

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

**на тему: «Дослідження ефективності сервісного обслуговування
провідного виробника сільськогосподарської техніки John Deere»**

KPM.133ГМмд(ОНП)_20.50.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
міждисциплінарною освітньо-
науковою програмою «Сервісна
інженерія в агропромисловому
виробництві»

спеціальностей:

133 «Галузеве машинобудування»,

208 «Агроінженерія»

рівня вищої освіти *магістр*

групи *133ГМмд(ОНП)_22*

ЧЕХ Олександр

Керівник: канд. техн. наук, доцент
БУРЛАКА Олексій

Полтава – 2026 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту

Міждисциплінарна освітньо-наукова програма
«Сервісна інженерія в агропромисловому виробництві»
Спеціальності: 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія»
Рівень вищої освіти магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри к.т.н., доцент

Сергій ЛЯШЕНКО
«04» листопада 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Чех Олександр Миколайович
(ПІБ здобувача вищої освіти)

1. Тема роботи: **«Дослідження ефективності сервісного обслуговування провідного виробника сільськогосподарської техніки John Deere»**
керівник роботи к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту Бурлака О. А.
(наук. ступ., вч. звання, посада, прізвище та ініціали керівника)

затверджені наказом ПДАУ від «04» листопада 2025 року № 1354-ст

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи « 15» травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- сучасні технології виконання ТО і ремонтів автомобільного транспорту;
- техніко-технологічні характеристики спеціалізованого автомобільного транспорту;
- навчальна, технічна, наукова література.

4. Зміст пояснювальної записки (*перелік питань, які потрібно розробити*):

Розділ 1. Аналіз існуючих досліджень.

Розділ 2. Теоретичні положення.

Розділ 3. Методика досліджень та результати експериментів.

Розділ 4. Практична реалізація розробок.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: *титульний аркуш; назва теми, мета і задачі дослідження; огляд літературних джерел; теоретичні дослідження; методика досліджень (моделі, плани експериментів, перевірка адекватності математичних моделей); результати теоретико-експериментальних і*

експериментальних досліджень; очікуваний технологічний, економічний ефект від використання, висновки

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи:

Розділ	Підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
			завдання видав	завдання отримав
Практична реалізація розробок	Охорона праці	Дудник В. В. к.т.н., доцент	04.11.25 р.	11.05.26 р.
	Охорона навколишнього середовища	Писаренко П. В., д. с.-г. н., професор	04.11.25 р.	11.05.26 р.
	Економічна частина	Макаренко П. М. д.е.н., професор	04.11.25 р.	11.05.26 р.

7. Дата видачі завдання: «25» грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1	Вибір і затвердження теми кваліфікаційної роботи	04.11.2025р.	Виконано
2	Складання і затвердження розгорнутого плану та завдання на кваліфікаційну роботу	22.01.2026р.	Виконано
3	Опрацювання літературних джерел	10.02.2026р.	Виконано
4	Збір, вивчення і обробка інформації, необхідної для виконання роботи	23.03.2026р.	Виконано
5	Виконання розділів пояснювальної записки роботи	22.04.2026р.	Виконано
6	Оформлення тексту роботи	05.05.2026р.	Виконано
7	Оформлення графічного матеріалу роботи	11.05.2026р.	Виконано
8	Попередній захист роботи на кафедрі	12.05.2026р.	Виконано
9	Нормоконтроль	12.05.2026р.	Виконано
10	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій	15.05.2026р.	Виконано
11	Захист кваліфікаційної роботи	25.05.2026р.	

Здобувач вищої освіти _____ Олександр ЧЕХ
(підпис) (Прізвище, ім'я здобувача)

Керівник роботи _____ Олексій БУРЛАКА
(підпис) (Прізвище, ім'я керівника)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 4 розділи, 10 рисунків, 15 таблиць, 32 джерела посилань та викладена на 72 сторінках.

Об'єктом дослідження є процес сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки John Deere.

Предметом дослідження виступають організаційні, технічні та економічні показники ефективності сервісного обслуговування техніки John Deere.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності сервісного обслуговування сучасної сільськогосподарської техніки в умовах цифровізації виробничих процесів. У роботі поставлено та вирішено науково-технічне завдання, що полягає в аналізі сучасного стану сервісного обслуговування техніки John Deere, визначенні основних чинників впливу на його ефективність, розробленні методики оцінювання результативності сервісної системи та обґрунтуванні практичних рекомендацій щодо її вдосконалення із застосуванням цифрових сервісних технологій.

Метою магістерської роботи є дослідження ефективності сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки John Deere та обґрунтування напрямів її підвищення шляхом удосконалення організації технічного сервісу, впровадження цифрових сервісних рішень і зменшення тривалості простоїв машин у процесі експлуатації.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих методичних підходів і рекомендацій сервісними центрами, дилерськими організаціями та сільськогосподарськими підприємствами, що експлуатують техніку John Deere, для підвищення якості технічного обслуговування, скорочення простоїв і зниження експлуатаційних витрат.

У першому розділі виконано аналіз наукових досліджень і сучасного стану проблеми сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки, визначено ролі цифровізації сервісних процесів та охарактеризовано особливості сервісної концепції John Deere.

У другому розділі наведено теоретичні засади оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки John Deere, обґрунтовано систему показників та факторів, що визначають рівень сервісної ефективності.

У третьому розділі подано методику дослідження, обґрунтовано вибір напряму дослідження, визначено об'єкт, предмет та вихідні дані, описано методи розв'язання поставлених задач, програми й інструментальні засоби дослідження, а також підходи до оцінювання похибок і достовірності отриманих результатів. Крім того, наведено результати експериментального дослідження ефективності додаткової технологічної наладки зернозбиральних комбайнів John Deere 9500 та John Deere 9640 WTS. Виконано порівняльний аналіз ефективності додаткової технологічної наладки зазначених моделей комбайнів.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці, екологічної експертизи та економічної ефективності удосконалення сервісного обслуговування техніки John Deere.

У результаті виконання роботи удосконалено елементи комплексного оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки серії WTS виробництва John Deere з урахуванням технічних, організаційних, економічних і цифрових чинників. За результатами експериментальних досліджень здійснено порівняння ефективності додаткової технологічної наладки зернозбиральних комбайнів John Deere 9500 та John Deere 9640 WTS. Запропоновану методику та практичні рекомендації доцільно використовувати в діяльності сервісних центрів, дилерських організацій і сільськогосподарських підприємств, що здійснюють технічне обслуговування та сервісну підтримку сучасної зернозбиральної техніки John Deere.

Результати роботи мають рекомендаційний характер і можуть бути впроваджені у практичну діяльність після адаптації до конкретних умов експлуатації техніки. Сфера застосування результатів дослідження охоплює

сервісне обслуговування, технічну експлуатацію, діагностику, цифровий моніторинг та вдосконалення технічної підтримки сучасної сільськогосподарської техніки.

Ілюстраційна частина кваліфікаційної роботи складається з 10 аркушів. Результати перевірки пояснювальної записки засобами сервісу StrikePlagiatism засвідчили рівень унікальності тексту 86,85 %.

Анотація. У магістерській роботі досліджено ефективність сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки John Deere. Проаналізовано сучасні підходи до технічного та сервісного обслуговування машин, обґрунтовано систему показників ефективності сервісу, а також визначено методичні та методологічні засади оцінювання якості сервісного обслуговування. За результатами експериментального дослідження виконано порівняльний аналіз ефективності додаткової технологічної наладки зернозбиральних комбайнів John Deere 9500 та John Deere 9640 WTS.

Ключові слова: сервісне обслуговування, сільськогосподарська техніка, технічна готовність, цифровий сервіс, простій, економічна ефективність, технологічна наладка, зернозбиральний комбайн.

Abstract. The master's thesis investigates the efficiency of service maintenance for agricultural machinery manufactured by John Deere. Modern approaches to technical and service maintenance of machinery are analyzed, a system of service efficiency indicators is substantiated, and methodological as well as procedural foundations for assessing the quality of service maintenance are determined. Based on the results of the experimental study, a comparative analysis of the efficiency of additional technological adjustment of the John Deere 9500 and John Deere 9640 WTS combine harvesters was carried out.

Keywords: service maintenance, agricultural machinery, technical readiness, digital service, downtime, economic efficiency, technological adjustment, combine harvester.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ

4

ЗМІСТ

6

3

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	13
1.1 Значення сервісного обслуговування у системі технічної експлуатації сільськогосподарської техніки	13
1.2 Етапи розвитку наукової думки щодо сервісного обслуговування машин	14
1.3 Сучасні підходи до оцінювання ефективності сервісного обслуговування	17
1.4 Цифровізація сервісу як напрям підвищення ефективності технічного обслуговування	20
1.5. Система показників ефективності сервісного обслуговування	15
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИРОБНИКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ JOHN DEERE	25
2.1. Особливості фірмового технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів John Deere	25
2.2. Фірмове технічне обслуговування сільськогосподарських тракторів John Deere	28
2.3. Фірмове технічне обслуговування сівалок John Deere	30
2.4. Фірмове технічне обслуговування плугів John Deere	23
2.5. Фірмове технічне обслуговування культиваторів John Deere	35
2.6. Фірмове технічне обслуговування самохідних обприскувачів John Deere	38
2.7. Фірмове технічне обслуговування агрегатів для внесення мінеральних добрив John Deere	40
2.8. Фірмове технічне обслуговування комбінованих агрегатів для технологій нульового (No-Till) та стрічкового (Strip-Till) посіву з одночасним внесенням добрив від John Deere	43

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ 46

3.1. Особливості конструкції молотильно-сепарувального пристрою зернозбиральних комбайнів John Deere 9640 WTS, 9660 WTS, 9680 WTS, побудованого за класичною двобарабанною схемою обмолоту зерна 46

3.2. Методика і основні методи експериментальних досліджень 51

3.3. Результати експериментальних досліджень 56

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК 62

4.1. Екологічна експертиза 62

4.2. Охорона праці 64

4.3. Техніко-економічне обґрунтування досліджень 70

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 74

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 78

Додатки 89

ВСТУП

Сучасне аграрне виробництво характеризується інтенсивним використанням високопродуктивної, енергонасиченої та технічно складної сільськогосподарської техніки, ефективність функціонування якої значною мірою визначається рівнем організації сервісного обслуговування. Для сучасних зернозбиральних комбайнів, тракторів та іншої самохідної техніки визначальними чинниками забезпечення експлуатаційної надійності є своєчасне проведення технічної діагностики, виконання регламентних операцій технічного обслуговування, оперативне постачання запасних частин, доступність сервісної інфраструктури, а також застосування цифрових систем моніторингу технічного стану машин [1].

Аналіз результатів наукових досліджень свідчить, що проблематика надійності сільськогосподарської техніки, її ремонту та технічного сервісу достатньо широко висвітлена у вітчизняних і зарубіжних наукових працях. Встановлено, що технічний сервіс є одним із ключових чинників підтримання машин у працездатному стані, а якість виконання контрольних, діагностичних і ремонтно-відновлювальних операцій безпосередньо впливає на ефективність експлуатації машинно-тракторного парку. При цьому недостатній рівень технічного забезпечення сільськогосподарських підприємств та значний ступінь фізичного зношення техніки обумовлюють підвищення ролі якісного сервісного обслуговування [1, 2, 5].

Разом із тим питання комплексного оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки John Deere залишаються недостатньо дослідженими. Більшість наукових праць присвячена аналізу технічних характеристик машин, показників їх надійності або окремих аспектів ремонтного обслуговування, тоді як вплив цифрових сервісних технологій, оперативності реагування сервісних служб, ефективності логістики запасних частин та профілактичного технічного обслуговування на рівень технічної

готовності машин і економічні результати експлуатації досліджено не в повному обсязі.

Таким чином, існує суперечність між високим технічним рівнем сучасної техніки John Deere та необхідністю забезпечення відповідного рівня її сервісної підтримки в реальних умовах експлуатації. Крім того, недостатньо обґрунтованими залишаються показники комплексного оцінювання ефективності сервісного обслуговування, зокрема показники часу реагування сервісної служби, тривалості простоїв техніки, рівня забезпеченості запасними частинами та результативності дистанційного моніторингу технічного стану машин.

У зв'язку з цим тема магістерської роботи, присвячена дослідженню ефективності сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки John Deere, є актуальною та має важливе практичне значення для підвищення технічної готовності машинно-тракторного парку і зниження експлуатаційних витрат.

Об'єктом дослідження є процес сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки John Deere.

Предметом дослідження виступають організаційно-технічні та економічні показники ефективності сервісного обслуговування техніки John Deere.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності сервісного обслуговування сучасної сільськогосподарської техніки в умовах цифровізації виробничих процесів. У роботі поставлено та вирішено науково-технічне завдання, що полягає в аналізі сучасного стану сервісного обслуговування техніки John Deere, визначенні основних чинників впливу на його ефективність, розробленні методики оцінювання результативності сервісної системи та обґрунтуванні практичних рекомендацій щодо її вдосконалення із застосуванням цифрових сервісних технологій.

Метою магістерської роботи є дослідження ефективності сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки John Deere та обґрунтування напрямів її підвищення шляхом удосконалення організації технічного сервісу, впровадження цифрових сервісних рішень і зменшення тривалості простоїв машин у процесі експлуатації.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих методичних підходів і рекомендацій сервісними центрами, дилерськими організаціями та сільськогосподарськими підприємствами, що експлуатують техніку John Deere, для підвищення якості технічного обслуговування, скорочення простоїв і зниження експлуатаційних витрат.

У першому розділі виконано аналіз наукових досліджень і сучасного стану проблеми сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки, визначено роль цифровізації сервісних процесів та охарактеризовано особливості сервісної концепції John Deere.

У другому розділі наведено теоретичні засади оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки John Deere, обґрунтовано систему показників та факторів, що визначають рівень сервісної ефективності.

У третьому розділі подано методику дослідження, обґрунтовано вибір напрямку дослідження, визначено об'єкт, предмет та вихідні дані, описано методи розв'язання поставлених задач, програмні й інструментальні засоби дослідження, а також підходи до оцінювання похибок і достовірності отриманих результатів. Крім того, наведено результати експериментального дослідження ефективності додаткової технологічної наладки зернозбиральних комбайнів John Deere 9500 та John Deere 9640 WTS. Виконано порівняльний аналіз ефективності додаткової технологічної наладки зазначених моделей комбайнів.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці, екологічної експертизи та економічної ефективності удосконалення сервісного обслуговування техніки John Deere.

У результаті виконання роботи удосконалено елементи комплексного оцінювання ефективності сервісного обслуговування техніки серії WTS виробництва John Deere з урахуванням технічних, організаційних, економічних і цифрових чинників. За результатами експериментальних досліджень здійснено порівняння ефективності додаткової технологічної наладки зернозбиральних комбайнів John Deere 9500 та John Deere 9640 WTS.

Запропоновану методику та практичні рекомендації доцільно використовувати в діяльності сервісних центрів, дилерських організацій і сільськогосподарських підприємств, що здійснюють технічне обслуговування та сервісну підтримку сучасної зернозбиральної техніки John Deere.

Результати роботи мають рекомендаційний характер і можуть бути впроваджені у практичну діяльність після адаптації до конкретних умов експлуатації техніки.

Сфера застосування результатів дослідження охоплює сервісне обслуговування, технічну експлуатацію, діагностику, цифровий моніторинг та вдосконалення технічної підтримки сучасної сільськогосподарської техніки.

1. АНАЛІЗ Існуючих ДОСЛІДЖЕНЬ.

1.1. Значення сервісного обслуговування у системі технічної експлуатації сільськогосподарської техніки

У сучасному аграрному виробництві показники ефективності використання машинно-тракторного парку визначаються не лише їхніми конструктивно-технічними параметрами, надійністю вузлів і агрегатів або рівнем автоматизації, але й якістю організації сервісного супроводу протягом усього життєвого циклу техніки — від введення в експлуатацію до списання. Для сільськогосподарських машин, що функціонують в умовах жорстко обмежених агротехнічних строків виконання польових операцій, ключовими експлуатаційними показниками виступають технічна готовність, коефіцієнт використання часу зміни, оперативність усунення відмов і несправностей, своєчасність логістичного забезпечення запасними частинами, рівень доступності кваліфікованого сервісного персоналу, а також ефективність застосування засобів діагностування технічного стану.

У цьому контексті система сервісного обслуговування розглядається як критично важливий інфраструктурний елемент, що безпосередньо впливає на мінімізацію непродуктивних простоїв машин, зниження втрат робочого часу в пікові періоди навантаження та підвищення загальної продуктивності машинно-тракторних агрегатів [2, 24, 25]. Належним чином організований технічний сервіс забезпечує підтримання заданого рівня працездатності складних технічних систем шляхом виконання комплексу регламентних, діагностичних, профілактичних та ремонтно-відновлювальних заходів. При цьому якість реалізації контрольних і діагностичних процедур, точність визначення технічного стану вузлів і агрегатів, а також оперативність прийняття рішень щодо ремонту або обслуговування безпосередньо формують експлуатаційну надійність техніки та її фактичну ефективність у виробничих умовах.

