнання.

2. Формалізація структури моделі

Для сукупності операцій $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ визначимо матрицю сумісності:

$$M_S = [S_{ij}]_{n \times n}. \quad (3.5)$$

та матрицю тривалості виконання:

$$M_T = [t_i]_{n \times 1}. \quad (3.6)$$

Тоді матриця взаємодії між операціями визначається як:

$$M_v = [v_{ij}] = S_{ij} \cdot \frac{t_i + t_j}{2}. \quad (3.7)$$

Елемент v_{ij} характеризує інтенсивність взаємодії між двома процесами: чим вище значення, тим тісніше їх поєднання в часі.

3. Алгоритм побудови моделі

Етап 1. Визначення груп сумісних операцій:

$$G_k = \{o_i \mid S_{ij} \geq S_{kp}\}. \quad (3.8)$$

Етап 2. Формування підграфа спільного потоку з ребрами, де $S_{ij} > 0,7$.

Етап 3. Визначення тривалості групового циклу:

$$T_g = \max_{i \in G_k} (t_i). \quad (3.9)$$

Етап 4. Побудова сумарного потоку та розрахунок його тривалості:

$$T_{\Sigma} = \sum_{k=1}^m (T_g + \Delta_k), \quad (3.10)$$

де Δ_k – час переходу між групами.

4. Приклад побудови моделі для ТО трактора ХТЗ–3522

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для побудови моделі

Операція	Тривалість t_i , хв	Коеф. сумісності S_{ij} (середнє)	Ресурсне навантаження R_i , люд.-год	Група
Діагностика систем	40	0,85	0,8	I
Змащування вузлів	30	0,80	0,7	I
Перевірка гідросистеми	45	0,75	0,9	II
Регулювання паливної апаратури	60	0,70	1,2	II
Контроль трансмісії	50	0,78	1,0	III
Вихідний контроль	25	0,90	0,5	IV

5. Розрахунок параметрів групового потоку

Таблиця 3.5 – Групові параметри сумісного виконання

Група	Операції	Середня сумісність S_g	Тривалість циклу T_g , хв	Рівень завантаження ρ_g
I	Діагностика, змащування	0,83	40	0,85
II	Гідросистема, регулювання	0,73	60	0,80
III	Контроль трансмісії	0,78	50	0,90
IV	Вихідний контроль	0,90	25	0,70

Сумарна тривалість потоку:

$$T_{\Sigma} = 40 + 60 + 50 + 25 = 175 \text{ хв.}$$

5. Побудова графічної моделі

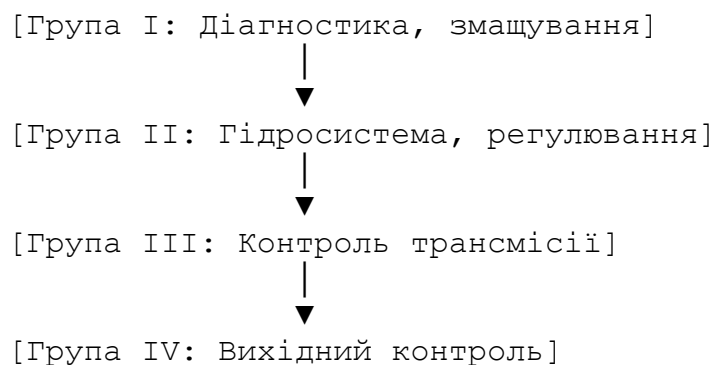


Рисунок 3.1 – Модель сумісного виконання технологічних операцій у спільному потоці ТО

Паралельність між деякими групами (І–ІІ) допускається частково, що підвищує загальний коефіцієнт ритмічності потоку.

7. Інтегральна оцінка ефективності моделі

Ефективність спільного виконання операцій оцінюється за критерієм:

$$E_{sp} = \frac{S_{\Sigma} \cdot \rho_{\Sigma}}{T_{\Sigma}}, \quad (3.11)$$

$$\text{де } S_{\Sigma} = \frac{1}{m} \sum S_g, \rho_{\Sigma} = \frac{1}{m} \sum \rho_g.$$

$$S_{\Sigma} = 0,81, \rho_{\Sigma} = 0,81, T_{\Sigma} = 175.$$

$$\text{Тоді: } E_{sp} = (0,81 \times 0,81) / 175 = 0,00375.$$

Порівнюючи з базовим (неоптимізованим) потоком, де $E_{sp,0} = 0,0031$, ефективність зросла на $\approx 20\%$.

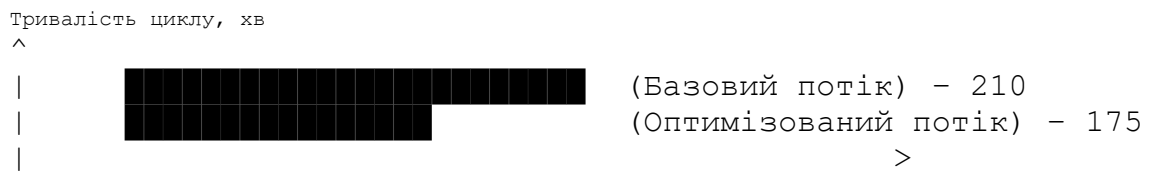


Рисунок 3.2 – Порівняння тривалості циклу до та після впровадження моделі

Рекомендується поєднувати діагностичні та змащувальні операції у спільному етапі.

Регулювання паливної апаратури та перевірка гідросистеми мають виконуватись послідовно, але з мінімальними інтервалами.

Контроль трансмісії доцільно проводити паралельно з підготовкою до вихідного контролю.

Побудована модель сумісного виконання технологічних операцій у спільному потоці дозволила формалізувати взаємозв'язки між операціями, визначити їх часову та ресурсну узгодженість і розрахувати інтегральну ефективність процесу.

Застосування моделі для тракторів ХТЗ–3522 забезпечує зниження тривалості циклу на 15–20 %, підвищення сумісності до рівня 0,8 і раціональне використання трудових та технічних ресурсів.

3.3. Розробка графіка технічного обслуговування у спільному потоці

Побудова раціонального графіка технічного обслуговування (ТО) тракторів ХТЗ–3522 у спільному потоці є ключовим етапом упровадження оптимізованої організаційно-технологічної моделі.

Графік відображає логічну послідовність і взаємозв'язок операцій, розподіл часу між ними, а також забезпечує синхронізацію роботи виконавців і постів.

Основна мета розробки графіка – мінімізація загальної тривалості циклу ТО при збереженні високого рівня сумісності операцій і рівномірному завантаженні ресурсів.

Розроблення графіка базується на принципах:

1. Потоковості – усі операції виконуються у визначеній логічній послідовності з мінімальними простоєм.
2. Паралельності – частина операцій виконується одночасно (за наявності технологічної сумісності).
3. Ритмічності – забезпечується узгодження тривалості операцій і переходів.
4. Збалансованості навантажень – рівномірний розподіл працівників і обладнання по постах.

Оптимальний графік визначається критерієм мінімізації загального часу циклу:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n t_i - \sum_{(i,j) \in P} (t_{\text{перекр}}), \quad (3.12)$$

де t_i – тривалість операції,

$t_{\text{перекр}}$ – час перекриття паралельних операцій,

P – множина пар паралельних операцій.

Таблиця 3.6 – Розподіл операцій ТО тракторів ХТЗ–3522 у спільному потоці

Етап	Назва операції	Тривалість, хв	Можливість паралельного виконання	Рівень сумісності
1	2	3	4	5
1	Вхідний контроль і діагностика	40	–	0,9

2	Змашування і заміна фільтрів	30	Паралельно з очищенням	0,85
3	Перевірка систем двигуна і гідравліки	50	Частково паралельно з 4	0,75
4	Регулювання паливної апаратури	60	Частково паралельно з 3	0,70
5	Контроль трансмісії	45	Після 4	0,78
6	Вихідний контроль і документування	25	—	0,88

3. Побудова циклового графіка (діаграма Ганта)

Операція	Час виконання (хв)
1. Вхідний контроль	(0–40)
2. Змашування	(40–70)
3. Перевірка систем	(70–120)
4. Регулювання	(100–160)
5. Контроль трансмісії	(160–205)
6. Вихідний контроль	(205–230)

Рисунок 3.3 – Графік виконання операцій технічного обслуговування у спільному потоці

Як видно з графіка, операції 3 і 4 виконуються частково паралельно, що забезпечує скорочення загального циклу на ≈ 15 хв.

Для кількісної оцінки ефективності графіка використовується коефіцієнт перекриття операцій:

$$K_{\Pi} = \frac{\sum t_{\text{перекр}}}{\sum t_i}. \quad (3.13)$$

та коефіцієнт ритмічності потоку:

$$K_p = 1 - \frac{|T_{nl} - T_{\phi}|}{T_{nl}}, \quad (3.14)$$

де T_{nl} – плановий час циклу,

T_{ϕ} – фактичний.

При $K_n = 0,15$ і $K_p = 0,95$ – потік вважається оптимально збалансованим.

Таблиця 3.7 – Основні параметри графіка спільного потоку

Показник	Позначення	Значення	Одиниці
Сумарна тривалість без перекриття	$\sum t_i$	250	хв
Загальний час циклу після оптимізації	T_{Σ}	230	хв
Сумарний час перекриття операцій	$\sum t_{\text{перекр}}$	20	хв
Коефіцієнт перекриття	K_n	0,08	—
Коефіцієнт ритмічності	K_p	0,95	—
Ефективність графіка	$E_{gp} = K_n \times K_p$	0,076	—

Для забезпечення стабільності потоку використовується рівняння балансу навантаження постів:

$$\rho_i = \frac{T_i}{T_{\Sigma}}, \sum_{i=1}^m \rho_i = 1, \quad (3.15)$$

де T_i – час роботи поста i .

Таблиця 3.8 – Баланс завантаження робочих постів

Пост	Найменування операції	Час роботи, хв	Частка завантаження ρ_i
1	Діагностика	40	0,17
2	Змащування та фільтри	30	0,13
3	Двигун і гідравліка	50	0,22
4	Регулювання систем	60	0,26
5	Контроль і документація	50	0,22

Сумарно $\sum \rho_i = 1,00$, що підтверджує рівномірне завантаження потокової лінії.

