

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Потапчук Тарас Юрійович

УДК 629.3.083.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МОБІЛЬНИХ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ В АПК**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Потапчук Т.Ю.

Керівник роботи

Дерев'янко Д.А.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Потапчук Тарас Юрійович. Удосконалення технічного сервісу мобільних енергетичних засобів в АПК. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В магістерській роботі розроблено систему інформаційного забезпечення технічного сервісу мобільних енергетичних засобів. Розроблено та реалізовано в середовищі Unity програмно-алгоритмічні та інформаційні засоби автоматизованого вирішення мобільних енергетичних засобів. Вони включають діагностування, форми надання довідкових, оперативних і вихідних даних, а також прийоми їх автоматизованого формування в комп'ютері та на мобільних пристроях з використанням AR-технологій.

Розроблені цифрові рішення, на основі застосування AR-діагностики, VR-тренажерів, цифрових електричних і гідравлічних схем, модулів візуалізації 360°, дали змогу реалізувати навчання користувачів і проводити технічне обслуговування, діагностику та ремонт машин на основі вивчення конструкції їхніх основних вузлів агрегатів.

В роботі було проведено експериментальні дослідження, під час яких проведено аналіз втрат робочого часу у зв'язку з простоями техніки. У середньому на один трактор сумарні втрати часу під час простоїв становили: 5502,7 хвилин, планові простої – 3897,8 і позапланові – 1604,9 хвилин. Зниження часу під час проведення робіт зі щозмінного технічного обслуговування з використанням AR-технології, склало: 12%, ТО-1 – 14,9%. У підсумку планові простої знизилися до 3433,6 хвилин, або на 11,9%.

Ключові слова: технічне обслуговування, ремонт, трактор, AR-технології, технічний сервіс.

ANNOTATION

Potapchuk Taras Yuriiovych. Improving the technical service of mobile energy vehicles in the agricultural sector. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

In the master's thesis, a system of information support for the technical service of mobile energy vehicles was developed. Software-algorithmic and information tools for automated solution of mobile power vehicles were developed and implemented in the Unity environment. They include diagnostics, forms for providing reference, operational and output data, as well as methods for their automated generation in a computer and on mobile devices using AR technologies.

The developed digital solutions, based on the use of AR-diagnostics, VR-simulators, digital electrical and hydraulic circuits, 360° visualization modules, made it possible to implement user training and carry out maintenance, diagnostics and repair of machines based on the study of the design of their main components.

Experimental studies were conducted to analyze the loss of working time due to machine downtime. On average, the total time lost per tractor during downtime was: 5502.7 minutes, planned downtime – 3897.8 minutes, and unplanned downtime - 1604.9 minutes. The reduction in time during shift maintenance using AR technology was: 12%, AND TO-1 – 14.9%. As a result, planned downtime decreased to 3433.6 minutes, or 11.9%.

Keywords: maintenance, repair, tractor, AR technology, technical service.

3MICT

ВСТУП.....	5
СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1. Аналіз наявних цифрових рішень для технічного сервісу мобільних енергетичних засобів.....	9
1.2. Використання засобів візуалізації тривимірних об'єктів віртуальної та доповненої реальності в АПК і системах технічного сервісу.....	12
РОЗДІЛ 2. КОМПЛЕКСНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ.....	17
2.1. Теоретичне визначення відповідності віртуальної та реальної дійсності для оцінки продуктивності сільськогосподарської технічної одиниці.....	17
2.2 Система технічного обслуговування та вибір виду ТО для дослідження.....	21
2.3 Методика формування комплексної інформаційної системи для технічного сервісу.....	23
2.4 Методика порівняльних досліджень.....	27
2.5 Розробка програмно-алгоритмічних та інформаційних засобів основних агрегатів і вузлів мобільних енергетичних засобів з метою навчання.....	28
РОЗДІЛ 3. ФОРМУВАННЯ, ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ.....	34
3.1 Формування інформаційної системи для умов господарств.....	34
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Важливим завданням агропромислового комплексу (АПК) є оснащення його новою сучасною сільськогосподарською технікою, що забезпечує виконання операцій аграрного виробництва в необхідні агротехнологічні терміни з мінімальними витратами. Оновлення парку сільськогосподарської техніки відбувається здебільшого за рахунок придбання сучасних високопродуктивних тракторів і комбайнів, широкозахватних комбінованих ґрунтообробних і посівних агрегатів, що поєднують виконання кількох технологічних операцій.

Існуюча нині нормативно-технічна документація з обслуговування мобільних енергетичних засобів була розроблена без урахування можливостей сучасних засобів обчислювальної техніки та інформаційних технологій і потребує вдосконалення [5]. Інтенсивний розвиток сільськогосподарського виробництва неможливий без застосування сучасної складної та дороговартісної техніки, яка, своєю чергою, потребує відповідної кваліфікації працівників АПК, насамперед механізаторів, здатних грамотно її експлуатувати, чого можна досягти за умови якісного навчання.

Постачання запасними частинами машин, зайнятих у сільськогосподарському виробництві, є доволі складним завданням, що зумовлено багатьма факторами, основними з яких є: номенклатура запасних частин, яка перевищує 90 тис. найменувань, висока різномарочність, випадковий характер попиту на запасні частини для непланових поточних ремонтів та ін. Таким чином, виникає необхідність удосконалення служби технічного сервісу.