Крім того, сучасні міжнародні концепції розвитку механізованих систем у сільському господарстві підкреслюють, що стабільне та ефективне функціонування технічних засобів є неможливим без формування інтегрованого сервісного ланцюга. Такий ланцюг включає не лише безпосереднє технічне обслуговування і ремонт, але й систему логістичного забезпечення запасними частинами, інформаційно-консультаційну підтримку операторів і інженерно-технічного персоналу, а також цифрові інструменти моніторингу та прогнозування технічного стану машин [3, 27]. Особливого значення набуває впровадження принципів проактивного сервісу, який базується на прогнозуванні відмов і попередженні несправностей до моменту їх критичного розвитку.

Таким чином, сервісне обслуговування доцільно розглядати не як допоміжну або другорядну функцію аграрного виробництва, а як поінтегровану та системоутворюючу складову загальної системи технічної експлуатації сільськогосподарської техніки. Від рівня його організації, технологічного забезпечення та кадрового потенціалу безпосередньо залежать такі ключові показники, як експлуатаційна надійність машин, їхня продуктивність у польових умовах, економічна ефективність використання, а також загальна стійкість аграрного виробничого процесу в межах агротехнічних строків.

1.2. Етапи розвитку наукової думки щодо сервісного обслуговування машин

Результати аналізу наукових публікацій і галузевих досліджень дозволяють систематизувати еволюцію підходів до технічного та сервісного обслуговування машин у вигляді послідовності концептуально відмінних етапів, кожен з яких характеризується певним рівнем технологічного розвитку, організації експлуатації та інформаційного забезпечення.

Перший етап розвитку пов'язаний із домінуванням стратегії ремонту після відмови (reactive maintenance), за якої технічне обслуговування реалізується виключно після виникнення фактичної несправності або повної

втрати працездатності машини. У межах даного підходу функціонування технічних служб має виражений реактивний характер, а процес управління технічним станом фактично відсутній. Основна увага зосереджується на виконанні ремонтно-відновлювальних робіт після зупинки техніки, що обумовлює значні непродуктивні простої, порушення технологічних процесів і зростання експлуатаційних витрат. Такий підхід був типовим для машин із відносно простою конструкцією, обмеженим рівнем автоматизації та відсутністю ефективних засобів контролю технічного стану [1].

Другий етап характеризується впровадженням концепції планово-попереджувального технічного обслуговування (preventive maintenance), яка передбачає виконання регламентованих сервісних операцій через заздалегідь встановлені інтервали часу або напруження. У цьому випадку формується системний підхід до організації технічного обслуговування, що дозволяє знизити ймовірність раптових відмов, підвищити рівень надійності та забезпечити певну передбачуваність витрат. Водночас суттєвим обмеженням цього підходу є його орієнтація на усереднені нормативні показники без урахування фактичного технічного стану конкретної машини, режимів її роботи, навантаження та індивідуальних умов експлуатації, що може призводити як до передчасного, так і до запізненого виконання технічних втручань [1, 4].

Третій етап розвитку пов'язаний із впровадженням підходів, орієнтованих на технічний стан обладнання (condition-based maintenance), що базуються на використанні методів діагностики та безперервного або періодичного моніторингу параметрів функціонування машин. У межах цього підходу рішення щодо необхідності технічного обслуговування приймаються на основі аналізу фактичних експлуатаційних даних, таких як вібраційні характеристики, температурні режими, тиск робочих середовищ, споживана потужність тощо. Це забезпечує перехід від регламентного до цільового обслуговування, спрямованого на попередження відмов на ранніх стадіях їх розвитку. Водночас ефективна реалізація даної концепції потребує

наявності відповідної вимірювальної інфраструктури, діагностичних систем, а також висококваліфікованого персоналу, здатного інтерпретувати отримані дані та приймати обґрунтовані технічні рішення [13, 14].

Сучасний, четвертий етап розвитку технічного сервісу характеризується переходом до концепції прогнозного обслуговування (predictive maintenance), інтегрованого цифрового сервісу та управління життєвим циклом техніки на основі даних (data-driven maintenance). У рамках цього підходу використовуються телеметричні системи, технології Інтернету речей (IoT), автоматизовані платформи збору та обробки даних, хмарні сервіси та алгоритми машинного навчання для прогнозування ймовірності відмов і оптимізації графіків обслуговування. Важливою складовою є можливість дистанційного доступу до параметрів роботи машин у реальному часі, інтеграція виробника, сервісного оператора та користувача в єдине інформаційне середовище, а також застосування систем підтримки прийняття рішень для підвищення ефективності сервісного обслуговування [2, 5, 13]. Разом із тим, впровадження таких рішень супроводжується підвищеними вимогами до цифрової інфраструктури, кібербезпеки, стандартизації даних та рівня підготовки персоналу.

Таким чином, еволюція наукових підходів у сфері сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки відображає загальну тенденцію переходу від реактивних моделей ремонту до проактивних і прогностичних систем управління працездатністю машин. Ключовим вектором розвитку є інтеграція діагностичних засобів, інформаційних технологій та аналітичних інструментів, що забезпечують прийняття рішень на основі об'єктивних даних про технічний стан і режими експлуатації техніки.

На основі узагальнення результатів досліджень [1, 2, 13] доцільно представити еволюцію підходів до сервісного обслуговування у структурованому вигляді (табл. 1.1).

**Таблиця 1.1 — Еволюція підходів до сервісного обслуговування
сільськогосподарської техніки**

Етап	Характерний підхід	Основні ознаки	Обмеження
1	Ремонт після відмови (reactive maintenance)	Виконання ремонтно-відновлювальних робіт після фактичної відмови; відсутність системного контролю стану	Значні простоя; порушення технологічних процесів, високі та непередбачувані витрати
2	Планово-попереджувальне обслуговування (preventive maintenance)	Регламентні технічні обслуговування через фіксовані інтервали часу або напруцювання	Ігнорування індивідуального технічного стану; ризик неефективного використання ресурсів
3	Діагностичне обслуговування (condition-based maintenance)	Моніторинг параметрів технічного стану; виконання обслуговування за фактичними показниками	Потреба у спеціалізованих засобах діагностики та високій кваліфікації персоналу
4	Прогнозне обслуговування та цифровий сервіс (predictive maintenance)	Використання телеметрії, IoT, аналітики даних і алгоритмів прогнозування відмов; дистанційна підтримка	Високі вимоги до цифрової інфраструктури, інтеграції систем, кібербезпеки

1.3. Сучасні підходи до оцінювання ефективності сервісного обслуговування

У сучасних наукових дослідженнях ефективність сервісного обслуговування розглядається як інтегральна багатокритеріальна характеристика, що формується під впливом сукупності взаємопов'язаних факторів різної природи — технічної, економічної, організаційної та інформаційної. Такий підхід передбачає відхід від одновимірних оцінок і

орієнтацію на системне представлення процесів технічної експлуатації машин.

До групи технічних показників відносять параметри, що безпосередньо характеризують рівень працездатності та надійності машинно-тракторних агрегатів у процесі експлуатації. Зокрема, це коефіцієнт технічної готовності, інтенсивності, і частота виникнення відмов, середній час відновлення працездатності (MTTR), середній напрацювання до відмови (MTBF), а також показники надійності, довговічності та ремонтпридатності. Зазначені параметри дозволяють кількісно оцінити технічний стан обладнання та ефективність виконання ремонтно-відновлювальних заходів.

Економічна складова ефективності сервісного обслуговування відображає сукупні витрати, пов'язані з підтриманням техніки у працездатному стані. До неї включають прямі витрати на технічне обслуговування і ремонт, витрати на придбання та зберігання запасних частин, матеріалів і комплектуючих, а також непрямі втрати, зумовлені простоями техніки, недовиконанням виробничих операцій та порушенням агротехнічних строків. Важливим аспектом є також оцінка вартості життєвого циклу техніки (LCC), що дозволяє врахувати довгострокові економічні наслідки прийнятих сервісних рішень.

Організаційні показники характеризують ефективність функціонування сервісної інфраструктури та процесів управління технічним обслуговуванням. До них належать середній час реагування сервісної служби на відмову, рівень доступності та мобільності сервісного персоналу, ефективність логістики постачання запасних частин, ступінь оптимізації планування регламентних робіт, а також узгодженість дій між усіма учасниками сервісного процесу. Саме ці параметри значною мірою визначають швидкість і якість виконання технічних втручань у реальних умовах експлуатації.

Інформаційна складова набуває дедалі більшого значення в умовах цифровізації аграрного виробництва та включає рівень забезпеченості

достовірними та актуальними даними про технічний стан машин, ступінь впровадження систем моніторингу, телеметрії та дистанційної діагностики, а також можливості інтеграції даних у єдині інформаційно-аналітичні платформи. Важливими характеристиками є повнота, точність, своєчасність і доступність інформації, що використовується для прийняття сервісних рішень.

Водночас суттєвим недоліком значної частини існуючих методичних підходів є ізолюване оцінювання окремих груп показників без урахування їх взаємного впливу. У реальних умовах експлуатації технічні, економічні, організаційні та інформаційні параметри функціонують як єдина взаємопов'язана система. Наприклад, затримки у логістичному забезпеченні запасними частинами безпосередньо призводять до збільшення тривалості ремонтів і, як наслідок, до зростання економічних втрат від простоїв. Аналогічно, відсутність або недостатній рівень дистанційної діагностики ускладнює ідентифікацію причин відмов, що збільшує час реагування сервісних служб і знижує загальну ефективність обслуговування.

З огляду на це, більш обґрунтованим є застосування комплексного системного підходу, в межах якого сервісне обслуговування розглядається як інтегрована система взаємодії технічного об'єкта (машини), сервісного центру, логістичної підсистеми, цифрової інформаційної платформи та кінцевого користувача [2], [3]. Такий підхід дозволяє враховувати міжфакторні зв'язки, синергетичні ефекти та обмеження, що виникають у процесі експлуатації техніки.

У зв'язку з цим оцінювання ефективності сервісного обслуговування доцільно здійснювати на основі системи взаємопов'язаних індикаторів, а не окремого узагальненого показника. Використання багатокритеріальних моделей оцінки дає змогу порівнювати альтернативні варіанти організації сервісної підтримки, ідентифікувати вузькі місця у функціонуванні сервісної системи та обґрунтовувати напрями її подальшого вдосконалення з

урахуванням технічних, економічних і організаційно-інформаційних аспектів.

1.4. Цифровізація сервісу як напрям підвищення ефективності технічного обслуговування

Окремий напрям сучасних наукових досліджень пов'язаний із впровадженням цифрових технологій у процеси технічного та сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки, що обумовлено загальною тенденцією цифрової трансформації аграрного сектору та переходом до data-driven моделей управління експлуатацією машин. У межах цього напрямку особлива увага приділяється інтеграції програмно-апаратних засобів моніторингу, аналітики та підтримки прийняття рішень у сервісні процеси.

Зокрема, у роботі F. Regler та співавторів експериментально обґрунтовано ефективність застосування цифрового інструменту типу maintenance assistant для обслуговування карданних валів сільськогосподарської техніки. Отримані результати свідчать про суттєве підвищення ефективності сервісних операцій за рахунок автоматизації процедур контролю та оптимізації регламентних робіт. У дослідженні зафіксовано значне скорочення трудомісткості обслуговування, зменшення витрат матеріальних ресурсів, зокрема мастильних матеріалів, а також загальне зниження витрат на технічне обслуговування — до 93,8% у визначених сценаріях експлуатації. При цьому середнє скорочення трудових витрат становило близько 81,8%, що підтверджує високий потенціал цифрових інструментів у підвищенні продуктивності сервісного персоналу [6]. Важливим фактором досягнення таких результатів є стандартизація процедур обслуговування та зменшення впливу людського фактора на якість виконання операцій.

Аналогічні тенденції простежуються у дослідженнях, присвячених впровадженню прогностичного технічного обслуговування (predictive maintenance) для тракторної техніки. Встановлено, що використання

спеціалізованого діагностичного програмного забезпечення, алгоритмів предиктивного аналізу та історичних даних про експлуатацію дозволяє своєчасно ідентифікувати потенційні відмови та оптимізувати графіки технічного обслуговування. Це, у свою чергу, забезпечує скорочення тривалості ремонтних робіт, зменшення кількості аварійних відмов та зниження загальних витрат, пов'язаних із відновленням працездатності техніки [8]. Ключовою перевагою такого підходу є перехід від реактивного реагування на несправності до їх попередження на основі прогнозних моделей.

Крім того, значний обсяг сучасних досліджень присвячений застосуванню методів моніторингу технічного стану на основі аналізу експлуатаційних сигналів, зокрема вібраційних характеристик, спектрального (частотного) аналізу та алгоритмів машинного навчання. Отримані результати підтверджують високу точність і надійність автоматизованого виявлення дефектів у вузлах і агрегатах сільськогосподарських машин, включаючи підшипникові вузли, трансмісійні елементи та привідні механізми. Використання таких підходів дозволяє виявляти початкові стадії розвитку несправностей, що є критично важливим для запобігання їх переходу в аварійний стан [9]. При цьому ефективність діагностики значною мірою залежить від якості зібраних даних, вибору інформативних ознак і адекватності застосованих моделей обробки сигналів.

Узагальнюючи наведені результати, доцільно констатувати, що цифровізація сервісного обслуговування виходить за межі допоміжного інструментарію та формує принципово нову парадигму технічної підтримки сільськогосподарської техніки. У межах цієї парадигми сервісне втручання трансформується у високотехнологічний, проактивний і адаптивний процес, що базується на безперервному моніторингу, аналітичній обробці даних і прогнозуванні технічного стану. Це забезпечує підвищення оперативності реагування на відхилення в роботі техніки, цільову спрямованість

обслуговування, мінімізацію ресурсних витрат і загальне зростання економічної ефективності експлуатації машин.

На рис. 1.1 доцільно представити узагальнену еволюцію системи сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки як послідовний перехід від реактивних моделей до інтегрованих цифрових систем управління технічним станом, що включають діагностику, прогнозування та підтримку прийняття рішень у реальному часі.

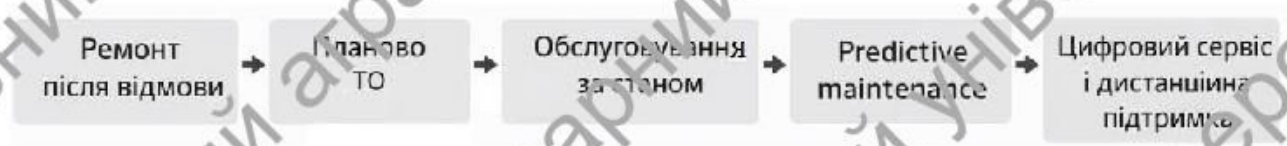


Рисунок 1.1 – Еволюція системи сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки

1.5. Система показників ефективності сервісного обслуговування

Для кількісного оцінювання ефективності функціонування системи сервісного обслуговування доцільно застосовувати сукупність часткових (локальних) показників, які комплексно відображають технічні, часові та організаційні аспекти експлуатації машин. Такий підхід забезпечує можливість формалізованого аналізу стану сервісної системи та ідентифікації факторів, що найбільше впливають на її результативність.

Базовим інтегральним показником, який характеризує рівень працездатності техніки в експлуатаційних умовах, є коефіцієнт технічної готовності:

$$K_{\text{ТГ}} = \frac{T_{\text{прац}}}{T_{\text{прац}} + T_{\text{прост}}} \quad (1.1)$$

де $T_{\text{прац}}$ – час працездатного стану машини за досліджуваний період; $T_{\text{прост}}$ – сумарний час простою через технічне обслуговування, відмови, очікування запасних частин або сервісного втручання.

У теорії надійності близьким показником є доступність системи, яка визначається через середній час між відмовами $MTBF$ і середній час відновлення $MTTR$:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1.2)$$

Саме така залежність наводиться в технічній літературі з аналізу доступності систем [16, 17].

Для характеристики сервісної системи також доцільно використовувати: середній час реагування сервісної служби:

$$t_{\text{реак}} = \frac{\sum t_{\text{відг}}}{n} \quad (1.3)$$

$t_{\text{реак}}$ – інтервал часу від моменту реєстрації несправності до початку сервісного втручання;

Таблиця 2.1 – Система показників ефективності сервісного обслуговування техніки John Deere

Показник	Позначення	Формула	Одиниця	Характеристика
Коефіцієнт технічної готовності	$K_{\text{тг}}$	(2.1)	частка од.	Відображає частку часу, коли машина є працездатною
Середній час між відмовами	$MTBF$	(2.5)	год	Характеризує надійність машини
Середній час відновлення	$MTTR$	(2.4)	год	Характеризує ремонтпридатність і швидкість сервісу
Середній час реагування	$t_{\text{реак}}$	(2.3)	год	Відображає оперативність сервісної служби
Витрати на сервіс	C_c	—	грн	Прямі витрати на технічне обслуговування і ремонт
Втрати від простою	$C_{\text{прост}}$	—	грн	Непрямі економічні втрати від зупинки машини
Інтегральний індекс сервісу	I_c	(2.10)	частка од.	Узагальнена оцінка ефективності сервісної системи

Таким чином, середній час відновлення працездатності

$$MTTR = \frac{\sum t_{\text{рем}}}{n} \quad (1.4)$$

де $\sum t_{\text{рем}}$ – сумарний час ремонту за n відмов; а також середній час між відмовами:

$$MTBF = \frac{T_{\text{прац}}}{n} \quad (1.5)$$

В табл. 2.1 наведена система показників ефективності сервісного обслуговування техніки John Deere [13-18].