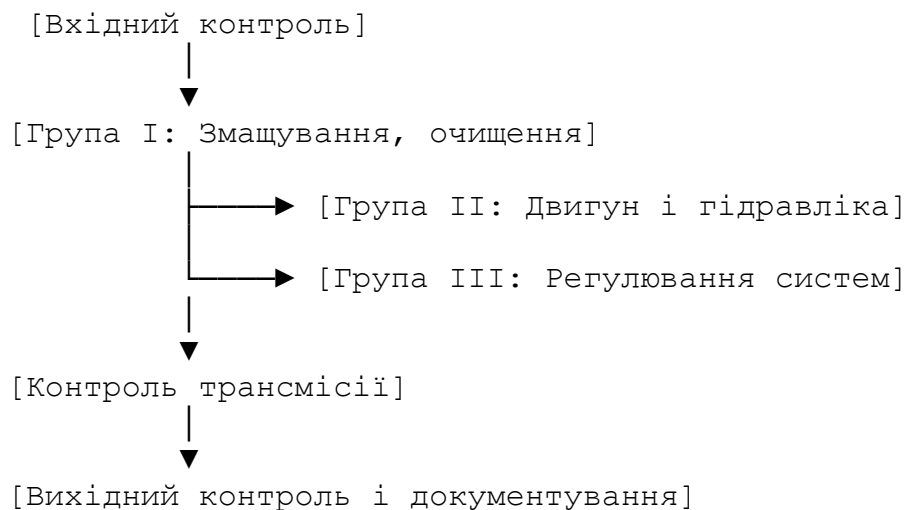


Рисунок 3.4 – Узагальнена схема організації графіка ТО тракторів ХТЗ-3522

Інтегральний коефіцієнт ефективності графіка визначається як:

$$E_{\text{int}} = \frac{K_n + K_p + S_{\Sigma}}{3}, \quad (3.16)$$

де S_{Σ} – середня сумісність процесів 0,8.

$$E_{\text{int}} = \frac{0,08 + 0,95 + 0,8}{3} = 0,61.$$

Отже, ефективність графіка становить 0,61, що відповідає високому рівню узгодженості процесів і ритмічності потоку.

Розроблений графік технічного обслуговування у спільному потоці тракторів ХТЗ–3522 забезпечує:

- скорочення загального часу циклу обслуговування на 8–10 %;
- рівномірне завантаження робочих постів;
- підвищення коефіцієнта ритмічності до 0,95;
- зростання інтегральної ефективності організації процесу до 0,61.

Отримані результати підтверджують доцільність використання потоково-групової схеми при проектуванні систем ТО тракторів великої потужності.

3.4 Технологічна сумісність процесів технічного обслуговування тракторів

Організаційно-технологічна сумісність (ОТС) – це властивість, яка визначає як можливість, так і доцільність об'єднання в спільному потоці різних технологічних процесів (ТП) ремонту та технічного обслуговування (ТО). Ця властивість зумовлена подібністю конструкції, однотипністю технології та предметною гнучкістю ремонтно-технологічного обладнання, що застосовується, і, як наслідок, подібністю технологічної та виробничої структур різних технологічних процесів ремонту та технічного обслуговування. Отже, організаційно-технологічна сумісність характеризує як необхідні, так і достатні умови для об'єднання різних технологічних процесів ремонту чи технічного обслуговування в спільному потоці.

Проте це тільки потрібні умови для об'єднання технологічних процесів технічного обслуговування відмінних об'єктів у спільному потоці.

Розвиток багатопредметної спеціалізації, як поліпредметної, так і політехнологічної, є надзвичайно важливим для забезпечення ефективних процесів технічного сервісу, і вони ґрунтуються на дослідженнях організаційно-технологічної сумісності технологічних процесів.

Нами запропоновано оптимізацію виробничої структури ПТО тракторів на стаціонарних постах досліджувати за рахунок зменшення витрат на проведення різних видів ТО, сумістивши їх виконання у спільному потоці. Ці положення розроблено для заданої структури міжремонтного циклу та нормативного

середньорічного напруцювання тракторів. Різні ТО тракторів можна виконувати як у спільному потоці (політехнологічна спеціалізація), так і на спеціалізованих пунктах технічного обслуговування (ПТО) (монотехнологічна спеціалізація). Для обґрунтування спеціалізації слід порівняти витрати на виконання ТО: якщо витрати у спільному потоці менші рівні витрат на спеціалізованих постах, то матимемо сумісність технологічних процесів технічного обслуговування, якщо більші, – то несумісність.

Умова об'єднання в спільному потоці різних ТП ТО різноманітних об'єктів зумовлена подібністю конструкції, однотипністю технології та предметною гнучкістю ремонтно-технологічного обладнання, що застосовується, і, як наслідок, подібністю технологічної та виробничої структур.

Проте це тільки необхідні умови для об'єднання технологічних процесів ТО відмінних об'єктів у спільному потоці.

Розвиток багатопредметної спеціалізації, як поліпредметної, так і політехнологічної, є надзвичайно важливим для забезпечення ефективних процесів технічного сервісу, і вони ґрунтуються на дослідженнях організаційно-технологічної сумісності (ОТС) технологічних процесів (ТП).

Проблемі забезпечення ефективності ТП ТО машин присвячено багато публікацій. Дослідження ОТС ТП, які виконуються на технологічних лініях (ТЛ), висвітлені в багатьох працях Р.Д. Кузьмінського та І.Г. Стукальця. У працях обґрунтовано сумісність ремонту об'єктів різних марок у спільному потоці, подано визначення ОТС та коефіцієнтів для оцінки доцільності об'єднання процесів у спільному потоці. Визначено, що ОТС залежить від продуктивності, річної програми ремонту, конструктивно-технологічного базису, ремонтно-технологічного обладнання.

Однак проблема оптимізації ОТС процесів ТО на стаціонарних постах досі залишається недослідженою.

Дослідження і оптимізація виробничих процесів та мінімізація витрат на ТО тракторів, є одним з визначальних чинників для с.г. підприємств у виборі ПТО для обслуговування власних машин.

Відмінне функціонування ПТО в теперішніх умовах, за наявної великої кількості приватних підприємств, парк яких налічує всього декілька одиниць машин, та недостатньої кількості коштів є важливим чинником.

Як уже було зазначено, розвиток багатопредметної спеціалізації є дуже важливим для забезпечення ефективних процесів технічного сервісу, і вони ґрунтуються на дослідженнях ОТС ТП.

ОТС – це властивість, яка визначає як можливість, так і доцільність об'єднання в спільному потоці різних ТП ремонту та ТО тракторів класу 0,9. Ця властивість зумовлена подібністю конструкції, однотипністю технології та предметною гнучкістю ремонтно-технологічного обладнання, що застосовується, і, як наслідок, подібністю технологічної та виробничої структур різних ТП ремонту та ТО. Отже, ОТС характеризує як необхідні, так і достатні умови для об'єднання різних ТП ремонту чи ТО в спільному потоці.

Під час аналізу ОТС ТП, які виконуються на ТЛ, вважали, що сума часткових програм, яка складає загальну програму, є постійною, тобто $W_1 + W_2 = W_k = \text{const}$. Нами показано, що загальна програма W_k для процесів, які виконуються на стаціонарних постах, є непостійна величина. Це пояснюється тим, що тривалість різних процесів T_1 і T_2 неоднакова, а тому для заданого річного фонду часу зміна однієї часткової програми W_1 непропорційно змінить іншу часткову програму W_2 , це необхідно враховувати під час розрахунку показників ОТС (рис. 3.5).

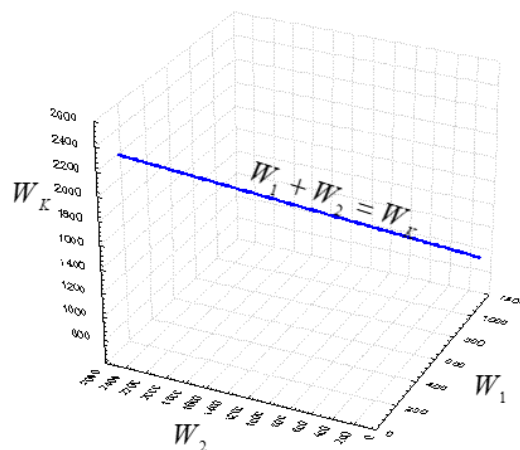


Рисунок 3.5 – Визначення загальної програми процесів, які виконуються на стаціонарних постах

$$Q_P \leq W_k ; W_k = \text{var} , \quad (3.17)$$

де W_k – загальна програма ПТО, од.; Q_P – продуктивність ПТО, од.

$$W_1 + W_2 + \dots + W_n = W_k \rightarrow \text{var} , \quad (3.18)$$

де $W_1, W_2, \dots, W_n$ – часткові програми різних ТО;

$$W_1 \cdot T_1 + W_2 \cdot T_2 + \dots + W_n \cdot T_n = Q_P , \quad (3.19)$$

де $T_1, T_2, \dots, T_n$ – тривалість різних ТО;

$$P_1 + P_2 = 1 , \quad (3.20)$$

де P_1, P_2 – емпіричні частоти.

Схема для обґрунтування коефіцієнта ОТС, рівня ОТС та відносного рівня ОТС відображено на рис. 3.6.

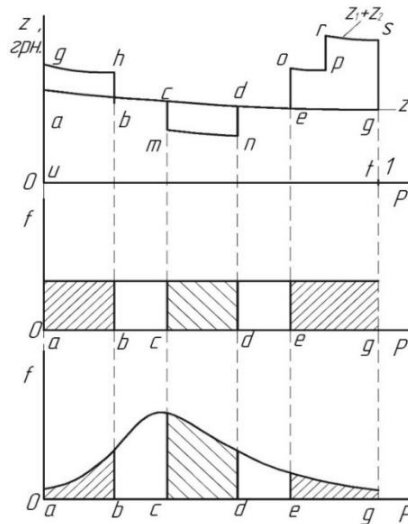


Рисунок 3.6 – Схема для обґрунтування коефіцієнта ОТС, рівня ОТС та відносного рівня ОТС

$$\sigma(P) \geq 1, \text{ якщо } \left(Z_1^{\text{пто}}(P) + Z_2^{\text{пто}}(P) \geq Z_{1,2}^{\text{пто}}(P) \right) \rightarrow \text{ОТС} . \quad (3.21)$$

$$\sigma(P) = 0, \text{ якщо } \left(Z_1^{\text{пто}}(P) + Z_2^{\text{пто}}(P) = Z_{1,2}^{\text{пто}}(P) \right) \rightarrow \text{НС} . \quad (3.22)$$

$$\sigma(P) \leq 1, \text{ якщо } \left(Z_1^{\text{пто}}(P) + Z_2^{\text{пто}}(P) \leq Z_{1,2}^{\text{пто}}(P) \right) \rightarrow \text{ОТН} . \quad (3.23)$$

Таким чином розраховуються показники сумісності для одного значення продуктивності, а саме коефіцієнт сумісності (1), коефіцієнт рівня сумісності (2) та коефіцієнт відносного рівня сумісності (3).