При цьому особливу увагу слід приділяти доступності застосування цифрових технологій в АПК.

Більшість наявних цифрових рішень не забезпечують комплексного підходу до технічного сервісу, необхідність якого зростає в умовах оновлення парку МЕЗ в АПК, а також до методів і засобів технічного обслуговування, діагностування, ремонту, постачання запасних частин, що використовуються на сьогодні, та до підготовки кадрів. Широке застосування цифровізації з упровадженням модулів і технологій доповненої реальності, що використовуються в комплексній інформаційній системі, дасть змогу істотно підвищити ефективність служби технічного сервісу.

Об'єкт досліджень – процес виконання операцій технічного сервісу МЕЗ з використанням AR-технологій.

Предмет досліджень – інформаційна система для технічного сервісу МЕЗ в АПК, що містить програмне забезпечення та додаток доповненої реальності.

Мета досліджень – удосконалення технічного сервісу мобільних енергетичних засобів в АПК розробкою та застосуванням системи інформаційного забезпечення з використанням технологій доповненої реальності.

Для досягнення поставленої мети необхідне вирішення таких **завдань** досліджень:

- 1) виконати аналіз наявних цифрових рішень сервісного обслуговування МЕЗ в АПК;
- 2) розробити систему інформаційного забезпечення технічного сервісу МЕЗ;
- 3) провести практичну апробацію комплексної інформаційної системи для технічного сервісу МЕЗ в АПК і виконати її економічну оцінку.

Методи наукового дослідження. Для розв'язання поставлених завдань у магістерській роботі використовувалися теоретичні та практичні методи наукового пізнання: спостереження, вимірювання, опрацювання результатів та

аналіз. Використовували методику опрацювання та аналізу зображень, комп'ютерної графіки, алгоритмізації та людино-комп'ютерної взаємодії, а також наукові положення теорії експлуатації МЕЗ з використанням AR- і VR-технологій.

Експериментальну частину роботи проводили з використанням прикладної програми Excel, набору засобів розробки для трекінгу Qualcomm Vuforia та додатків доповненої реальності Unity.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Дерев'янка Д. А., **Потапчук Т. Ю.**, Янченко О. О. Теоретичне визначення відповідності віртуальної та реальної дійсності для оцінки продуктивності сільськогосподарської технічної одиниці. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 294-297.

2. Дерев'янка Д., **Потапчук Т.**, Янченко О. Використання засобів візуалізації тривимірних об'єктів віртуальної та доповненої реальності в АПК і системах технічного сервісу. Актуальні аспекти розвитку науки і освіти: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та молодих науковців, 24 - 25 жовтня 2024 р., Одеса : Одеський державний аграрний університет, 2024. С. 175-178.

3. **Потапчук Т.**, Янченко О. Аналіз наявних цифрових рішень для технічного сервісу мобільних енергетичних засобів. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково- педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 23-25.

Практичне значення одержаних результатів. Програмне забезпечення інформаційної системи для технічного сервісу МЕМ, що застосовується в мобільних електронних пристроях (мобільні телефони, планшетні комп'ютери та

ін.), з використанням засобів доповненої реальності, призначене для інформаційної підтримки ухвалення рішень при організації та виконанні операцій технічного сервісу тракторів і зернозбиральних комбайнів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 44 сторінки комп'ютерного тексту, містить 16 рисунків та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз наявних цифрових рішень для технічного сервісу мобільних енергетичних засобів

На сучасному етапі розвитку технічного прогресу повсюдно впроваджують цифрові технології в різних галузях діяльності людини, зокрема в сільському господарстві, включно з технічним сервісом.

Використання цифрових технологій у технічному сервісі має низку особливостей, пов'язаних із характером організації технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) сільгосптехніки. Крім технологічних карт на проведення операцій ТО на підприємствах технічного сервісу в АПК застосовують інформаційні та інтелектуальні технології (ІТ).

У сучасних технічних сервісах використовують програмно-електронні засоби, адаптовані під певні види робіт, комплекси автоматизованих робочих місць (АРМ-комплекси) для фахівців.

Окремі АРМ-комплекси об'єднують у локальні обчислювальні мережі, що забезпечують такі можливості: обмін інформацією між фахівцями; використання єдиної бази даних підприємств - виробників техніки; підключення до спеціалізованих регіональних баз даних (за наявності відповідного рівня доступу); передача інформації керівництву підприємства для оцінки ситуації та прийняття управлінських рішень; колективне використання прикладних програмних засобів.

Розвиток технологій і впровадження цифрових рішень в АПК сприяло широкому застосуванню комп'ютерного діагностування, використовуваного для оцінки стану як окремих машин, так і машинно-тракторного парку загалом.

Як правило, процес діагностування складається з таких етапів: зчитування інформації; перевірка даних; аналіз результатів; виявлення несправностей.

Для комп'ютерної діагностики використовують обладнання широкого спектра: мотор-тестери, універсальні сканери, сканери «малої» діагностики тощо.

Одним із прикладів такого обладнання є система TELEMATICS фірми Claas Remote Service (рис. 1). Вона призначена для проведення віддаленого контролю роботи систем машин, порівняння показників із контрольними даними з подальшим виведенням інформації про наявну несправність.

Система дає змогу проводити планування технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарських машин певних виробників.

Основною перевагою цієї системи є можливість отримання віддаленої підтримки від виробника.