Крім технічних показників, важливими є економічні індикатори: прямі витрати на технічне обслуговування, витрати на запасні частини, витрати на діагностику, а також втрати від простоїв. У сучасних роботах із predictive maintenance наголошується, що технічна ефективність сервісу має оцінюватися разом із його економічною результативністю [13, 14, 18].

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИРОБНИКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ JOHN DEERE

2.1. Особливості фірмового технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів John Deere

Фірмове технічне обслуговування зернозбиральних комбайнів John Deere – це комплексна система, що поєднує інженерні стандарти виробника, цифрові технології та сервісну підтримку дилерської мережі. Воно значно глибше, ніж звичайне ТО, оскільки спрямоване не лише на підтримання працездатності, а й на максимізацію ефективності збирання врожаю та ресурсу машини.

Концепція сервісу: від ремонту до упрямління надійністю. Основна ідея фірмового сервісу – перехід від реактивного ремонту до проактивного обслуговування. Таке твердження означає: не чекати поломки, а попереджати її виникнення; використовувати дані про роботу машини для прийняття рішень; забезпечувати безперервність роботи в період жнив, коли простій особливо критичний.

Таким чином, сервіс інтегрується у виробничий процес аграрного підприємства.

Структура технічного обслуговування. Фірмове ТО має чітку багаторівневу структуру. Так, наприклад, Щоденне обслуговування оператором виконується перед або після змни та полягає у очищенні комбайна від пилу, соломи та зерна; перевірки рівня моторного масла, охолоджувальної рідини, пального; огляді ременів, ланцюгів, підшипників; мащення вузлів (якщо немає автоматичної системи); контролю стану ножів, жатки, режін. Це критично, бо комбайн працює в умовах високої запиленості та навантаження.

Періодичне обслуговування за напрацьованими мотогодинами проводиться через певні інтервали (наприклад, 100, 250, 500 мотогодин) та

включає: заміну моторного масла і фільтрів; обслуговування паливної системи; перевірку гідравліки (тиск, герметичність); натяг і стан ремінних передач; діагностику електронних систем. При цьому регламенти технічного обслуговування чітко визначені виробником і враховують тип двигуна, умови експлуатації, навантаження.

Сезонне обслуговування умовно поділяють на передсезонне: повна діагностика всіх систем; заміна зношених деталей; калібрування датчиків і систем точного землеробства; оновлення програмного забезпечення та післясезонне: глибоке очищення машини, консервація (захист від корозії); злив або стабілізація рідин; підготовка до зберігання.

Цифрові технології та телематика. Однією з головних особливостей є інтеграція з цифровими рішеннями, такими як John Deere Operations Center. До основних можливостей такого центру відносять: віддалений моніторинг стану комбайна; аналіз продуктивності (урожайність, зтрати зерна); повідомлення про помилки в реальному часі; віддалена діагностика (Remote Diagnostics). Сервісні інженери можуть: підключатися до машини дистанційно; визначати причину несправності без виїзду; готувати запчастини ще до прибуття. Останнє значно скорочує час простоя.

Використання оригінальних запчастин є фундаментальним постулатом. Фірмовий сервіс передбачає застосування лише: сертифікованих деталей, оригінальних фільтрів; спеціалізованих мастильних матеріалів. До переваг такої системи відносять: повну сумісність із вузлами та агрегатами комбайна; прогнозований ресурс роботи; збереження гарантії. При цьому неоригінальні аналоги можуть призводити до: швидшого зносу вузлів та механізмів зернозбирального комбайну, порушення роботи електроніки; додаткових витрат у майбутньому.

Конструктивна адаптація до сервісу полягає у наступному -комбайни John Deere спроектовані з урахуванням швидкого обслуговування та мають: великі сервісні люки; легкий доступ до двигуна та ключових агрегатів; централізовані точки змащення; автоматичні системи змащування

(AutoLube). Це дозволяє: скоротити час ТО; зменшити залежність від людського фактора; підвищити якість обслуговування.

Обслуговування систем точного землеробства є все більш розповсюдженою практикою. Сучасні комбайни оснащені складною електронікою: GPS-навігація; датчики врожайності; системи автоматичного керування. Відповідно, фірмовий сервіс включає: калібрування датчиків; перевірку точності вимірювань; оновлення програмного забезпечення; налаштування систем автоматизації. Це важливо для точності аграрних даних і оптимізації врожаю.

Роль дилерської мережі полягає у тому, що офіційні дилери John Deere забезпечують: виїзні сервісні бригади; цілодобову підтримку в сезон; наявність складів запчастин; спеціалізоване обладнання для діагностики. У період жнив це дозволяє: реагувати на поломки протягом кількох годин; виконувати ремонт без транспортування техніки.

Сервісні контракти та програми підтримки - John Deere пропонує різні формати обслуговування: базове ТО; розширені сервісні пакети; повні контракти з фіксованою вартістю. Вони можуть включати: планове обслуговування; заміну витратних матеріалів; діагностику; іноді навіть гарантію на вузли.

Економічний ефект - щодо використання фірмового ТО, то такий сервіс дає змогу: зменшити простой під час жнив; знизити витрати на аварійні ремонти; продовжити строк служби комбайна; підвищити залишкову вартість техніки. У довгостроковій перспективі це часто вигідніше, ніж дешеве неофіційне обслуговування.

Таким чином, фірмове технічне обслуговування комбайнів John Deere - це інтегрована система управління технічним станом, яка включає: регламентоване ТО, цифровий моніторинг, професійну підтримку, використання оригінальних компонентів. Завдяки цьому досягається головна мета – максимальна ефективність роботи техніки в критичні аграрні періоди.

2.2. Фірмове технічне обслуговування сільськогосподарських тракторів

John Deere

Фірмове технічне обслуговування сільськогосподарських тракторів John Deere - це складна система, яка поєднує регламентовані процедури, цифрові технології, сервісні програми та жорсткий контроль з боку виробника. Воно орієнтоване не лише на підтримання працездатності, а на забезпечення максимальної надійності, продуктивності та мінімальних простоїв техніки.

Головна особливість концепції фірмового обслуговування зернозбиральних комбайнів - застосування проактивного попереджувального підходу: техніка обслуговується до виникнення несправностей; використовується постійний моніторинг стану; сервіс інтегрується в управління господарством. На практиці це означає менше аварійних поломок;

прогнозувати витрати; стабільна робота в пікові періоди збирання врожаю.

Багаторівнева система технічного обслуговування. Щоденне технічне обслуговування виконується механізатором, полягає у перевірці рівнів масла, пального, охолоджуючої рідини; огляду шин, гідравлических шлангів; очищенню радіаторів і фільтрів від пилу; контролю витоків; змащенню вузлів. Дотримання високої технічної культури в такому випадку критично через: великі навантаження; тривалу безперервну роботу; роботу в пилових умовах.

Періодичне технічне обслуговування проводиться через 250, 500, 1000+ мотогодин. До основних операцій в такому випадку відносять: заміну моторного масла і масляного фільтра; заміну паливних фільтрів; обслуговування повітряної системи; перевірку трансмісії та гідравліки; перевірку рівня та якості мастила вузлів трансмісії та валу відбору потужності. Наприклад, для тракторів серії 8R: кожні 500 годин — заміна масла і фільтрів; 1000 годин - додаткові фільтри та повітряна система.

Сезонне обслуговування. Перед сезоном механізованих робіт виконується: повна технічна діагностика; заміна зношених деталей; перевірка електроніки та датчиків; оновлення програмного забезпечення. Після сезону: очищення трактора; консервація; перевірка зносу вузлів; підготовка до зберігання.

Цифрове обслуговування і телематика. Ключова перевага — система Connected Support™, до основних можливостей якої відносять: дистанційний доступ до трактора; аналіз кодів помилок; онлайн-діагностику. При цьому дилер може: підключитися до машини; оцінити несправність, підготувати ремонт заздалегідь. Це дозволяє уникнути простоїв і швидко реагувати на проблеми з технічним станом трактора.

Жорстка прив'язка до дилерського сервісу та фірмове обслуговування має важливу особливість: складні ремонти виконуються тільки авторизованими дилерами; використовується спеціальне діагностичне програмне забезпечення (Service ADVISOR); доступ до електроніки обмежений. Останнє забезпечує: правильність налаштувань; точність ремонту; контроль якості. Водночас це є предметом дискусій щодо «права на ремонт», оскільки доступ до ПЗ обмежений.

Використання оригінальних запчастин і матеріалів при організації фірмового сервісу передбачає: використання тільки оригінальних запчастин John Deere; використання тільки спеціальних мастил та фільтрів, відповідність заводським стандартам. До переваг відносять: довший ресурс; стабільну роботу вузлів; мінімізація ризику відмов. Сервісні програми і контракти. Однією з найважливіших особливостей є наявність програм. John Deere Protect™ включає: 3-5 щорічних інспекцій; 3-10 планових ТО; фіксовану вартість обслуговування; використання оригінальних деталей. PowerGuard™ розглядається як розширена гарантія; покриття силового агрегату; захист до 5 років або тисяч мотогодин. Uptime Assurance використовується, якщо трактор не відремонтовано за 24 години: надається підмінна техніка.

Конструктивні особливості, що полегшують сервіс. Трактори John Deere спроектовані з урахуванням зручностей проведення технічного обслуговування: зручний доступ до двигуна; зменшена кількість гідравлічних з'єднань (менше витоків); централізовані точки змащення; модульна конструкція вузлів. Це підвищує: швидкість обслуговування; надійність; безпеку.

Обслуговування електроніки та точного землеробства. Сучасні трактори мають складні системи: GPS-навігація; автопілот; системи контролю агрегатів. При цьому фірмовий сервіс включає: калібрування; оновлення ПЗ; налаштування автоматизації. Без цього техніка не працюватиме на повну ефективність.

Роль дилерської мережі - дилери забезпечують: виїзні сервісні бригади; швидку доставку запчастин; технічну підтримку 24/7 у сезон; професійних інженерів. Це дозволяє підтримувати техніку в робочому стані, навіть у полі.

Економічна ефективність фірмового обслуговування дає змогу: зменшення простоїв; контролю витрат; продовження ресурсу трактора; збереження високої залишкової вартості.

Таким чином, фірмове обслуговування тракторів John Deere можливо розглядати як високотехнологічну систему управління технічним станом, яка включає: регламентоване ТО; цифрову діагностику; дилерську підтримку, сервісні контракти; використання оригінальних компонентів. Головна мета фірмового обслуговування - забезпечити максимальну продуктивність техніки при мінімальних ризиках простою.

2.3. Фірмове технічне обслуговування сівалок John Deere

Фірмове технічне обслуговування сівалок John Deere має свої специфічні особливості, пов'язані з високою точністю висіву, складною електронікою та залежністю результату від правильної настройки. На відміну від тракторів чи комбайнів, тут головний акцент робиться не лише на надійності, а на точності агротехнологічного процесу. Основна концепція:

точність понад усе. Фірмовий сервіс сівалок орієнтований на: забезпечення рівномірного висіву насіння; стабільну глибину загортання; точне дотримання норми висіву; мінімізацію пропусків і двійників.

Навіть незначні відхилення можуть призвести до втрати врожаю, тому обслуговування тут тісно пов'язане з агрономією.

Структура технічного обслуговування. Щоденне технічне обслуговування – виконується оператором МТА. Перед виїздом у поле: очищення висівних апаратів від пилу та залишків насіння; перевірка сошників, дисків і притискних коліс; контроль тиску в системі притиску; огляд шлангів вакуумної/пневматичної системи; перевірка електропроводки і датчиків. Особливість: навіть дрібне забруднення може вплинути на точність висіву.

Періодичне ТО. Проводиться через визначені інтервали або перед важливими етапами посівної: перевірка та заміна висівних дисків; контроль зносу сошників і підшипників; обслуговування вакуумної або пневматичної системи; перевірка калібрування норм висіву; огляд приводів (механічних або електричних).

Сезонне обслуговування. Перед проведенням комплексу посівних робіт необхідно здійснити: повну діагностику усіх секцій; калібрування систем висіву; перевірка електроніки; оновлення програмного забезпечення; тестовий висів – калібрування на стенді або в полі.

Після завершення посівного сезону необхідно виконати: очищення від пилу, добрив і насіння; консервацію; заміну зношених елементів, підготовку до зберігання. При цьому калібрування розглядається як ключова особливість сівалок. На відміну від інших технік, у сівалках: калібрування є обов'язковою частиною технічного обслуговування та включає в себе налаштування норми висіву; перевірку точності дозування; тестування рівномірності розподілу насіння; калібрування глибини загортання. Без цього навіть справна сівалка може працювати неефективно.

Цифрові технології та електроніка. Сучасні сівалки інтегруються з платформою John Deere Operations Center. До основних функцій такої системи відносять: контроль висіву в реальному часі; моніторинг кожного рядка; фіксація пропусків і двійників; аналіз продуктивності.

Важливий елемент - система ExactEmerge™. Така система забезпечує висів на високій швидкості; точне розміщення насіння; синхронізацію подачі. Фірмове обслуговування включає: перевірку датчиків; налаштування синхронізації; діагностику електроприводів.

Вакуумні та пневматичні системи. Більшість сівалок John Deere використовують вакуум для дозування насіння. ТО таких систем включає: перевірку герметичності; очищення вентиляторів; контроль тиску; огляд шлангів і з'єднань. Навіть невелика розгерметизація знижує точність висіву.

Використання оригінальних компонентів як частина фірмового сервісу передбачає: оригінальні висівні диски; датчики; ущільнення; електронні модулі.

До переваг в такому варіанті відносять: точність роботи; сумісність; довговічність. Неоригінальні деталі часто: знижують якість висіву; дають помилки в електроніці.

Віддалена діагностика і Connected Support дає можливість сервісним інженерам: підключатися до сівалки дистанційно; аналізувати дані; виявляти проблеми до їх появи. Це особливо важливо в короткий період посівної.

Конструктивні особливості для сервісу - сівалки John Deere мають: модульні висівні секції; швидку заміну робочих органів; зручний доступ до вузлів; централізовані налаштування. Це дозволяє: швидко ремонтувати техніку; мінімізувати простой.

Роль дилерського сервісу - офіційні дилери забезпечують: передпосівну підготовку; виїзне обслуговування; точне налаштування техніки в полі; навчання операторів. Це важливо, бо навіть ідеальна сівалка потребує правильного налаштування під конкретне поле.

Економічне значення фірмове ТО сівалок дає: підвищення врожайності; економію насіння; рівномірні сходи; зменшення пересіву. Тобто ефект проявляється не лише в техніці, а й у результатах господарства.

Таким чином, фірмове обслуговування сівалок John Deere - це поєднання механічного сервісу, цифрових технологій і агрономічної точності. Його ключові особливості: обов'язкове калібрування; контроль точності висіву; робота з електронікою; використання телематики; підтримка дилера. Головна мета - це просто справність техніки, а ідеальний висів як основа врожайності.

2.4. Фірмове технічне обслуговування плугів John Deere

Фірмове технічне обслуговування плугів John Deere має свої специфічні особливості, які відрізняються від сервісу складної самохідної техніки. Плуги - це переважно механічні знаряддя, але вони працюють у дуже важких умовах (високі навантаження, абразивний знос, ударні дії), тому основний акцент робиться на зносостійкості, точності налаштування та надійності конструкції.

Концепція фірмового обслуговування плугів. На відміну від тракторів чи сівалок, тут ключова ідея: підтримання геометрії та робочих органів у ідеальному стані. Це важливо, тому що від геометрії залежить якість оранки, неправильні налаштування призводять до перевитрати пального; зношені деталі призводять до поганого перевертання пласта.

Фірмовий сервіс орієнтований на: стабільну якість обробки ґрунту; мінімальний опір руху; довговічність деталей.

Структура технічного обслуговування. Щоденне обслуговування - перед і після роботи: очищення плуга від ґрунту та рослинних решток; візуальний огляд рами; перевірка кріплень (болти, гайки); контроль стану лемешів, відвалів, польових дошок; змащення шарнірів. Особливість: навіть невелике ослаблення кріплення може призвести до деформації рами.

Періодичне обслуговування: - виконується через певний обсяг робіт (га або години): заміна зношених лемешів і доліт; перевірка стану відвалів; контроль підшипників (якщо є опорні колеса); перевірка механізмів регулювання; огляд гідравлічних циліндрів (для оборотних плугів).

Сезонне обслуговування - перед початком оранки: повна перевірка геометрії; регулювання ширини захвату; налаштування кута атаки; перевірка системи обороту (для оборотних плугів); змащення всіх вузлів.

Після сезону: ретельне очищення; антикорозійна обробка; часткова розборка (за потреби); заміна сильно зношених деталей; збергання в сухих умовах.

Контроль і відновлення робочих органів - це найважливіша частина фірмового обслуговування. Основні елементи: лемеші; відвали; польові дошки; долота.

