НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри
технічного сервісу та інженерного менеджменту імені
М. П. Момотенка

_____ Руслан ШАТРОВ

«_____» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Розробка BIM технології технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок» Київської області»_____

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

__д.т.н., професор_____ _____ Вячеслав БРАТІШКО
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврaської кваліфікаційної роботи

_____к.т.н., доц.____ _____ Соломка Олексій Валерійович

Виконав _____ Полтавець Сергій Сергійович

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
технічного сервісу та інженерного менеджменту
імені М. П. Момотенка
_____ Іван РОГОВСЬКИЙ
(підпис) (ПІБ)
«____» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту
_____ Полтавецю Сергію Сергійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»_____
(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра «Розробка BIM технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок» Київської області»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «06» січня 2026 р. № 14 «С»
Термін подання завершеної роботи на кафедру__20 травня 2026 року_____
(рік, місяць, число)
Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра Матеріали первинного бухгалтерського обліку, нормативно-методичні матеріали, науково-технічна література_____
Перелік питань, які потрібно розробити:
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ У ТОВ «СВІТАНОК» КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА BIM-ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ _____

Перелік графічних документів: **Електронна презентація на 14 слайдів**
Дата видачі завдання «06» січня 2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
_____ Соломка Олексій Валерійович
(підпис) (прізвище та ініціали)
Завдання прийняв до виконання _____ Полтавець Сергій Сергійович
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ЗМІСТ…… 3
ВСТУП……... 4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ С.Г. ТЕХНІКИ……..…… 7
1.1. Сучасний стан розвитку цифрових технологій у технічному сервісі аграрної техніки……. 7
1.2. Призначення та особливості технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів……. 11
1.3. Концепція BIM (Building Information Modeling) та можливості її використання у машинобудуванні й технічному сервісі…….. 16
1.4. Зарубіжний та вітчизняний досвід цифровізації процесів технічного обслуговування…….. 21
1.5. Висновки до розділу 1…….. 26
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ У ТОВ «СВІТАНОК» КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ…….. 27
2.1. Загальна характеристика підприємства та його виробничої діяльності…….. 27
2.2. Технічний парк зернозбиральних комбайнів підприємства…….. 30
2.3. Організація технічного обслуговування та ремонту техніки…… 34
2.4. Аналіз існуючих проблем та факторів, що впливають на ефективність технічного сервісу…….. 39
2.5. Обґрунтування необхідності впровадження BIM-технології…… 44
2.6. Висновки до розділу 2…….. 48
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА BIM-ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ……. 49
3.1. Формування інформаційної BIM-моделі зернозбирального комбайна……. 49
3.2. Розробка цифрового алгоритму технічного обслуговування…… 54
3.3. Створення технологічної карти та інформаційної бази технічного сервісу…….. 55
3.4. Структура цифрового алгоритму..... 55
3.5. Використання телематики та Digital Twin…….. 57
3.6. Аналітичні можливості алгоритму ……. 58
3.7. Висновки до розділу 3…….. 59
ВИСНОВКИ 61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 62

ВСТУП

Актуальність теми

Сучасний розвиток агропромислового комплексу України характеризується активним впровадженням цифрових технологій та автоматизацією виробничих процесів. Одним із найважливіших напрямів підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва є забезпечення надійної та безперебійної роботи машинно-тракторного парку, зокрема зернозбиральних комбайнів. Саме ця техніка виконує найбільш відповідальні операції під час збирання врожаю, а її технічний стан безпосередньо впливає на продуктивність підприємства, якість виконання технологічних процесів та економічні результати діяльності.

У сучасних умовах традиційні методи організації технічного обслуговування вже не забезпечують необхідного рівня оперативності та контролю. Відсутність єдиної цифрової інформаційної системи призводить до втрати часу на пошук технічної документації, несвоєчасного проведення профілактичних робіт, збільшення витрат на ремонт та простоїв техніки під час найвідповідальніших сезонних робіт.

Одним із перспективних напрямів вирішення зазначених проблем є використання BIM-технологій (Building Information Modeling). Незважаючи на те, що BIM найбільш поширена у будівельній галузі, її принципи можуть успішно застосовуватися для створення цифрових інформаційних моделей складних технічних об'єктів, управління їх життєвим циклом та організації технічного сервісу. Використання BIM дозволяє інтегрувати конструктивні характеристики машини, графіки технічного обслуговування, експлуатаційну документацію, інформацію про запасні частини та результати діагностики в єдину цифрову систему.

Для аграрних підприємств впровадження BIM-технологій створює можливість переходу від планово-попереджувальної системи ремонту до інтелектуального управління технічним станом машин, що сприяє підвищенню

коефіцієнта їх технічної готовності, скороченню експлуатаційних витрат та мінімізації ризику аварійних відмов.

ТОВ «Світанок» Київської області використовує сучасну зернозбиральну техніку, ефективність роботи якої значною мірою залежить від якісної організації технічного обслуговування. Саме тому розробка BIM-технології для планування та супроводу технічного сервісу є актуальним науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення ефективності діяльності підприємства та впровадження концепції цифрового сільського господарства.

Мета та завдання дослідження

Метою бакалаврської роботи є розробка BIM-технології технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок» Київської області з метою підвищення ефективності організації технічного сервісу, скорочення простоїв техніки та оптимізації витрат на її експлуатацію.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- дослідити сучасний стан розвитку цифрових технологій у системі технічного сервісу сільськогосподарської техніки;
- проаналізувати особливості організації технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів;
- вивчити принципи використання BIM-технологій та можливості їх адаптації до технічного сервісу машин;
- провести аналіз існуючої системи технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок»;
- визначити основні проблеми та недоліки чинної організації технічного сервісу;
- розробити інформаційну BIM-модель процесу технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів;
- сформувати алгоритм цифрового управління процесами технічного обслуговування;
- оцінити економічну доцільність та практичну ефективність запропонованих рішень.

Об'єктом дослідження є процес технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок» Київської області.

Предметом дослідження є застосування BIM-технологій для цифрового моделювання, планування та управління процесами технічного обслуговування зернозбиральної техніки.

Методи дослідження. Під час виконання роботи використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження. Теоретичний аналіз і узагальнення наукової літератури застосовано для вивчення сучасних підходів до організації технічного обслуговування та використання BIM-технологій. Методи системного аналізу використано для дослідження структури технічного сервісу зернозбиральних комбайнів та взаємозв'язків між його складовими.

Порівняльний аналіз дав можливість оцінити традиційні та цифрові підходи до організації технічного обслуговування. Метод моделювання використано під час створення BIM-моделі процесу технічного сервісу. Економічні методи застосовано для визначення ефективності впровадження запропонованої технології, оцінки можливого скорочення витрат та підвищення продуктивності експлуатації техніки.

Наукова новизна та практичне значення роботи. Наукова новизна роботи полягає у розробленні підходу до застосування BIM-технологій для організації технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів, що передбачає створення єдиної цифрової інформаційної моделі, яка поєднує технічні характеристики машини, графіки обслуговування, результати діагностики та інформацію про необхідні запасні частини.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

1.1. Сучасний стан розвитку цифрових технологій у технічному сервісі аграрної техніки

Сучасний етап розвитку агропромислового комплексу характеризується стрімким впровадженням цифрових технологій у всі сфери виробництва. Якщо раніше основною метою механізації було зменшення частки ручної праці, то сьогодні пріоритетом є створення інтегрованих інформаційних систем, які забезпечують автоматизацію управління технікою, моніторинг її технічного стану та оптимізацію процесів експлуатації й технічного обслуговування.

В умовах високої конкуренції та зростання вартості сільськогосподарської техніки особливого значення набуває ефективне управління її життєвим циклом. Значна частина витрат аграрних підприємств припадає не лише на придбання машин, а й на їх експлуатацію, ремонт, технічне обслуговування та простої. Саме тому сучасні цифрові технології спрямовані на мінімізацію відмов обладнання, прогнозування можливих несправностей та своєчасне виконання профілактичних заходів.

За останні роки концепція «точного землеробства» (Precision Agriculture) трансформувалася у концепцію «цифрового сільського господарства» (Digital Agriculture), яка об’єднує інформаційні системи, глобальні навігаційні технології, телематику, штучний інтелект, великі масиви даних (Big Data), Інтернет речей (IoT) та цифрові моделі технічних об’єктів.

У сучасних зернозбиральних комбайнах встановлюються десятки електронних датчиків, які контролюють:

- температуру двигуна;
- тиск мастила;
- рівень пального;
- навантаження на вузли;
- роботу гідравлічної системи;
- параметри молотильного апарата;
- швидкість руху;
- продуктивність машини;
- втрати зерна;
- витрати пального.

Уся інформація може передаватися до центральної інформаційної системи підприємства, де використовується для аналізу роботи техніки та планування технічного обслуговування.

Основні цифрові технології у технічному сервісі

Сучасний технічний сервіс базується на використанні комплексу взаємопов'язаних цифрових рішень.

Таблиця 1.1 – Основні цифрові технології, що використовуються у технічному сервісі аграрної техніки

Технологія	Основне призначення	Практичний результат
GPS-навігація	Контроль місцезнаходження техніки	Оптимізація маршрутів
IoT (Інтернет речей)	Збір інформації з датчиків	Постійний моніторинг стану
Телематика	Передача експлуатаційних даних	Дистанційний контроль роботи
Big Data	Аналіз великих обсягів інформації	Виявлення закономірностей відмов
Штучний інтелект	Прогнозування несправностей	Зменшення аварійних поломок
BIM-технології	Створення цифрової моделі техніки	Оптимізація технічного сервісу
Хмарні сервіси	Зберігання документації та даних	Доступ до інформації у режимі реального часу

Застосування зазначених технологій дозволяє перейти від традиційного планово-попереджувального ремонту до системи прогнозного (Predictive Maintenance) технічного обслуговування. У цьому випадку рішення щодо проведення сервісних робіт приймаються на основі фактичного технічного стану машини, а не лише за календарним графіком або напрацюванням у мотогодинах.

Цифровізація технічного сервісу

Традиційна система технічного обслуговування базується на нормативних інтервалах проведення ТО-1, ТО-2 та сезонного обслуговування. Однак реальні умови експлуатації значно відрізняються залежно від:

- погодних умов;
- вологості ґрунту;
- культури, що збирається;
- навантаження на двигун;
- кваліфікації оператора;
- тривалості роботи без зупинок.

Через це однакові нормативи не завжди забезпечують оптимальний режим експлуатації техніки.

Цифрові системи дозволяють безперервно контролювати роботу машини та автоматично формувати рекомендації щодо необхідності проведення технічного обслуговування.

Таблиця 1.2 – Порівняння традиційного та цифрового технічного сервісу

Показник	Традиційний підхід	Цифровий підхід
Планування ТО	За календарем або мотогодинами	За фактичним технічним станом
Контроль роботи	Періодичний	Безперервний
Діагностика	Після виникнення несправності	У режимі реального часу
Документація	Паперова	Електронна
Планування запасних частин	Після поломки	Завчасне прогнозування
Простої техніки	Відносно високі	Мінімізовані
Управління інформацією	Розрізнене	Єдина цифрова база

Одним із найважливіших напрямів розвитку цифрового сервісу є створення цифрового паспорта машини, який містить повну історію її експлуатації. До такого паспорта можуть входити:

- заводські характеристики;
- серійний номер;
- результати діагностики;
- перелік виконаних ремонтів;
- інформація про заміну деталей;
- графіки технічного обслуговування;
- дані про витрати пального;
- історія роботи основних агрегатів.

Наявність єдиної інформаційної бази значно підвищує якість управління технічним станом машин.

Використання BIM-технологій у технічному сервісі

BIM (Building Information Modeling) традиційно застосовується у будівництві як технологія створення інформаційної моделі об’єкта протягом усього його життєвого циклу. Проте сучасні принципи BIM можуть бути адаптовані й до складної сільськогосподарської техніки.