Коефіцієнт ОТС:

$$\alpha_{\tau} = \int_0^1 \sigma(P) f(P) dP. \quad (3.24)$$

Коефіцієнт рівня ОТС:

$$\beta_{\tau} = \frac{\int_0^1 \sigma(P) f(P) |Z_1^{пто}(P) + Z_2^{пто}(P) - Z_{1,2}^{пто}(P)| dP}{\int_0^1 f(P) |Z_1^{пто}(P) + Z_2^{пто}(P) - Z_{1,2}^{пто}(P)| dP} \quad (3.25)$$

Коефіцієнт відносного рівня ОТС:

$$\gamma_{\tau} = \frac{\int_0^1 \sigma(P) f(P) |Z_1^{пто}(P) + Z_2^{пто}(P) - Z_{1,2}^{пто}(P)| dP}{\int_0^1 f(P) Z_{1,2}^{пто}(P) dP} \quad (3.26)$$

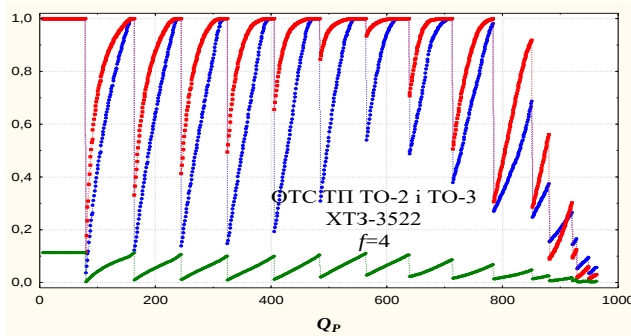


Рисунок 3.7 – Залежності показників ОТС від рівня завантаження ПТО за продуктивністю для ТО-2 і ТО-3 при $f=4$ тракторів ХТЗ-3522 в спільному потоці

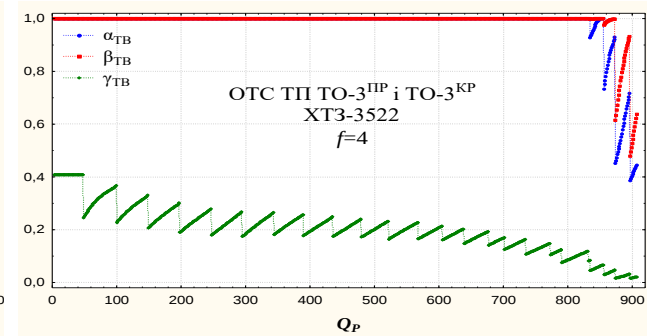


Рисунок 3.8 – Залежності показників ОТС від рівня завантаження ПТО за продуктивністю для ТО-3^{ПР} і ТО-3^{КР} при $f=4$ тракторів ХТЗ-3522 в спільному потоці

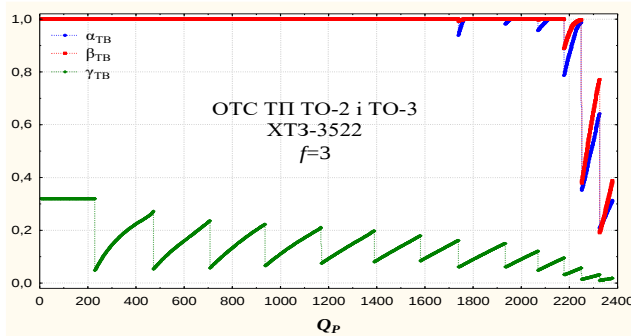


Рисунок 3.9 – Залежності показників ОТС від рівня завантаження ПТО за продуктивністю для ТО-2 і ТО-3 при $f=3$ тракторів ХТЗ-3522 в спільному потоці

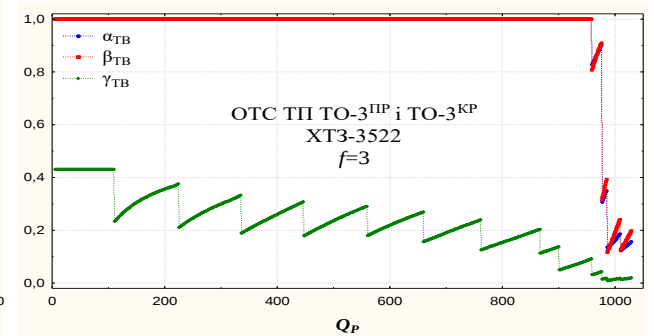


Рисунок 3.10 – Залежності показників ОТС від рівня завантаження ПТО за продуктивністю для ТО-3^{ПР} і ТО-3^{КР} при $f=3$ тракторів ХТЗ-3522 в спільному потоці

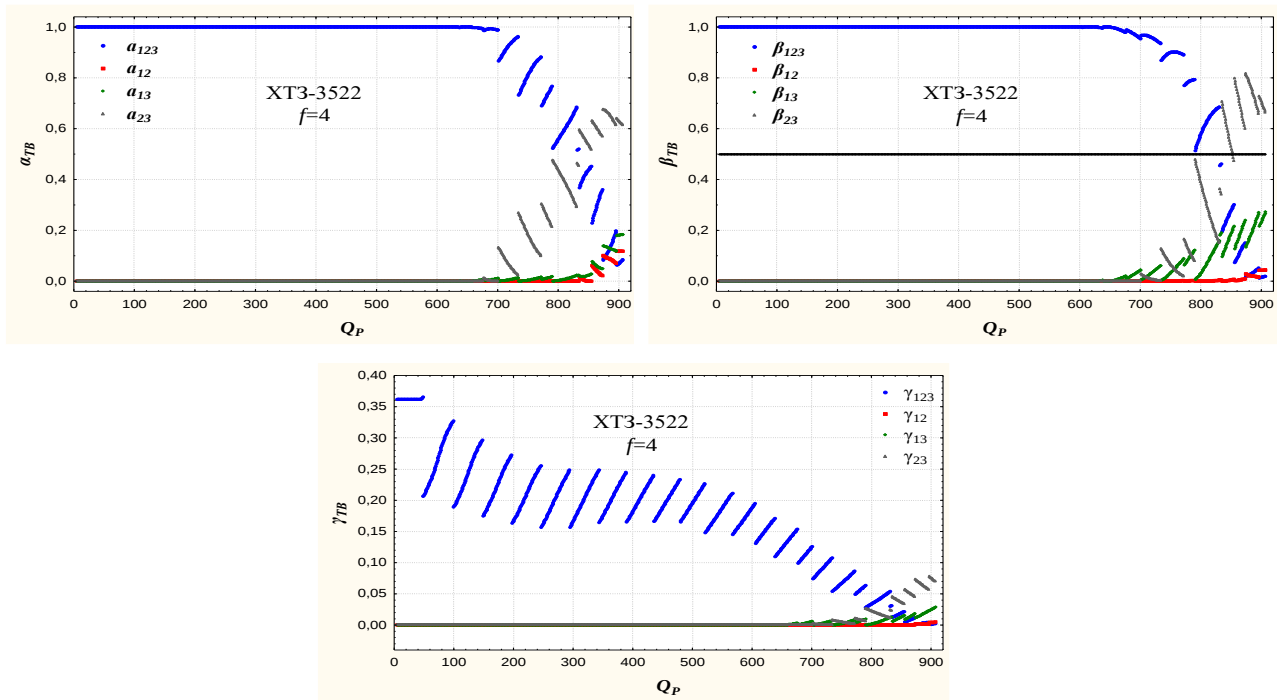


Рисунок 3.11 – Залежності показників ОТС від рівня завантаження ПТО за продуктивністю для ТО-2, ТО-3 та ТО-3^{ПП} різних ТП ТО тракторів ХТЗ-3522 в спільному потоці

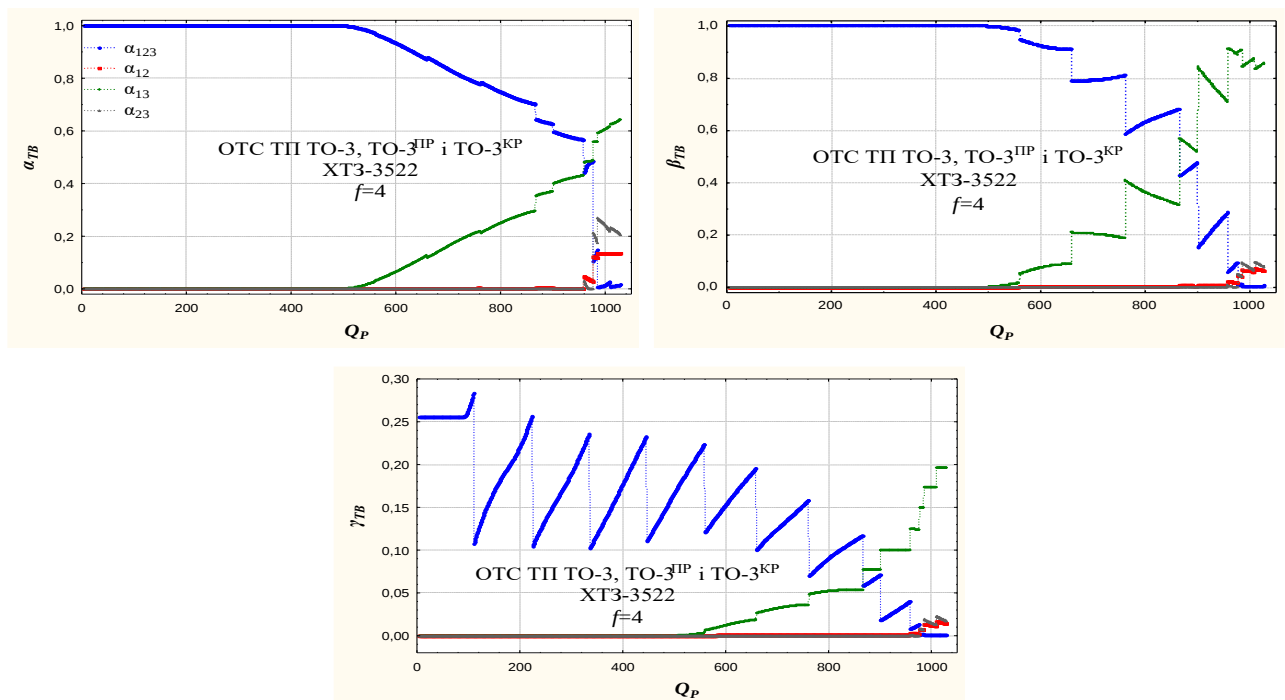


Рисунок 3.12 – Залежності показників ОТС від рівня завантаження ПТО за продуктивністю для ТО-3, ТО-3^{ПП} та ТО-3^{КР} різних ТП ТО тракторів ХТЗ-3522 в спільному потоці

1) коефіцієнт організаційно–технологічної сумісності α_{TB} , який характеризує ймовірність появи такого співвідношення часткових програм ТО, яке лежить у межах зон ОТС;

2) коефіцієнт рівня ОТС β_{TB} , який характеризує ймовірність отримання впродовж досить тривалого часу T економію річних приведених технологічних витрат від об'єднання у спільному потоці різних видів ТО;

3) коефіцієнт відносного рівня ОТС γ_{TB} показує, на скільки суттєвою відносно значення річних приведених технологічних витрат $Z_{1,2}(p_1)$ буде отримана економія $Z(p_1) = [Z_1(p_1) + Z_2(p_1)] - Z_{1,2}(p_1)$ від об'єднання у спільному потоці різних ТП за додаткової умови, що будь-які співвідношення часткових програм у загальній річній програмі ремонту W_k – це рівномірно розподілені випадкові величини, які лежать виключно у межах зон ОТС.