Фірмовий сервіс передбачає: використання оригінальних зносостійких деталей; контроль товщини і форми; своєчасну заміну, а не «роботу до повного зносу». Чому це важливо: зношений леміш збільшує тяговий опір; деформований відвал погіршує перевертання ґрунту; неправильна форма нерівна оранка.

Геометрія і регулювання. Плуги потребують точного налаштування: ширина захвату; глибина обробітку; положення першого корпусу; кут атаки; балансування плуга відносно трактора. Фірмовий сервіс включає: професійне налаштування під конкретний трактор; врахування типу ґрунту; перевірку симетрії (для оборотних плугів). Неправильне налаштування може збільшити витрату пального на 10–20%.

Гідравлічні системи (для сучасних плугів). Сучасні плуги John Deere (особливо оборотні) мають гідравліку: система обороту рами; регулювання ширини захвату; налаштування глибини. ТО включає: перевірку герметичності; контроль тиску; огляд шлангів; перевірку роботи циліндрів.

Використання оригінальних запчастин. Фірмовий сервіс передбачає: оригінальні лемеші та відвали; високоякісні сталі з термообробкою; точну відповідність конструкції. Переваги: довгий ресурс; правильна форма обробітку; менший опір. Неоригінальні деталі: швидше зношуються; можуть змінювати геометрію оранки. Конструктивні особливості для обслуговування.

Плуги John Deere мають: модульну конструкцію корпусів; швидку заміну робочих органів; посилену раму; зручний доступ до вузлів. Це дозволяє: скоротити час ремонту; виконувати обслуговування в польових умовах.

Роль дилерського сервісу. Офіційні дилери забезпечують: підбір робочих органів; правильне налаштування; ремонт гідравліки; консультації щодо експлуатації. Особливо важливо: налаштування плуга під конкретні умови господарства.

Вплив обслуговування на ефективність - фірмове ГО забезпечує: рівномірну глибину оранки; якісне перевертання пласта; зменшення витрати пального; зниження навантаження на трактор; довговічність агрегату.

Таким чином, фірмове обслуговування плугів John Deere - це система підтримки точності механічного обробітку ґрунту, яка базується на: контролі зносу робочих органів; точному налаштуванні геометрії; використанні якісних матеріалів; регулярному технічному огляді. Головна мета забезпечити стабільну якість оранки при мінімальних витратах і максимальному ресурсі техніки.

2.5. Фірмове технічне обслуговування культиваторів John Deere

Фірмове технічне обслуговування культиваторів John Deere має свою специфіку, оскільки ці агрегати працюють у режимі інтенсивного механічного навантаження, взаємодіють із різними типами ґрунтів і виконують як передпосівний, так і міжрядний обробіток. Тому головний акцент сервісу – збереження геометрії робочих органів, рівномірності обробітку та надійності конструкції.

Концепція фірмового обслуговування культиваторів John Deere. Основна ідея - стабільна якість обробки ґрунту при мінімальних енерговитратах. Це досягається через: підтримання правильної глибини обробки; рівномірний розподіл навантаження; зменшення тягового опору; запобігання нерівномірному зносу. Фірмовий сервіс спрямований не лише на справність, а й на агротехнічний результат.

Структура технічного обслуговування. Щоденне обслуговування - перед і після роботи: очищення від ґрунту, рослинних решток; огляд лап, стояків і рами; перевірка кріплень, контроль зносу робочих органів; змащення шарнірів і рухомих вузлів. Особливість: навіть незначний перекіс або забруднення впливає на рівномірність обробки.

Періодичне обслуговування - проводиться після певної площі обробки або навантаження: заміна лап (долот, стрілочастих); перевірка пружинних або гідравлічних стояків; контроль підшипників котків; перевірка систем регулювання глибини; огляд рами на наявність тріщин.

Сезонне обслуговування - перед сезоном: повна діагностика агрегату; вирівнювання рами; налаштування глибини та кута атаки; перевірка котків і борін; заміна зношених деталей. Після сезону: очищення, антикорозійна обробка; розвантаження пружин; зберігання в сухому місці.

Контроль робочих органів - це ключовий елемент обслуговування. Основні компоненти: лапи (стрілочасті, долотоподібні); стояки; котки; вирівнювальні планки.

Фірмовий сервіс включає: контроль форми і товщини лап; рівномірність зносу; своєчасну заміну. Наслідки зносу: нерівномірна глибина; підвищений опір; погіршення структури ґрунту.

Геометрія і налаштування - культиватори потребують точного регулювання: глибини обробки ґрунту; кута атаки лап; вирівнювання по горизонту; тиску на ґрунт; налаштування котків.

Фірмовий сервіс забезпечує: адаптацію під тип ґрунту; оптимізацію під конкретний трактор; точність обробітку по всій ширині агрегату.

Гідравлічні системи. Сучасні культиватори John Deere оснащені гідравлікою: складання/розкладання рами; регулювання глибини; контроль тиску на робочі органи.

ТО включає: перевірку герметичності; огляд шлангів; перевірку циліндрів; контроль тиску.

Використання оригінальних деталей - фірмовий сервіс передбачає: оригінальні лапи та стояки; зносостійкі матеріали; точну геометрію деталей. Переваги фірмового сервісу: довговічність; рівномірна робота; стабільна якість обробітку.

Конструктивні особливості - Культиватори John Deere мають: модульну конструкцію; швидку заміну лап; пружинні або гідравлічні стояки; посилені рами. Це дозволяє: швидко обслуговувати агрегат; зменшити час простою; працювати в складних умовах.

Роль дилерського сервісу - офіційні дилери забезпечують: передсезонне налаштування; діагностику; підбір робочих органів; консультації щодо обробітку ґрунту. При цьому важливо: правильне налаштування часто важливіше за сам ремонт.

Вплив на ефективність роботи - фірмове обслуговування забезпечує: рівномірний обробіток ґрунту; збереження структури ґрунту; економію пального; зниження навантаження на трактор; підвищення врожайності.

Таким чином, фірмове обслуговування культиваторів John Deere - це система підтримки точності та ефективності обробітку ґрунту, яка базується на: контролі зносу робочих органів; точному налаштуванні геометрії; регулярному технічному огляді; використанні якісних матеріалів. Головна мета фірмового обслуговування культиваторів John Deere - забезпечити стабільний агротехнічний результат при мінімальних витратах і максимальному ресурсі техніки.

2.6. Фірмове технічне обслуговування самохідних обприскувачів John Deere

Фірмове технічне обслуговування самохідних обприскувачів John Deere є одним із найскладніших серед усієї сільськогосподарської техніки, оскільки поєднує в собі механіку, гідравліку, хімію та високоточну електроніку. Головна мета такого сервісу – не просто підтримка працездатності, а забезпечення максимально точної та безпечної хімічної обробки посівів.

Концепція обслуговування: точність і безпека, основна ідея: точне внесення ЗЗР (засобів захисту рослин) при мінімальних втратах і ризиках. Фірмовий сервіс спрямований на: рівномірність внесення по всій ширині штанги; стабільність норми висіву; мінімізацію неекриттів і пропусків; безпеку оператора і довкілля. Структура технічного обслуговування полягає у наступному.

Щоденне обслуговування. Після кожної зупини або перед виїздом: промивка системи від залишків хімікатів; очищення фільтрів і форсунок; перевірка бака, шлангів і з'єднань; огляд штанги (деформації, тріщини); контроль рівня робочих рідин; перевірка тиску в системі. Особливість: залишки хімії можуть викликати корозію і засмічення.

Періодичне обслуговування - виконується через визначену для кожної моделі самохідного обприскувача кількість годин або обсяг внесених препаратів, включає в себе: заміну фільтрів (всмоктувальних, напірних, секційних); перевірку насоса (продуктивність, герметичність), калібрування форсунок; перевірку системи змішування; обслуговування ходової частини та двигуна.

Сезонне обслуговування - перед початком сезонного обсягу польових робіт: здійснюється повна діагностика систем обприскування; перевірка електроніки; калібрування норми внесення; тест роботи штанги; оновлення програмного забезпечення. Після сезону: виконується глибоке очищення

системи; нейтралізація залишків хімікатів; консервація; перевірка зносу вузлів.

Калібрування перед роботою самохідних обприскувачів являється критичним елементом, при цьому фірмове обслуговування обов'язково включає: налаштування норми внесення; перевірку витрати через форсунки; контроль рівномірності розпилення; тестування факела розпилу. Без калібрування спостерігається перевитрата препаратів; нерівномірна обробка; зниження ефективності використання засобів захисту рослин.

Обслуговування форсунок і систем розпилення - це одна з найважливіших частин, під час якої проводиться: регулярна перевірка форсунок; заміна при зносі або забиванні; контроль розміру краплі; перевірка рівномірності розпилення. Фірмовий сервіс використовує: точні методи вимірювання; оригінальні розпилювачі.

Штанга обприскувача - ключовий вузол, відповідно ГО включає: перевірку геометрії; контроль стабілізації; огляд шарнірів і амортизаторів; перевірку системи автоматичного утримання висоти. Несправності штанги призводять до нерівномірного внесення засобів захисту рослин.

Насос і гідравлічна система. При здійсненні обслуговування системи подачі робочого розчину виконується перевірка продуктивності насоса; контроль тиску; перевірка герметичності; обслуговування клапанів. При цьому, будь-які відхилення впливають на норму внесення ЗЗР.

Цифрові технології та точне землеробство. Самохідні обприскувачі інтегруються з John Deere Operations Center. Основні функції: автоматичне відключення секцій; контроль перекриттів; змінна норма внесення; GPS-навігація. Система ExactApply™, така система дозволяє точно контролювати подачу; працювати на різних швидкостях; оптимізувати розмір краплі. Фірмове ГО включає: калібрування датчиків; перевірку електроніки; оновлення ПЗ.

Промивка і хімічна безпека. Унікальна особливість обприскувачів: необхідність роботи з агресивними речовинами. Відповідно, фірмовий сервіс

включає: системи внутрішньої промивки; очищення баків і магістралей; контроль залишків препаратів; дотримання екологічних норм.

Використання оригінальних компонентів, при цьому застосовуються: форсунки; фільтри, ущільнення; датчики. Переваги: точність внесення; хімічна стійкість; довговічність.

Віддалена діагностика і Connected Support. Такий сервіс дозволяє: дистанційно контролювати машину; отримувати коди помилок; прогнозувати несправності; скорочувати час ремонту.

Роль дилерського сервісу - офіційні дилери забезпечують: налаштування в полі; калібрування; ремонт; навчання операторів. Це критично, бо точність роботи сильно залежить від налаштування.

Економічний і агрономічний ефект. Фірмове обслуговування забезпечує:

економію ЗЗР; рівномірний захист рослин; зменшення втрат врожаю; екологічну безпеку, зниження витрат на ремонт.

Отже, фірмове обслуговування самохідних обприскувачів John Deere – це високоточна система підтримки агротехнологічного процесу, яка посідає: калібрування і точність; обслуговування гідравліки та розпилення; цифрові технології; контроль хімічної безпеки. Головна мета – ідеально точне, економне і безпечне внесення засобів захисту рослин.

2.7. Фірмове технічне обслуговування агрегатів для внесення мінеральних добрив John Deere

Фірмове технічне обслуговування агрегатів для внесення мінеральних добрив John Deere має специфічні особливості, пов'язані з агресивністю середовища (добрива), необхідністю високої точності дозування та рівномірності розподілу. На відміну від більшості ґрунтообробних машин, тут ключову роль відіграє не лише механіка, а й калібрування та контроль потоків матеріалу.

Концепція фірмового обслуговування - основна ідея: точне, рівномірне і безпечне внесення добрив при мінімальних втратах. Фірмовий сервіс спрямований на: дотримання заданої норми внесення; рівномірність розподілу по ширині захвату; зменшення перевитрат добрив; захист агрегату від корозії.

Структура технічного обслуговування полягає у наступному:

Щоденне обслуговування - після кожної роботи: очищення бункера від залишків добрив; промивка (якщо використовувались агресивні рідини); перевірка розкидаючих дисків; огляд дозуючих механізмів; контроль приводу (механічного або гідравлічного). Особливості: добрива (особливо азотні) викликають швидку корозію.

Періодичне обслуговування - виконується через певний обсяг роботи: перевірка дозуючих механізмів; контроль рівномірності подачі; огляд підшипників і валів; перевірка гідравліки, обслуговування приводів дисків.

Сезонне обслуговування. Перед сезоном: повна діагностика агрегату: калібрування норми внесення; перевірка розподілу добрив; оновлення ПЗ (для сучасних моделей); тестування на полі або стенді. Після сезону: глибоке очищення; антикорозійна обробка; змащення консервація.

Калібрування роботи агрегатів для внесення мінеральних добрив John Deere - ключова особливість. Як і у сівалках чи обприскувачах, калібрування є обов'язковим етапом ТО, включає: налаштування норми внесення (кг/га); перевірку дозуючої системи; тестування рівномірності розкидання; врахування типу добрив (гранули, щільність, вологість). Без цього спостерігається перевитрата добрив; нерівномірне живлення рослин; втрати врожаю.

Система розподілу добрив - основні типи: дискові розкидачі; пневматичні системи. Фірмове обслуговування включає: перевірку лопаток дисків; контроль швидкості обертання; налаштування кута розкидання; перевірку симетрії внесення. Зношені лопатки призводять до нерівномірного розподілу добрив по площі поля.

Дозуючі механізми - це один із найважливіших вузлів: заслінки; шнеки; ролики подачі. ТО таких механізмів включає: очищення; перевірку точності дозування; контроль зносу; регулювання.

Захист від корозії є обов'язковою складовою ТО, так як має місце постійний контакт з агресивними речовинами. Фірмовий сервіс передбачає: використання антикорозійних покриттів; регулярну промивку; застосування спеціальних мастил; контроль стану бункера і рами.

Цифрові технології і точне землеробство. Сучасні агрегати інтегруються з John Deere Operations Center, можливості: змінна норма внесення (VRA); GPS-навігація; автоматичне відключення секцій; контроль перекриттів. Фірмове ТО включає: калібрування датчиків; перевірку систем управління; оновлення ПЗ.

Віддалена діагностика використовується завдяки Connected Support: моніторинг стану агрегату; аналіз помилок; прогнозування несправностей. Це зменшує час простою. Використання оригінальних компонентів, а саме фірмовий сервіс використовує: дозуючі елементи: диски і лопатки; підшипники; електронні модулі. Переваги: точність роботи; довговічність; сумісність.

Конструктивні особливості. Агрегати John Deere мають: нержавіючі або захищені бункери; модульну конструкцію; зручний доступ до вузлів, прості механізми регулювання. Це полегшує обслуговування.

Роль дилерського сервісу - офіційні дилери забезпечують: калібрування; налаштування під тип добрив; діагностику, навчання операторів. Важливо, різні добрива потребують різних налаштувань.

Економічний ефект. Фірмове обслуговування дає економію добрив; рівномірне живлення рослин; підвищення врожайності, зниження витрат на ремонт; довговічність агрегату.

Таким чином, фірмове обслуговування агрегатів для внесення мінеральних добрив John Deere – це система забезпечення точного дозування і рівномірного розподілу, яка включає: обов'язкове калібрування; контроль

дозуючих механізмів; захист від корозії; використання цифрових технологій; регулярне технічне обслуговування. Головна мета – максимальна ефективність використання добрив при мінімальних витратах і рівномірному живленні рослин.

2.8. Фірмове технічне обслуговування комбінованих агрегатів для технологій нульового (No-Till) та стрічкового (Strip-Till) посіву з одночасним внесенням добрив від John Deere

Фірмове технічне обслуговування комбінованих агрегатів для технологій нульового (No-Till) та стрічкового (Strip-Till) посіву з одночасним внесенням добрив від John Deere є одним із найскладніших у сучасному землеробстві. Такі машини поєднують функції ґрунтообробки, висіву, дозування добрив і цифрового контролю, тому їх сервіс базується на синхронізації всіх цих процесів.

Концепція обслуговування: точність та інтеграція операцій, головна ідея: одночасне виконання кількох операцій без втрати точності. Фірмовий сервіс спрямований на: точний висів у необроблений або частково оброблений ґрунт; синхронне внесення добрив; мінімальне порушення структури ґрунту; стабільну роботу в складних умовах (рослинні рештки, волога). Тут важливо не просто ТО, а узгоджена робота всіх систем агрегату. Структура технічного обслуговування:

Щоденне обслуговування – перед та після роботи: очищення від рослинних решток і ґрунту; перевірка сошників, дисків, ріжучих елементів; огляд систем внесення добрив; контроль тиску притискних механізмів; перевірка шлангів (насіння і добрив); очищення датчиків. Особливість: робота в пожнивних рештках призводить до високого ризику забивання робочих органів агрегатів.

Періодичне обслуговування: перевірка висівних апаратів; обслуговування системи дозування добрив; контроль зносу ріжучих дисків і

лап; перевірка підшипників; діагностика гідравліки; перевірка електроприводів (якщо є).

Сезонне обслуговування - перед посівом: повна діагностика агрегату; калібрування висіву і внесення добрив; перевірка роботи кожної секції; оновлення програмного забезпечення; тестування в польових умовах.

Після сезону: очищення; антикорозійний захист; заміна зношених елементів; консервація.