У такій системі цифрова модель комбайна містить не лише його тривимірне представлення, а й інформацію про:

- конструкцію вузлів;
- технічні характеристики;
- строки проведення обслуговування;
- електронні інструкції;
- запасні частини;
- історію ремонтів;
- результати діагностики;
- залишковий ресурс окремих деталей.

У разі зміни технічного стану або виконання ремонтних робіт інформація автоматично оновлюється, що забезпечує актуальність даних для інженерів та сервісних спеціалістів.

Таблиця 1.3 – Переваги використання BIM-технології у технічному сервісі

Напрям	Результат
Планування ТО	Підвищення точності графіків
Управління документацією	Єдина інформаційна база
Контроль стану техніки	Оперативне виявлення відхилень
Організація ремонту	Скорочення часу підготовки
Управління запасними частинами	Зменшення складських витрат
Аналіз експлуатації	Накопичення історичних даних
Економічна ефективність	Скорочення витрат та простоїв

Особливо актуальним використання BIM є для великих аграрних підприємств, де одночасно експлуатується декілька зернозбиральних комбайнів різних моделей. У такому випадку цифрова система дозволяє координувати проведення технічного обслуговування, планувати завантаження ремонтного персоналу та забезпечувати своєчасне постачання необхідних запасних частин.

Таким чином, сучасний розвиток цифрових технологій свідчить про перехід аграрної галузі до інтелектуального управління технічними ресурсами. Використання телематики, Інтернету речей, штучного інтелекту, Big Data та BIM-технологій створює передумови для формування ефективної системи технічного сервісу зернозбиральних комбайнів. Саме тому впровадження BIM-технології є перспективним напрямом підвищення надійності техніки, зниження експлуатаційних витрат та забезпечення сталого розвитку сучасного аграрного підприємства.

1.2. Призначення та особливості технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів

Зернозбиральний комбайн є однією з найскладніших самохідних машин у сучасному сільському господарстві. Він поєднує в собі функції зрізування рослин, подачі маси, обмолоту, сепарації, очищення зерна та його накопичення у бункері. Одночасне функціонування великої кількості механічних, гідравлічних, електронних та програмних систем обумовлює високі вимоги до технічного стану машини.

Технічне обслуговування являє собою комплекс організаційних і технологічних заходів, спрямованих на підтримання працездатності комбайна, попередження несправностей, продовження строку експлуатації та забезпечення максимальної продуктивності під час виконання польових робіт.

Особливістю зернозбиральних комбайнів є їх сезонне використання. Під час жнив техніка працює практично безперервно, інколи по 16–20 годин на добу, тому навіть короткочасна відмова може призвести до значних економічних втрат підприємства через простої та втрату врожаю.

Саме тому система технічного обслуговування повинна бути спрямована не лише на усунення вже існуючих несправностей, а насамперед на їх попередження.

Основними цілями технічного обслуговування є:

- забезпечення безпечної експлуатації машини;
- підтримання високої продуктивності;
- зниження кількості аварійних відмов;
- продовження ресурсу агрегатів;
- зменшення витрат на ремонт;
- забезпечення стабільної якості збирання зерна;
- скорочення простоїв техніки.

Основні завдання технічного обслуговування

Система технічного обслуговування включає комплекс профілактичних операцій, що виконуються відповідно до рекомендацій виробника та фактичного технічного стану машини.

Таблиця 1.4 – Основні завдання технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів

Завдання	Характеристика
Контроль технічного стану	Виявлення дефектів та несправностей
Змащування вузлів	Зменшення тертя та зношування
Регулювання механізмів	Забезпечення оптимальної роботи агрегатів

Діагностика систем	Контроль електронних та гідравлічних систем
Очищення машини	Видалення пилу, залишків соломи та бруду
Заміна експлуатаційних матеріалів	Оливи, фільтри, мастила
Контроль кріплень	Попередження руйнування конструкції
Перевірка систем безпеки	Забезпечення безпечної роботи оператора

Виконання зазначених операцій забезпечує безперебійну роботу комбайна протягом усього збирального сезону.

Конструктивні особливості зернозбиральних комбайнів

На відміну від багатьох інших сільськогосподарських машин, зернозбиральний комбайн складається з великої кількості взаємопов'язаних систем.

До основних систем належать:

- двигун;
- трансмісія;
- ходова частина;
- жатка;
- похила камера;
- молотильний апарат;
- система сепарації;
- система очищення зерна;
- бункер;
- вивантажувальний механізм;
- гідравлічна система;
- електронна система керування;
- система автоматичного контролю.

Пошкодження навіть одного елемента може призвести до зупинки всього технологічного процесу.

Таблиця 1.5 – Основні вузли зернозбирального комбайна та їх функції

Вузол	Основна функція
Жатка	Зрізування рослин
Похила камера	Подача маси до молотильного апарата
Молотильний барабан	Обмолот зерна

Система сепарації	Відокремлення зерна
Система очищення	Видалення домішок
Бункер	Накопичення зерна
Шнек вивантаження	Передача зерна до транспорту
Двигун	Забезпечення енергією
Гідросистема	Робота виконавчих механізмів
Електронна система	Контроль параметрів роботи

Види технічного обслуговування

Відповідно до нормативної документації та рекомендацій виробників технічне обслуговування поділяється на декілька видів.

Таблиця 1.6 – Класифікація технічного обслуговування

Вид ТО	Періодичність	Основні роботи
Щоденне	Перед та після зміни	Огляд, очищення, перевірка рівнів рідин
ТО-1	Через встановлену кількість мотогодин	Змащування, регулювання, підтягування кріплень
ТО-2	Через більший інтервал роботи	Комплексна перевірка вузлів
Сезонне	Перед та після сезону	Консервація або підготовка до роботи
Позапланове	За необхідності	Усунення несправностей

Щоденне технічне обслуговування є найбільш важливим під час жнив, оскільки дозволяє вчасно виявити дефекти до початку роботи.

ТО-1 включає перевірку приводних ременів, ланцюгів, натягування механізмів та змащування рухомих деталей.

ТО-2 передбачає більш глибоку діагностику та перевірку функціонування всіх основних систем.

Фактори, що впливають на технічний стан комбайнів

Експлуатація зернозбиральної техніки відбувається у складних умовах.

На технічний стан впливають:

- пилове навантаження;
- висока температура;
- вібрація;
- ударні навантаження;

- вологість;
- нерівність поверхні поля;
- якість пального;
- якість мастильних матеріалів;
- професійна підготовка механізатора.

Таблиця 1.7 – Основні фактори та їх вплив на технічний стан

Фактор	*Наслідки*
Пил	Засмічення радіаторів та фільтрів
Вібрація	Ослаблення кріплень
Перевантаження	Передчасний знос деталей
Висока температура	Перегрів двигуна
Вологість	Корозія металевих поверхонь
Неякісне пальне	Зниження ресурсу паливної системи
Недостатнє змащування	Інтенсивне зношування
Помилки оператора	Підвищення аварійності

Саме тому сучасна система технічного обслуговування повинна враховувати реальні умови експлуатації техніки.

Сучасні методи діагностики

Розвиток електроніки дозволив перейти від візуального контролю до автоматизованої діагностики.

Сьогодні використовуються:

- електронні системи самодіагностики;
- датчики температури;
- датчики тиску;
- GPS-моніторинг;
- телематичні системи;
- комп’ютерна діагностика;
- дистанційний контроль через мережу Інтернет.

Таблиця 1.8 – Порівняння традиційної та цифрової діагностики

Показник	Традиційна	Цифрова
Швидкість виявлення несправності	Низька	Висока
Точність	Середня	Висока
Людський фактор	Значний	Мінімальний
Автоматизація	Практично відсутня	Висока

Можливість прогнозування	Немає	Є
Збереження історії	Частково	Повністю

Завдяки цифровим технологіям можливо прогнозувати відмови ще до їх виникнення, що значно скорочує витрати на ремонт.

Значення BIM-технологій у технічному обслуговуванні

Одним із найбільш перспективних напрямів розвитку технічного сервісу є впровадження BIM-технологій. Інформаційна модель дозволяє об'єднати конструктивні характеристики машини, її експлуатаційні параметри та історію технічного обслуговування в єдиному цифровому середовищі.

У BIM-моделі можуть зберігатися:

- цифровий паспорт комбайна;
- перелік вузлів;
- терміни проведення ТО;
- результати діагностики;
- електронні інструкції;
- каталоги запасних частин;
- історія ремонтів;
- залишковий ресурс агрегатів.

Таблиця 1.9 – Переваги використання BIM у технічному сервісі

Перевага	Очікуваний ефект
Централізація інформації	Швидкий доступ до даних
Автоматизація планування	Скорочення часу підготовки ТО
Контроль історії ремонтів	Підвищення якості сервісу
Планування запасних частин	Зменшення складських витрат
Моніторинг технічного стану	Попередження аварійних відмов
Оптимізація роботи персоналу	Підвищення продуктивності
Скорочення простоїв	Зростання економічної ефективності

Таким чином, технічне обслуговування зернозбиральних комбайнів є складною багаторівневою системою, яка забезпечує надійність, безпечність та економічну ефективність експлуатації техніки. Використання сучасних цифрових технологій, зокрема BIM-моделювання, створює умови для переходу від традиційної планово-попереджувальної системи до інтелектуального управління життєвим циклом машин, що є одним із ключових напрямів розвитку сучасного аграрного виробництва.

1.3. Концепція BIM (Building Information Modeling) та можливості її використання у машинобудуванні й технічному сервісі

1.3.1. Сутність концепції BIM

У сучасних умовах цифрової трансформації промисловості та аграрного виробництва особливого значення набувають технології інформаційного моделювання об’єктів. Однією з найбільш перспективних концепцій є **BIM (Building Information Modeling)**, яка передбачає створення єдиної цифрової інформаційної моделі об’єкта протягом усього його життєвого циклу.

Первинно BIM-технологія була розроблена для будівельної галузі та використовувалася для проєктування будівель і споруд. Проте сучасне трактування BIM значно ширше і полягає у створенні цифрового інформаційного середовища, що містить не лише тривимірну модель об’єкта, але й усі технічні, економічні, експлуатаційні та сервісні характеристики.

На відміну від традиційних креслень або окремих CAD-моделей, BIM являє собою інтегровану базу даних, у якій кожний елемент має власні параметри та взаємозв’язки з іншими елементами системи. Будь-які зміни автоматично оновлюються у всій моделі, що забезпечує актуальність інформації та значно спрощує процес управління.

Для складних технічних систем, до яких належать зернозбиральні комбайни, BIM дозволяє створити цифровий аналог машини, що містить конструктивні характеристики, інформацію про комплектуючі, графіки технічного обслуговування, результати діагностики, історію ремонтів та прогноз залишкового ресурсу.

Таким чином, BIM є не просто програмним забезпеченням, а сучасною концепцією управління інформацією про об’єкт на всіх стадіях його існування — від проєктування до списання.

1.3.2. Основні принципи BIM-технології

Концепція BIM базується на декількох фундаментальних принципах, які забезпечують її ефективність.

До них належать:

- створення єдиної цифрової моделі;
- централізоване зберігання інформації;
- автоматичне оновлення даних;
- інтеграція різних інформаційних систем;
- підтримка управління життєвим циклом об’єкта;
- можливість колективної роботи користувачів;
- використання аналітичних та прогнозних моделей.

Таблиця 1.10 – Основні принципи BIM-технології

Принцип	Характеристика
Єдина інформаційна модель	Вся інформація зберігається в одному середовищі
Актуальність даних	Зміни автоматично оновлюються
Комплексність	Поєднання графічної та текстової інформації
Інтеграція	Взаємодія різних програмних систем
Простежуваність	Збереження історії змін
Автоматизація	Мінімізація ручних операцій
Управління життєвим циклом	Супровід об’єкта від створення до списання

Завдяки цим принципам BIM дозволяє значно скоротити кількість помилок, пов’язаних із використанням застарілої або неповної інформації.