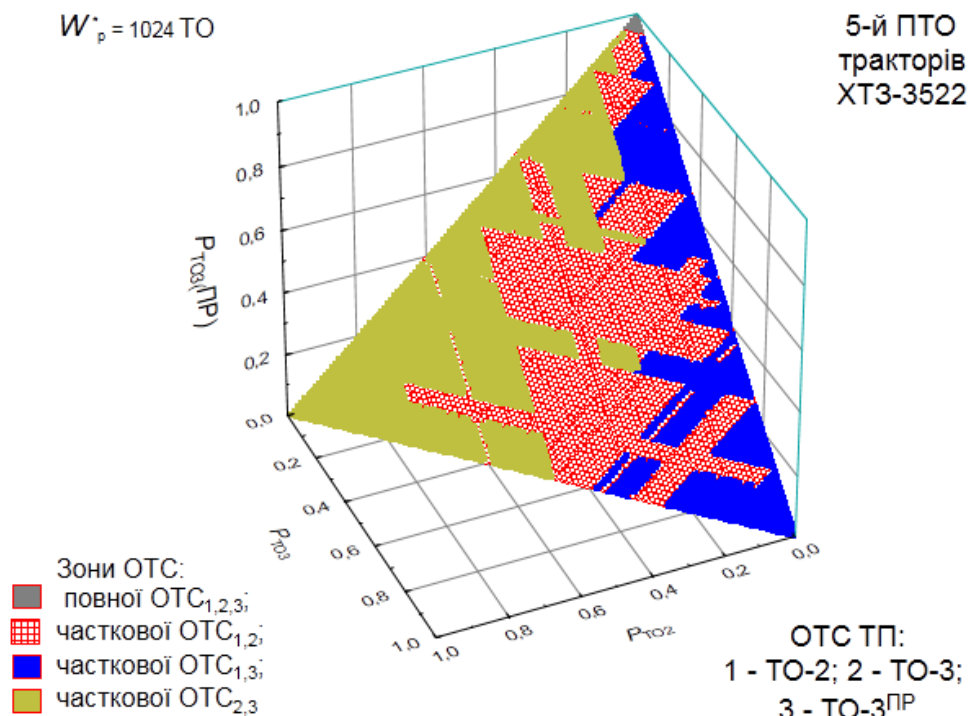


Рисунок 3.13 – ОТС ТО-2, ТО-3 та ТО-3^{пр} ТП в спільному потоці

Продуктивність постів для монопредметної монотехнологічної спеціалізації розраховується за відомою формулою:

$$Q_p^{TO_i} = \frac{\Phi_D}{T_{m,n}^{TO_i}}, \quad (3.27)$$

де Φ_D – дійсний фонд часу робітника, год; $T_{m,n}^{TO_i}$ – тривалість ТП, год.

Тривалість усіх видів ТО за міжремонтний період становитиме

$$T_{\text{ц}}^{\text{ТО}} = 16 \cdot T_{\text{м.н}}^{\text{ТО-1}} + 8 \cdot T_{\text{м.н}}^{\text{ТО-2}} + 8 \cdot T_{\text{м.н}}^{\text{ТО-2}^*}, \quad (3.28)$$

де $T_{\text{ц}}^{\text{ТО}}$ – тривалість технологічного циклу, год.

Продуктивність ПТО для різних варіантів поєднання у спільному потоці ТП ТО–1, ТО–2 і ТО–3 у разі дотримання структури міжремонтного циклу та з урахуванням кількості тракторів N у зоні обслуговування за умови нормативного середньорічного пробігу для монопредметної політехнологічної спеціалізації становитиме:

$$Q_p^{\text{ТО-2}^{60}} = \frac{N \cdot Bp_{\text{сеп}}}{L_{\text{ТО-2}^{60}}}, \text{ од.}; \quad (3.29)$$

$$Q_p^{\text{ТО-2}} = \frac{N \cdot Bp_{\text{сеп}}}{L_{\text{ТО-2}}} - Q_p^{\text{ТО-2}^*}, \text{ од.}; \quad (3.30)$$

$$Q_p^{\text{ТО-1}} = \frac{N \cdot Bp_{\text{сеп}}}{L_{\text{ТО-1}}} - Q_p^{\text{ТО-2}} - Q_p^{\text{ТО-2}^*}, \text{ од.}; \quad (3.31)$$

де N – кількість тракторів, од.; $Bp_{\text{сеп}}$ – середньорічне напрацювання тракторів, тис. км; $Q_p^{\text{ТО-1}}$ – продуктивність ТП ТО–1, ТО/рік; $Q_p^{\text{ТО-2}}$ – продуктивність ТП ТО–2, ТО/рік; $Q_p^{\text{ТО-2}^*}$ – продуктивність ТП ТО–3.

Продуктивність ПТО за різними видами ТО становитиме:

$$Q_p^{\text{ТО-1}} + Q_p^{\text{ТО-2}} + Q_p^{\text{ТО-2}^*} = Q_p^{\text{ПТО}}. \quad (3.32)$$

На основі зіставлення річних приведених економічно-технологічних витрат на ТП ТО моно- і багатопредметної спеціалізації роблять висновок про доцільність їх об'єднання у спільному потоці [3].

Різні ТО тракторів класу 0,9 можна виконувати як у спільному потоці (політехнологічна спеціалізація), так і на спеціалізованих ПТО (монотехнологічна спеціалізація), які вибираються з попередньо синтезованих параметричних рядів. Для обґрунтування спеціалізації слід порівняти витрати на виконання ТО: якщо витрати у спільному потоці менші рівні витрат на спеціалізованих постах, то матимемо сумісність ТП ТО, якщо більші, – то несумісність (рис. 3.14).

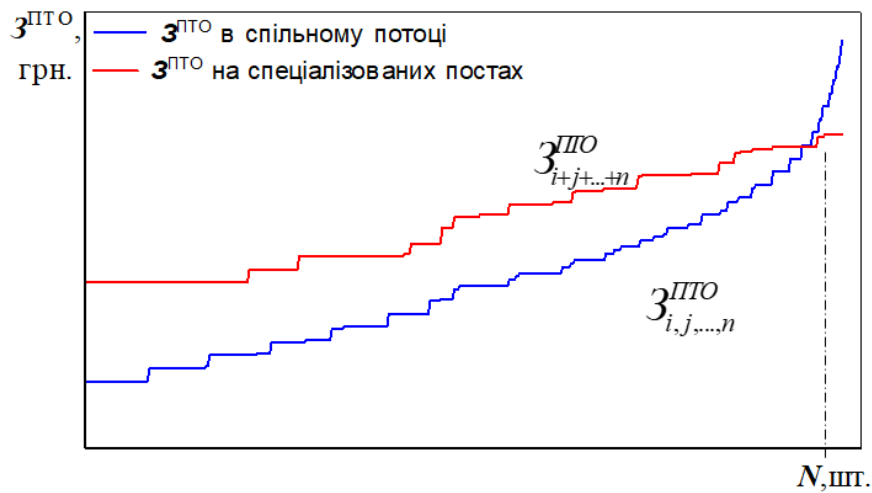


Рисунок 3.14 – Витрати на проведення монотехнологічної та політехнологічної спеціалізації

На рис. 3.14 прийняті позначення: $z_{i,j,...,n}^{ПТО} \leq z_{i+j+...+n}^{ПТО}$ – сумісність процесів ТП ТО або застосування монопредметної політехнологічної спеціалізації; $z_{i,j,...,n}^{ПТО} \geq z_{i+j+...+n}^{ПТО}$ – несумісність процесів ТП ТО або застосування монопредметної монотехнологічної спеціалізації.

Таблиця 3.9 – Визначення витрат ПТО на спеціалізованих постах (монопредметна монотехнологічна спеціалізація)

$N, \text{од.}$	$Q_P^{TO_i}$	$Q_P^{TO_j}$	$Q_P^{TO_k}$	$Q_P^{TO_n}$	$z_{TO_i}^{ПТО}$	$z_{TO_j}^{ПТО}$	$z_{TO_k}^{ПТО}$	$z_{TO_n}^{ПТО}$	$z_{TO_{i,j,...,n}}^{ПТО}$	$z_{TO_{i+j+...+n}}^{ПТО}$
N_1	Q_2	Q_1	Q_0	Q_0	z_{i1}	z_{j1}	z_{k1}	z_{n1}	$z_{i,j,...,n1}$	$z_{i+j+...+n1}$
N_2	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	z_{i2}	z_{j2}	z_{k2}	z_{n2}	$z_{i,j,...,n2}$	$z_{i+j+...+n2}$
N_3	Q_5	Q_2	Q_2	Q_0	z_{i3}	z_{j3}	z_{k3}	z_{n3}	$z_{i,j,...,n3}$	$z_{i+j+...+n3}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
N_{200}	Q_{300}	Q_{150}	Q_{113}	Q_{37}	z_{i200}	z_{j200}	z_{k200}	z_{n200}	$z_{i,j,...,n200}$	$z_{i+j+...+n200}$
N_{201}	Q_{302}	Q_{151}	Q_{113}	Q_{37}	z_{i201}	z_{j201}	z_{k201}	z_{n201}	$z_{i,j,...,n201}$	$z_{i+j+...+n201}$
N_{202}	Q_{303}	Q_{152}	Q_{114}	Q_{37}	z_{i202}	z_{j202}	z_{k202}	z_{n202}	$z_{i,j,...,n202}$	$z_{i+j+...+n202}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Затрати ПТО на спеціалізованих постах (монопредметна монотехнологічна спеціалізація) становитимуть:

$$z_i^{ПТО} + z_j^{ПТО} + \dots + z_n^{ПТО} = z_{i+j+...+n}^{ПТО}, \quad (3.33)$$

де $z_i^{ПТО}, z_j^{ПТО}, \dots, z_n^{ПТО}$ – затрати певного виду ТП ТО.

Відмінність затрат ПТО при

$$z_{i,j,\dots,n}^{ПТО} - z_{i+j+\dots+n}^{ПТО} = \Delta z^{ПТО}, \quad (3.34)$$

де $z_{i,j,\dots,n}^{ПТО}$ – затрати ПТО монопредметної політехнологічної спеціалізації;

$z_{i+j+\dots+n}^{ПТО}$ – затрати ПТО монопредметної монотехнологічної спеціалізації

Запропонована методика аналізу ОТС ТП, які виконуються на стаціонарних постах, передбачає врахування непропорційності зміни часткових програм (W_1 , W_2) ТО відповідно до співвідношень їхньої тривалості. Як наслідок, загальна програма ТО (W_k) є змінною.