Калібрування розпадається як ключовий елемент. У цих агрегатах калібрування має подвійний характер – калібрування висіву: норма висіву; рівномірність розподілу; глибина загортання; синхронізація секцій; та калібрування добрив: норма внесення (кг/га); точність подачі; розміщення відносно насіння (зміщення по глибині і ширині). Помилка в налаштуванні: може пошкодити насіння (перенасичення добривами); або знизити ефективність живлення.

Робочі органи для No-Till і Strip-Till - агрегати оснащені складними системами: ріжучі диски (для роботи по пожнивних рештках); сошники; лані для стрічкового обробітку; прикочувальні колеса. Фірмовий сервіс включає: контроль гостроти і зносу, перевірку геометрії; заміну при критичному зносі. Особливість: робота без попередньої оранки в умовах підвищеного навантаження на робочі органи комбінованих агрегатів.

Система внесення добрив. Агрегати поєднують висів і внесення: окремі дозуючі системи; шнеки або пневматичні подачі; розміщення добрив поруч із насінням. ТО включає: очищення; перевірку герметичності; калібрування; контроль рівномірності.

Притискні та копіювальні системи. Ключовий елемент для No-Till: контроль притискного зусилля; адаптація до рельєфу; стабільність глибини. Фірмовий сервіс: перевіряє пружини/гідросистеми; налаштовує тиск; калібрує датчики.

Цифрові технології. Агрегати інтегруються з John Deere Operations Center. Можливість: контроль кожного рядка; змінна норма висіву і добрив;

карти завдань; GPS-навігація; автоматичне відключення секцій. Фірмове ТО включає: оновлення ПЗ; калібрування датчиків; перевірку електроніки. При цьому існує синхронізація систем – унікальна особливість. Головна складність – всі системи повинні працювати одночасно і узгоджено: висів; внесення добрив, притиск; швидкість руху. Фірмовий сервіс забезпечує: точну синхронізацію; перевірку взаємодії систем; тестування в реальних умовах.

Захист від забивання і зносу, особливо актуально для No-Till: очищення міжрядь; перевірка дисків; контроль накопичення решток; використання зносостійких матеріалів.

Використання оригінальних компонентів – фірмовий сервіс передбачає: висівні диски; сошники; дозуючі системи; датчики. Переваги: точність; довговічність; стабільність роботи. Віддалена діагностика – завдяки Connected Support: моніторинг роботи агрегату; аналіз помилок; швидке реагування. Ролі дилерського сервісу – офіційні дилери забезпечують: передпосівне налаштування; калібрування; виїзну підтримку; навчання операторів. Останнє особливо важливо для складних технологій No-Till. Економічний та агрономічний ефект – фірмове обслуговування забезпечує: економію насіння і добрив; рівномірні сходи; збереження структури ґрунту; підвищення врожайності; зниження витрат. Відповідно, фірмове обслуговування комбінованих агрегатів John Deere для No-Till і Strip-Till – це інтегрована система точного землеробства, яка включає: подвійне калібрування (насіння + добрива); синхронізацію всіх систем; контроль робочих органів; цифровий моніторинг; професійне налаштування. Головна мета – максимальна ефективність посіву і живлення рослин при мінімальному втручанні в ґрунт.

3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.

3.1. Особливості конструкції молотильно-сепарувального пристрою зернозбиральних комбайнів John Deere 9640 WTS, 9660 WTS, 9680 WTS, побудованого за класичною двобарабанною схемою обмолоту зерна

У даному підрозділі розглядаються конструктивно-технологічні особливості молотильно-сепарувальних систем зернозбиральних комбайнів моделей John Deere 9640 WTS, John Deere 9660 WTS та John Deere 9680 WTS, які належать до серії машин із класичною тангенційною барабанно-клавішною схемою обмолоту та сепарації.

Зазначені моделі комбайнів виготовлялися на виробничих потужностях компанії John Deere у Німеччині в період 2002–2007 рр. і є конструктивним розвитком попередніх моделей John Deere 9500 та John Deere 9600, які набули широкого застосування в аграрному секторі, зокрема в Україні. В основу їх конструкції покладено перевірену багаторічною експлуатацією класичну схему молотильно-сепарувального пристрою, що забезпечує стабільність технологічного процесу за різних умов збирання.



Рисунок 3.1 - Особливості конструкції молотильно-сепарувального пристрою зернозбиральних комбайнів John Deere 9640 WTS, John Deere 9660 WTS, John Deere 9680 WTS, що побудована за класичною двобарабанною схемою обмолоту, джерело: [джерело: <https://www.deere.ua/uk/>]

Розглянемо особливості конструкції молотильно-сепарувального пристрою зернозбиральних комбайнів серії John Deere 9640 WTS, John Deere 9660 WTS, John Deere 9680 WTS, (рис. 3.1).

Зернозбиральні комбайни Комбайни John Deere 9640 WTS, John Deere 9660 WTS и John Deere 9680 WTS склались у Німеччині (2002...2007р.р.) і є нащадками славнозвісних машин американського виробництва, що дуже гарно зарекомендували себе на українських полях - John Deere 9500, John Deere 9600. Саме тому, перевірена багаторічним досвідом класична тангенційна барабанно-клатвішна система обмолоту та сепарації зерна майже без суттєвих конструкційних та технологічних змін була впроваджена у серію «W», що виготовляється на заводах компанії John Deere з 2007 року.

Безпосередньо, щодо конструктивних та технологічних рішень зернозбиральних комбайнів John Deere 9640 WTS, John Deere 9660 WTS та John Deere 9680 WTS, то вони майже не відрізняються (табл.3.1). основною значимою відмінністю таких сільськогосподарських машин є номінальна потужність двигуна та ємність зернового бункера.



Рисунок 3.2 - Молотильно-сепарувальний пристрій зернозбиральних комбайнів John Deere 9640 WTS, John Deere 9660 WTS, John Deere 9680 WTS, що побудовані за класичною двобарабанною схемою обмолоту, джерело:

[джерело: <https://www.deere.ua/uk/>]

Таблиця 3.1 - Основні технічні та технологічні характеристики зернозбиральних комбайнів John Deere 9640 WTS, John Deere 9660 WTS, John Deere 9680 WTS [джерело: <https://www.deere.ua/uk/>]

Система обмолоту зерна - класична з тангентним барабаном і відбійним бітером	
Номинальна потужність двигуна зернозбирального комбайна серії John Deere 9640 WTS	275 л.с / 202 кВт
Номинальна потужність двигуна зернозбирального комбайна серії John Deere 9660 WTS	305 л.с./ 225 кВт
Номинальна потужність двигуна зернозбирального комбайна серії John Deere 9680 WTS	335 л.с / 247 кВт
Об'єм зернового бункера зернозбирального комбайна серії John Deere 9640 WTS	8000 л.
Об'єм зернового бункера зернозбирального комбайна серії John Deere 9660 WTS	9000 л.
Об'єм зернового бункера зернозбирального комбайна серії John Deere 9680 WTS	11000 л
Діаметр основного молотильного бильного барабану	660мм
Тип сепаратора грубого вороху - каскадний шестиклавішний соломотряс	
Система для автоматичного встановлення основних технологічних регулювань молотарки	AME
Трансмісійний механізм приводу основного молотильного барабану	PosiTorq
Об'єм паливного баку, л	700
Ширина захвату зернової жниварки	4,3...9,15м
Ширина основного молотильного барабана	1670мм
Кількість бичів основного молотильного барабану	10
Діапазон зміни обертів основного молотильного барабану	350...950 об/хв
Діапазон зміни обертів основного молотильного барабану при застосуванні додаткового знижувального редуктора	200...475 об/хв
Діаметр другого барабану (відбійного бітеру)	400 мм
Вид регулювання технологічного зазору барабан-дека	електричний
Кут обхвату основного молотильного барабану	116°
Довжина клавіш соломотрясу	4,6 м
Загальна робоча площа сепарації	12,37м ²
Система повітряно-решітного очищення зерна	
Габаритна довжина зернозбирального комбайну без жниварки	8980 мм
Габаритна ширина зернозбирального комбайну без жатки	3770 мм
Габаритна висота зернозбирального комбайну	3940 мм
Конструкційна маса зернозбирального комбайну без жниварки, моделі 9640	11230 кг

Слід зазначити, що між моделями John Deere 9640 WTS, 9660 WTS та 9680 WTS відсутні принципові відмінності у конструкції молотильно-сепарувальної системи. Основні відмінності полягають у енергетичних та експлуатаційних параметрах, а саме:

John Deere 9680 WTS оснащений двигуном номінальною потужністю 335 к.с. (247 кВт) та зерновим бункером місткістю 11000 л;

John Deere 9660 WTS — відповідно 305 к.с. (225 кВт) та 8000 л;

John Deere 9640 WTS — 275 к.с. (202 кВт) та 11000 л.

Молотильно-сепарувальний пристрій досліджуваних комбайнів реалізований за дисбарабанною схемою і включає такі основні функціональні елементи:

- основний молотильний барабан більшого типу з підбарабанням;
- другий барабан (відойний бітер), оснащений додатковою декою клавішний каскадний соломотряс (шестиклавішний), призначений для остаточного виділення зерна із соломистої маси;
- допоміжний активний ротор, розташований над соломотрясом та обладнаний ексцентриковим механізмом.

Пропускна спроможність молотильно-сепарувального пристрою за хлібною масою для даного типу машин знаходиться в межах 10...15 кг/с, що відповідає середньому класу продуктивності зернозбиральних комбайнів.

Аналіз експлуатаційних даних свідчить, що основна частка втрат зерна у комбайнах із класичною барабанно-клавішною схемою формується в зоні роботи соломотряса. Збільшення втрат спостерігається за таких умов:

- збирання високоврожайних, засмічених та підвищеної вологості посівів;
- робота комбайна на схилах, особливо при поперечному русі відносно лінії нахилу;
- некоректне налаштування режимів роботи молотильного барабана (частота обертання, зазор між барабаном і підбарабанням).

З метою підвищення ефективності сепарації та зменшення втрат зерна в конструкції передбачено встановлення додаткового циліндричного ротора

над соломотрясом. Ротор, оснащений ексцентриковим приводом, забезпечує додаткове розпушення та перерозподіл соломистої маси, що сприяє інтенсифікації процесу виділення залишкового зерна.

Суттєвим технологічним недоліком класичної тангентційної схеми обмолоту є складність оптимального вибору режимів роботи молотильного барабана. Це зумовлено неоднорідністю фізико-механічних властивостей зерна в колосі. Зокрема, встановлено, що для виділення повноцінного стиглого зерна необхідно у 2–3 рази менше енергії, ніж для вимолоту недозрілого або щуплого зерна. Внаслідок цього:

- підвищення інтенсивності обмолоту призводить до зростання дроблення та травмування зерна;

- зниження інтенсивності – до збільшення недомолоту.

Для часткового вирішення зазначеної суперечності у конструкції використано дворядове підбарабання, яке забезпечує двостадійний обмолот із різною інтенсивністю. На першій ділянці реалізується більш інтенсивний вплив на ворох, тоді як на другій – ощадний режим, спрямований на мінімізацію пошкодження зерна.

Згідно з рекомендаціями наукових установ, зернозбиральні комбайни з класичною схемою молотильно-сепарувальної системи доцільно застосовувати у господарствах середнього масштабу (до 3000 га) завдяки відносній простоті конструкції, технологічності паладки та технічного обслуговування. Водночас, на практиці такі машини широко використовуються і у великих аграрних підприємствах.

Серед ключових критеріїв оцінки сучасних зернозбиральних комбайнів доцільно виділити їх продуктивність. Сучасні високопродуктивні моделі досягають рівня понад 100 т/год по зерну, тоді як вітчизняні комбайни попередніх поколінь (типу «Славутич», «Скіф», «Лан» тощо) забезпечують у середньому 10–15 т/год.

При цьому важливим експлуатаційним показником є надійність техніки. За результатами випробувань встановлено, що середній напрацювання на

відмову для вітчизняних комбайнів становив близько 10 годин, тоді як для зарубіжних аналогів — до 150 годин, що свідчить про суттєву різницю в технічному рівні виконання.

Необхідно також враховувати, що несвоєчасне збирання врожаю є одним із головних факторів втрат зерна. Зокрема, перевищення оптимальних строків збирання на 11–13 днів може призвести до втрат до 16%, а при затримці понад 18–21 день — до 30%.

Таким чином, молотильно-сепарувальні системи комбайнів John Deere 9640 WTS, 9660 WTS та 9680 WTS характеризуються раціональним поєднанням конструктивної простоти, достатньої продуктивності та експлуатаційної надійності. Разом з тим, їх ефективність значною мірою залежить від правильності налаштування технологічних параметрів та умов експлуатації. Основним напрямом подальшого вдосконалення таких систем залишається зниження втрат зерна в зоні соломотруса та підвищення адаптивності до змінних умов збирання.

3.2. Методика і основні методи експериментальних досліджень

Проведення багатофакторного експериментального дослідження із застосуванням кореляційно-регресійного апарату математичної статистики забезпечує можливість кількісного оцінювання ступеня впливу окремих факторів, а також визначення вагомості та характеру взаємозв'язків між змінними відносно досліджуваного вихідного показника. Такий підхід дозволяє формалізувати експериментальні дані у вигляді аналітичних залежностей, придатних для подальшого прогнозування та оптимізації технологічних процесів. При цьому обов'язковою умовою коректності інтерпретації результатів є фіксація інших груп факторів на сталому (зокрема, середньому або номінальному) рівні, що унеможливорює створення оцінок через вплив неконтрольованих змінних.

Згідно з усталеною практикою обробки експериментальних даних, на першому етапі апроксимації складних залежностей доцільно застосовувати модель багатфакторної лінійної регресії, яка має вигляд:

$$\hat{Y} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n,$$

де $\hat{Y}$ – оцінене значення вихідного параметра; a_0 – вільний член; a_i – коефіцієнти регресії, що характеризують інтенсивність впливу відповідних факторів X_i .

У контексті дослідження технологічних процесів обмолоту зернових культур основним завданням побудови багатфакторної регресійної моделі є кількісне визначення впливу конструктивних та режимних параметрів робочих органів зернозбиральних комбайнів на показники якості бункерного зерна. До таких показників можуть належати рівень пошкодження зерна, засміченість, втрати та інші технологічно значущі характеристики.

Ключовою метою експериментального дослідження є перевірка сформульованих наукових гіпотез, підтвердження або спростування теоретичних положень, а також формування науково обґрунтованої бази для подальшого поглибленого аналізу об'єкта дослідження і вдосконалення відповідних технологічних процесів.

Реалізація експериментального дослідження передбачає послідовне виконання взаємопов'язаних етапів:

- 1. Формулювання цілей і задач дослідження.** Визначаються основні цілі проведення експерименту, критерії оцінювання результатів, а також обирається теоретична база (існуючі наукові концепції, моделі, гіпотези), яка використовується як вихідна основа.
- 2. Розроблення математичної моделі.** Виконується побудова адекватної математичної моделі досліджуваного процесу, проводяться аналітичні розрахунки, здійснюється обґрунтування діапазонів зміни факторів та умов проведення експерименту.

3. Планування експерименту. Уточнюється структура експерименту, визначаються варіанти дослідів, рівні варіювання факторів, кількість повторень, а також методи рандомізації та мінімізації похибок.

4. Розроблення експериментальної бази. Проектується та виготовляється спеціалізоване обладнання або модернізуються існуючі установки; визначаються технічні характеристики та метрологічні вимоги до контрольно-вимірювальних приладів.

5. Проведення експерименту. Здійснюється серія дослідів відповідно до затвердженого плану; виконуються вимірювання, реєстрація та первинна обробка даних; варіюються керовані фактори у встановлених межах.

6. Попередній аналіз результатів. Проводиться первинна інтерпретація отриманих залежностей, виявляються аномальні значення, оцінюється узгодженість даних.

7. Статистична обробка даних. Використовуються методи математичної статистики для оцінювання параметрів моделей, перевірки статистичних гіпотез, визначення довірчих інтервалів та адекватності моделей; здійснюється порівняння альтернативних варіантів.

До основних інженерних вимог, що висуваються до проведення експериментальних досліджень, належать:

- забезпечення наукового супроводу дослідження, що передбачає глибоке опрацювання теоретичних положень, формування гіпотез і прогнозів, а також інтерпретацію встановлених закономірностей;
- наявність технічної можливості точного контролю, вимірювання та реєстрації як кількісних, так і якісних параметрів досліджуваного об'єкта;
- узгодження програми експерименту з теоретичними моделями та встановлення причинно-наслідкових зв'язків між змінними;
- обґрунтування складу та значущості факторів з урахуванням наукових, технологічних і виробничих аспектів;
- обов'язкова фіксація всіх незалежних і залежних змінних, передбачених планом експерименту, з метою забезпечення відтворюваності результатів.

У структурі методології експериментальних досліджень використовуються такі базові методи:

- Метод спостереження – розглядається як систематизоване цілеспрямоване вивчення явищ і процесів без активного втручання в їх перебіг.
- Метод вимірювання – визначення числових значень фізичних величин шляхом їх порівняння з еталонними одиницями вимірювання.
- Метод порівняння – встановлення спільних і відмінних ознак між об'єктами дослідження.
- Абстрагування – виключення другорядних факторів для спрощення аналізу.
- Аналіз – розчленування складного об'єкта на складові елементи з метою їх детального вивчення.
- Синтез – інтеграція окремих елементів у єдину систему для формування узагальнених висновків.