Серед недоліків системи можна відзначити вузьку спрямованість на обслуговування машин певних виробників, тоді як машинно-тракторний парк (МТП) господарств переважно складається з сільськогосподарських машин різних виробників, у яких можуть бути відсутні подібні або сумісні системи.

Цифровізація АПК під час організації експлуатації сільськогосподарської техніки нового покоління передбачає встановлення на машини електронних вбудованих засобів контролю та діагностування. З їхньою допомогою здійснюють відстеження процесу роботи механізмів, систем і агрегатів для регулярного моніторингу їхньої працездатності та стану.

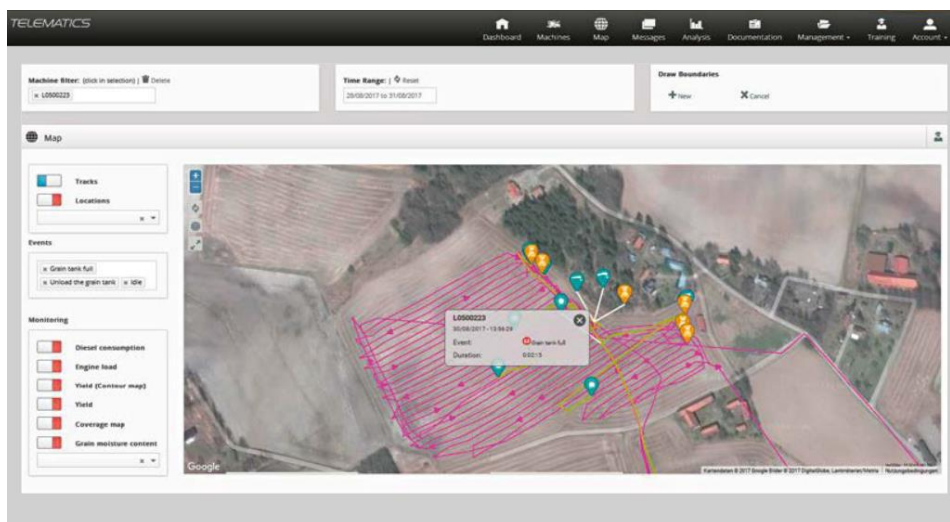


Рис. 1.1. Робочий екран системи TELEMATICS.

Широке застосування в даний час знаходять електронні блоки управління (ЕБУ), що встановлюються безпосередньо на машинах. Вони об'єднують пакети програмного забезпечення з набором відомостей про роботу систем машини.

У процесі безперервного моніторингу роботи систем машин дані виводяться на екран. Це дає змогу відстежувати стан контрольованих систем і на основі аналізу цих даних робити висновки про необхідність проведення робіт, спрямованих на підтримку працездатності машин.

Однак така система прив'язана до конкретної одиниці техніки, а в умовах великого господарства виникає необхідність вести облік по кожній машині відповідно до її індивідуальної технологічної карти, що передбачає великий обсяг робіт зі збирання та аналізу даних. Крім цього, під час проведення робіт із технічного обслуговування і ремонту відсутні контроль над діями виконавця, а також можливість передавання даних про виконану роботу службі головного механіка.

Існують цифрові системи, що дають змогу проводити віддалену діагностику технічного стану як окремих машин, так і машинно-тракторного парку сільгосппідприємств загалом. Реалізація такого підходу стала можливою за широкого застосування технології на основі системи GPS.

Нині існує безліч вітчизняних і зарубіжних систем автоматичного збору та аналізу інформації (TELEMATICS, Deere & Company JDLink, FarmSight, AFS, AGCOMMAND Advanced, Connected Farm Fleet, Slingshot, SCANIA FLEX).

Системи автоматичного збирання та аналізу інформації забезпечують широкий спектр можливостей, що дають змогу здійснити онлайн-діагностику техніки, однак, як правило, вони сумісні тільки з машинами конкретних виробників.

1.2. Використання засобів візуалізації тривимірних об'єктів віртуальної та доповненої реальності в АПК і системах технічного сервісу

Розвиток технологій віртуальної (VR) і доповненої реальності (AR) дає змогу впроваджувати їх у технологічні процеси на виробництвах різних галузей.

VR-технології занурюють користувача у віртуальне середовище, безпосередньо впливаючи на його органи чуття: зір, дотик і слух. Для передачі ефекту занурення використовують шоломи віртуальної реальності, де об'ємне зображення проектується на лінзи, через які користувач отримує аудіовізуальну інформацію. Для підвищення ефекту занурення застосовують додаткове обладнання для відстеження переміщення користувача (трекінг-система) та різноманітні контролери управління (рис. 1.2).



Рис. 1.2. VR-шолом і контролери.

AR-технології проєктують віртуальні об'єкти на реальне оточення. Технології доповненої реальності використовують для отримання інформації при зчитуванні спеціальних маркерів (міток). Широке застосування такі технології знайшли у сфері послуг. У музеях є маркери на експонатах, при наведенні на які перед користувачем постає додаткова інформація; у рекламі продукції це віртуальна примірка суконь, дисків для автомобілів тощо.

У доповненій реальності використовують спеціалізовані окуляри та модулі доповненої реальності. Ця технологія також застосовна на смартфонах і планшетах.

Універсальність VR- і AR-технологій дає змогу використовувати їх у сфері технічного сервісу автомобілів, зокрема сільськогосподарської та будівельної техніки.