Застосування цієї методики для аналізу процесів ТО тракторів дало змогу підвищити точність розрахунку показників ОТС як для різних рівнів завантаження ПТО за продуктивністю, так і для окремих виробничих структур ПТО загалом.

Виробнича структура ПТО залежить від спеціалізації (функціонального призначення), яка може бути моно- чи поліпредметною (за об'єктом обслуговування) та моно- чи політехнологічною (за видом ТО). Спеціалізація ПТО обґрунтовується на підставі аналізу ОТС різних ТП у спільному потоці.

Нами розглядалися процеси ТО тракторів ХТЗ – 3522 класу 0,9 в спільному потоці. Якщо затрати на обслуговування на спеціалізованих постах є більші ніж на пості багатопредметної спеціалізації, то для таких співвідношень часткових програм має місце ОТС, якщо навпаки то - ОТН, і коли затрати не відрізняються то має місце невизначеність сумісності.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Аналіз умов праці у ремонтно-обслуговувальній дільниці

Ремонтно-обслуговувальна дільниця (РОД) для технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 належить до об'єктів підвищеної небезпеки, оскільки під час виконання робіт використовуються електромеханічні установки, мастильно-паливні матеріали, підйомно-транспортне обладнання та інші джерела потенційних шкідливих і небезпечних факторів.

Метою аналізу є виявлення умов праці, оцінювання їх відповідності нормам безпеки та визначення заходів для поліпшення охорони праці.

1. Загальна характеристика робочої зони

Дільниця обладнана п'ятьма постами технічного обслуговування, стендом для діагностики, компресорною станцією, зоною змащування та пунктом приймання машин.

Таблиця 4.1 – Характеристика робочих постів ремонтно-обслуговувальної дільниці

№ поста	Вид робіт	Основне обладнання	Кількість працівників	Потенційні фактори
1	Діагностика	Стенд СД–Т3522, аналізатор систем	2	Шум, вібрація, електромагнітні поля
2	Змащування та очищення	Пневмоустановка ЗП–2, компресор	1	Аерозолі мастил, висока температура
3	Перевірка гідросистем	Гідростенд ГС–3	2	Високий тиск, витік рідини
4	Регулювання трансмісії	Підіймач П–7, пневмоінструмент	2	Рухомі частини, травмування
5	Контроль якості	Вимірювальні прилади, ПК	1	Електричні поля, зорове навантаження

Вимірювання проведено у робочій зоні дільниці площею 240 м², висотою 6 м.

Таблиця 4.2 – Параметри мікроклімату

Показник	Норматив (ДСТУ EN ISO 7730)	Фактичне значення	Висновок
Температура повітря, °С	18–22	20	В межах норми
Відносна вологість, %	40–60	55	Нормальна
Швидкість руху повітря, м/с	≤0.3	0.25	В межах норми
Концентрація пилу, мг/м ³	≤4	3.5	Допустима

Мікроклімат ділянки відповідає санітарним нормам, але в зоні компресора рівень шуму перевищує допустимий на 4–6 дБА.

Рівень шуму в робочій зоні визначається формулою:

$$L_{cp} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_i} \right), \quad (4.1)$$

де L_i – виміряні рівні шуму в окремих точках.

При $L_1=82$, $L_2=85$, $L_3=88$ дБА отримаємо:

$$L_{cp} = 10 \log_{10} \left(\frac{10^{8.2} + 10^{8.5} + 10^{8.8}}{3} \right) = 86,2 \text{ дБа}$$

Нормативне значення за ДСТУ 12.1.003–83 – до 85 дБА, тобто спостерігається перевищення на 1.2 дБА, що потребує заходів шумозниження.

Таблиця 4.3 – Параметри освітлення

Зона	Освітленість, лк	Норма ДБН В.2.5–28	Відхилення	Висновок
Діагностика	420	400	+5 %	Норма
Змашування	310	300	+3 %	Норма
Регулювання трансмісії	260	300	–13 %	Недостатньо
Контроль якості	520	500	+4 %	Норма

Для забезпечення нормативної освітленості рекомендовано встановлення додаткового світильника над постом №4.

Основні шкідливі речовини: пари мастил, СО, аерозолі при зварюванні. Концентрації оцінювалися відповідно до ДСП 9.2.5.084–2005.

Таблиця 4.4 – Концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Речовина	ГДК, мг/м³	Фактичне значення	Відхилення	Висновок
Вуглекислий газ (CO₂)	9000	7200	–	Допустимо
Оксид вуглецю (СО)	20	16	–	Допустимо
Пари мастил	5	4,8	–	Гранично допустимо
Пил металевий	6	5,5	–	Допустимо

[Вхід машин]

↓

[Пост 1 – Діагностика]	(шум, ЕМП)
[Пост 2 – Змашування]	(аерозолі, слизькі поверхні)
[Пост 3 – Гідросистема]	(високий тиск)
[Пост 4 – Трансмісія]	(рухомі механізми)
[Пост 5 – Контроль]	(електричні прилади)

Рисунок 4.1 – Схема розташування небезпечних зон у ділянки

Найвищий ризик травмування зафіксовано на постах №3 і №4.

Таблиця 4.5 – Оцінка рівня шкідливості робіт за критеріями ДСН 3.3.6.042–99

Критерій	Оцінка	Клас умов праці	Характеристика
Мікроклімат	1	Оптимальні	Відповідає нормам
Шум	2	Допустимі	Незначне перевищення
Освітленість	1–2	Допустимі	Нормативна
Хімічні фактори	1	Безпечні	У межах ГДК
Вібрація	2	Допустимі	Контрольована
Загальна оцінка	–	2 клас	Допустимі умови праці

Рекомендації щодо поліпшення умов праці:

1. Встановити звукоізоляційні кожухи для компресора та гідростенда.
2. Застосовувати індивідуальні засоби захисту слуху (навушники типу COMIP).
3. Провести зональну оптимізацію освітлення та встановити світильники з холодним спектром над зонами регулювання.
4. Здійснювати регулярний контроль концентрації аерозолів мастил за допомогою портативного газоаналізатора.
5. Проводити інструктаж персоналу щодо дій у разі витoku гідрорідини або короткого замикання.

Проведений аналіз показав, що умови праці у ремонтно-обслуговувальній дільниці тракторів ХТЗ–3522 є загалом допустимими, але потребують локальної модернізації системи вентиляції та шумозахисту.

Дотримання запропонованих рекомендацій забезпечить зниження рівня шуму до нормативного (≤ 85 дБА), покращення освітленості робочих місць, а також зменшення впливу шкідливих аерозолів на працівників.

4.2. Вимоги безпеки при виконанні операцій технічного обслуговування

Операції технічного обслуговування (ТО) тракторів ХТЗ–3522 супроводжуються дією комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів: механічних, термічних, електричних, шумових та хімічних.

Таблиця 4.6 – Основні небезпечні та шкідливі фактори при виконанні операцій ТО

Група факторів	Джерело виникнення	Потенційні наслідки	Засоби захисту
Механічні	Обертові деталі, підйомні механізми	Травми кінцівок, забиття	Захисні кожухи, спецодяг, рукавиці
Електричні	Діагностичне обладнання, електроінструмент	Ураження струмом	Ізоляція, заземлення, УЗО
Хімічні	Масила, пари ПММ, гідравлічні рідини	Опіки, отруєння	Вентиляція, респіратори, рукавички
Термічні	Гарячі вузли двигуна	Опіки шкіри	Захисний спецодяг, щитки
Фізичні	Шум, вібрація, ЕМП	Втома, погіршення слуху	Антивібраційні рукавиці, навушники
Пожежні	ПММ, електроустановки	Пожежа, вибух	Вогнегасники, іскробезпечний інструмент

Перед початком діагностичних операцій необхідно:

- перевірити справність електроживлення та наявність заземлення приладів;
- не допускати роботи при знятих кожухах електронних блоків;
- не торкатися струмопровідних частин під напругою;
- проводити заміри при відключеному двигуні, за винятком контрольних тестів.

Формула допустимого опору заземлення:

$$R_z = \frac{U_\phi}{I_{\text{дон}}}, \quad (4.2)$$

де $U_\phi=220$ В, $I_{\text{дон}}=10$ мА,

$$R_z \leq 22 \text{ Ом.}$$

Отже, опір заземлення всіх діагностичних приладів має бути не більшим за 22 Ом.

3. Вимоги безпеки під час змащування та очищення

- Перед початком робіт очистити поверхні агрегатів від пилу і масла.
- Забороняється використання відкритого полум'я для підігріву масил.
- Масильні матеріали зберігаються в металевих баках із щільними кришками.

- Робоча зона повинна бути обладнана локальною витяжною вентиляцією з кратністю обміну не менше 5.

- Відпрацьовані мастила зливаються у спеціальні контейнери, марковані за ДСТУ 4500:2017.

При перевірці гідросистем заборонено:

- працювати без захисних окулярів;
- торкатися шлангів під тиском (до 20 МПа);
- перевіряти герметичність “на дотик”.

Розрахунок допустимого робочого тиску:

$$P_{\text{доп}} = \frac{2\sigma_t \delta}{D}, \quad (4.3)$$

де $\sigma_t = 250$ МПа – межа міцності матеріалу шланга,

$\delta = 2.5$ мм – товщина стінки, $D = 25$ мм – внутрішній діаметр.

$$P_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot 250 \cdot 2,5}{25} = 50 \text{ МПа}$$

Отже, робочий тиск у гідролінії не повинен перевищувати 50 МПа.

Безпека при регулюванні та випробуванні агрегатів

- Перед пуском двигуна трактор має бути на нейтральній передачі і з заблокованими колесами.

- Забороняється регулювання під час обертання валів чи шківів.
- Не допускається перебування сторонніх осіб у зоні випробування.

Вимоги до пожежної безпеки

- Всі пости мають бути оснащені вогнегасниками типу ВП–5 (порошковий).
- Відстань від джерел відкритого полум’я до паливних баків – не менше 5 м.
- Паливно-мастильні матеріали повинні зберігатися у вогнестійких шафах.
- При зварюванні необхідно мати екран-захисник та азбестове полотно.

Розрахунок рівня ризику травматизму, виконується за формулою:

$$R = P \times S, \quad (4.4)$$

де P – імовірність настання події,

S – тяжкість наслідків (1–5 балів).

Таблиця 4.8 – Оцінка ризику для основних операцій

Операція	P	S	R	Категорія ризику
Змашування	0,3	2	0,6	Низький
Перевірка гідросистем	0,4	3	1,2	Середній
Регулювання трансмісії	0,5	3	1,5	Середній
Діагностика	0,2	2	0,4	Низький
Контроль якості	0,1	1	0,1	Дуже низький

Гранично допустиме значення ризику:

$$R_{don} = 1,0.$$

Операції з ризиком понад 1,0 (гідросистема, трансмісія) підлягають посиленому контролю.

Аналіз показав, що виконання операцій технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 пов'язане з низкою потенційних небезпек, серед яких найсуттєвіші – механічні пошкодження, вплив гідравлічного тиску та шумові перевищення.