Для кількісної оцінки впливу факторів широко застосовується дисперсійний аналіз, який дозволяє визначити значущість незалежних змінних відносно варіації вихідного параметра. Даний метод був розроблений англійським математиком Р. Фішером і знайшов широке застосування у дослідженнях із варіабельними характеристиками.

Методи кореляційного та регресійного аналізу застосовуються для дослідження стохастичних залежностей між змінними. Кореляційний аналіз дозволяє оцінити силу та напрямок зв'язку між величинами, тоді як регресійний аналіз забезпечує побудову функціональної залежності між результативною та факторними ознаками.

Факторний аналіз, який концептуально може бути представлений у вигляді моделі «чорного ящика», передбачає зведення множини взаємопов'язаних вхідних факторів $X_1, X_2, \dots, X_m$ до обмеженої кількості узагальнених латентних змінних $Y_1, Y_2, \dots, Y_k$, що визначають основну частину варіації експериментальних результатів.

Кластерний аналіз використовується для класифікації об'єктів дослідження на однорідні групи (кластери) за сукупністю ознак, що дозволяє виявити приховану структуру даних та підвищити ефективність їх інтерпретації.

Таким чином, експериментальні наукові дослідження є складною багаторівневою системою, що вимагає інтеграції теоретичних положень, інженерних рішень і статистичних методів обробки даних. Сучасна наука базується на взаємодії гіпотез, теорій та експериментів, використовуючи розвинений методологічний апарат для отримання об'єктивних, відтворюваних і практично значущих результатів.

3.3. Результати експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження виконано в польових умовах на посівах озимої пшениці, розташованих у виробничому підрозділі ДПДГ «Степне» Полтавського району Полтавської області. Вибір даного об'єкта дослідження обумовлений типовістю ґрунтово-кліматичних умов регіону, що дозволяє екстраполювати отримані результати на значну частину агропромислових підприємств центральної частини України.

Початкові умови проведення багатофакторного експерименту були стандартизовані з метою забезпечення відтворюваності та коректності результатів. Як досліджувана культура використовувалася озима пшениця із середньою врожайністю на рівні 4,8 т/га та вологістю зерна в межах 12,0...12,5 %, що відповідає оптимальним умовам для прямого комбайнування. Загальна площа експериментального поля становила 200 га, що забезпечило достатню статистичну вибірку для обробки результатів.

У якості технічних засобів дослідження застосовувалися зернозбиральні комбайни John Deere 9640 WTS та John Deere 9500, обладнані класичними молотильно-сепарувальними пристроями (МСП) та клавішними каскадними соломотрясами. Збирання врожаю здійснювалося методом

прямого комбайнування з одночасним розподіленням незернової частини врожаю по поверхні поля, що відповідає сучасним агротехнологічним вимогам щодо збереження родючості ґрунту.

Загальний вид проведення технологічного процесу обмолоту зерна озимої пшениці обраними зернозбиральними комбайнами та схема проведення експериментальних вимірювань подана на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 Технологічна схема щодо алгоритму проведення експериментальних досліджень: змінні параметри: висота зрізу X_1 ; вимірювальні параметри: засміченість зерна Y_1 та втрати зерна Z_1

Метою експериментальних досліджень було інженерно-обґрунтоване підтвердження ефективності рекомендованих технологічних налаштувань молотарки та системи очищення зернозбиральних комбайнів класичної схеми в умовах змінних виробничих факторів Полтавського регіону. Особлива увага приділялася оцінці адекватності цих налаштувань до реальних експлуатаційних умов.

Експериментальна програма передбачала проведення факторного аналізу, спрямованого на встановлення кількісної залежності між такими

параметрами:

- висота зрізу стеблостою (вхідний керований фактор);
- відносна засміченість бункерного зерна;
- відносні втрати зерна за молотаркою та системою сепарації.

При цьому швидкість руху зернозбиральних комбайнів фіксувалася в межах нормативних значень, рекомендованих заводами-виробниками та агротехнічними вимогами, і становила 6,0..6,5 км/год. Такий підхід дозволив виключити вплив швидкісного режиму як змінного фактору та забезпечити чистоту експерименту.

Планування та здійснення факторного експерименту направлене на встановлення вагомості та ступеня впливу взаємозв'язку між висотою зрізу рослин, засміченістю бункерного зерна та втратами зерна комбайнами.

Таблиця 3.2 - Результати експерименту по встановленню залежностей між висотою зрізу рослин, X1, засміченістю бункерного зерна Y1, та втратами зерна Z1 на збиранні озимої пшениці комбайном John Deere – 950.

№ випробування	X1 – висота зрізу, см	Y1 – засміченість, %	Z1 – втрати зерна %
1	4,7	21,3	8,32
2	7,4	18,4	8,15
3	10,8	16,4	6,55
4	12,5	11,3	6,58
5	14,9	9,6	5,89
6	17,5	8,2	4,24
7	22,2	6,5	4,55
8	23,1	5,8	3,56
9	24,0	5,5	2,69
10	25,5	4,6	2,51
11	27,4	3,7	1,65
12	30,2	2,8	1,45

Швидкість руху зернозбирального комбайна при цьому фіксується в межах рекомендацій заводів-виробників та агротехнічних вимог щодо збирання конкретної сільськогосподарської культури – приблизно 6..6,5 км/год. Результати експериментальних досліджень подано в табл. 3.2 – за режимами технологічних регулювань зернозбирального комбайну John Deere

– 9500 та табл. 3.3 – відповідно, за режимами технологічних регулювань зернозбирального комбайну John Deere 9640 WTS.

Таблиця 3.3 – Експериментальні дані по встановленню залежностей між висотою зрізу рослин - X_1 , засміченістю бункерного зерна - Y_1 , та втратами зерна - Z_1 на збиранні озимої пшениці комбайном John Deere 9640 WTS.

№ випробування	X_1 – висота зрізу, см	Y_1 – засміченість, %	Z_1 – втрача зерна, %
1	2,8	11,20	5,22
2	3,9	12,20	5,21
3	4,2	8,930	5,56
4	4,6	8,2010	4,25
5	5,78	6,920	3,92
6	6,8	7,330	2,74
7	7,9	5,920	2,40
8	11,2	5,710	2,70
9	11,7	4,910	2,80
10	15,9	3,910	1,55
11	16,8	2,920	1,54
12	19,9	1,720	1,12

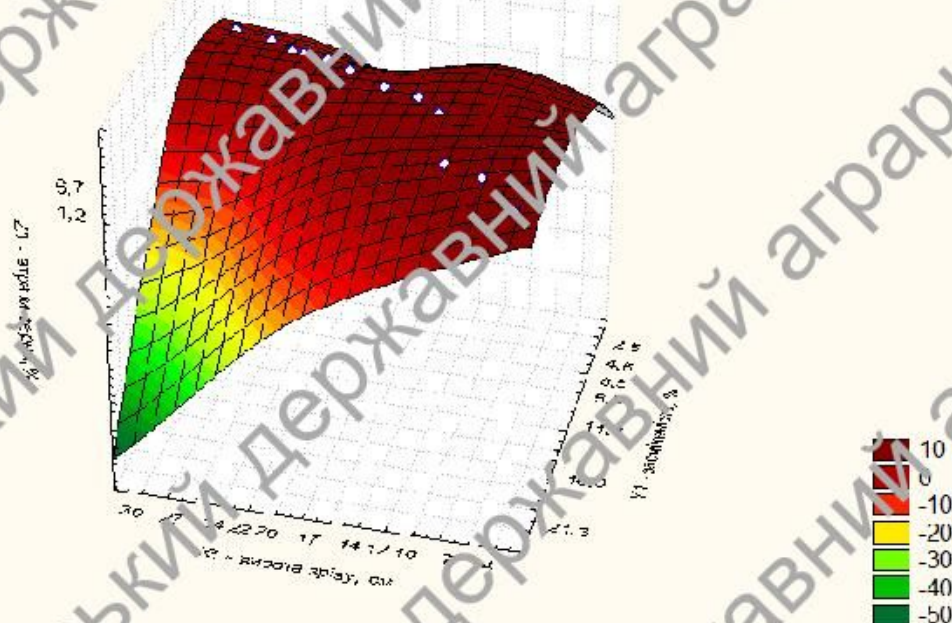


Рисунок 3.2 – Поверхня відгук, що характеризує залежність між висотою зрізу рослин X_1 , см; засміченістю бункерного зерна Y_1 , %; та втратами зерна Z_1 , %. (Збирання озимої пшениці комбайн John Deere 9500) середня робоча швидкість руху – 6,5 км/год)

Графічна інтерпретація експериментальних даних подана як поверхня відгуку, між висотою зрізу засміченістю та втратами зерна, що побудована за методом зважених найменших квадратів, на рис.3.2 – для зернозбирального комбайна John Deere 9500.

Графічна інтерпретація експериментальних даних подана як поверхня відгуку, між висотою зрізу засміченістю та втратами зерна, що побудована за методом зважених найменших квадратів, на рис.3.3 – для зернозбирального комбайна John Deere 9640 WTS.

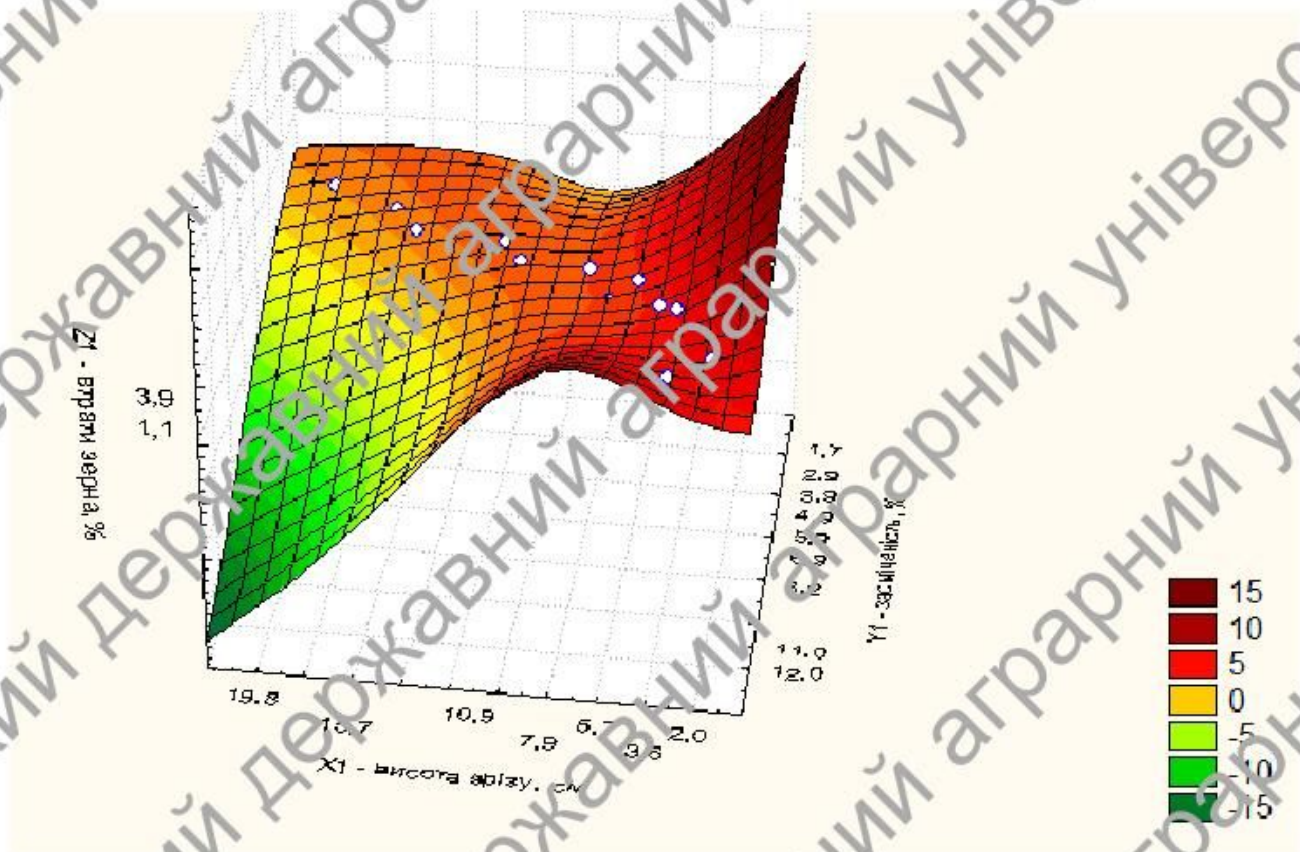


Рисунок 3.3 - Поверхня відгуку, що характеризує залежність між висотою зрізу рослин X_1 , см; засміченістю бункерного зерна Y_1 , %; та втратами зерна Z_1 , %. (Збирання озимої пшениці комбайн John Deere 9640 WTS, середня робоча швидкість руху – 6,5 км/год)

У результаті обробки експериментальних даних було побудовано поверхні відгуку другого порядку, які відображають функціональні залежності між висотою зрізу (X_1), засміченістю зерна (Y_1) та втратами зерна (Z_1) для кожного з досліджуваних комбайнів. Аналіз отриманих моделей

дозволив встановити закономірності зміни вихідних показників у залежності від варіювання висоти зрізу стеблостою озимої пшениці

При здійсненні аналізу отриманої поверхні відгуку другого порядку (рис.3.2.), що отримана як експериментальна характеристика залежностей між висотою зрізу стеблостою озимої пшениці X_1 , см; відносним ступенем засміченості бункерного зерна Y_1 , %; та відносними втратами зерна Z_1 ,%. (Збирання озимої пшениці зернозбиральний комбайн John Deere 9500, оптимальна за агротехнічними вимогами для даних умов робоча середня швидкість руху складала 7,5 км/год); а також поверхні другого порядку, що відтворює аналогічні залежності для другого зернозбирального комбайна з класичною системою обмолоту - John Deere 9640 WTS, (рис.3.3.), зазначаємо:

З урахуванням агрокліматичних умов Полтавського району та технологічних параметрів досліджуваних машин встановлено, що при прямому комбайнуванні озимої пшениці з урожайністю 4,5...5,0 т/га оптимальна висота зрізу, з точки зору мінімізації сумарних втрат зерна, знаходиться в діапазоні 15...20 см. У цьому інтервалі досягається раціональне співвідношення між кількістю рослинної маси, що надходить у молотильно-сепарувальну систему, та ефективністю її обробки.

Зменшення висоти зрізу нижче зазначеного оптимального рівня призводить до суттєвого збільшення частки соломистої домішки у рослинно-зерновій масі, що надходить до молотарки. Це, у свою чергу, викликає перезавантаження як класичних соломотрясів, так і повітряно-решітної системи очищення. У таких умовах для забезпечення допустимого рівня втрат виникає необхідність зниження робочої швидкості руху комбайна до 4,5...5,0 км/год.

Зменшення швидкості руху безпосередньо впливає на зниження експлуатаційної продуктивності зернозбирального комбайна, що є критичним фактором у період масового збирання врожаю. Це може призвести до виходу тривалості збиральних робіт за межі оптимальних

агротехнічних строків, що, у свою чергу, підвищує ризики втрат урожаю внаслідок осипання, погодних факторів або погіршення якості зерна.

Таким чином, результати проведених експериментальних досліджень підтверджують необхідність комплексного врахування технологічних та експлуатаційних параметрів при виборі режимів роботи зернозбиральних комбайнів і обґрунтовують доцільність оптимізації висоти зрізу як одного з ключових факторів ефективності процесу збирання зернових культур.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза

Основною метою виконання екологічної експертизи проєктних рішень у сфері агропромислового виробництва є системне виявлення, науково обґрунтоване прогнозування, попередження та мінімізація негативного впливу виробничої діяльності на компоненти навколишнього природного середовища, а також на стан здоров'я персоналу, задіяного у технологічних процесах. У межах даного дослідження об'єктом аналізу виступає підгалузь зерновиробництва у структурі рослинництва, зокрема технології вирощування соняшнику. При цьому здійснюється кількісна та якісна оцінка рівня екологічної небезпеки, що формується внаслідок господарської діяльності, із врахуванням впливу на ґрунтові ресурси, атмосферне повітря та біотичні компоненти агроєкосистем.

У роботі особливу увагу приділено інженерно-технологічним аспектам здійснення комплексного фірмового сервісного обслуговування та застосування сільськогосподарської техніки бренду John Deere, включаючи правильність технічної та технологічної наладки комплексу сільськогосподарських машин для галузі рослинництва.