Так, наприклад, компанія ITorun представляє лінійку рішень для виробництва і технічного сервісу із застосуванням технологій доповненої реальності. Однією з основних функцій платформи є дзвінок для спільної роботи фахівця та експерта (рис. 1.3). Ця технологія дає змогу:

- скоротити період між поломкою обладнання та його ремонтом;

- бачити експерту те саме, що бачить фахівець через камеру модуля доповненої реальності;
- передавати візуальні матеріали (зокрема креслення і навчальні відео) безпосередньо на модуль.

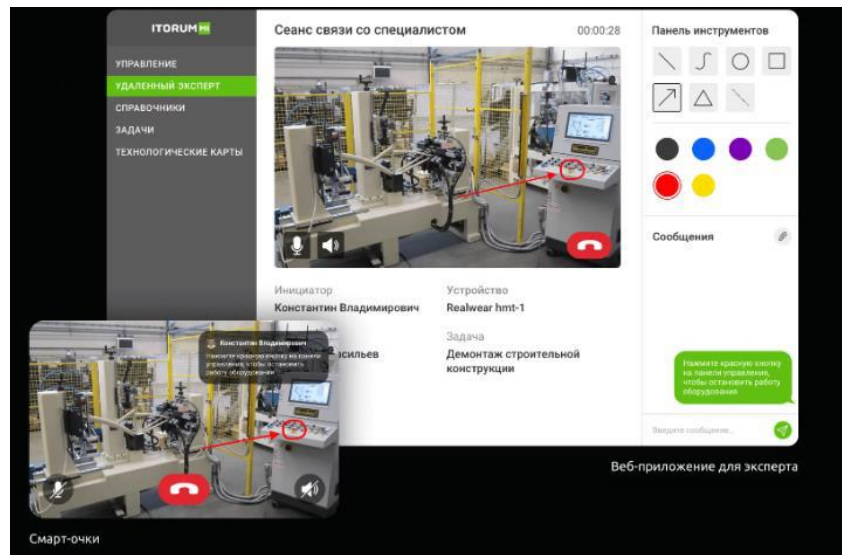


Рис. 1.3. Сеанс зв'язку з використанням технології AR.

Платформа сприяє підвищенню контролю за проведенням технічного сервісу шляхом використання функції запису всіх етапів робіт з ТО і Р. Інформація надсилається на сервер компанії, де вже кваліфікований фахівець або керівник у разі потреби може внести корективи в реальному часі або перевірити збережений запис проведення всього процесу.

Серед недоліків варто відзначити відсутність автономності системи, неможливість роботи без інтернет-з'єднання. Не слід також виключати трудовитрати на підтримання в робочому стані сервера великого обсягу даних, а також витрати на обслуговуючий персонал.

Нині існує тренд застосування технології віртуальної реальності при створенні тренажерів для навчання технологічних процесів.

ТОВ «Нова технологія» розробила VR-тренажер ТС (рис. 1.4). Програмне забезпечення імітує поломки, які можуть виникнути в процесі експлуатації, а також видає відповідні підказки для їх усунення.



Рис. 1.4. VR-тренажер ТС.

Недоліками тренажера є застаріла техніка і вузькоспрямована тематика вивчення. Наразі конструкція вузлів і деталей, комплектуючі машини є досить вивченими фахівцями за досить тривалий час експлуатації машини цієї марки. Зважаючи на це, впровадження такого тренажера в сучасних службах технічного сервісу є недоцільним.

Компанія Bosch пропонує проводити технічне обслуговування автомобілів з використанням AR, застосовуючи накладення зображення через окуляри доповненої реальності (рис. 1.5). Система є інтерактивним помічником для фахівця під час ремонту електричних і гібридних двигунів. Ідентифікація несправностей із застосуванням технології доповненої реальності сприяє швидшому їхньому виявленню та усуненню. Дослідження, проведені у фірмі Bosch, свідчить про те, що «стажисти, які користувалися AR, впоралися з роботою на 35 % швидше, ніж ті, хто спирався на традиційні методи ремонту з використанням схем і креслень на паперовому носії».



Рис. 1.5. Застосування AR-окулярів під час проведення ТС автомобіля.

Основний недолік такої системи — можливість помилкового ідентифікування елементів конструкції автомобіля, що тягне за собою неправильність виконання операцій. Забруднені елементи можуть перешкоджати їх правильному розпізнаванню, а додаткове очищення вузлів і деталей підвищує вартість і збільшує витрати на технічне обслуговування і ремонт.

Висновки по розділу

З огляду на проведений аналіз впливає, що застосування VR- і AR-технологій дає змогу скоротити час здійснення технологічних процесів у різних галузях. Так, AR-окуляри є додатковим інструментом для аналізу та діагностики несправностей, а також можуть виконувати функцію цифрового асистента. VR-технології у віртуальних тренажерах підвищують компетенції фахівців, сприяючи скороченню витрат при виконанні професійних завдань.

Аналіз практики використання засобів візуалізації тривимірних об'єктів, віртуальної та доповненої реальності в АПК і системах технічного сервісу виявив вузькоспеціалізованість застосовуваного програмного забезпечення. У

зв'язку з цим доцільним є розроблення більш прогресивних гнучких програмних засобів з використанням технологій доповненої та віртуальної реальності у сфері технічного сервісу та ремонту машин, що застосовуються в агропромисловому комплексі країни. Таке програмне забезпечення насамперед має володіти широкою базою даних з можливістю її розширення для проведення технічного обслуговування і ремонту широкої лінійки машин різних виробників.