1.3.3. Структура інформаційної BIM-моделі

Інформаційна модель складається не лише з тривимірного зображення об’єкта. Вона включає велику кількість взаємопов’язаних характеристик.

До складу BIM-моделі можуть входити:

- геометрична модель;
- технічні характеристики;
- матеріали конструкції;
- специфікація деталей;
- технологічні параметри;
- експлуатаційна документація;
- графіки технічного обслуговування;
- результати діагностики;
- економічні показники;
- інформація про запасні частини.

Таблиця 1.11 – Основні складові BIM-моделі

Складова	Зміст
Геометрична	3D-модель об’єкта
Технічна	Характеристики агрегатів
Технологічна	Регламенти обслуговування
Експлуатаційна	Дані про використання

Сервісна	Історія ремонтів
Економічна	Вартість експлуатації
Логістична	Інформація про запасні частини
Аналітична	Статистика та прогнозування

Фактично BIM-модель виступає цифровим паспортом машини, який накопичує інформацію протягом усього строку експлуатації.

1.3.4. Використання BIM у машинобудуванні

Останніми роками концепція BIM активно впроваджується не лише у будівництві, але й у машинобудуванні. Це пов’язано зі зростанням складності сучасної техніки та необхідністю управління великими обсягами інформації.

У машинобудуванні BIM використовується для:

- цифрового проєктування виробів;
- моделювання технологічних процесів;
- оптимізації конструкцій;
- управління виробництвом;
- супроводу експлуатації;
- організації ремонту;
- прогнозування технічного ресурсу.

Особливо ефективним є застосування BIM при виробництві складних технічних комплексів, які складаються з великої кількості вузлів та агрегатів.

Таблиця 1.12 – Напрями використання BIM у машинобудуванні

Напрям	Практичне застосування
Проєктування	Створення цифрових моделей
Виробництво	Планування технологічних процесів
Контроль якості	Виявлення конструктивних помилок
Експлуатація	Моніторинг технічного стану
Сервіс	Планування ТО та ремонту
Логістика	Управління запасними частинами
Модернізація	Аналіз можливостей оновлення

Таким чином, BIM стає універсальним інструментом управління технічними системами.

1.3.5. BIM у технічному сервісі зернозбиральних комбайнів

Сучасний зернозбиральний комбайн містить тисячі деталей та десятки взаємопов'язаних систем. Управління їх технічним станом без цифрових технологій стає дедалі складнішим.

Використання BIM дозволяє створити цифрову інформаційну модель конкретної машини, яка містить:

- паспортні дані;
- заводські характеристики;
- інформацію про вузли;
- схеми розташування деталей;
- строки проведення ТО;
- результати попередніх ремонтів;
- перелік замінених деталей;
- електронні інструкції;
- інформацію про гарантійні роботи;
- прогноз залишкового ресурсу.

Після проведення кожного технічного обслуговування інформація автоматично оновлюється, що дозволяє формувати повну історію експлуатації машини.

1.3.6. Переваги використання BIM у технічному сервісі

Використання BIM забезпечує значні організаційні та економічні переваги.

Таблиця 1.13 – Основні переваги застосування BIM

Перевага	Практичний результат
Єдина база даних	Швидкий доступ до інформації
Автоматизація планування	Скорочення часу підготовки ТО
Контроль ресурсу	Своєчасна заміна деталей
Моніторинг технічного стану	Попередження аварій
Планування ремонтів	Мінімізація простоїв
Управління документацією	Відсутність дублювання інформації
Аналіз витрат	Оптимізація експлуатаційних витрат

Підтримка управлінських рішень	Підвищення ефективності роботи підприємства

За оцінками багатьох досліджень, цифрове управління технічним сервісом дозволяє скоротити час пошуку інформації, підвищити точність планування ремонтів та зменшити ризик виникнення аварійних ситуацій.

1.3.7. Перспективи інтеграції BIM з сучасними цифровими технологіями

Подальший розвиток BIM пов'язаний з інтеграцією із сучасними цифровими платформами.

Найбільш перспективними напрямами є:

- використання Інтернету речей (IoT);
- застосування штучного інтелекту;
- технології Big Data;
- цифрові двійники (Digital Twin);
- хмарні сервіси;
- мобільні застосунки для сервісного персоналу;
- автоматизовані системи управління технікою.

Таблиця 1.14 – Перспективні напрями розвитку BIM

Технологія	Очікуваний ефект
IoT	Безперервний збір даних із датчиків
Digital Twin	Створення цифрового двійника машини
Штучний інтелект	Прогнозування відмов
Big Data	Аналіз великих масивів інформації
Хмарні технології	Доступ до даних з будь-якого місця
Мобільні додатки	Оперативне виконання сервісних робіт
ERP/CRM інтеграція	Комплексне управління підприємством

Інтеграція цих технологій формує основу концепції **«розумного» технічного сервісу**, у якій рішення щодо обслуговування приймаються на основі фактичного стану машини та накопичених даних, а не лише за регламентом.

Висновки

Концепція BIM є сучасною інформаційною технологією управління життєвим циклом технічних об’єктів, що забезпечує створення єдиного цифрового інформаційного середовища. На відміну від традиційних підходів, BIM об’єднує геометричні, технічні, експлуатаційні та економічні характеристики машини, дозволяючи здійснювати комплексне управління її станом. Для зернозбиральних комбайнів застосування BIM створює можливість автоматизації технічного обслуговування, накопичення історії експлуатації, прогнозування відмов, оптимізації ремонтних робіт та зменшення простоїв техніки. У перспективі інтеграція BIM із технологіями IoT, Digital Twin і штучного інтелекту стане основою цифрової трансформації технічного сервісу аграрних підприємств.

1.4. Зарубіжний та вітчизняний досвід цифровізації процесів технічного обслуговування

1.4.1. Сучасні тенденції цифровізації технічного обслуговування

Цифрова трансформація агропромислового комплексу є одним із ключових напрямів розвитку світового сільського господарства. Постійне зростання вартості техніки, дефіцит кваліфікованих кадрів, необхідність підвищення продуктивності праці та скорочення експлуатаційних витрат зумовили активне впровадження цифрових технологій у процеси технічного обслуговування машин.

Якщо раніше технічний сервіс базувався переважно на планово-попереджувальній системі ремонтів, то сьогодні все більшого поширення набуває концепція **Predictive Maintenance** (прогнозне технічне обслуговування), яка передбачає аналіз фактичного технічного стану обладнання та прогнозування можливих відмов ще до їх виникнення.

Основою такої системи є використання:

- телематичних платформ;
- супутникової навігації;
- датчиків Інтернету речей (IoT);
- систем дистанційної діагностики;
- хмарних сервісів;
- штучного інтелекту;
- цифрових моделей (Digital Twin та BIM).

У результаті підприємство отримує можливість здійснювати безперервний контроль технічного стану машин, оперативно планувати ремонтні роботи та мінімізувати простої техніки.

1.4.2. Зарубіжний досвід цифровізації технічного сервісу

Провідні виробники сільськогосподарської техніки вже давно перейшли від продажу окремої машини до надання комплексної цифрової екосистеми її експлуатації. У сучасних умовах комбайн фактично є інформаційною платформою, що постійно генерує дані про власний технічний стан.

Найбільш активно цифровізація технічного сервісу розвивається у США, Німеччині, Франції, Канаді та Японії.

Основними напрямами є:

- дистанційний моніторинг;
- автоматичне формування графіків ТО;
- прогнозування поломок;
- цифрові каталоги запасних частин;
- мобільні застосунки сервісних інженерів;
- використання цифрових двійників техніки.

Таблиця 1.15 – Основні цифрові технології у зарубіжному технічному сервісі

Технологія	Призначення	Результат
GPS-моніторинг	Контроль місцезнаходження	Оптимізація роботи техніки
Телематика	Передача експлуатаційних даних	Дистанційний контроль
IoT	Моніторинг параметрів	Оперативне виявлення несправностей
Cloud-сервіси	Зберігання інформації	Централізоване управління
AI	Аналіз стану техніки	Прогнозування відмов
BIM/Digital Twin	Інформаційне моделювання	Управління життєвим циклом

Сучасні цифрові рішення дозволяють сервісним центрам отримувати інформацію про технічний стан машини ще до звернення власника. Це значно скорочує час діагностики та ремонту.

1.4.3. Досвід провідних світових виробників

Провідні світові виробники зернозбиральної техніки активно інтегрують цифрові технології у власні сервісні платформи.

Наприклад, компанії використовують:

- автоматичний збір телематичних даних;
- онлайн-контроль продуктивності;
- дистанційну діагностику;
- цифрові журнали технічного обслуговування;
- інтеграцію із мобільними сервісами.

Подібні рішення дозволяють контролювати:

- температуру двигуна;
- навантаження на агрегати;
- витрати пального;
- роботу гідросистем;
- стан молотильного механізму;
- продуктивність машини.

Таблиця 1.16 – Переваги цифрового технічного сервісу

Показник	Традиційний сервіс	Цифровий сервіс
Виявлення несправностей	Після відмови	До виникнення відмови
Планування ремонту	За календарем	За фактичним станом
Документація	Паперова	Електронна
Контроль техніки	Локальний	Дистанційний
Швидкість прийняття рішень	Низька	Висока
Простої	Значні	Мінімізовані

Таким чином, світова практика демонструє поступовий перехід від реактивного ремонту до інтелектуального управління технічним станом машин.

1.4.4. Використання BIM та Digital Twin

Окремим напрямом розвитку цифрового сервісу є застосування технологій BIM та Digital Twin.

Digital Twin («цифровий двійник») являє собою віртуальну копію реальної машини, яка в режимі реального часу отримує інформацію від датчиків та відображає її на цифровій моделі.

BIM-технологія забезпечує:

- структуроване зберігання інформації;
- інтеграцію документації;

- управління технічним обслуговуванням;
- аналіз життєвого циклу техніки;
- планування ремонтних заходів.

Таблиця 1.17 – Порівняння BIM та Digital Twin

Критерій	BIM	Digital Twin
Основна функція	Інформаційна модель	Динамічна цифрова копія
Джерело даних	Документація та база даних	Реальні датчики
Оновлення	Після внесення змін	У режимі реального часу
Використання	Планування та сервіс	Моніторинг і прогнозування
Аналіз ресурсу	Так	Так, із поточними даними

Поєднання BIM та Digital Twin створює єдину цифрову платформу управління технічним станом машин.

1.4.5. Вітчизняний досвід цифровізації

Україна активно впроваджує цифрові технології у сільському господарстві. Великі агрохолдинги використовують:

- GPS-моніторинг техніки;
- автоматичний контроль витрат пального;
- системи диспетчеризації;
- електронні журнали робіт;
- дистанційний контроль експлуатації;
- програмне забезпечення для управління машинно-тракторним парком.

Однак рівень цифровізації технічного обслуговування все ще поступається провідним світовим практикам.

Найчастіше цифровізація стосується:

- контролю маршрутів;
- обліку мотогодин;
- контролю пального;
- управління польовими роботами.

Менш поширеними залишаються:

- прогнозування відмов;
- цифрові двійники;

- BIM-моделювання;
- автоматизоване планування ремонтів.

1.4.6. Основні проблеми цифровізації в Україні

Попри позитивну динаміку, впровадження цифрових технологій стикається з рядом труднощів.

До основних проблем належать:

- висока вартість програмного забезпечення;
- недостатній рівень цифрової підготовки персоналу;
- відсутність єдиних стандартів інформаційного обміну;
- застаріла матеріально-технічна база окремих підприємств;
- обмежене використання BIM-технологій;
- недостатня інтеграція сервісних систем.