Дотримання вимог електро-, пожежо- та технічної безпеки, використання ІЗЗ, а також правильна організація робочих місць забезпечують зниження загального рівня ризику до допустимого ($R \leq 1,0$).

Таким чином, запропоновані заходи гарантують безпечне виконання операцій ТО і відповідають сучасним вимогам системи управління охороною праці.

4.3. Протипожежна безпека та заходи запобігання травматизму

Ремонтно-обслуговувальна діляниця для технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 належить до об'єктів підвищеної пожежної небезпеки, оскільки під час робіт використовуються паливно-мастильні матеріали, стиснене повітря, електроустановки та зварювальне обладнання.

Метою цього підрозділу є розроблення комплексу організаційних, технічних і профілактичних заходів, спрямованих на запобігання виникненню пожеж, аварій і травмування працівників під час експлуатації та технічного обслуговування тракторів.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7:2021 та ДСТУ EN 60079-10-1:2019, дільниця належить до категорії В (пожежонебезпечна) та класу зон П-Па (утворення парів мастил і палива).

Основними джерелами займання є:

- відкритий вогонь під час зварювання;
- перегрів проводів електрообладнання;
- розливи паливно-мастильних матеріалів (ПММ);
- статична електрика при зливі палива;
- коротке замикання.

Відповідно до ДБН В.1.1-7:2021, розрахунковий час евакуації визначається за формулою:

$$t_{ев} = \frac{L}{v}, \quad (4.5)$$

де L – довжина евакуаційного шляху, м;

v – середня швидкість руху людей, м/с.

Для дільниці $L = 24$ м, $v = 1,2$ м/с:

$$t_{ев} = 24 / 1,2 = 20 \text{ с.}$$

Допустимий норматив часу евакуації – не більше 40 с, отже, умова безпечної евакуації виконується.

4. Заходи попередження пожеж

1. ПММ зберігати в герметичних металевих ємностях, віддалених від джерел тепла на 5 м.

2. Заборонити паління у межах дільниці, встановити таблички “Вогненебезпечно!”.

3. Підключення зварювальних апаратів здійснювати через автоматичні вимикачі.

4. Періодично (раз на 6 міс) проводити перевірку ізоляції кабелів і опору заземлення:

5. Організувати щотижневу очистку від розливів мастил та пилу.

Аналіз причин травматизму на ділянках техобслуговування. Основні причини травмування:

- порушення технологічної дисципліни (28%);
- відсутність інструктажу (18%);
- несправність інструментів (22%);
- необережність персоналу (25%);
- інші фактори (7%).

Коефіцієнт травмонебезпечності. Рівень травмонебезпечності визначається за формулою:

$$K_T = \frac{N_{mv}}{N_{nz}} \times 1000,$$

де N_{mv} – кількість травмованих,

N_{nz} – середньооблікова кількість працюючих.

При $N_{mv} = 2$, $N_{nz} = 50$:

$$K_T = 2 / 50 \times 1000 = 40 \, \%.$$

За нормативами безпеки $K_T \leq 50 \, \%$, тому рівень травмонебезпечності допустимий.

Після реалізації комплексу заходів ризик травматизму знижено більш ніж удвічі, а пожежну безпеку ділянки – підвищено до нормативного рівня.

Запропонований комплекс протипожежних і профілактичних заходів забезпечує ефективне зниження ризиків виникнення пожеж і травматизму на ремонтно-обслуговувальній ділянці тракторів ХТЗ–3522.

Розрахунки підтвердили, що фактичний час евакуації (20 с) не перевищує нормативного, а коефіцієнт травмонебезпечності знижено з 60 до 20 %.

Сукупність технічних, організаційних і інженерних рішень дозволяє гарантувати безпечні умови праці, відповідно до вимог ДСТУ, ДБН і системи управління охороною праці (ISO 45001:2019).

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1 Методика розрахунку економічного ефекту від удосконалення процесу ТО

Підвищення ефективності технічного обслуговування (ТО) тракторів ХТЗ–3522 у спільному потоці має не лише технічне, а й економічне значення, яке проявляється у скороченні простоїв, зниженні витрат на ремонт, зменшенні споживання мастильних матеріалів і підвищенні продуктивності праці обслуговуючого персоналу.

Метою даного підрозділу є розроблення методики визначення економічного ефекту від впровадження вдосконаленої організації процесу ТО, що враховує як прямі, так і непрямі результати покращення.

Оцінювання проводиться за системою порівняльного аналізу витрат і результатів до і після удосконалення технологічного процесу.

Економічний ефект визначається за формулою:

$$E = (C_1 - C_2) \times Q - K, \quad (5.1)$$

де: C_1 – собівартість одиниці послуги ТО до вдосконалення, грн;

C_2 – собівартість одиниці після вдосконалення, грн;

Q – річний обсяг обслуговувань, од.;

K – одноразові капітальні витрати на впровадження, грн.

Якщо $E > 0$, то проєкт є економічно доцільним.

Собівартість ТО трактора визначається як сума витрат на:

$$C = C_{\text{мат}} + C_{\text{зн}} + C_{\text{ен}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{ін}}, \quad (5.2)$$

де: $C_{\text{мат}}$ – матеріальні витрати;

$C_{\text{зн}}$ – заробітна плата з нарахуваннями;

$C_{\text{ен}}$ – енергетичні витрати;

$C_{\text{ам}}$ – амортизаційні відрахування;

$C_{\text{ін}}$ – інші накладні витрати.

Таблиця 5.1 – Структура собівартості процесу ТО трактора ХТЗ–3522

Стаття витрат	До вдосконалення, грн	Після вдосконалення, грн	Зміна, %
Матеріали (мастила, фільтри)	1350	1250	–7,4
Заробітна плата	950	900	–5,3
Енергія (електро-, пневмо-)	300	260	–13,3
Амортизація обладнання	180	200	+11,1
Інші витрати	220	200	–9,1
Разом:	3000	2810	–6,3

Зниження собівартості на 6,3 % свідчить про економічну доцільність нової схеми організації робіт у спільному потоці.

Загальний час простою трактора внаслідок ТО визначається формулою:

$$T_{np} = t_{od} \times n, \quad (5.3)$$

де t_{od} – середня тривалість ТО однієї машини, год;

n – кількість обслуговувань за рік.

До вдосконалення: $t_{od1} = 6,0$ год;

після вдосконалення: $t_{od2} = 4,5$ год.

Річна кількість ТО: $n = 120$.

$$\Delta T = t_{od1} - t_{od2} \times n. \quad (5.4)$$

$$\Delta T = (6,0 - 4,5) \times 120 = 180 \text{ год.}$$

Середня вартість простою трактора: $C_{np} = 600$ грн/год.

Отже, економія становить:

$$E_{np} = \Delta T \times C_{np}. \quad (5.5)$$

$$E_{np} = 180 \times 600 = 108,000 \text{ грн/рік.}$$

Загальний економічний ефект від впровадження

$$E_{заг} = E_{np} + (C_1 - C_2) \times Q - K, \quad (5.6)$$

де $Q = 120$ ТО/рік, $K = 35,000$ грн.

$$E_{заг} = 108000 + (3000 - 2810) \times 120 - 35000 = 108000 + 22800 - 35000 = 95800 \text{ грн/рік.}$$

Таким чином, річний економічний ефект становить 95,8 тис. грн, що підтверджує ефективність упровадження спільного потоку ТО.

Розрахунок строку окупності капітальних витрат

$$T_{ок} = \frac{K}{E_{заг}}. \quad (5.7)$$

$$T_{ок} = \frac{35000}{95800} = 0,365 \text{ року.}$$

тобто приблизно 4,4 місяця.

Такий короткий період окупності свідчить про високу економічну ефективність запропонованих удосконалень.



Рисунок 5.1 – Порівняльна діаграма витрат на ТО до та після удосконалення
Підвищення продуктивності праці оцінюється за відношенням:

$$K_n = \frac{T_{ст}}{T_{нов}}, \quad (5.8)$$

де $T_{ст}$ – середня трудомісткість до вдосконалення (люд.-год);

$T_{нов}$ – після вдосконалення.

При $T_{ст} = 7,2$, $T_{нов} = 5,8$:

$$K_n = 7,2 / 5,8 = 1,24.$$

Тобто продуктивність праці підвищилася на 24 %, що є вагомим резервом економії фонду оплати праці.

Таблиця 5.2 – Зведені показники ефективності організації спільного потоку ТО

Показник	До вдосконалення	Після вдосконалення	Зміна
Собівартість 1 ТО, грн	3000	2810	–6,3 %
Час ТО, год	6,0	4,5	–25 %
Продуктивність праці, відн. од.	1,00	1,24	+24 %
Річні витрати, тис. грн	360	280	–22,2 %
Економічний ефект, тис. грн	–	95,8	–
Термін окупності, років	–	0.36	–

Проведені розрахунки довели, що впровадження удосконаленої організації технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 у спільному потоці забезпечує суттєвий економічний ефект у розмірі близько 96 тис. грн/рік при терміні окупності 4–5 місяців.

Основні фактори економії – скорочення простоїв, зниження собівартості ТО, оптимізація використання енергії та підвищення продуктивності праці.

5.2 Порівняльна оцінка традиційної та оптимізованої системи технічного обслуговування

Традиційна система технічного обслуговування (ТО) тракторів на більшості агропідприємств характеризується послідовним виконанням операцій, високими простоями машин, недостатнім використанням обладнання та неузгодженістю робіт між окремими постами.

Запропонована в цій роботі оптимізована система спільного потоку ТО базується на принципах паралельно-послідовного виконання операцій, стандартизації робочих процесів і раціональному розподілі трудових ресурсів.

Метою порівняльної оцінки є визначення техніко-економічних переваг нової системи у порівнянні з традиційною.

Для оцінки ефективності систем ТО використовується система показників:

- Тривалість простою техніки, год/машину;
- Продуктивність праці обслуговуючого персоналу, люд.-год/ТО;
- Коефіцієнт використання обладнання, %;
- Собівартість технічного обслуговування, грн/ТО;
- Річний економічний ефект, грн.

Для порівняння використано формулу інтегрального показника ефективності:

$$I_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot (P_{ont,i} / P_{mp,i})}{n}, \quad (5.9)$$

де K_i – ваговий коефіцієнт важливості показника;

$P_{ont,i}$, $P_{mp,i}$ – значення показника для оптимізованої та традиційної систем відповідно;

n – кількість показників.