РОЗДІЛ 2

КОМПЛЕКСНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ

2.1. Теоретичне визначення відповідності віртуальної та реальної дійсності для оцінки продуктивності сільськогосподарської технічної одиниці

Розроблення системи інформаційного забезпечення технічного обслуговування технічних одиниць комплексної інформаційної системи належить до розряду досить складних і методично мало відпрацьованих завдань інженерної науки. Методичні положення в цьому напрямі здебільшого мають науково-дослідний характер, а для розроблення пропонованої системи необхідно перейти від них до виробничо-технічних знань.

Ефективність застосування систем інформаційного забезпечення технічного обслуговування технічних засобів визначається не тільки якістю проведених робіт, а й їхньою інтенсивністю.

Вивчення проблеми інтенсивності було розпочато в середині ХХ ст. як складової ефективності обладнання. Тоді було отримано формулу загальної ефективності обладнання:

$$З.Е.Е. = APQ \cdot 100 \%, \quad (2.1)$$

де З.Е.Е. – загальна ефективність обладнання;

А – доступність до деталей технічної одиниці;

Р – ефективність виконання операцій технічного сервісу;

Q – якість виконаної роботи з ТО технічної одиниці.

При отриманні теоретичної оцінки загальної ефективності обладнання технічного сервісу МЕЗ використовували вираз інтенсивності виконання операцій, тому формулу (1) було перетворено до вигляду:

$$З.Е.Е. = AP_pQ \cdot 100 \%, \quad (2.2)$$

де P_p – продуктивність технічної одиниці.

Під інтенсивністю розумітимемо виконання обсягу робіт або кількість операцій технічного сервісу МЕЗ за час обслуговування.

У зв'язку зі специфічними особливостями сільськогосподарського виробництва організація обслуговування сільськогосподарської техніки пов'язана з певними складнощами, пов'язаними з конструкторськими особливостями техніки, її великою різномарочністю, типорозмірністю, особливостями експлуатації та сезонністю роботи. Усе це необхідно враховувати під час дослідження факторів, що дають змогу підвищити ефективність використання техніки та її продуктивність.

Існуючий технічний сервіс потребує постійного вдосконалення, одним із напрямів якого є впровадження інформаційно-цифрового середовища (ІТ). Інформаційне забезпечення та відповідні системи дають змогу вирішити багато важливих завдань для агропромислового та господарського комплексів країни. Зокрема, це стосується досягнення мети підвищення ефективності обладнання технічного сервісу для сільськогосподарської техніки шляхом використання технологій доповненої реальності (AR). AR-технології можуть бути застосовані під час організації технічного обслуговування сільськогосподарської техніки для підвищення її терміну служби, а також під час розроблення тренажерів для навчання. Із впровадженням ІТ-технологій виникає необхідність створення програмного забезпечення для мобільних платформ, адаптованих під AR, що дає змогу підвищити ефективність і скоротити час технічного сервісу МЕЗ в АПК.

У цій системі особливої значущості набуває об'єктивна оцінка якості виконаних робіт. Висока продуктивність кожної технічної одиниці сільськогосподарської техніки є однією з найважливіших характеристик, тому її збільшення є пріоритетним завданням при підвищенні експлуатаційних показників машини. На цій основі актуальність проведення досліджень, що дають змогу визначити параметри техніки, що експлуатується, та рівень підготовленості професійних кадрів, є важливим етапом розвитку сільськогосподарського виробництва. Необхідність оцінювання продуктивності та інших параметрів у даному випадку пов'язана з упровадженням нових технологій і методів (зокрема, тих, що використовують ІТ і доповнену

реальність) у робочий процес проведення технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Для сільськогосподарської техніки це становить особливу актуальність у зв'язку з особливими умовами її експлуатації.

Дослідження в цій галузі дадуть змогу знайти оптимальне рішення під час вибору того чи іншого підходу до експлуатації та методу технічної підтримки сільськогосподарської машини, що дасть змогу знизити вплив таких недоліків в організації та проведенні запланованих робіт:

1. Недостатня кваліфікаційна підготовка кадрів, які здійснюють експлуатацію та ремонтно-обслуговувальну дію для конкретної машини, що призводить до вибору неправильного рішення.

2. Низька продуктивність виконання операцій під час роботи машинно-тракторних агрегатів і високі витрати часу на технічне обслуговування.

3. Втрати часу під час вибору правильного рішення.

Серед експлуатаційних показників слід виокремити фактор надійності, який безпосередньо залежить від конструкторських рішень, якості виготовлення на етапі розроблення та виробництва машин, від умов роботи під час експлуатації, якості ремонтно-обслуговувального впливу під час використання та зберігання.

Таким чином, важливим напрямком є підвищення надійності машин завдяки своєчасному та якісному технічному обслуговуванню, ремонту та діагностуванню.

Система технічного обслуговування машин має планово-попереджувальний характер із можливістю заздалегідь визначати оптимальні строки ремонтно-обслуговувальних впливів і необхідні для цього засоби, матеріали та виконавців.

З метою визначення ефективності застосування технологій доповненої реальності під час технічного обслуговування та діагностики несправностей сільськогосподарських машин було побудовано математичну модель цього процесу.