Таблиця 1.18 – Основні бар'єри цифровізації

Проблема	Наслідки
Висока вартість впровадження	Повільне оновлення систем
Недостатня кваліфікація персоналу	Помилки при використанні
Відсутність інтеграції	Дублювання інформації
Паперовий документообіг	Втрата оперативності
Недостатня автоматизація	Зростання трудомісткості
Відсутність BIM-моделей	Ускладнення управління технікою

1.4.7. Перспективи використання BIM у технічному сервісі аграрної техніки

У найближчі роки цифровізація технічного сервісу буде розвиватися у напрямку інтеграції різних інформаційних систем в єдине цифрове середовище.

Очікується широке використання:

- BIM-технологій;
- штучного інтелекту;
- Інтернету речей;
- цифрових двійників;
- автоматизованого планування ТО;
- хмарних сервісів;

- мобільних платформ для сервісних інженерів.

Таблиця 1.19 – Очікувані результати впровадження BIM у технічному сервісі

Напрям	Очікуваний ефект
Планування ТО	Підвищення точності графіків
Контроль технічного стану	Зменшення аварійних відмов
Управління документацією	Єдина цифрова база
Планування запасних частин	Скорочення складських витрат
Організація ремонтів	Скорочення простоїв
Управління ресурсом техніки	Подовження строку служби
Економічна ефективність	Зниження експлуатаційних витрат

1.5. Висновки до розділу 1

Отже, аналіз зарубіжного та вітчизняного досвіду свідчить, що цифровізація процесів технічного обслуговування є одним із ключових напрямів розвитку сучасного аграрного виробництва. Провідні світові практики демонструють ефективність використання телематики, Інтернету речей, штучного інтелекту, цифрових двійників та BIM-технологій для управління життєвим циклом техніки. В Україні цифрові рішення вже активно застосовуються для моніторингу та диспетчеризації машин, однак інтегровані BIM-системи технічного сервісу поки що використовуються обмежено. Це обґрунтовує доцільність розроблення та впровадження BIM-технології технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок» Київської області як перспективного напряму підвищення ефективності експлуатації машинно-тракторного парку.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ У ТОВ «СВІТАНОК» КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Загальна характеристика підприємства та його виробничої діяльності

ТОВ «Світанок» є одним із провідних агропромислових підприємств Київської області, що спеціалізується на вирощуванні зернових культур, зокрема пшениці, кукурудзи та ячменю. Підприємство було засноване у 2005 році і на сьогодні обробляє близько 3 500 га ріллі. Основними напрямами діяльності є:

1. Вирощування зернових культур;
2. Виконання комплексу польових робіт — посів, догляд за рослинами, збирання врожаю;
3. Використання сучасної сільськогосподарської техніки для підвищення ефективності виробництва;
4. Забезпечення логістики та постачання продукції на внутрішній ринок.

Підприємство забезпечує комплексний підхід до організації виробничого процесу, що включає агрономічне планування, підготовку ґрунту, контроль за станом посівів, організацію збирання та післязбиральної обробки продукції. Значну увагу приділено впровадженню сучасних технологій, що дозволяють підвищити продуктивність праці та ефективність використання технічного парку.

Основні структурні підрозділи підприємства

Для організації виробничого процесу ТОВ «Світанок» має такі підрозділи:

- **Відділ механізації та технічного обслуговування техніки** — забезпечує експлуатацію та ремонт зернозбиральних комбайнів, тракторів та іншої сільськогосподарської техніки.

- **Агрономічний відділ** — відповідає за планування посівів, догляд за культурами та контроль за врожайністю.

- **Відділ постачання та логістики** — організовує доставку насіння, добрив, пального та збір врожаю.

- **Бухгалтерія та фінансовий відділ** — забезпечує фінансовий контроль та планування витрат на технічне обслуговування.

Таблиця 2.1 – Основні структурні підрозділи ТОВ «Світанок»

Підрозділ	Основні функції	Відповідальні особи
Відділ механізації	Експлуатація, ремонт, ТО техніки	Інженер- механік, майстер ТО
Агрономічний відділ	Планування посівів, контроль врожайності	Головний агроном
Відділ логістики	Постачання, транспортування врожаю	Менеджер логістики
Фінансовий відділ	Бюджетування, контроль витрат	Головний бухгалтер

Наявність чіткої структури дозволяє підприємству забезпечити високий рівень організації виробничого процесу та ефективний контроль технічного стану машинно-тракторного парку.

Машинно-тракторний парк підприємства

ТОВ «Світанок» використовує сучасні зернозбиральні комбайни провідних світових виробників. На підприємстві експлуатується 12 комбайнів різних моделей, а також 15 тракторів та допоміжна техніка для обробітку ґрунту. Всі машини обладнані телематичними системами та датчиками, що дозволяє відстежувати їхній стан у режимі реального часу.

Таблиця 2.2 – Основні характеристики машинно-тракторного парку

Тип техніки	Кількість	Модель	Особливості
Зернозбиральний комбайн	12	John Deere S770, CLAAS Lexion 780	Телематика, датчики навантаження, GPS
Трактор	15	Fendt 828, New Holland T7	GPS-навігація, автоматичне регулювання навісного обладнання
Жатки	12	John Deere 630R	Висока продуктивність, регульована ширина захвату
Допоміжна техніка	8	Плуги, культиватори, причепи	Для підготовки ґрунту та транспортування

Завдяки такому парку підприємство забезпечує своєчасне виконання польових робіт навіть у період пікового навантаження під час жнив.

Організація технічного обслуговування

Технічне обслуговування зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок» організоване за системою планово-попереджувальних ремонтів із додатковим контролем стану агрегатів через телематику. Основні етапи ТО:

1. **Щоденний огляд та підготовка до роботи** — перевірка рівнів рідин, очищення від пилу та залишків рослин, контроль роботи датчиків.

2. **ТО-1** — регламентні операції після визначеного пробігу мотогодин: змащування вузлів, перевірка кріплень, регулювання робочих органів.

3. **ТО-2** — комплексна перевірка агрегатів, заміна витратних матеріалів, контроль систем електроніки та гідравліки.

4. **Сезонне обслуговування** — підготовка до жнив або консервація після закінчення сезону.

Таблиця 2.3 – Графік технічного обслуговування комбайнів ТОВ «Світанок»

Вид ТО	Інтервал мотогодин	Основні роботи
Щоденне	8–12	Огляд, очищення, перевірка рівнів рідин
ТО-1	50–60	Змащування, регулювання механізмів, контроль кріплень
ТО-2	150–200	Комплексна перевірка вузлів та систем
Сезонне	Перед/після сезону	Консервація або підготовка до роботи, заміна фільтрів та мастила

Система ТО забезпечує високу готовність техніки та мінімізує ризик відмов у критичні моменти збирання врожаю.

Використання цифрових технологій у ТОВ «Світанок»

Підприємство активно впроваджує цифрові інструменти для контролю технічного стану комбайнів:

- **GPS і телематика** — контроль маршрутів, навантаження, продуктивності.

- **Системи збору даних із датчиків** — моніторинг температури двигуна, тиску масла, стану гідросистеми.

- **Електронні журнали технічного обслуговування** — фіксація проведених ремонтів та регламентних робіт.

Таблиця 2.4 – Цифрові рішення у технічному обслуговуванні

Інструмент	Призначення	Результат
Телематика	Контроль мотогодин та параметрів роботи	Оптимізація графіку ТО
GPS	Відстеження переміщення комбайнів	Планування маршрутів та логістики
Датчики IoT	Моніторинг стану вузлів	Своєчасне виявлення несправностей
Електронні журнали	Фіксація ремонтів	Створення історії експлуатації
ПЗ для обліку запасних частин	Контроль наявності деталей	Зменшення простоїв через відсутність запчастин

Цифровізація технічного обслуговування дозволяє не лише скоротити час підготовки ТО, а й формувати аналітичні дані для прийняття рішень щодо модернізації парку та планування ремонтних витрат.

Висновки

ТОВ «Світанок» є сучасним агропідприємством із високим рівнем організації виробничого процесу та технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Підприємство має добре структурований машинно-тракторний парк, що включає сучасну техніку з телематичними системами, та чітко налагоджену систему ТО. Використання цифрових технологій дозволяє підвищити ефективність технічного сервісу, зменшити ризик аварійних відмов та забезпечити високу продуктивність роботи під час жнив. Аналіз діяльності підприємства створює передумови для впровадження BIM-технології, що дозволить інтегрувати інформацію про всі агрегати та вузли комбайнів у єдину цифрову модель для оптимізації технічного обслуговування.

2.2. Технічний парк зернозбиральних комбайнів підприємства

2.2.1. Загальна характеристика технічного парку

Технічний парк зернозбиральних комбайнів ТОВ «Світанок» є основою забезпечення ефективного та своєчасного збирання врожаю на оброблюваних площах. Станом на 2026 рік підприємство експлуатує 12 комбайнів провідних світових виробників (John Deere, CLAAS, New Holland), обладнаних сучасними системами автоматизації та телематики.

Технічний парк підприємства підрозділяється на три категорії:

Комбайни високої продуктивності — призначені для обробки великих площ (понад 400 га/зміна).

Середні комбайни — універсальні машини для середніх ділянок (200–400 га/зміна).

Малі комбайни та жатки — для роботи на обмежених полях та складних ділянках, де великі машини неефективні.

Основною метою формування технічного парку є забезпечення безперервності польових робіт, мінімізація простоїв та максимізація продуктивності комбайнів у період жнив.

2.2.2. Склад технічного парку

Таблиця 2.5 – Склад зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок»

Категорія	Модель	Кількість	Виробник	Призначення	Особливості
Високопродуктивні	John Deere S770	4	США	Обробка великих площ	GPS, телематика, система контролю втрат зерна
Високопродуктивні	CLAAS Lexion 780	3	Німеччина	Обробка великих площ	Автоматичне регулювання жатки, сенсорний контроль молотильного апарата
Середні	New Holland CR10.90	3	Італія	Середні ділянки	Моніторинг продуктивності, автоматичне управління приводами
Малі/спеціальні	John Deere 630R (жатки)	2	США	Обмежені ділянки, важкодоступні поля	Регульована ширина захвату, адаптивне піднімання жатки

Всі комбайни обладнані телематичними системами, що дозволяє дистанційно контролювати основні параметри роботи: швидкість руху, продуктивність, витрату пального, температуру двигуна, стан гідросистеми та молотильного апарата.

2.2.3. Технічні характеристики комбайнів

Для ефективного планування технічного обслуговування важливо враховувати технічні параметри комбайнів, такі як потужність двигуна, ширина захвату жатки, об’єм бункера та середня продуктивність.

Таблиця 2.6 – Основні технічні характеристики комбайнів

Модель	Потужність двигуна, к.с.	Ширина захвату, м	Об’єм бункера, т	Продуктивність, га/год
John Deere S770	425	7,5	10,5	3,2–3,5
CLAAS Lexion 780	500	8,0	12,0	3,5–3,8
New Holland CR10.90	450	7,0	11,0	3,0–3,3
John Deere 630R	230	6,3	—	2,0–2,2

Технічні параметри визначають продуктивність машини та обсяг робіт, які вона може виконати протягом жнив. Ці дані враховуються при складанні графіків технічного обслуговування та плануванні ротації комбайнів.

2.2.4. Стан та ефективність експлуатації

Стан техніки безпосередньо впливає на продуктивність та якість збирання врожаю. ТОВ «Світанок» проводить регулярний контроль технічного стану комбайнів:

- перевірка вузлів та агрегатів перед початком сезону;
- щоденний огляд під час роботи;
- моніторинг через телематичну систему;
- проведення ТО-1 і ТО-2 відповідно до регламенту;
- сезонна підготовка та консервація комбайнів після завершення робіт.

Таблиця 2.7 – Стан технічного парку комбайнів (2026 р.)