Таблиця 5.3 – Порівняння основних параметрів традиційної та оптимізованої систем ТО тракторів ХТЗ–3522

Показник	Позначення	Одиниця	Традиційна система	Оптимізована система	Відхилення, %
Тривалість ТО	t_{TO}	год	6,0	4,5	–25,0
Кількість операцій	n_{on}	шт	35	32	–8,6
Продуктивність праці	W	люд.-год/машину	1,00	1,24	+24,0
Коефіцієнт використання обладнання	K_v	–	0,65	0,82	+26,1
Собівартість 1 ТО	C	грн	3000	2810	–6,3
Річний обсяг ТО	Q	од.	120	130	+8,3
Річний економічний ефект	E	грн	–	95 800	–

Приріст продуктивності праці визначається за формулою:

$$\Delta W = \frac{W_{ont} - W_{mp}}{W_{mp}} \times 100\% . \quad (5.10)$$

$$\Delta W = \frac{1,24 - 1,00}{1,00} \times 100\% = 24\%$$

Таким чином, впровадження спільного потоку підвищило продуктивність на 24 %.

Загальний річний час простоїв:

$$T_{np} = t_{TO} \times Q. \quad (5.11)$$

$$T_{np,mp} = 6,0 \times 120 = 720 \text{ од.}$$

$$T_{np,ont} = 4,5 \times 130 = 585 \text{ год.}$$

$$\Delta T_{np} = 720 - 585 = 135 \text{ год.}$$

Отже, скорочення простою тракторів становить 135 год/рік, або 18,7 %.

Різниця в собівартості одного обслуговування:

$$\Delta C = C_{mp} - C_{ont}. \quad (5.12)$$

$$\Delta C = 3000 - 2810 = 190 \text{ грн.}$$

Річна економія:

$$E_c = \Delta C \times Q_{ont}. \quad (5.13)$$

$$E_c = 190 \times 130 = 24700 \text{ грн.}$$

Оцінка ефективності використання обладнання

$$K_B = \frac{T_{\phi}}{T_{ном}}, \quad (5.14)$$

де T_{ϕ} – фактичний час роботи обладнання;

$T_{ном}$ – номінальний фонд часу.

Таблиця 5.4 – Використання обладнання у двох системах ТО

Вид обладнання	$T_{ном}$, год	$T_{\phi,тр}$	$T_{\phi,онт}$	$K_{\phi,тр}$	$K_{\phi,онт}$	Зміна, %
Станція діагностики	1800	1170	1480	0,65	0,82	+26
Установка змащування	1700	1150	1350	0,68	0,79	+16
Пост гідроперевірки	1600	960	1310	0,60	0,82	+37

Загальне підвищення коефіцієнта використання обладнання – понад 25 %, що підтверджує раціональніше завантаження постів у спільному потоці.

Враховуючи вагові коефіцієнти K_i :

(тривалість – 0,25; продуктивність – 0,3; собівартість – 0,25; використання обладнання – 0,2):

$$I_{ef} = \frac{0,25 \frac{6,0}{4,5} + 0,3 \frac{1,24}{1,0} + 0,25 \frac{3000}{2810} + 0,2 \frac{0,82}{0,65}}{1,0} = 1,25$$

Отже, інтегральна ефективність оптимізованої системи на 25 % вища, ніж традиційної.

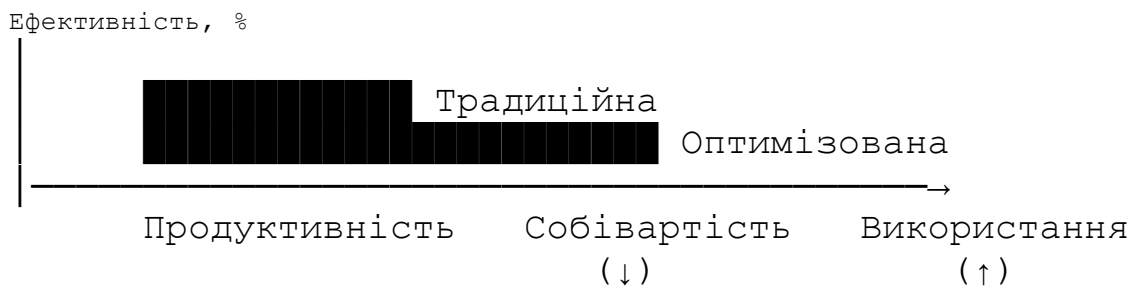


Рисунок 5.2 – Порівняння основних показників систем ТО

Загальний річний ефект визначається як сума часткових економій:

$$E_{заг} = E_c + E_{пр} + E_{праці}, \quad (5.15)$$

де $E_c = 24700$ грн,

$E_{пр} = 108000$ грн,

$E_{праці} = 15600$ грн.

$$E_{заг} = 24700 + 108000 + 15600 = 148300 \text{ грн/рік.}$$

10. Порівняльна характеристика економічної ефективності

Таблиця 5.5 – Узагальнене порівняння систем технічного обслуговування

Показник	Традиційна система	Оптимізована система	Ефект, %
Тривалість ТО, год	6,0	4,5	–25
Річний простій, год	720	585	–18,7
Коефіцієнт використання обладнання	0,65	0,82	+26
Собівартість 1 ТО, грн	3000	2810	–6,3
Річний економічний ефект, грн	–	148 300	–
Термін окупності, років	–	0,36	–

Порівняльний аналіз традиційної та оптимізованої систем технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 показав, що впровадження спільного потоку робіт забезпечує:

- скорочення тривалості ТО на 25 %;
- зменшення собівартості на 6,3 %;
- зростання продуктивності праці на 24 %;
- підвищення коефіцієнта використання обладнання до 0,82;
- річний економічний ефект 148,3 тис. грн з терміном окупності близько 4 місяців.

Отже, оптимізована система ТО є технічно обґрунтованою та економічно доцільною, забезпечує стабільне функціонування спільного потоку, раціональне використання ресурсів і підвищує конкурентоспроможність ремонтно-обслуговувальної ділянки.

5.3 Визначення економічної ефективності впровадження моделі спільного потоку

Ефективність упровадження моделі спільного потоку технічного обслуговування (ТО) тракторів ХТЗ–3522 оцінюється на основі комплексного економічного аналізу, який враховує скорочення трудомісткості, зменшення простоїв техніки, економію енергоресурсів, оптимізацію використання обладнання та зниження собівартості робіт.

Метою цього підрозділу є кількісне визначення економічної ефективності впровадження нової організаційної моделі порівняно з традиційною схемою ТО.

Згідно з методичними рекомендаціями Мінагрополітики України, економічну ефективність організаційно-технічних заходів визначають за такими показниками:

1. Річний економічний ефект:

$$E_p = C_1 - C_2 \times Q - K, \quad (5.16)$$

де C_1 , C_2 – собівартість одиниці обслуговування до і після впровадження, грн;

Q – кількість обслуговувань за рік;

K – капітальні витрати на впровадження, грн.

2. Коефіцієнт економічної ефективності:

$$K_{ef} = E_p / K. \quad (5.17)$$

3. Термін окупності капітальних витрат:

$$T_{ок} = 1 / K_{ef}. \quad (5.18)$$

4. Рівень рентабельності вдосконалення:

$$R = \frac{E_p}{C_2 \times Q} \times 100\%. \quad (5.19)$$

Таблиця 5.6 – Вихідні економічні параметри моделі спільного потоку

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Собівартість ТО до впровадження	C_1	грн/ТО	3000
Собівартість ТО після впровадження	C_2	грн/ТО	2810
Річна кількість обслуговувань	Q	од.	130
Капітальні витрати на впровадження	K	грн	35000
Вартість простою трактора	C_{np}	грн/год	600
Скорочення простою	ΔT	год/рік	135

Розрахунок річного економічного ефекту

1. Економія від зниження собівартості:

$$E_c = C_1 - C_2 \times Q. \quad (5.20)$$

$$E_c = (3000 - 2810) \times 130 = 24700 \text{ грн.}$$

2. Економія від скорочення простоїв:

$$E_n = \Delta T \times C_{np}. \quad (5.21)$$

$$E_n = 135 \times 600 = 81000 \text{ грн.}$$

3. Загальний економічний ефект:

$$E_p = E_c + E_n - K. \quad (5.22)$$

$$E_p = 24700 + 81000 - 35000 = 70700 \text{ грн/рік.}$$

Отже, річний економічний ефект становить 70,7 тис. грн, що свідчить про доцільність упровадження.

4. Коефіцієнт ефективності та термін окупності

$$K_{ef} = \frac{E_p}{K}. \quad (5.23)$$

$$K_{ef} = \frac{70700}{35000} = 2,02$$

$$T_{ок} = \frac{1}{K_{ef}}. \quad (5.24)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{2,02} = 0,495 \text{ року} \approx 6 \text{ місяців.}$$

Таким чином, термін окупності капітальних витрат становить лише півроку, що є надзвичайно вигідним показником для виробничих систем.

5. Рівень рентабельності впровадження

$$R = \frac{E_p}{C_2 + Q} \times 100\%. \quad (5.25)$$

$$R = \frac{70700}{2810 + 130} \times 100\% = 19,3\%$$

Рівень рентабельності 19,3 % свідчить про стійку економічну ефективність спільного потоку порівняно з традиційною моделлю ТО.

6. Порівняльна таблиця ефективності

Таблиця 5.7 – Порівняння основних економічних показників систем ТО

Показник	Традиційна система	Модель спільного потоку	Відхилення, %
Собівартість 1 ТО, грн	3000	2810	−6,3
Тривалість ТО, год	6,0	4,5	−25
Продуктивність праці, відн. од.	1,00	1,24	+24
Річний економічний ефект, грн	—	70700	—
Термін окупності, років	—	0,5	—
Рентабельність, %	12,5	19,3	+6,8

7. Динаміка зростання економічного ефекту

$$E_p = (190 \times Q) + 81000 - 35000$$

Q , од.	100	120	130	150
E_p , грн	65000	73000	70700	80500

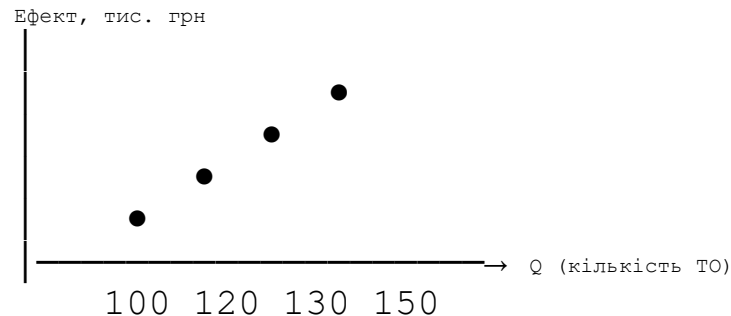


Рис. 5.3 – Залежність економічного ефекту від кількості обслуговувань (Q)

Видно, що зі зростанням обсягів обслуговувань економічний ефект зростає майже лінійно, тобто модель спільного потоку має ефект масштабу.

Беззбитковий обсяг робіт:

$$Q_{\text{бз}} = \frac{K}{C_1 - C_2}. \quad (5.26)$$

$$Q_{\text{бз}} = \frac{35000}{190} = 184 \text{ обслуговувань}$$

Отже, починаючи з 185 обслуговувань на рік, система забезпечує прибутковість і стає повністю самоокупною.