Під час побудови математичної моделі, використовуваної для порівняльного аналізу, враховували такі умови:

1. Простої техніки у зв'язку з несприятливими погодними умовами.
2. Роботи з технічного обслуговування і планового ремонту, що мають планово-попереджувальний характер.
3. Позапланові простої техніки через відмови.

Погодні умови є некерованими факторами, отже, їх необхідно враховувати і пристосовуватися до них.

Планово-попереджувальний характер системи технічного обслуговування дає змогу визначити строки та час проведення робіт, зарезервувати необхідні матеріали та інші виробничі потужності.

У разі виникнення позапланових простоїв важливу роль відіграють ефективність проведення робіт, пов'язаних з діагностикою несправностей, і наявність можливості їх усунення.

Однією з головних проблем під час використання технічної одиниці є підвищення її продуктивності та якості робіт, що, своєю чергою, дасть змогу збільшити З.Е.Е. У даному напрямі досліджено можливість підвищення продуктивності за рахунок зменшення часу технічного обслуговування. Зокрема, за істотного скорочення часу простою машини під час проведення технічного обслуговування зменшується часовий відрізок неробочого стану сільськогосподарської техніки і, як наслідок, збільшується час продуктивного функціонування машини. Розв'язання задачі побудови математичної моделі для порівняльного аналізу спрямоване на визначення ефективності застосування інформаційних технологій.

2.2 Система технічного обслуговування та вибір виду ТО для дослідження

Методика формування системи технічного сервісу ґрунтується на стандартних методах проведення технічного обслуговування, а також прийомах інтеграції та систематизації інформаційних компонентів [4].

Підтримання працездатності машин у процесі експлуатації здійснюють завдяки проведенню комплексу обов'язкових робіт із запобігання підвищеному зношуванню деталей, пошкодженням і відмовам машин. Для реалізації цього застосовують систему технічного обслуговування і ремонту [7].

Системою технічного обслуговування і ремонту називають комплекс взаємопов'язаних положень і норм, що визначають організацію і порядок проведення робіт з технічного обслуговування і ремонту машин для заданих умов експлуатації з метою забезпечення показників надійності, передбачених у нормативно-технічній документації [6].

Технічне обслуговування і ремонт машин являють собою набір технічних заходів профілактичного характеру, що проводяться в плановому порядку для забезпечення працездатності машини протягом усього терміну служби. Основні заходи при цьому містять у собі якийсь регламентований набір робочих операцій із впливу на машину, які здійснюють із заданою послідовністю і періодичністю [3, 5].

Під час експлуатації машин проводять щозмінне, періодичне і сезонне обслуговування.

Щозмінне технічне обслуговування (ЕТО) виконують через кожні 8-10 годин роботи. Основне його призначення - загальний контроль роботи і підготовка машини для чергової зміни.

Періодичне технічне обслуговування проводять у плановому порядку після певного напрацювання машин. Кількість періодичних ТО у машин різних типів різна. Вони різняться складом операцій і періодичністю проведення, при цьому кожен вищий номер періодичного технічного обслуговування містить роботи попередніх видів, включно зі щозмінним. Сезонне технічне обслуговування

(СТО) виконують двічі на рік – при переході до весняно-літнього періоду експлуатації та при переході до осінньо-зимового. Основне призначення цього ТО - підготовка машин до експлуатації в холодну і теплу пору року.

Перелік операцій кожного виду технічного обслуговування, що виконується під час використання машин конкретних марок, містить мийні, очисні, контрольні, діагностичні, регулювальні, змащувальні, заправні, кріпильні та монтажні-ремонтні операції для всіх їхніх складових частин. При цьому, як правило, обсяг робіт і перелік конкретних операцій встановлює виробник даної техніки.

Ремонт машин являє собою комплекс робіт, спрямованих на відновлення працездатності шляхом усунення несправностей і відмов.

Залежно від призначення і характеру виконання робіт його підрозділяють на поточний і капітальний [3, 7].

Основне призначення поточного ремонту (ТР) - відновлення і забезпечення працездатності машини до чергового виду ремонту. До складу робіт, що виконуються під час ТР, включають часткове розбирання; заміну окремих деталей, складальних одиниць, що досягли граничного стану; контрольні-діагностичні, регулювальні та інші операції.

Поточний ремонт служить одним із найважливіших елементів системи планово-попереджувального технічного обслуговування і ремонту машин. Від нього залежать ефективність застосування техніки, тривалість простоїв машин під час технічного обслуговування і ремонту, а також потреба в робочій силі та матеріалах [1, 3]. Застосування оптимальної структури ремонтного циклу (економічно і технічно обґрунтованої) дає змогу підтримувати високий технічний стан машин за найменших витрат на їхнє утримання; краще використовувати кошти для виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту машин; краще використовувати засоби для виконання робіт з

технічного обслуговування і ремонту машин; створювати реальні передумови для вдосконалення технологічних процесів виробництва [4].

2.3 Методика формування комплексної інформаційної системи для технічного сервісу

Формування комплексної інформаційної системи для технічного сервісу містить у собі такі етапи:

1. Збір технічної документації та зведення її в електронний ресурс, що дає змогу мінімізувати ризики її безповоротної втрати [2].

2. Створення бази даних на основі систематизації файлів, що містять технічну документацію, з метою скорочення часу на пошук актуальної інформації.

3. Створення системи інформаційного забезпечення технічного сервісу з метою збирання, зберігання, опрацювання, пошуку та видачі інформації про проведення робіт виконавцю і поліпшення процесу прийняття рішень.