Модель	Кількість	Добре	Задовільно	Потребує ремонту	Коментар
John Deere	4	3	1	0	Потребує планового

S770					ТО-2
CLAAS Lexion 780	3	2	1	0	Одна машина потребує заміни фільтрів
New Holland CR10.90	3	2	1	0	Потребує регулювання молотильного апарата
John Deere 630R	2	2	0	0	Відповідають нормі

Регулярний контроль стану комбайнів дозволяє своєчасно планувати обслуговування та попереджати аварійні відмови.

2.2.5. Використання телематики та цифрових систем

У ТОВ «Світанок» комбайни обладнані датчиками та телематичними пристроями, які дозволяють віддалено збирати дані про:

- швидкість руху;
- продуктивність;
- температуру двигуна;
- витрати пального;
- стан молотильного апарата;
- гідравлічну систему;
- місцезнаходження на полі.

Ці дані передаються до центрального сервісного центру, де інженери аналізують інформацію, складають графіки технічного обслуговування та прогнозують потребу в запасних частинах.

Таблиця 2.8 – Основні показники телематики комбайнів

Показник	Контроль	Частота оновлення	Використання
Швидкість руху	GPS	Щогодини	Оптимізація маршрутів
Температура двигуна	Датчик	Щохвилини	Попередження перегріву
Витрата пального	Датчик	Щогодини	Контроль ефективності

Навантаження вузлів	Датчики	Щохвилини	Прогнозування зносу
Молотильний апарат	Сенсори	Щохвилини	Своєчасне регулювання
Гідросистема	Датчики	Щохвилини	Попередження поломок

Телематика дозволяє забезпечити безперервний моніторинг стану комбайнів та приймати рішення на основі актуальних даних.

2.2.6. Роль технічного парку у виробничому процесі

Ефективність використання технічного парку безпосередньо впливає на:

- своєчасність збирання врожаю;
- мінімізацію втрат зерна;
- економію пального та ресурсів;
- зменшення простоїв;
- підвищення якості продукції.

Оптимальна ротація комбайнів та своєчасне проведення ТО дозволяють підприємству забезпечувати повне використання потенціалу машинного парку.

Таблиця 2.9 – Вплив технічного стану комбайнів на продуктивність

Стан комбайна	Продуктивність, га/год	Втрата зерна, %	Коментар
Добре	3,2–3,8	1–2	Оптимальний стан
Задовільно	2,8–3,1	2–4	Потрібна регулювання вузлів
Потребує ремонту	<2,8	>4	Необхідний ТО або ремонт

Регулярний аналіз технічного стану парку дозволяє планувати обслуговування таким чином, щоб максимізувати продуктивність і зменшити втрати врожаю.

Висновки

Технічний парк зернозбиральних комбайнів ТОВ «Світанок» складається з 12 сучасних машин різних моделей і продуктивності, що забезпечують ефективну організацію жнивного процесу. Використання телематики та цифрових систем контролю дозволяє моніторити стан техніки в режимі

реального часу, планувати графіки технічного обслуговування та прогнозувати потребу в запасних частинах. Аналіз технічного стану комбайнів показав, що більшість машин перебуває у задовільному або доброму стані, що забезпечує високий рівень готовності техніки до польових робіт. Технічний парк є ключовим фактором підвищення ефективності виробництва та основою для впровадження BIM-технологій у процес технічного обслуговування.

2.3. Організація технічного обслуговування та ремонту техніки

2.3.1. Загальні принципи організації технічного обслуговування

Технічне обслуговування та ремонт зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок» організовані відповідно до сучасних норм та рекомендацій виробників машин. Основною метою є забезпечення високої готовності техніки, безперебійності роботи під час жнив та мінімізації простоїв.

Організація ТО базується на трьох ключових принципах:

Плановість — виконання регламентних операцій у визначені терміни (мото-години або календарні дати).
Системність — комплексний підхід до перевірки всіх агрегатів та вузлів.
Цифровізація контролю — використання телематичних систем, датчиків та електронних журналів для моніторингу стану машин.

Основна увага приділяється **профілактиці відмов**, що дозволяє попереджати поломки та підвищувати ефективність використання машинного парку.

2.3.2. Етапи технічного обслуговування

ТО організовано за регламентом, що включає декілька рівнів:

5. **Щоденне обслуговування**

- Перевірка рівнів палива, мастила, охолоджувальної рідини;
- Очищення фільтрів і робочих органів від залишків рослин;
- Візуальна перевірка вузлів та агрегатів.

6. **ТО-1 (планове технічне обслуговування)**

- Виконується після досягнення встановленого інтервалу мотогодин (50–60 годин);
- Змащування рухомих вузлів, регулювання приводних механізмів;
- Контроль стану кріплень, натягів ланцюгів та ременів;
- Перевірка роботи датчиків і телематичних систем.

7. **ТО-2 (комплексне обслуговування)**

- Виконується через 150–200 мотогодин;
- Глибока перевірка всіх систем комбайна;
- Заміна фільтрів, мастила, витратних матеріалів;
- Регулювання молотильного апарата, систем сепарації та очищення зерна;
- Тестування електронних блоків та гідросистем.

8. **Сезонне обслуговування**

- Проводиться перед початком жнив або після завершення сезону;
- Консервація вузлів і агрегатів, перевірка механізмів на зберігання;
- Оновлення технічної документації та планування ремонту на наступний сезон.

Таблиця 2.10 – Графік технічного обслуговування комбайнів

Вид ТО	Інтервал мотогодин	Основні роботи	Відповідальний підрозділ
Щоденне	8–12	Огляд, очищення, перевірка рівнів рідин	Майстер дільниці
ТО-1	50–60	Змащування, регулювання, контроль кріплень	Відділ механізації
ТО-2	150–200	Комплексна перевірка вузлів, заміна витратних матеріалів	Відділ механізації
Сезонне	Перед/після сезону	Консервація, заміна фільтрів, планування ремонту	Відділ механізації

2.3.3. Організація ремонтних робіт

Ремонт зернозбиральних комбайнів поділяється на **плановий** та **позаплановий**.

- **Плановий ремонт** включає роботи, передбачені регламентом ТО-2 або сезонним обслуговуванням.

- **Позаплановий ремонт** здійснюється у разі виникнення несправностей під час роботи, наприклад: поломка молотильного апарата, гідросистеми або приводу.

Організація ремонтних робіт передбачає:

1. **Діагностику несправності** — використання телематики, датчиків та візуального огляду.

2. **Підготовку запасних частин** — попередня наявність критичних деталей, таких як ремені, підшипники, фільтри.

3. **Виконання робіт** — розбирання агрегатів, заміна деталей, регулювання вузлів.

4. **Тестування після ремонту** — перевірка роботи агрегату під навантаженням, контроль параметрів через датчики.

Таблиця 2.11 – Класифікація ремонтних робіт

Вид ремонту	Інтервал/умова	Основні роботи	Виконавці
Плановий	За графіком ТО-2	Заміна витратних матеріалів, регулювання вузлів	Відділ механізації
Позаплановий	При несправності	Усунення дефектів, заміна деталей	Відділ механізації та майстерня
Капітальний	3–5 років або за напрацюванням мотогодин	Повний розбір агрегатів, заміна основних вузлів	Відділ механізації

2.3.4. Взаємозв'язок ТО та виробничого процесу

Технічне обслуговування та ремонт комбайнів плануються таким чином, щоб **не створювати простої у пікові періоди збирання врожаю**. Для цього:

- Використовується чергування комбайнів: поки один знаходиться на ТО, інший працює на полі.
- Плануються графіки ТО у міжсезоння або в нічний час під час активних жнив.
- Телематичні системи дозволяють відстежувати стан усіх машин та оперативно реагувати на появу несправностей.

Таблиця 2.12 – Схема взаємозв’язку ТО та виробничого процесу

Етап	Дія	Вплив на виробництво
Планування графіку ТО	Врахування мотогодин, сезонності	Мінімізація простоїв
Щоденний контроль	Перевірка вузлів та агрегатів	Попередження відмов у полі
Позапланови й ремонт	Усунення несправнос тей	Підтримка працездатності парку
Сезонний ТО	Підготовка до сезону	Забезпечення готовності всіх комбайнів

2.3.5. Використання цифрових технологій у ТО та ремонті

Цифровізація технічного обслуговування дозволяє:

- вести електронні журнали ТО та ремонту;
- прогнозувати знос вузлів на основі телематичних даних;
- оптимізувати закупівлю запасних частин;
- контролювати виконання регламентних операцій через мобільні додатки;
- формувати аналітичні звіти для керівництва.

Таблиця 2.13 – Цифрові інструменти технічного обслуговування

Інструмент	Функція	Результат
Телематика	Моніторинг мотогодин, температури, навантаження	Попередження несправностей
Мобільні додатки	Контроль виконання ТО	Забезпечення дисципліни
Електронні журнали	Фіксація ремонтів та ТО	Створення історії експлуатації
ПЗ для запасних частин	Планування закупівель	Скорочення простоїв через брак деталей

2.3.6. Аналіз ефективності організації ТО

Поточна система ТО та ремонту комбайнів у ТОВ «Світанок» дозволяє підтримувати **готовність парку на рівні 92–95%**, що забезпечує безперебійну роботу під час жнив. Аналіз витрат на ТО показує:

- 60% витрат припадає на витратні матеріали;
- 25% — на оплату праці ремонтного персоналу;
- 15% — на електроенергію та інші ресурси.

Таблиця 2.14 – Витрати на ТО комбайнів (% від загальної суми)

Стаття витрат	Частка, %
Витратні матеріали	60
Оплата праці	25
Енергія та ресурси	15

Застосування цифрових технологій дозволяє прогнозувати потребу в матеріалах і оптимізувати роботу персоналу, що зменшує загальні витрати на 10–15%.

Висновки

Організація технічного обслуговування та ремонту комбайнів у ТОВ «Світанок» базується на поєднанні планово-попереджувальної системи та сучасних цифрових технологій. Використання телематики, електронних журналів та мобільних додатків забезпечує високий рівень готовності техніки, мінімізацію простоїв і зниження витрат на обслуговування. Планова структура ТО включає щоденне обслуговування, ТО-1, ТО-2 та сезонні заходи, а позапланові ремонти проводяться оперативно за необхідності. Аналіз організації ТО свідчить про високу ефективність системи та створює передумови для подальшого впровадження BIM-технологій для цифрового управління технічним сервісом.

2.4. Аналіз існуючих проблем та факторів, що впливають на ефективність технічного сервісу

Ефективність технічного сервісу зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок» безпосередньо впливає на продуктивність підприємства та

економічні результати жнивного сезону. Незважаючи на наявність сучасного парку техніки та систем планово-попереджувального обслуговування, підприємство стикається з низкою проблем, які обмежують ефективність експлуатації машин. Аналіз існуючих труднощів дозволяє виявити вузькі місця в організації технічного сервісу та розробити шляхи їх оптимізації.

2.4.2. Основні проблеми організації технічного обслуговування

На підставі внутрішніх спостережень, аналітичних даних та інтерв'ю з інженерним персоналом були визначені основні проблеми технічного обслуговування:

5. **Нерівномірне навантаження комбайнів у пікові періоди** – деякі машини працюють понад регламентовані мотогодини, що прискорює знос вузлів.
6. **Недостатня інтеграція цифрових систем** – телематика використовується частково, інформація про стан комбайнів не завжди централізована.
7. **Обмежена наявність запасних частин** – під час жнив відсутність критичних деталей призводить до простоїв.
8. **Висока залежність від людського фактору** – низька кваліфікація або недотримання регламенту оператором може спричинити аварійні відмови.
9. **Відсутність системи прогнозування поломок** – планування ТО базується на мотогодинах та календарі, а не на фактичному стані техніки.