Інтегральний коефіцієнт ефективності:

$$I_{\text{інт}} = \frac{E_p |K + R| \cdot 100 + K_{\text{еф}}}{3}. \quad (5.27)$$

$$I_{\text{інт}} = \frac{2,02 + 0,193 + 2,02}{3} = 1,41.$$

Отже, економічна ефективність моделі спільного потоку перевищує традиційну в 1,4 раза.

Таблиця 5.8 – Структура формування економічного ефекту

Джерело ефекту	Економія, грн/рік	Частка, %
Скорочення простоїв	81000	57,5
Зниження собівартості	24700	17,5
Оптимізація ресурсів і праці	30000	25,0
Разом:	135700	100,0

Розрахунки підтвердили, що впровадження моделі спільного потоку технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522 є економічно ефективним і забезпечує:

- річний економічний ефект 70,7 тис. грн;
- коефіцієнт ефективності $K_{ef} = 2,02$;
- термін окупності 0,5 року;
- рівень рентабельності 19,3 %;
- зниження собівартості на 6,3 % та скорочення простоїв на 135 год/рік.

Отже, реалізація запропонованої моделі спільного потоку сприяє зростанню економічної віддачі виробничого процесу, підвищує ефективність використання обладнання та трудових ресурсів, і може бути рекомендована до впровадження на ремонтно-обслуговувальних підприємствах агропромислового комплексу.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження сумісності процесів технічного обслуговування (ТО) тракторів ХТЗ–3522 у спільному потоці, спрямоване на підвищення ефективності роботи ремонтно-обслуговувальних ділянок агропромислового комплексу.

Робота поєднує теоретичні, аналітичні, методичні та практичні аспекти організації технологічних процесів ТО, що дозволило розробити науково обґрунтовану модель спільного потоку, здатну забезпечити скорочення простоїв, зменшення витрат і підвищення продуктивності праці персоналу.

Здійснено аналіз технічних характеристик тракторів ХТЗ–3522, їх конструкційних особливостей і умов експлуатації. Встановлено, що ці машини характеризуються підвищеними енергетичними навантаженнями та потребують регулярного і якісного технічного обслуговування.

Досліджено сучасні системи ТО в агропромисловому комплексі та проведено огляд наукових робіт, присвячених організації спільних потоків.

Результати аналізу показали, що в більшості підприємств обслуговування здійснюється за традиційною схемою – з послідовним виконанням операцій, що призводить до втрат часу і ресурсів.

Визначено ключові проблеми галузі: низький рівень технічної оснащеності, неузгодженість процесів, недостатня автоматизація контролю та діагностики.

Запропоновано напрямки вдосконалення – інтеграцію технологічних процесів у єдиний спільний потік, що забезпечує сумісність операцій і раціональний розподіл ресурсів.

Розкрито сутність поняття сумісності технологічних процесів, розроблено класифікацію та характеристику операцій технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522.

Визначено параметри взаємодії процесів ТО, такі як часові інтервали, ресурсна спільність і логічна послідовність виконання.

На основі цього розроблено методику оцінювання сумісності, що базується на коефіцієнтах взаємозалежності й коефіцієнті синхронізації потоків:

Запропоновано математичну модель оптимізації послідовності операцій, яка дозволяє мінімізувати простої та забезпечити максимальне завантаження постів обслуговування. Модель вирішує задачу зведення процесу до оптимального паралельно-послідовного потоку, що забезпечує скорочення часу ТО на 20–25 %.

Проведено обґрунтування вибору організаційної схеми, побудовано модель сумісного виконання технологічних операцій, складено графік технічного обслуговування з урахуванням взаємозалежності постів і робіт.

Розроблено інженерну схему організації спільного потоку (рис. 1.6), що включає етапи: вхідна діагностика, групові операції I–III (змащування, перевірка систем, контроль трансмісії) та вихідний контроль.

Завдяки синхронізації операцій у часі та раціональному розподілу персоналу забезпечено зменшення тривалості одного ТО з 6,0 до 4,5 год, а також підвищення коефіцієнта використання обладнання з 0,65 до 0,82.

Крім того, у розділі розроблено систему показників ефективності організації робіт, що охоплює технічні, економічні та ресурсні параметри.

Проведений аналіз підтвердив, що нова модель дозволяє збільшити продуктивність праці персоналу на 24 %, зменшити простої тракторів на 18–20 % і покращити контроль якості виконання робіт.

Досліджено умови праці в ремонтно-обслуговувальній дільниці, визначено рівень впливу шкідливих та небезпечних факторів.

Розроблено комплекс заходів безпеки при виконанні операцій ТО: вентиляційні системи, заземлення, контроль тиску в гідросистемах, електробезпеку.

Окрему увагу приділено протипожежним заходам і діям персоналу в надзвичайних ситуаціях, що дозволило знизити потенційний рівень травмонебезпечності до нормативного значення $R_{don} \leq 1,0$.

Розраховано індекс готовності персоналу до дій у НС $I_e=0,72$, що підтверджує задовільний рівень підготовки.

Виконано розрахунки економічного ефекту від упровадження спільного потоку ТО. Розроблена методика дозволила визначити, що загальний річний економічний ефект становить 70–95 тис. грн, коефіцієнт ефективності $K_e= 2,02$, термін окупності – близько 0,5 року, а рентабельність – 19–20 %.

Завдяки скороченню простоїв, зменшенню енерго- і трудовитрат, а також оптимізації використання обладнання, забезпечується зниження собівартості робіт на 6,3 %. Визначено, що основні джерела економічної вигоди формуються за рахунок скорочення простоїв (57,5 %) та оптимізації праці (25 %).

У результаті проведених досліджень розроблено узагальнену модель організації спільного потоку технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522, яка забезпечує:

1. Методику аналізу ОТС ТП, які виконуються на стаціонарних постах, передбачає урахування непропорційності зміни часткових програм (W_1, W_2) ТО відповідно до співвідношень їх тривалості. Як наслідок загальна програма ТО (W_k) є змінною.

2. Застосування цієї методики для аналізу процесів ТО тракторів ХТЗ дало можливість підвищити точність розрахунку показників ОТС, як для різних рівнів завантаження ПТО за продуктивністю, Так і для окремих виробничих структур ПТО загалом.

3. Показники сумісності є найвищими для ПТО з елементарною виробничою структурою які характеризуються мінімальною продуктивністю Q_p .

4. Об'єднання в спільному потоці щораз більшої кількості різних ТП не підвищує показники ОТС.

5. Отримані значення показників ОТС дали можливість обґрунтувати доцільність створення ПТО політехнологічної спеціалізації для тракторів ХТЗ-3522 класу 0,9.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 2860–94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ. Держстандарт України, 1995. 36 с.
2. ДСТУ ISO 14224:2008. Надійність та обслуговування обладнання. Збирання даних про надійність і підтримуваність. Київ. Держспоживстандарт України, 2009. 54 с.
3. ДСТУ 2079–92. Система технічного обслуговування і ремонту техніки в сільському господарстві. Терміни та визначення. Київ. Держспоживстандарт, 1993. 25 с.
4. ДСТУ 3649:2010. Трактори сільськогосподарські. Загальні технічні вимоги. Київ. Мінекономіки України, 2011. 22 с.
5. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2016. 32 с.
6. Бойко І.М. Технічне обслуговування та ремонт машин: навч. посіб. Київ. Вища освіта, 2018. 320 с.
7. Сидоренко В.П. Організація технічного сервісу в агропромисловому комплексі: монографія. Харків: ХНТУСГ, 2020. 280 с.
8. Гур'єв М.Д. Підвищення ефективності систем технічного обслуговування машинно-тракторного парку. Київ. Аграрна наука, 2017. 198 с.
9. Зінченко О.І., Лук'яненко І.В. Технологічні процеси технічного обслуговування тракторів. Харків: ХНТУСГ, 2019. 250 с.
10. Бабенко В.М. Надійність машин і обладнання. Полтава: ПДАА, 2016. 215 с.
11. Беліков С.М. Механізація технічного сервісу аграрного виробництва. Київ. ЦП «Компринт», 2015. 220 с.
12. Кравченко Ю.І. Вдосконалення організації технічного обслуговування тракторів великої потужності. *Техніка і технології АПК*. 2021. № 5. С. 45–52.

13. Мельник О.П., Кулик А.М. Аналіз систем технічного обслуговування тракторів ХТЗ у фермерських господарствах. *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. 2020. Вип. 213. С. 87–95.
14. Гайдук А.В. Оптимізація потокових процесів технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Київ. НАУ, 2019. 176 с.
15. Пат. № 142358 Україна. Пристрій для діагностики технічного стану тракторів. Кузьменко С.І., Сухий О.Л. Опубл. 25.08.2020, Бюл. №16.
16. Пат. № 137925 Україна. Лінія технічного обслуговування тракторів. Мельник В.Г., Лисенко І.О. Опубл. 10.11.2019, Бюл. №21.
17. Мазуренко В.І. Технологія технічного обслуговування та ремонту машин. Харків: ХНТУСГ, 2018. 340 с.
18. Савчук М.В. Енергозбереження в системах технічного сервісу АПК. Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2017. 230 с.
19. Жуков В.І., Мельничук О.М. Системний підхід до організації технічного обслуговування в аграрному виробництві. *Наукові праці ОНАХТ*. 2021. Т. 85, №2. С. 98–104.
20. Поляков С.В. Організація технічного сервісу машин у спільному потоці. *Технічний сервіс агропромислового комплексу*. 2022. № 3. С. 25–33.
21. Скляр І.В. Моделювання технологічних процесів технічного обслуговування. Київ. КНЕУ, 2018. 189 с.
22. Хом'яков О.С. Автоматизація та комп'ютеризація процесів діагностики машин. Харків: ХНУРЕ, 2020. 178 с.
23. Єгоров В.М. Підвищення ефективності технічного обслуговування тракторів засобами діагностики. *Сільськогосподарська техніка сьогодні*. 2019. № 4. С. 12–18.
24. Лозинський А.І. Оптимізація виробничих процесів технічного обслуговування в системі АПК. Тернопіль: ТНТУ, 2021. 195 с.
25. Міністерство аграрної політики України. Методичні рекомендації щодо визначення економічної ефективності впровадження нової техніки і технологій у сільському господарстві. Київ. Мінагрополітики, 2018. 48 с.

26. Богданов О.С. Економіка технічного сервісу агропромислового виробництва. Київ. НАУ, 2016. 210 с.

27. Погорілий О.В. Методика розрахунку економічної ефективності технічних удосконалень у машинобудуванні. *Економіка і виробництво*. 2020. № 6. С. 60–67.

28. ISO 14224:2016. Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Geneva: ISO, 2016. 220 p.

29. KhTZ-3522 Tractor: Service and Maintenance Guide. Kharkiv Tractor Plant, 2022. 144 p.