Характерною особливістю методики формування системи інформаційного забезпечення технічного обслуговування МЕМ є підготовка інформаційних модулів та їхніх складових для використання на цифрових пристроях, що дають змогу реалізувати технологію доповненої реальності [4, 5].

Збір технічної документації проводили з електронних ресурсів підприємств-виробників, дилерів техніки, доступної інформації на паперових носіях. З паперових носіїв інформацію зчитували за допомогою різних сканер-пристроїв, таких, як планшетні та ручні сканери.

Обробку обсягу даних здійснювали за допомогою користувацьких програм: пакета Microsoft Office (Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft PowerPoint, Microsoft Access), ABBYY FineReader, Adobe Photoshop, Adobe Acrobat Reader та ін. [1, 8].

Отриману та попередньо оброблену інформацію зводили в базу даних за допомогою вільної реляційної системи управління базами даних MySQL [5]

Для реалізації технологій доповненої реальності розглядали пристосування: смарт-окуляри Epson Moverio BT-100 [3], Epson BT-350 [7], RealWear HMT-1 [6]; для реалізації технологій віртуальної реальності - HTC Vive Pro, Oculus Quest 2 [9].

Для вивчення перебігу проведення технічного обслуговування та діагностики несправностей із використанням технології доповненої реальності, а також для підтвердження передумов теоретичних досліджень, використовували смарт-окуляри RealWear HMT-1 (рисунок 3.1).

RealWear HMT-1 (Head Mounted Tablet One) - перший у світі переносний планшетний комп'ютер на базі ОС Android™ з підтримкою режиму hands-free («вільні руки»). Мікродисплей високої роздільної здатності розташований трохи нижче лінії прямої видимості, створюючи ефект 7-дюймового планшета. Він слугує інформаційною панеллю для користувача - за потреби вона завжди перед очима і не заважає, коли не потрібна. Усі додатки оптимізовані для голосового управління без допомоги рук. Інакше кажучи, не потрібно фізично виконувати прокрутки, жести або торкання - всі потрібні дії здійснюються голосовими командами. Можна направляти відеодзвінки керівнику робіт, переглядати документи, отримувати інструкції з робочих процесів, працювати з мобільними формами і візуалізувати IoT-дані.

В основі базової платформи використано 8-ядерний центральний процесор Qualcomm® Snapdragon™ 625 частотою 2 ГГц з ГП Adreno 506, що має підтримку OpenGL ES 3.1 і OpenCL 2.0. У пристрої встановлено операційну систему Android 8.1.0 (AOSP) + голосовий інтерфейс WearHF™. Є внутрішнє сховище на 16 ГБ / 2 ГБ ОЗП / і слот для карти пам'яті microSD з максимальною ємністю до 256 ГБ.



Рис. 2.1. Смарт-окуляри RealWear HMT-1

На малюнку 3.2 представлені основні елементи пристрою.

Для ефективної роботи смарт-окулярів RealWear HMT-1 у поліському національному університеті було розроблено комплекс програмного забезпечення, що дав змогу застосовувати дане обладнання для робіт, пов'язаних із технічним обслуговуванням і діагностикою несправностей сільськогосподарської техніки, а також використовувати смарт-окуляри RealWear HMT-1 і пристрої HTC Vive Pro, Oculus Quest 2 для навчання.

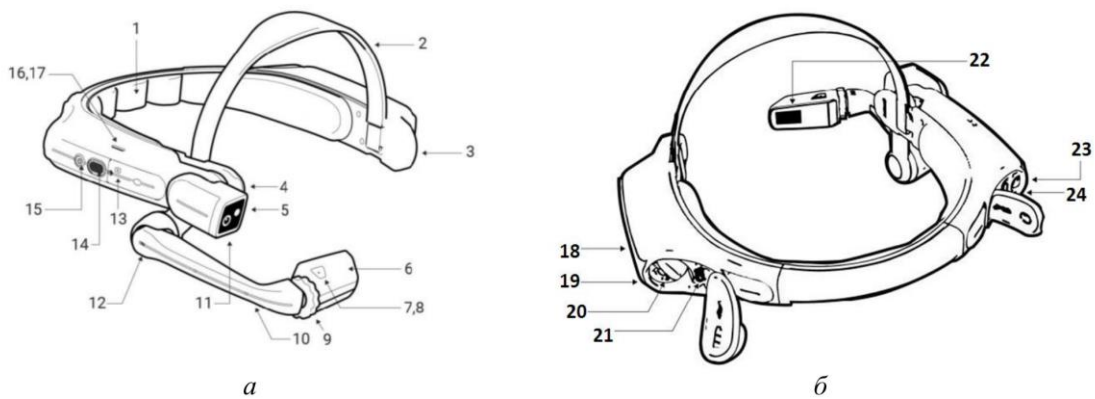


Рис. 2.2. Основні елементи смарт-окулярів RealWear HMT-1: а – вид спереду; б – вид ззаду: 1 – знімна підкладка для голови; 2 – знімне кріплення; 3 – мікрофон В1; 4, 12 – шарніри; 5 – спалах; 6 – тримач екрана; 7 – мікрофон А1; 8 - мікрофон А2 (на зворотному боці); 9 – фіксатор екрана; 10 – кріплення; 11 - камера; 13 - кришка слота для карти пам'яті microSD; 14 – кнопка керування; 15 - кнопка живлення; 16, 17 – динаміки; 18 – мікрофон В2; 19 – відсік батареї; 20 – кришка відсіку батарейок; 21 – порт microSD для заряджання та передавання даних; 22 – дисплей; 23 – аудіовихід; 24 – порт USB-C для заряджання.