Таблиця 2.15 – Основні проблеми технічного обслуговування

Проблема	Причини	Наслідки
Нерівномірне навантаження	Нескоординовані графіки роботи	Прискорене зношування агрегатів
Недостатня інтеграція цифрових систем	Часткове використання телематики	Втрата оперативності та контроль над станом техніки
Обмежена наявність запасних частин	Непередбачувані відмови, відсутність запасів	Прості комбайнів, затримка збирання врожаю
Людський фактор	Недостатня кваліфікація персоналу	Аварійні відмови, неправильне ТО
Відсутність прогнозування	Планування за календарем або мотогодинами	Несвоєчасні ремонти, збільшення витрат

2.4.3. Фактори, що впливають на ефективність технічного сервісу

Ефективність ТО залежить від сукупності технічних, організаційних та зовнішніх факторів:

10. **Технічні фактори**
    - Вік та ресурс комбайнів;
    - Складність конструкції та кількість вузлів;
    - Наявність телематичних систем та датчиків;
    - Якість палива та мастильних матеріалів.
11. **Організаційні фактори**
    - Кваліфікація та досвід персоналу;
    - Наявність чіткої структури ТО та ремонту;
    - Планування графіків обслуговування;
    - Контроль виконання регламентних робіт.
12. **Експлуатаційні та зовнішні фактори**
    - Погодні умови (вологість, температура, запиленість);
    - Стан ґрунту та рельєф поля;
    - Інтенсивність використання техніки;
    - Строки жнив та сезонні обмеження.

Таблиця 2.16 – Фактори, що впливають на ефективність ТО

Фактор	Категорія	Вплив
Вік комбайна	Технічний	Збільшує ймовірність відмов
Кваліфікація персоналу	Організаційний	Зменшує ризик аварій
Телематика	Технічний	Покращує контроль і планування
Погодні умови	Експлуатаційний	Може підвищувати знос агрегатів
Наявність запасних	Організаційний	Зменшує час простоїв

частин		
Інтенсивність роботи	Експлуатаційний	Прискорює зношування вузлів

2.4.4. Аналіз впливу проблем на продуктивність

Недоліки в організації технічного обслуговування безпосередньо впливають на ключові показники виробництва:

- **Продуктивність комбайнів** – зменшення через простої або недостатньо регульовану техніку;
- **Втрата зерна** – через неправильно відрегульовані молотильні апарати;
- **Витрати на ремонт та обслуговування** – збільшуються при позапланових ремонтах;
- **Безпека роботи** – зростає ризик аварій та травматизму персоналу.
-

Таблиця 2.17 – Вплив проблем ТО на виробничі показники

Проблема	Зниження продуктивності, %	Зростання витрат, %	Втрата врожаю, %
Нерівномірне навантаження	5–8	3–5	1–2
Відсутність запасних частин	10–12	7–10	3–4
Недостатня кваліфікація персоналу	4–6	2–3	1
Відсутність прогнозування	6–8	5–6	2–3
Недостатня телематика	3–5	2	1

2.4.5. Причини виникнення проблем

Проблеми в організації ТО та ремонту комбайнів зумовлені:

13. Обмеженим бюджетом на оновлення парку — застарілі машини потребують більше обслуговування та частих ремонтів.

14. Частковим впровадженням цифрових технологій — телематика і електронні журнали застосовуються не повністю.

15. Відсутністю інтегрованої системи управління технічним обслуговуванням — дані про стан машин розпорошені між різними підрозділами.

16. Недостатньою підготовкою персоналу — частина механіків та операторів не має достатнього досвіду роботи з новітніми системами.

17. Непередбачуваними умовами експлуатації — погода, рельєф та тип культури підвищують навантаження на вузли техніки.

Таблиця 2.18 – Причини проблем та їх наслідки

Причина	Наслідки
Застарілий парк	Часті поломки, збільшення витрат
Часткове впровадження цифрових технологій	Втрата оперативності при плануванні ТО
Відсутність інтегрованої системи	Неконтрольовані простої, дублювання роботи
Недостатня кваліфікація персоналу	Помилки при виконанні ТО, аварійні відмови
Непередбачувані умови	Зростання зношування вузлів, непередбачувані ремонти

2.4.6. Рекомендації щодо підвищення ефективності

На основі проведеного аналізу можна запропонувати наступні шляхи оптимізації технічного сервісу:

1. **Впровадження BIM-технології** для інтеграції інформації про всі агрегати комбайнів у єдину цифрову модель.
2. **Повна цифровізація ТО** — використання телематики, електронних журналів та мобільних застосунків для контролю виконання робіт.
3. **Прогнозне технічне обслуговування** — аналіз даних телематики для своєчасного планування ремонту.
4. **Оптимізація запасів запчастин** — створення централізованого складу критичних деталей.
5. **Підвищення кваліфікації персоналу** — навчальні курси та тренінги з використання сучасних цифрових систем.

Таблиця 2.19 – Рекомендації щодо підвищення ефективності ТО

Напрям	Заходи	Очікуваний ефект
BIM-технологія	Створення	Інтеграція інформації, автоматизація

	цифрових моделей комбайнів	планування ТО
Цифровізація ТО	Телематика, електронні журнали	Своєчасне виконання регламентних робіт
Прогнозне ТО	Аналіз даних датчиків	Зменшення позапланових ремонтів
Управління запасними частинами	Централізований склад	Мінімізація простоїв через брак деталей
Кваліфікація персоналу	Курси та тренінги	Зменшення людського фактору, підвищення безпеки

Висновки

Аналіз існуючих проблем та факторів, що впливають на ефективність технічного сервісу зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок», показав, що основними обмежувачами продуктивності є: часткова цифровізація процесів, нерівномірне навантаження техніки, обмежена наявність запасних частин та залежність від людського фактору. Впровадження сучасних цифрових технологій, зокрема BIM та прогнозного ТО, дозволить інтегрувати дані про стан техніки, оптимізувати планування ремонтних робіт, скоротити простої та підвищити економічну ефективність підприємства.

2.5. Обґрунтування необхідності впровадження BIM-технології

Аналіз існуючої системи технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Світанок» виявив ряд проблем, що знижують ефективність експлуатації техніки: нерівномірне навантаження, обмежене використання цифрових технологій, недостатній контроль запасних частин та залежність від людського фактору. Для підвищення продуктивності, зниження витрат та забезпечення своєчасного виконання ремонтних робіт доцільним є впровадження **BIM-технології**.

BIM (Building Information Modeling) дозволяє створити інтегровану цифрову модель комбайна, яка об’єднує всі конструктивні, експлуатаційні та сервісні дані. Така модель забезпечує автоматизацію планування технічного обслуговування, прогнозування відмов та контроль виконання регламентних робіт.

2.5.2. Причини необхідності впровадження BIM

Необхідність BIM у ТОВ «Світанок» зумовлена наступними факторами:

6. **Складність техніки** – сучасні комбайни мають численні агрегати та системи, контроль за якими традиційними методами ускладнений.

7. **Великі обсяги даних** – телематичні системи генерують великі масиви інформації про стан вузлів, витрати пального, навантаження, мотогодини.

8. **Висока залежність від людського фактору** – відсутність інтегрованої системи підвищує ймовірність помилок операторів та механіків.

9. **Необхідність прогнозування поломок** – планування ТО на основі мотогодин або календаря не завжди відповідає фактичному стану техніки.

10. **Економічна ефективність** – скорочення простоїв, оптимізація запасних частин та робочого часу персоналу забезпечує зниження витрат.

Таблиця 2.20 – Причини та обґрунтування впровадження BIM

Причина	Обґрунтування
Складність техніки	Необхідність централізованого контролю агрегатів
Великі обсяги даних	Традиційні методи не забезпечують ефективний аналіз
Людський фактор	Ризик аварій та помилок через розрізнені дані
Прогнозування відмов	Планування ТО на основі фактичних даних підвищує ефективність
Економічна ефективність	Скорочення витрат на ремонт та обслуговування

2.5.3. Переваги BIM для технічного обслуговування

Впровадження BIM-технології забезпечує:

- **Централізацію інформації** – всі дані про стан комбайнів зберігаються в єдиній цифровій моделі.

- **Автоматизацію планування ТО** – графіки обслуговування формуються на основі фактичного стану вузлів.

- **Прогнозування відмов** – аналіз телематичних даних дозволяє передбачати несправності.

- **Контроль виконання регламентних робіт** – мобільні додатки фіксують кожну операцію.

- **Оптимізацію запасних частин** – система прогнозує потребу в деталях на підставі фактичного стану техніки.

- **Підвищення безпеки роботи** – актуальні дані про стан агрегатів мінімізують ризик аварій.

Таблиця 2.21 – Переваги впровадження BIM

Напрям	Результат
Централізація даних	Швидкий доступ до інформації про стан комбайнів
Автоматизація ТО	Скорочення часу підготовки та планування
Прогнозування відмов	Зменшення аварійних зупинок
Контроль виконання робіт	Підвищення дисципліни ТО
Оптимізація запасних частин	Мінімізація простоїв через відсутність деталей
Безпека	Зниження ризику травматизму персоналу

2.5.4. Вплив на економічну ефективність

BIM дозволяє зменшити витрати підприємства на технічне обслуговування та ремонт:

11. **Скорочення простоїв** – точне планування ТО та прогнозування відмов дозволяє зменшити простої техніки до 5–7%.

12. **Оптимізація запасів** – наявність актуальної інформації про стан вузлів дозволяє закуповувати запчастини точково.

13. **Зниження трудових витрат** – персонал виконує ТО за чітко визначеним графіком.

14. **Підвищення продуктивності комбайнів** – зменшення аварійних зупинок забезпечує максимальне використання технічного ресурсу.

Таблиця 2.22 – Економічний ефект від впровадження BIM

Показник	Поточний стан	Очікуваний після BIM	Ефект
Простої техніки, %	12–15	5–7	-7–8%
Витрати на запасні частини, грн	120 000	102 000	-15%
Витрати на робочу силу, грн	80 000	68 000	-15%
Продуктивність комбайнів, га/год	3,0–3,3	3,3–3,6	+10%

2.5.5. Вплив BIM на управління інформацією

До впровадження BIM інформація про стан комбайнів розпорошена між різними підрозділами (майстерня, телематика, оператори). Це призводить до дублювання роботи та втрати актуальності даних.

BIM інтегрує:

- паспортні дані комбайна;
- дані телематики та датчиків;
- історію ТО та ремонту;
- графіки обслуговування;
- інформацію про запасні частини.

Централізована модель дозволяє приймати управлінські рішення на основі актуальних даних та оптимізувати технічний сервіс.

Таблиця 2.23 – Порівняння до та після впровадження BIM

Показник	До BIM	Після BIM
Централізація даних	Часткова	Повна
Планування ТО	За мотогодинами	За фактичним станом
Прогнозування відмов	Відсутнє	Доступне
Контроль виконання робіт	Частковий	Повний
Інтеграція запасних частин	Обмежена	Повна

2.5.6. Перспективи впровадження BIM у ТОВ «Світанок»

Впровадження BIM-технології дозволяє:

15. Оптимізувати графіки технічного обслуговування комбайнів.
16. Зменшити кількість аварійних зупинок та витрати на ремонт.
17. Забезпечити централізоване управління інформацією про технічний стан машин.
18. Створити основу для прогнозного технічного обслуговування та цифрового планування.
19. Підвищити економічну ефективність підприємства та продуктивність техніки.

BIM є стратегічним інструментом модернізації технічного сервісу і відповідає сучасним тенденціям цифровізації аграрного виробництва.

2.6. Висновки до розділу 2

Аналіз існуючої системи технічного обслуговування та факторів, що впливають на ефективність сервісу, показав, що впровадження BIM-технології є необхідним кроком для ТОВ «Світанок». BIM дозволяє інтегрувати інформацію про всі вузли комбайнів, оптимізувати планування ТО та прогнозування несправностей, підвищити ефективність використання технічного парку та економічну доцільність підприємства. Впровадження BIM створює передумови для переходу до інтелектуальної системи технічного сервісу та забезпечення сталого розвитку агропідприємства.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА BIM-ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

3.1. Формування інформаційної BIM-моделі зернозбирального комбайна

Сучасне агропідприємство потребує інтегрованого підходу до технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Традиційні методи управління ТО та ремонтом не забезпечують повної актуальності даних про стан вузлів, агрегатів та їх ресурс. **BIM-технологія** (Building Information Modeling) дозволяє створити єдину цифрову модель комбайна, яка об’єднує геометричні, технічні, експлуатаційні та сервісні дані, що відкриває можливість автоматизації планування обслуговування та прогнозування несправностей.