Важливими критеріями оцінки є продуктивність технологічних операцій, якість виконання агротехнічних заходів, а також мінімізація кількості технологічних проходів по полю з метою зниження негативних фізико-біологічних змін у ґрунтовому середовищі. Згідно з результатами проведених досліджень, при виконанні основного та передпосівного обробітку ґрунту доцільно застосовувати енергетичні засоби типу гусеничних тракторів John Deere 8360 RT або колісних - John Deere 8345R, оснащених спареними колесами, у поєднанні з широкозахватними ґрунтообробними агрегатами. Така технічна конфігурація дозволяє суттєво зменшити кількість проходів машинно-тракторних агрегатів по полю, що, у свою чергу, знижує ступінь ущільнення ґрунту. Оптимізація фізичних властивостей ґрунту є базовою передумовою підвищення його родючості, що

забезпечує стабільне зростання врожайності сільськогосподарських культур та створює передумови для покращення екологічного стану агроландшафтів. Водночас слід відзначити, що в окремих регіонах спостерігається інтенсивна деградація ґрунтового покриву, яка набуває масштабного характеру.

Найбільш суттєвими негативними екологічними наслідками є процеси водної та вітрової ерозії. Під ерозією ґрунту розуміють комплекс процесів руйнування та переміщення ґрунтових частинок під впливом природних (атмосферні опади, талі води, вітер) і антропогенних факторів. Особливо небезпечними є ерозійні процеси на схилістих землях, де інтенсивність змиву та дефляції значно зростає.

З метою запобігання розвитку ерозійних процесів у роботі при використанні комплексу сільськогосподарської техніки виробника John Deere, рекомендовано впровадження ґрунтозахисних технологій, зокрема безвідвального обробітку ґрунту, мульчування поверхні рослинними рештками, а також створення полезахисних лісосмуг. Встановлено, що збереження поживних решток на поверхні ґрунту є одним із найбільш ефективних і економічно доцільних методів зменшення як водної, так і вітрової ерозії, оскільки забезпечує зниження швидкості поверхневого стоку та вітрового навантаження, а також сприяє покращенню водно-фізичних властивостей ґрунту.

При виконанні збиральних робіт характерною проблемою є значна кількість проходів збиральної техніки, що призводить до переупільнення ґрунту. Наслідком цього є погіршення аераційного режиму, зниження водопроникності та, як результат, зменшення врожайності зернових і просапних культур у межах 15–30 %. У зв'язку з цим у магістерській роботі обґрунтовано необхідність здійснення при фірмовому сервісі John Deere, технологічних схем обробітку ґрунту, які забезпечують досягнення максимальної продуктивності при одночасному зниженні техногенного навантаження на ґрунтове середовище.

Суттєвим фактором негативного впливу на довкілля є також інтенсивне використання хімічних засобів захисту рослин. Пестициди, що широко застосовуються в умовах індустриальних технологій вирощування сільськогосподарських культур, можуть накопичуватися у ґрунті, водних об'єктах та біологічних тканинах, викликаючи порушення екологічної рівноваги. У зв'язку з цим необхідним є впровадження інтегрованих систем захисту рослин із раціональним дозуванням і регламентованим застосуванням хімічних препаратів. Тут John Deere пропонує цифровізацію у застосуванні систем точного землеробства.

Щодо особливостей технологічної наладки та сервісу зернозбиральної техніки, рекомендованої для впровадження в удосконалені технології зерновиробництва, зокрема комбайнів John Deere 9640 WTS, John Deere 9660 WTS та John Deere 9680 WTS, слід зазначити, що вони належать до класу машин середньої продуктивності. Їх конструкційна маса є майже вдвічі меншою порівняно з високопродуктивними флагманськими моделями (у межах 10–14 т), що обумовлює зниження питомого тиску на ґрунт і, відповідно, мінімізацію негативного впливу на його структуру при виконанні збиральних робіт.

Узагальнюючи, можна зробити висновок, що запропонований машинно-технологічний комплекс за умови дотримання регламентів експлуатації та агротехнічних вимог чинить мінімальний вплив на навколишнє природне середовище, забезпечуючи при цьому ефективність і стабільність агровиробництва.

4.3. Охорона праці

Розглянемо стан системи управління охороною праці на прикладі державного підприємства ДНДГ «Степне» ІС та АПВ НААН України, розташованого в Полтавському районі Полтавської області. Дане підприємство характеризується багатогалузевою організаційно-виробничою структурою з розвиненою спеціалізацією, що включає рослинництво

(зокрема зерновиробництво, тваринництво та переробку сільськогосподарської продукції). Така диверсифікація діяльності обумовлює необхідність впровадження комплексної та ієрархічно структурованої системи управління охороною праці.

На підприємстві реалізується сукупність технічних, санітарно-гігієнічних та організаційно-правових заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці та зниження рівня виробничого травматизму. Відповідно до чинного законодавства України, загальна відповідальність за організацію та функціонування системи охорони праці покладається на керівника підприємства. Директор забезпечує впровадження та підтримку функціонування системи управління охороною праці (СУОП), що охоплює всі різні виробничі діяльності.

Організаційна структура управління охороною праці на підприємстві має багаторівневий характер і включає керівників усіх рівнів управління: керівника підприємства, його заступників, головних спеціалістів, а також керівників виробничих підрозділів. Такий підхід забезпечує інтеграцію функцій охорони праці у всі виробничі процеси та підвищує ефективність контролю за дотриманням вимог безпеки.

Виконавчий рівень системи представлений службами та посадовими особами, які здійснюють розробку, впровадження та моніторинг організаційно-технічних заходів відповідно до вимог нормативно-правових актів. До їх функцій належить аналіз стану охорони праці, оцінка виробничих ризиків, а також розробка коригувальних заходів щодо підвищення рівня безпеки.

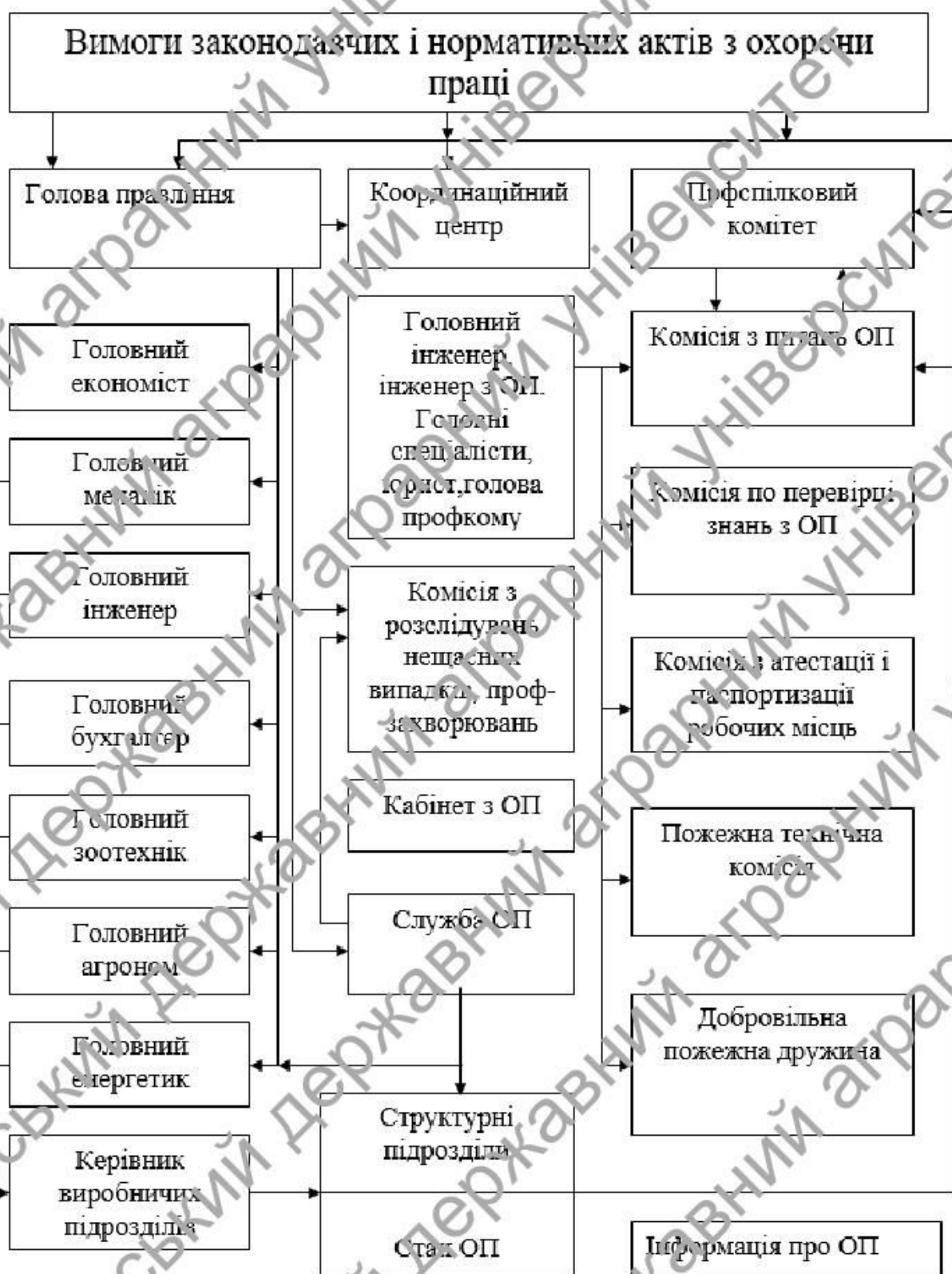


Рис. 4.1. система управління охороною праці в ДПДГ «Степне»

Об'єктом управління у межах СУОП виступає стан умов і безпеки праці на робочих місцях, у виробничих підрозділах, а також технічний стан будівель, споруд, виробничих територій, технологічного обладнання та інженерних систем. Система також включає підсистеми фінансування заходів з охорони праці та розробки внутрішньої нормативної документації.

Організація діяльності служби охорони праці здійснюється під безпосереднім керівництвом директора підприємства. Контроль за дотриманням вимог законодавства покладається на юридичну службу, тоді як координацію робіт із забезпечення безпечних умов праці здійснює інженер з охорони праці. З метою чіткого розподілу функціональних обов'язків на підприємстві впроваджено внутрішній нормативний документ – положення про функціональні обов'язки з охорони праці.

Цим положенням регламентується розподіл відповідальності між адміністративно-технічним персоналом щодо організації безпечних умов праці, проведення аналізу стану робочих місць, прийняття управлінських рішень та контролю за їх реалізацією. У межах виробничих підрозділів відповідальність за стан охорони праці покладається на керівників відповідних структурних одиниць (відділень, ферм, бригад).

До складу служби охорони праці входять ключові спеціалісти підприємства, зокрема головний агроном, головний інженер, головний ветеринарний лікар, керівники виробничих підрозділів та інші відповідальні особи. Окрім виконання основних виробничих функцій, зазначені спеціалісти здійснюють контроль за дотриманням вимог безпеки праці, організовують

проведення інструктажів, забезпечують розробку інструкцій з охорони праці, здійснюють облік і аналіз виробничого травматизму та контролюють дотримання трудової дисципліни.

Функціональні обов'язки мають галузеву специфіку. Зокрема, головний інженер забезпечує технічний нагляд за справністю машинно-тракторного парку, організовує їх технічне обслуговування, випробування та реєстрацію, а також контролює дотримання вимог пожежної безпеки. Головний агроном відповідає за безпечне поводження з агрохімікатами, включаючи їх транспортування, зберігання та застосування, а також контроль використання засобів індивідуального захисту. У сфері тваринництва відповідні функції покладаються на зоотехнічну та ветеринарну служби, які забезпечують санітарно-гігієнічний стан виробничих об'єктів та контроль умов праці персоналу.

Ключовим елементом системи забезпечення безпеки праці є професійна підготовка працівників, яка включає навчання, інструктажі та перевірку знань. На підприємстві реалізується багаторівнева система навчання, що передбачає підготовку нових працівників, проведення інструктажів різних видів (вступного, первинного, повторного, позапланового та цільового), а також підвищення кваліфікації персоналу.

Навчання здійснюється відповідно до затверджених програм і включає теоретичну та практичну підготовку. Посадові особи проходять регулярне спеціалізоване навчання та перевірку знань з періодичністю, встановленою

нормативними документами. Для оцінки рівня знань створюються постійно діючі комісії, які проводять тестування, заліки або іспити.

Система інструктажів є важливим інструментом профілактики виробничого травматизму. Вступний інструктаж проводиться для всіх новоприйнятих працівників, первинний — безпосередньо на робочому місці, повторний — з метою закріплення знань, позаплановий — у разі змін умов праці або виникнення аварійних ситуацій, а цільовий — при виконанні разових або небезпечних робіт. Усі види інструктажів завершуються перевіркою знань.

Контроль за станом охорони праці здійснюється за трирівневою системою, що включає відомчий, адміністративно-громадський та громадський контроль. Відомчий контроль здійснюється вищими органами управління, зокрема Національна академія аграрних наук України. Адміністративно-громадський контроль реалізується на трьох рівнях із різною періодичністю та складом комісій, що дозволяє забезпечити систематичний моніторинг умов праці.

Важливою функцією управління охороною праці є планування заходів, яке базується на прогнозуванні показників виробничого травматизму та професійної захворюваності. На підприємстві застосовуються перспективне, поточне та оперативне планування, що забезпечує комплексний підхід до вирішення питань безпеки праці.

Фінансування заходів з охорони праці здійснюється відповідно до законодавчих вимог і є обов'язковою складовою господарської діяльності

підприємства. Обсяг фінансування визначається у відсотковому співвідношенні до обсягів виробництва або фонду оплати праці.

З метою підвищення ефективності функціонування системи охорони праці на підприємстві доцільно реалізувати низку інженерно-організаційних заходів, зокрема: модернізацію санітарно-побутових приміщень, оновлення інформаційно-наочних матеріалів з охорони праці, дооснащення виробничих об'єктів протипожежними засобами, маркування небезпечних зон відповідно до стандартів безпеки, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, покращення технічного стану виробничих приміщень і внутрішньогосподарських доріг, створення умов для відпочинку персоналу, а також підвищення рівня медичного забезпечення та санітарного контролю.

Реалізація зазначених заходів дозволить підвищити рівень безпеки праці, знизити виробничі ризики та забезпечити відповідність умов праці сучасним нормативним вимогам.

4.3. Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Прогнозований приріст прибутку або чистого доходу за рахунок виробництва нової продукції визначають за формулою [14].

$$\Delta\Pi(Чд) = (Цн - Сн) \cdot Ан - (Цб - Сб) \cdot Аб, \quad (4.1)$$

де $\Delta\Pi(Чд)$ – приріст прибутку, грн; $Цн$, $Сн$ – закупівельна ціна та собівартість одиниці продукції в новому варіанті, грн.; $Цб$, $Сб$ – те ж в базовому варіанті, грн.; $Ан$, $Аб$ – обсяг нової продукції в плановому та попередньому році та обсяг продукції, що замінюється, в попередньому році.

Планове (фактичне) зниження собівартості від упровадження технологій, нової техніки:[11]:

$$\Delta C_n = (C_b - C_n) A_n, \quad (4.2.)$$

де ΔC_n – планове зниження собівартості, грн.; C_b, C_n – собівартість одиниці продукції в базовому, що замінюється, та новому варіанті, грн.; A_n – обсяг виробництва продукції в новому варіанті в натуральних одиницях, або (у %)[11]:

$$\Delta C_n = (C_b - C_n) 100\% / C_b, \quad (4.3.)$$

де C_n, C_b – собівартість одиниці продукції в новому та базовому варіантах.

Планову (фактичну) економію капітальних вкладень визначають за формулою[11]:

$$\Delta K = (K_b - K_n) A_n, \quad (4.4.)$$

де ΔK – планова (фактична) економія капітальних вкладень на розрахунковий рік упровадження, грн.;

K_n, K_b – питомі капітальні вкладення в новому та базовому варіантах. Термін окупності додаткових капітальних вкладень, що плануються на впровадження нової техніки [1,39]:

$$T = K_n / \Pi(\text{Чд})_n; \quad (4.5)$$

$$T_1 = K_{\text{доп}} / \Delta \Pi(\text{Чд})_n, \quad (4.6)$$

де T та T_1 – термін окупності, років; K_n – питомі капітальні вкладення в новому варіанті на одиницю продукції, грн.; $K_{\text{доп}}$ – додаткові капітальні вкладення в нову техніку, грн; $\Pi(\text{Чд})_n$ – плановий прибуток (чистий дохід) від впровадження нового варіанта, грн.; $\Delta \Pi(\text{Чд})_n$ – приріст прибутку (чистого доходу) в плановому році від реалізації нової техніки, грн.

Рівень рентабельності виробництва зернової продукції з застосуванням пропонованих технологій вирощування та збирання (U_p , %) визначають як співвідношення прибутку за проектованою технологією $\Pi(\text{Чд})_n$ до капітальних вкладень (K) [11]:

$$U_p = \Pi(\text{Чд}) \cdot 100\% / K, \quad (4.7)$$

Підвищення продуктивності праці від впровадження нової чи удосконаленої технології [11]:

$$\Delta B_v = (T_b - T_n) \cdot 100\% / T_b, \quad (4.8)$$

де ΔB_v – ріст продуктивності праці, %; T_b , T_n – затрати праці на одиницю продукції або обсягу роботи в базовому та новому варіантах, годин.

Умовне вивільнення робочих місць ($\Delta \text{Чн}$) від використання нової техніки та технологій [11]:

$$\Delta \text{Чн} = (T_b - T_n) \cdot A_n / \Phi t, \quad (4.9)$$

де Φt – фонд робочого часу одного працівника, годин; A_n – обсяг продукції, що буде отримана в новому варіанті, в натуральних одиницях.