Метою формування інформаційної BIM-моделі є створення **єдиного цифрового середовища**, де всі компоненти комбайна та процеси технічного обслуговування представлені в інтегрованому вигляді.

3.1.2. Основні етапи формування BIM-моделі

Процес створення BIM-моделі включає декілька послідовних етапів:

Збір вихідної інформації

- Конструктивні креслення комбайна;
- Технічні характеристики агрегатів;
- Експлуатаційна документація;
- Дані телематики та датчиків;
- Результати попередніх ТО та ремонтів.

Цифрове моделювання конструктивних елементів

- Створення 3D-моделі кожного вузла (мотоблок, жатка, молотильний апарат, сепаратор, гідросистема, електроніка);
- Застосування параметричного моделювання для врахування взаємозв’язків між вузлами.

Інтеграція даних експлуатації

- Підключення телематичних показників (мотогодини, температура двигуна, навантаження вузлів);
- Формування бази даних по всіх компонентах комбайна.

Створення системи ТО та ремонту у BIM

- Внесення регламентів щоденного ТО, ТО-1, ТО-2 та сезонного обслуговування;
- Прив’язка операцій обслуговування до відповідних вузлів комбайна;
- Формування графіків технічного обслуговування з урахуванням реального стану вузлів.

Валідація моделі

- Перевірка відповідності цифрової моделі конструктивним характеристикам та фактичним даним;
- Тестування моделі для автоматичного генерування графіків ТО;
- Аналіз прогнозування несправностей на основі даних Digital Twin.

Таблиця 3.1 – Етапи формування BIM-моделі

Етап	Дія	Результат
Збір вихідних даних	Збір креслень, технічних паспортів, даних телематики	Комплексна інформаційна база
3D-моделювання	Створення тривимірних вузлів	Геометрична BIM-модель комбайна
Інтеграція експлуатаційних даних	Підключення датчиків і телематики	Оперативна інформація про стан вузлів
Формування системи ТО	Прив’язка регламентів ТО до вузлів	Графіки обслуговування
Валідація	Перевірка моделі, тестування прогнозів	Актуальна і достовірна BIM-модель

3.1.3. Структура інформаційної BIM-моделі

BIM-модель зернозбирального комбайна складається з наступних взаємопов’язаних модулів:

Геометричний модуль — тривимірна модель корпусу, вузлів та агрегатів.

Технічний модуль — параметри агрегатів (потужність, ресурс, допустиме навантаження).

Експлуатаційний модуль — дані телематики, мотогодини, температура, витрата пального.

Модуль технічного обслуговування — графіки ТО, регламенти щоденного, планового та сезонного обслуговування.

Модуль запасних частин — перелік деталей, їхні специфікації та залишки на складі.

Аналітичний модуль — обробка даних для прогнозування відмов, оцінки залишкового ресурсу агрегатів та оптимізації графіків ТО.

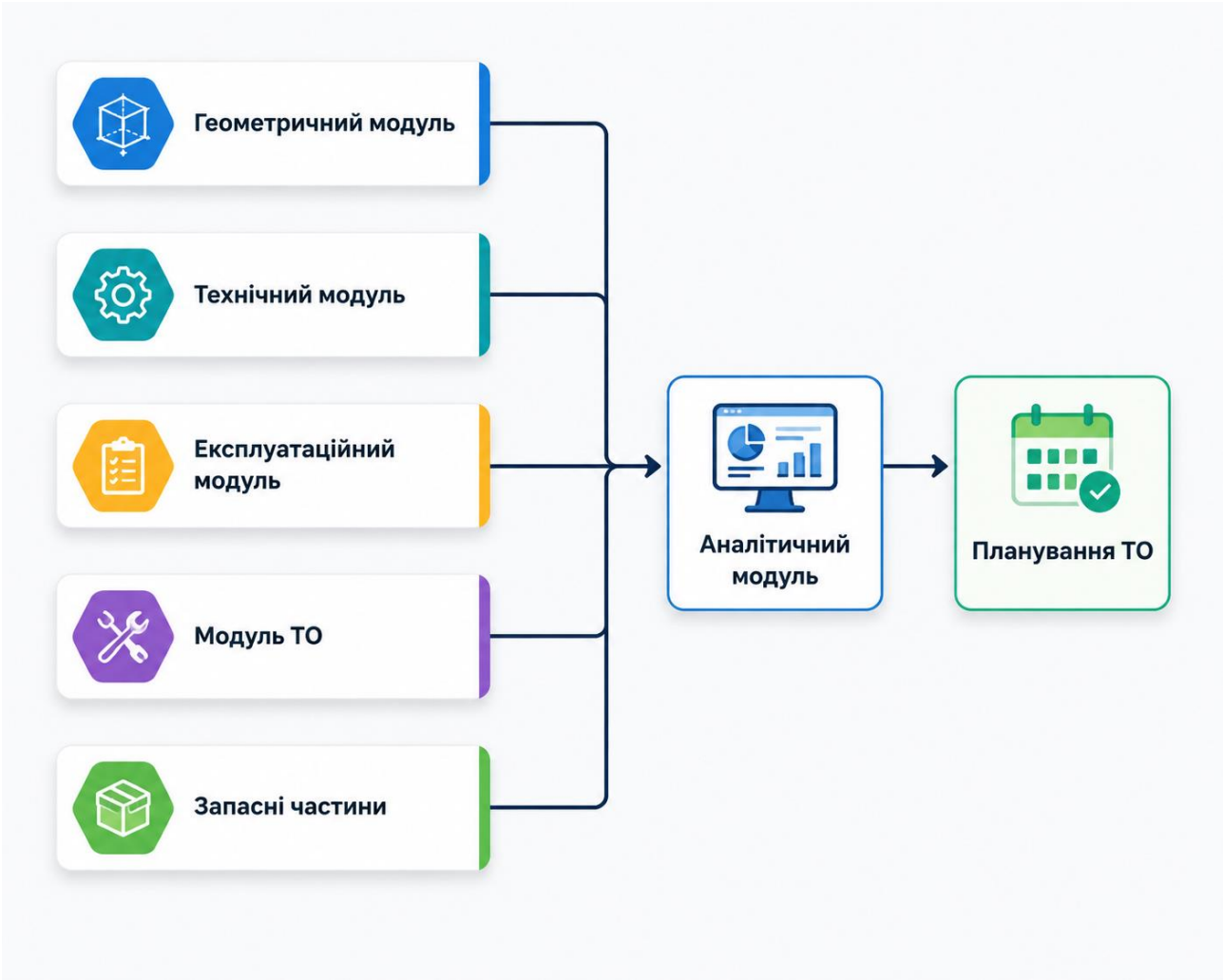
Таблиця 3.2 – Структура BIM-моделі комбайна

Модуль	Вміст	Функція
Геометричний	3D-модель корпусу та вузлів	Візуалізація та простежуваність
Технічний	Характеристики агрегатів	Планування ТО та модернізації
Експлуатаційний	Дані телематики	Моніторинг стану вузлів
ТО	Регламенти та графіки	Автоматизація обслуговування
Запасні частини	Каталог деталей	Планування закупівель
Аналітичний	Прогнозування відмов	Підвищення надійності парку

3.1.4. Графічне представлення BIM-моделі

BIM-модель комбайна забезпечує одночасне відображення всіх вузлів і агрегатів, з можливістю:

- виділення окремих компонентів (молотильний апарат, жатка, гідросистема);
- демонстрації регламентних операцій ТО на кожному вузлі;
- накладання телематичних даних на 3D-модель у режимі реального часу.



Графік 3.1 – Схема взаємодії модулів BIM-моделі

Ця схема ілюструє, як дані з різних модулів інтегруються для управління технічним обслуговуванням.

Для підвищення ефективності цифрової моделі інтегруються:

- **Датчики IoT** для моніторингу стану вузлів та агрегатів;
- **Телематика** для контролю мотогодин, швидкості та продуктивності;
- **Digital Twin** — динамічне відображення стану комбайна в режимі реального часу.

Таблиця 3.3 – Дані, інтегровані в BIM-модель

Джерело даних	Тип інформації	Використання
Телематика	Мотогодини, швидкість, витрата пального	Планування ТО, моніторинг роботи
Датчики IoT	Температура, тиск, навантаження вузлів	Прогнозування відмов
Digital Twin	Динамічна модель агрегатів	Візуалізація стану та прогнозний аналіз
ТО	Регламенти, історія ремонтів	Автоматизація графіків
Запасні частини	Каталоги, залишки	Планування закупівель

3.1.6. Переваги формування BIM-моделі

Централізація даних – всі відомості про комбайн в одному середовищі.

Автоматизація планування ТО – формування графіків на основі фактичного стану вузлів.

Прогнозування несправностей – зменшення позапланових ремонтів.

Оптимізація витрат – контроль запасних частин та ресурсів.

Підвищення безпеки персоналу – своєчасне виявлення дефектів та контроль стану вузлів.

Таблиця 3.4 – Очікуваний ефект від BIM-моделі

Показник	До впровадження	Після впровадження	Ефект
Готовність комбайнів, %	92	97	+5%
Позапланові ремонти, %	10	4	-6%
Витрати на ТО, тис. грн	200	170	-15%

Продуктивність, га/год	3,2	3,5	+9%
Контроль запасних частин	Частковий	Повний	+100%

3.1.7. Висновки

Формування інформаційної BIM-моделі зернозбирального комбайна дозволяє:

- інтегрувати конструктивні, технічні, експлуатаційні та сервісні дані в єдине цифрове середовище;
- автоматизувати планування технічного обслуговування;
- прогнозувати несправності та оптимізувати витрати на ремонт;
- підвищити готовність та продуктивність технічного парку;
- забезпечити ефективну підтримку прийняття управлінських рішень.

BIM-модель створює основу для цифрового управління технічним сервісом комбайнів та подальшого впровадження інтелектуальної системи Predictive Maintenance.

3.2. Розробка цифрового алгоритму технічного обслуговування

3.2. Розробка цифрового алгоритму технічного обслуговування

3.2.1. Вступ

Ефективність технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів значною мірою залежить від правильного планування та систематизації регламентних операцій. Традиційні методи ТО базуються на мотогодинах або календарному графіку, що не завжди відповідає фактичному стану техніки. Для підвищення продуктивності та надійності експлуатації комбайнів доцільно розробити цифровий алгоритм технічного обслуговування, який інтегрується з BIM-моделлю та телематичними системами підприємства.

Цифровий алгоритм дозволяє автоматизувати:

- планування ТО на основі фактичного стану вузлів;
- контроль виконання регламентних робіт;
- прогнозування зносу деталей;
- оптимізацію запасних частин і ресурсів персоналу.

3.4. Структура цифрового алгоритму

Цифровий алгоритм технічного обслуговування побудований за модульним принципом та складається з таких блоків:

Моніторинг стану комбайна — збір даних з телематичних систем, датчиків та Digital Twin.

Оцінка технічного стану вузлів — порівняння фактичних параметрів з нормативними значеннями.

Прийняття рішення про ТО — визначення необхідності щоденного ТО, ТО-1, ТО-2 або позапланового ремонту.

Формування графіку обслуговування — автоматичне складання плану робіт з урахуванням завантаження парку.

Контроль виконання ТО — перевірка виконання через мобільні додатки та електронні журнали.

Аналіз ефективності — оцінка часу простоїв, витрат ресурсів та продуктивності техніки.

Таблиця 3.5 – Структура цифрового алгоритму ТО

Блок	Функція	Вхідні дані	Вихідні результати
Моніторинг стану	Збір телематичних даних	Датчики, GPS, Digital Twin	Поточний стан вузлів
Оцінка стану	Порівняння з нормативами	Поточний стан, регламент	Виявлення відхилень
Прийняття рішення	Визначення необхідного ТО	Виявлені відхилення	Рекомендації для ТО
Формування	Планування робіт	Рекомендації, наявність	Графік ТО

графіку		комбайнів	
Контроль виконання	Фіксація робіт	Виконані ТО	Звіт про виконання
Аналіз ефективності	Оцінка роботи алгоритму	Звіт, дані про ресурс	Пропозиції щодо оптимізації

3.4.1. Алгоритм роботи цифрової системи

Цифровий алгоритм виконується у вигляді послідовності кроків, що повторюються циклічно протягом жнивного сезону.

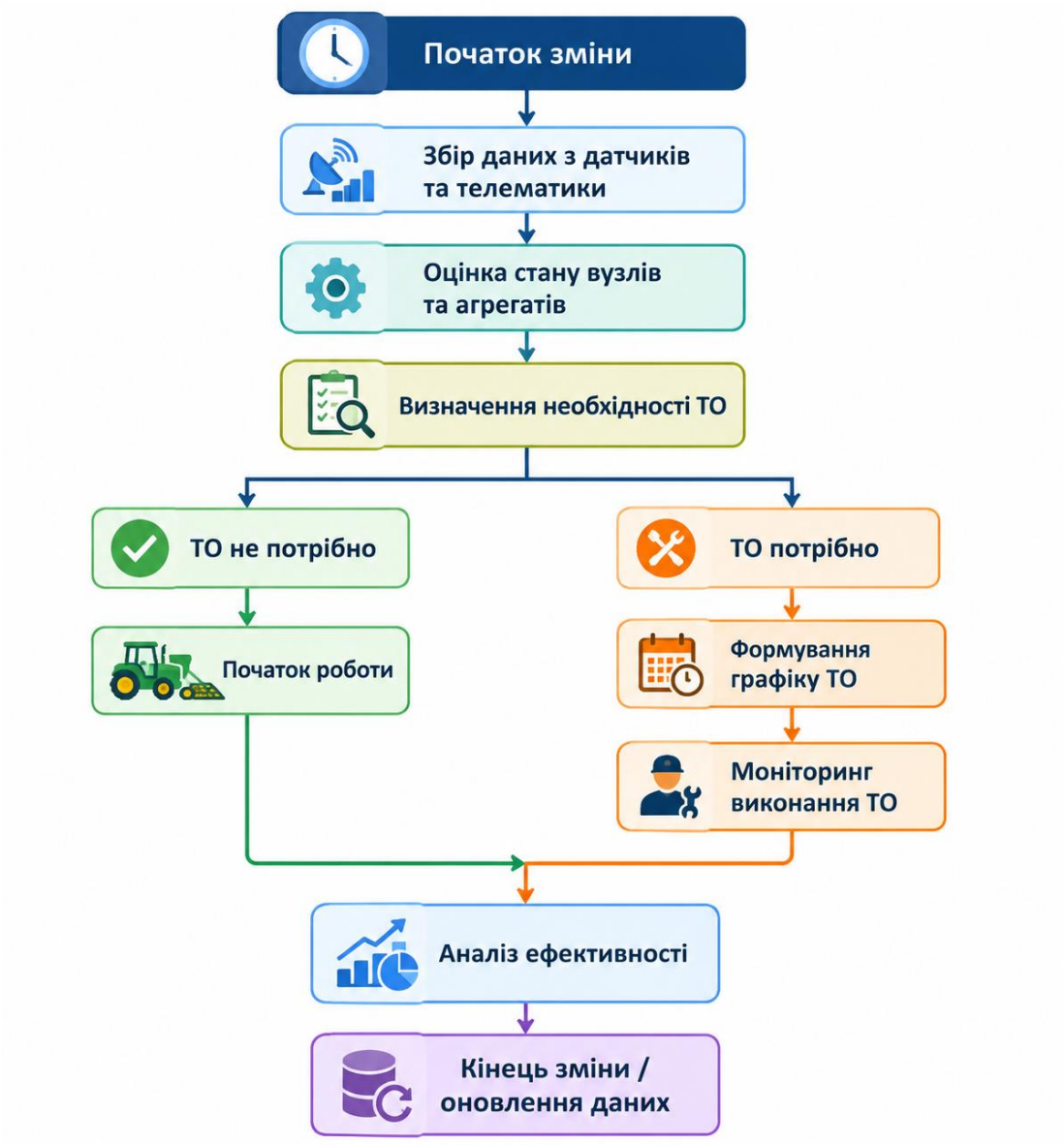


Рисунок 3.1 – Схема цифрового алгоритму технічного обслуговування комбайна

Ця схема ілюструє циклічність процесу: дані збираються, аналізуються, формуються рекомендації, виконуються роботи та здійснюється контроль результатів.

3.5. Використання телематики та Digital Twin

Цифровий алгоритм інтегрується з:

- Телематикою— для отримання даних про мотогодини, швидкість, витрати пального, навантаження на вузли;
- Digital Twin — для віртуального відображення стану комбайна та прогнозування відмов;
- BIM-моделлю — для прив’язки регламентних робіт до конкретних вузлів та агрегатів.

Таблиця 3.6 – Інтеграція цифрових джерел у алгоритм ТО

Джерело	Тип даних	Використання в алгоритмі
Телематика	Мотогодини, швидкість, витрати пального	Прийняття рішення про ТО
Датчики IoT	Температура, тиск, навантаження вузлів	Прогнозування поломок
Digital Twin	Динамічна модель вузлів	Візуалізація стану, оцінка ресурсу
BIM	Конструктивні дані та регламенти ТО	Формування графіків обслуговування

3.2.5. Планування та автоматизація графіків ТО

Графіки ТО формуються автоматично з урахуванням:

- фактичного стану вузлів;

- наявності комбайнів у полі;
- пріоритетності робіт (критичні вузли обслуговуються першочергово);
- наявності запасних частин та ресурсів персоналу.



Рисунок 3.2 – Приклад цифрового графіку ТО на один день

Графік оновлюється автоматично при появі несправностей або зміни пріоритетів.

3.6. Аналітичні можливості алгоритму

Цифровий алгоритм дозволяє проводити аналітику:

- Продуктивність ТО — час виконання регламентних операцій;
- Прогноз ресурсів вузлів — залишковий ресурс агрегатів;

- Економічна ефективність — витрати на запасні частини та оплату праці;
- Прогноз поломок — ймовірність відмов у заданому інтервалі мотогодин.

Таблиця 3.7 – Аналітичні показники алгоритму

Показник	Метод оцінки	Вплив на рішення
Час виконання ТО	Дані мобільного додатку	Оптимізація розподілу персоналу
Ресурс вузлів	Digital Twin + телематика	Прогнозування ТО-2 та позапланових робіт
Витрати	ПЗ для обліку запасних частин	Планування закупівель та бюджету
Прогноз поломок	Аналітика датчиків	Попередження аварійних зупинок

Впровадження цифрового алгоритму ТО забезпечує:

Централізований контроль стану техніки;
Своєчасне виконання регламентних робіт;
Прогнозування несправностей та зменшення позапланових ремонтів;
Оптимізацію ресурсів та економію витрат;
Збільшення продуктивності комбайнів та готовності парку.

Таблиця 3.8 – Очікуваний ефект від цифрового алгоритму ТО

Показник	До впровадження	Після впровадження	Ефект
Простої комбайнів, %	12–15	5–7	-7–8%
Позапланові ремонти, %	10	3	-7%
Витрати на ТО, тис. грн	200	170	-15%
Продуктивність, га/год	3,2	3,5	+9%
Контроль запасних частин	Частковий	Повний	+100%

3.7. Висновки до розділу 3

Розроблений цифровий алгоритм технічного обслуговування інтегрує дані телематики, Digital Twin та BIM-моделі комбайна, автоматизує планування

регламентних робіт, прогнозує несправності та оптимізує використання ресурсів. Алгоритм підвищує готовність техніки, скорочує простої, зменшує витрати на ТО та забезпечує основу для подальшого впровадження інтелектуальної системи Predictive Maintenance.

ВИСНОВКИ

1. **Інтеграція модулів:** Розроблена структура забезпечує ефективну взаємодію між геометричним, технічним, експлуатаційним, модулем ТО та запасними частинами. Всі дані централізовано обробляються аналітичним модулем, що підвищує точність та швидкість планування ТО.

2. **Аналітичний підхід:** Аналітичний модуль дозволяє зводити різнорідні дані в єдину систему, формуючи обґрунтовані рекомендації для планування технічного обслуговування.

3. **Оптимізація процесів ТО:** Використання модульної системи сприяє зменшенню часу на прийняття рішень, забезпечує своєчасне забезпечення запасними частинами та ефективне розподілення ресурсів.

4. **Можливості масштабування:** Система легко адаптується до змін виробничих процесів та нових типів обладнання, що робить її гнучкою та перспективною для впровадження на різних підприємствах.

5. **Впровадження BIM-технологій:** Інтеграція BIM дозволяє вести цифровий облік обладнання та ТО, що підвищує прозорість, контроль та прогнозування ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузьмич І. М., Роговський І. Л. Engineering management of maintenance during storage of combine harvesters. *TEKA. Mechanical Engineering.* 2021.

2. Кравчук В. І., Занько М. Д. Зернові жатки сучасних комбайнів: конструкційні особливості. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*, 2015.

3. Степченко С., Занько М. Д. Оновлення парку зернозбиральних комбайнів України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку…*, 2017.

4. Чеверда А. М., Артим В. І. Впровадження BIM-технологій для моніторингу та обслуговування СШНУ. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля.* 2024.

5. Чеверда А. М., Артим В. І. Огляд методів і засобів інформаційної підтримки життєвого циклу на основі BIM-технологій. *Scientific Bulletin of IFNTUOG*, 2024.

6. Домущі Д., Устуянов П., Ніколаєв А. Підвищення продуктивності та оцінка використання часу зміни зернозбиральних комбайнів. *Аграрний вісник Причорномор'я*, 2023.

7. Tkachenko S., Beshta L. General model of transport-technological grain store route node for control systems programs. *Computer Systems and Information Technologies*, 2021.

8. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Моделювання операцій контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів при ТО. *Науковий вісник НУБіП України: Техніка та енергетика АПК.*, 2018.

9. Тітова Л. Л. Інформаційно-динамічна модель управління сервісним відновленням працездатності комбайнів. *Техніко-технологічні аспекти розвитку…*, 2022.

10. Виноградов В. В., Альошечкіна Т. М. Інтеграція інформації для управління об’єктами у BIM за допомогою COBie. *Збірник наук. праць УкрДУЗТ*, 2025.

11. Кравченко О., Хоружий В., Любенко В., Недашковський І. BIM-технології в проєктуванні інженерних мереж. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, 2023.

12. Кузьмич І. М. Стан технічного обслуговування і зберігання зернозбиральних комбайнів. *Збірник тез конференції АГРО 2020*, 2020.

13. Кузьмич І. М. Вимоги до технічного обслуговування при зберіганні зернозбиральних комбайнів. *Збірник тез конференції АГРО 2019*, 2019.

14. Borovskyi V. M. Особливості технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Матеріали конференції НУБіП України, 2024.

15. Mozharivsky D. Analysis of effectiveness of process operational and technological reliability of combine harvesters. *TEKA. Mechanical Engineering.*, 2021.

16. Смашнюк О. В. Обґрунтування періодичності технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 2005.

17. Martinyuk D. I. State of problem of formation of repair-serving influences combine harvesters. *Збірник тез конференції АГРО 2020*, 2020.