Планове зниження матеріальних витрат [11]:

$$\Delta M_n = (M_b - M_n) \cdot A_n, \quad (4.10)$$

де ΔM_n – планове зниження матеріальних затрат як наслідок впровадження удосконаленої технології вирощування та збирання зернових культур, грн; M_b , M_n – діючі матеріальні витрати, грн.; A_n – прогнозований, в натуральних одиницях.

Коефіцієнт ефективності витрат на впровадження удосконалених технологій та нової техніки (K_e) визначається як співвідношення річного економічного ефекту (Э) до затрат на удосконалення технологій та на використання їх результатів за формулою:

$$K_e = \text{Э} / Z_{\text{нпр}}, \quad (4.11)$$

де Э – річний економічний ефект від використання результатів НДР та ОКР, грн.; $Z_{\text{нпр}}$ – затрати на впровадження технологій, грн. Підсумковий економічний ефект ($\Sigma \text{Э}$ та $\Sigma \text{Э}_i$) від використання нових чи удосконалених технологій, нової техніки, [39].

$$\Sigma \text{Э} = \Sigma \Delta \Pi(\text{Чд}) \cdot E_n \cdot \Sigma \Delta K; \quad (4.12)$$

$$\Sigma \Theta_1 = \Sigma \Delta C - E_n \Sigma \Delta K, \quad (4.13)$$

де $\Sigma \Delta P(\text{Чд})$ – приріст прибутку від технологій вирощування та збирання зернових культур, що впроваджуються, грн.; $\Sigma \Delta C$ – аналогічно, зниження собівартості від усіх заходів по впровадженню нових чи удосконалених технологій, грн.; $\Sigma \Delta K$ – додаткові капітальні вкладення на упровадження нової техніки, технологій виробництва сільськогосподарських культур розрахункового року, грн.; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, що дорівнює 0,15.

Результати розрахунків подано в табл. 4.1

Показники економічної ефективності	Базовий варіант - комбайн John Deere 9640 WTS "	Порівнювальний варіант – комбайн John Deere 9640 WTS ", з додатково проведеною технологічною наладкою
Собівартість 1т зерна, грн.	4900	4868
Додаткові капітальні вкладення, грн.		2600
Планове річне завантаження одного комбайна, т	1000	1000
Закупівельна ціна (ціна реалізації) 1т зерна, грн.	7000	7000
Плановий річний економічний ефект, грн.		35400
Термін окупності, років		Протягом року

Таким чином, фірмове технічне обслуговування комбайнів John Deere - це інтегрована система уразління технічним станом, яка включає: регламентоване ТО, цифровий моніторинг, професійну підтримку, використання оригінальних компонентів. Завдяки цьому досягається головна мета – максимальна ефективність роботи техніки в критичні аграрні періоди.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Фірмове технічне обслуговування комбайнів John Deere - це інтегрована система управління технічним станом, яка включає: регламентоване ТО, цифровий моніторинг, професійну підтримку, використання оригінальних компонентів. Завдяки цьому досягається головна мета – максимальна ефективність роботи техніки в критичні аграрні періоди.

2. Фірмове обслуговування тракторів John Deere можливо розглядати як високотехнологічну систему управління технічним станом, яка включає: регламентоване ТО; цифрову діагностику; дилерську підтримку; сервісні контракти; використання оригінальних компонентів. Головна мета фірмового обслуговування - забезпечити максимальну продуктивність техніки при мінімальних ризиках простою.

3. Фірмове обслуговування сіялок John Deere - це поєднання механічного сервісу, цифрових технологій і агрономічної точності. Його ключові особливості: обов'язкове калібрування; контроль точності висіву; робота з електронікою; використання телематики; підтримка дилера. Головна мета - не просто справність техніки, а ідеальний висів як основа врожайності.

4. Фірмове обслуговування плугів John Deere - це система підтримки точності механічного обробітку ґрунту, яка базується на: контролі зносу робочих органів; точному налаштуванні геометрії; використанні якісних матеріалів; регулярному технічному огляді. Головна мета - забезпечити стабільну якість оранки при мінімальних витратах і максимальному ресурсі техніки.

5. Фірмове обслуговування самохідних обприскувачів John Deere – це високоточна система підтримки агротехнологічного процесу, яка поєднує: калібрування і точність; обслуговування гідравліки та розпилення; цифрові технології; контроль хімічної безпеки. Головна мета – ідеально точне, економічне і безпечне внесення засобів захисту рослин.

6. Фірмове обслуговування культиваторів John Deere - це система підтримки точності та ефективності обробітку ґрунту, яка базується на: контролі зносу

робочих органів; точному налаштуванню геометрії; регулярному технічному огляді; використанні якісних матеріалів. Головна мета фірмового обслуговування культиваторів John Deere – забезпечити стабільний агротехнічний результат при мінімальних витратах і максимальному ресурсі техніки.

7. Фірмове обслуговування агрегатів для внесення мінеральних добрив John Deere – це система забезпечення точного дозування і рівномірного розподілу, яка включає: обов'язкове калібрування; контроль дозуючих механізмів; захист від корозії; використання цифрових технологій; регулярне технічне обслуговування. Головна мета – максимальна ефективність використання добрив при мінімальних витратах і рівномірному живленні рослин.

8. Фірмове обслуговування комбінованих агрегатів John Deere для No-Till і Strip-Till – це інтегрована система точного землеробства, яка включає: подвійне калібрування (насіння + добрива); синхронізацію всіх систем; контроль робочих органів; цифровий моніторинг; професійне налаштування. Головна мета – максимальна ефективність посіву і живлення рослин при мініальному втручанні в ґрунт.

9. При здійсненні інженерно-математичного аналізу отриманої поверхні відгуку другого порядку, яка була сформована як експериментальна модель функціональних залежностей між висотою різку стеблостою озимої пшениці (фактор X_1 , см), відносним ступенем заміненості бункерного зерна (відгук Y_1 , %) та відносними втратами зерна (відгук Z_1 , %), встановлено чіткі закономірності технологічного процесу прямого комбайнування. Експериментальні дослідження виконувалися в умовах виробничого поля ДПДГ «Степне» ІС та АПВ НААН України із застосуванням зернозбирального комбайна John Deere 9500 при фіксованій, агротехнічно обґрунтованій швидкості руху агрегату 7,5 км/год. Додатково виконано порівняльний аналіз аналогічної поверхні відгуку для комбайна з класичною системою обмолоту John Deere 9640 WTS, що дозволило оцінити вплив

конструкційних і кінематичних параметрів молотильно-сепарувальних систем на показники втрат і якості зерна.

10. З урахуванням агрокліматичних умов Полтавського району та виробничих параметрів прямого комбайнування озимої пшениці із середньою урожайністю 4,5...5,0 т/га встановлено, що оптимальним з точки зору мінімізації сумарних втрат зерна є діапазон висоти зрізу стеблостою 15...20 см. Даний інтервал забезпечує раціональний баланс між пропускною здатністю молотильно-сепарувальних органів та якістю сепарації зернового матеріалу.

11. З позицій інженерного аналізу встановлено, що зменшення висоти зрізу призводить до збільшення частки соломистої маси у загальному потоці матеріалу, що надходить до молотарки комбайна. Це, у свою чергу, викликає підвищене навантаження на системи очищення — як повітряно-решітного типу, так і клавішно-каскадної сепарації. Перевантаження зазначених вузлів зумовлює зниження ефективності сепарації зерна та збільшення втрат через недообмолот і винесення зернової фракції разом із соломистими залишками.

12. У випадку роботи на зниженій висоті зрізу виникає необхідність зменшення робочої швидкості руху агрегату до 4,5...5,0 км/год, що обумовлено обмеженнями пропускної здатності молотильно-сепарувального апарата. Однак така корекція режиму роботи призводить до зниження змінної продуктивності зернозбирального комбайна, що, у свою чергу, підвищує тривалість виконання збиральних робіт і створює ризик виходу за межі оптимальних агротехнічних строків збирання. З іншого боку, у випадку, коли соломисту частину врожаю передбачається залишати на полі як органічне добриво, доцільним є застосування максимально допустимої висоти зрізу для даної культури. Такий підхід дозволяє зменшити обсяг надходження грубостеблової маси до молотильно-сепарувальних систем, що призводить до їх розвантаження, підвищення стабільності технологічного процесу та збільшення відносної частки зерна у загальному потоці хлібної маси, що надходить у молотарку. Як наслідок, спостерігається зниження абсолютних і

відносних втрат зерна, а також покращення енергетичної ефективності процесу збирання.

13. Додатково слід відзначити, що зернозбиральні комбайни John Deere 9640 WTS, John Deere 9660 WTS та John Deere 9680 WTS, які пропонуються до використання з удосконалених технологіях зерновиробництва, належать до класу машин середньої продуктивності. Їх конструкційна маса є приблизно у два рази меншою порівняно з флагманськими високопродуктивними моделями (10...14 т), що обумовлює зниження питомого тиску на ґрунт. Внаслідок цього вплив зазначених машин на ущільнення ґрунтового шару при виконанні збиральних операцій є мінімальним і не призводить до суттєвого погіршення його агрофізичних властивостей.

14. Таким чином результати аналізу поверхонь відгуку другого порядку дозволяють обґрунтувати технологічно доцільний діапазон параметрів роботи збирального агрегату, який забезпечує мінімізацію втрат зерна, стабілізацію процесу обмелоту та підвищення загальної ефективності механізованого збирання озимої пшениці в умовах досліджуваного господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Khodabakhshian F. A review of maintenance management of tractors and agricultural machinery preventive maintenance systems. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2013. Vol. 15, No. 4. P. 147–159.
2. Lüttenberg H., Bartelheimer C., Beverungen D. Designing Predictive Maintenance for Agricultural Machines // *Proceedings of the 26th European Conference on Information Systems (ECIS 2018)*. Portsmouth, 2018. Paper 153.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Sustainable Agricultural Mechanization*. Rome : FAO, [6. л.]
4. Khodabakhshian R., Shakeri M. Prediction of repair and maintenance costs of farm tractors by using preventive maintenance. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 2011. Vol. 10, No. 4. P. 607–611.
5. Regler F., Hausmann F., Krüger M., Bernhardt H. Potential and Improvement of Maintenance Efficiency of Agricultural PTO Shafts by a New Digital Maintenance Assistant. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 2. Article 227. DOI: 10.3390/agriculture13020227.
6. Gomez-Gil F. J., Martinez-Martínez V., Ruiz-Gonzalez R., Martínez-Martínez L., Gomez-Gil J. Vibration-based monitoring of agro-industrial machinery using a k-nearest neighbors classifier with a Harmony Search frequency selector algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 217. Article 108556.
7. Сукач М. К. *Технічний сервіс машин : навч. посіб.* Київ : Ліра-К, 2017. 290 с.
8. Швец Л. В., Паладійчук Ю. Б., Труханська О. О. *Технічний сервіс в АПК : навч. посіб.* Вінниця : БНАУ, 2019. 648 с.
9. Сідашенко О. І., Тіхонов О. В., Скобло Т. С. та ін. *Практикум з ремонту машин. Т. 2. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин : навч. посіб.* Харків : ТОВ «Пром Арт», 2018. 491 с.
10. Сідашенко О. І., Науменко О. А., Скобло Т. С. та ін. *Ремонт машин та обладнання : підручник. 2-ге вид., перероб. і доп.* Харків : Міськдрук, 2015. 742 с.
11. *Машиновикористання в рослинництві: Навчальний посібник для студентів спеціальності 6.100.102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» вищих аграрних закладів освіти III-IV рівнів акредитації / М.О. Демидко, С.М. Бондар, Р.В. Шатров, В.Д. Гречесій, В.І. Василюк, Л.О. Шейко, Н.В. Шейко; За ред. проф. Демидка М.О. - Ніжин: АСПЕК Г - Поліграф, 2009. - 180 с.: іл.*
12. *Практикум із машиновикористання в рослинництві : навчальний посібник / А.С. Лімонт, І.І. Мельник, А.С. Малиновський, В.В. Марченко, В.Л. Гуз, І.М. Грищенко / За ред. І.І. Мельника – К.: Кондор. – 2004. – 284 с.*
13. Офіційний сайт: <https://www.deere.ua/uk-ua>. Дата звернення 04.11.2025р.
14. Організація виробництва і аграрного бізнесу в сільськогосподарських

підприємствах : підручник. За ред. проф. С. П. Азізова. К. : УАЕ, 2001. 834 с.

15. Сукач М. К. *Технічний сервіс машин : навч. посіб.* Київ : Ліра-К, 2017. 290 с.

16. Швець Л. В., Паладійчук Ю. Б., Труханська О. О. *Технічний сервіс в АПК : навч. посіб.* Рівниця : ВНАУ, 2019. 648 с.

17. Сідашенко О. І., Тіхонов О. В., Скобло Т. С. та ін. *Практикум з ремонту машин. Т. 2. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин : навч. посіб.* Харків : ТОВ «Пром-Арт», 2018. 491 с.

18. Сідашенко О. І., Науменко О. А., Скобло Т. С. та ін. *Ремонт машин та обладнання : підручник.* 2-ге вид., перероб. і доп. Харків : Міськийрук, 2015. 742 с.

19. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (дата звернення: 27.04.2026).

20. ДСТУ ISO 9001:2015. *Системи управління якістю. Вимоги.* Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

21. ДСТУ ISO 45001:2019. *Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування.* Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.

22. ДСТУ ISO 14001:2015. *Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування.* Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

22. Федоров М. І. Охорона праці в галузі: Збірник схем, термінів, довідникових даних, розрахунків та тестів. Полтава: ПДАА, 2009. 176 с.

23. Кравчук В.І. Мельников Ю.Ф. *Машини для збирання зернових та технічних культур.* УкрНДНЦТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке 2009. 200 с.

24. Технологічна блочно-варіантна система машиновикористання в землеробстві України. Частина 1: монографія. Частина 1/ Ю.І. Ковтун [Качанов В.В., Мельник В.І., Харченко С.О., Артьомов М.П., Анікеєв О.І., Циганенко М.О., Романащенко О.А., Калюжний О.Д., Сировицький К.Г., Чигрина С.А., Гаск Є.А.] – Х.: ТОВ Планета-Принт, 2020. – 204 с.

25. Бурлака, О. А., Яхін, С. Б., Падалка, В. В., & Бурлака, А. О. (2021). 100 тон за годину, а що далі? Порівнюємо та аналізуємо характеристики флагманських моделей високопродуктивних зернозбиральних комбайнів *Scientific Progress & Innovations*, (3), 274-288. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.34>

ДОДАТКИ

Схема технічного обслуговування комбайна John Deere 9640 WTS:

Щоденне ТО (кожні 10 мотогодин або перед вїздом):

Перевірити рівень моторної оливи
Перевірити рівень гідравлічної оливи
Перевірити рівень охолоджуючої рідини
Очистити радіатори та повітрозабірники
Змастити точки щоденного мащення
Перевірити натяг ременів
Перевірити ланцюги та приводи
Огледити ножі жатки
Перевірити тиск у шинах
Очистити зерновий бункер
Перевірити освітлення та електрику
Злити воду з паливного фільтра

Щотижневе ТО (50 мотогодин)

Змастити всі прес-маслянки
Перевірити підшипники соломотряса
Перевірити варіатор та ремені
Перевірити редуктори
Очистити повітряний фільтр двигуна
Перевірити гальмівну систему
Перевірити стан гідрошлангів
Контроль люфтів приводів

ТО-1 (100–250 мотогодин)

Замінити моторну оливу
Замінити масляний фільтр двигуна
Перевірити паливні форсунки
Перевірити акумулятор
Перевірити систему кондиціонування
Огляд молотильного барабана
Контроль зазорів підбарабання
Перевірка системи сепарації

ТО-2 (400–500 мотогодин)

Замінити паливні фільтри
Замінити гідравлічні фільтри
Перевірити гідронасос
Замінити оливу в редукторах
Перевірити ходову частину
Перевірити привід жатки

Контроль системи вивантаження зерна
Перевірити електронні датчики

Сезонне ТО (перед жнивками)

Повна мийка комбайна
Дефектування підшипників
Перевірка всіх ременів
Перевірка ланцюгів
Калібрування систем контролю втрат
Перевірка системи обмолоту
Налаштування решіт
Перевірка роботи жатки
Тестування гідросистеми

Консервація після сезону
Повністю очистити комбайн
Злити або стабілізувати паливо
Замінити оливу перед зберіганням
Змастити всі вузли
Послабити натяг ременів
Від'єднати акумулятори
Захистити електрику від вологості
Накрити комбайн або зберігати в ангарі

Основні інтервали обслуговування

Інтервал	Основні роботи
10 год	Щоденний огляд і мащення
50 год	Розширене мащення і контроль приводів
100–250 год	Заміна моторної оливи та фільтрів
400–500 год	Гідросистема, редуктори, паливна система
800–2000 год	Капітальна перевірка вузлів
Після сезону	Консервація

Офіційний перелік сервісних інтервалів для серії WT3 містить регламенти: 10 год, 50 год, 100 год, 200 год, 250 год, 400 год, 800 год, 2000 год та сезонне обслуговування.