Для реалізації описаних алгоритмів використано стек технологій:

- платформа для розробки – Unity [1, 5, 3, 6];
- програма для 3D моделювання – Blender, 3d Max [2, 3];
- програма для роботи з AR-додатками – Vuforia Studio [4, 9];
- CAD-системи аналізу конструкцій – Creo Illustrate [2].

У програмному комплексі реалізовано інтуїтивно зрозумілий користувацький інтерфейс, наявна функція голосового керування [2].

Перед початком робіт із застосуванням пристроїв, що використовують технологію доповненої реальності, користувачеві необхідно авторизуватися в програмному комплексі системи. Надалі отримання унікальної ідентифікації дає змогу зберігати персональний результат про виконану роботу [3].

Алгоритм роботи додатка для проведення технічного обслуговування з елементами навчання персоналу працює таким чином.

На екрані візуалізується початкове меню з вибором виду і марки машини із заданого каталогу. Після визначення типу техніки вміст екрана змінюється на список країн-виробників, що випадає. При виборі необхідної країни і підтвердження на екрані виводиться список моделей машин, наявних у базі даних.

За кожним найменуванням машин створюється вбудований модуль, який можна легко інтегрувати в програмне забезпечення з подальшим (за необхідності) оновленням версії.

На наступному етапі вибирають вид технічного обслуговування або навчання персоналу проведенню того чи іншого ТО. Потім виконавець виконує роботи відповідно до інструкцій.

На дисплей виводиться інформація з підказками:

- послідовність виконання операцій;
- необхідний інструмент;
- маршрут руху;

- місце проведення.

2.4 Методика порівняльних досліджень.

Порівняльні дослідження під час виконання технічного обслуговування з використанням технологій доповненої реальності та без неї проводили в низці господарств, при цьому враховували умови конкретного господарства (рис. 2.3). У зв'язку з цим інформаційні модулі баз даних мали відмінності в різних господарствах. Оператори технічної підтримки забезпечували адаптацію програмного забезпечення. Для цього в програмі було від самого початку передбачено можливість вносити правки під час обслуговування, ремонту та діагностування мобільних енергетичних засобів.

Виконавців технічного обслуговування машин обирали з числа механізаторів, які не працюють на цих машинах. Експерименти проводили не щонайменше у триразовій повторності. Механізатори, які виконували технічне обстеження з використанням технологій доповненої реальності, проходили попереднє навчання користування смарт-окулярами.



а



б

Рис. 2.3. Проведення робіт з технічного обслуговування: а – із застосуванням технологій доповненої реальності (смарт-окуляри Epson Moverio BT-100); б – без їх застосування.

Час початку та закінчення проведення технічного обслуговування із застосуванням смарт-окулярів фіксувався додатком, потім формувався звіт.

Час, витрачений на проведення технічного обслуговування без застосування технологій доповненої реальності, фіксували електронним секундоміром VA- SW01 фірми Shenzhen Go Hand International Trade Co. Ltd. (КНР).

Дані експериментів заносили в журналі, при цьому зазначали час і місце проведення, тип і марку машини, вік виконавця та тривалість ТО.

2.5 Розробка програмно-алгоритмічних та інформаційних засобів основних агрегатів і вузлів мобільних енергетичних засобів з метою навчання

Одним із завдань дослідження було визначення можливості адаптації програмно-алгоритмічних інформаційних засобів та їхніх складових для використання на цифрових пристроях з метою навчання виконавців ремонтно-обслуговувального впливу.

Навчальна функція програмного комплексу, що використовує технологію доповненої реальності (AR), реалізована шляхом розроблення підпрограм для навчання.

Для навчання в рамках використання технології віртуальної реальності (VR) у Саратовському державному аграрному університеті (Вавиловський університет) було розроблено комплекс програмного забезпечення.

Для дослідження ефективності застосування технологій віртуальної реальності для навчання використано шолом віртуальної реальності HTC Vive

Pro та Oculus Quest 2. Він дає можливість вивчати конструкцію комбайна або трактора дистанційно, без доступу до реальної машини.



Рис. 2.4. Шолом віртуальної реальності HTC Vive Pro, Oculus Quest 2

Шолом віртуальної реальності HTC Vive Pro, Oculus Quest 2 є периферійним пристроєм до комп'ютера. Зв'язок здійснюється через комунікаційний модуль для підключення шолома до комп'ютера. При цьому необхідне дотримання таких системних вимог:

- процесор - Intel® Core™ i5-4590/AMD FX™ 8350, аналогічна або новіша модель;
- графічний процесор - NVIDIA® GeForce® GTX 1060, AMD Radeon™ RX 480, аналогічна або новіша модель;
- пам'ять - 4 ГБ ОЗП або більше;
- відеовихід - DisplayPort 1.2 або новіша модель;
- порт - USB 1xUSB 3,0 або новіша модель;
- операційна система - Windows® 8.1 або пізніша версія, Windows 10.

Основні елементи шолома віртуальної реальності HTC Vive Pro, Oculus Quest 2 представлено на рис. 2.5-2.7.

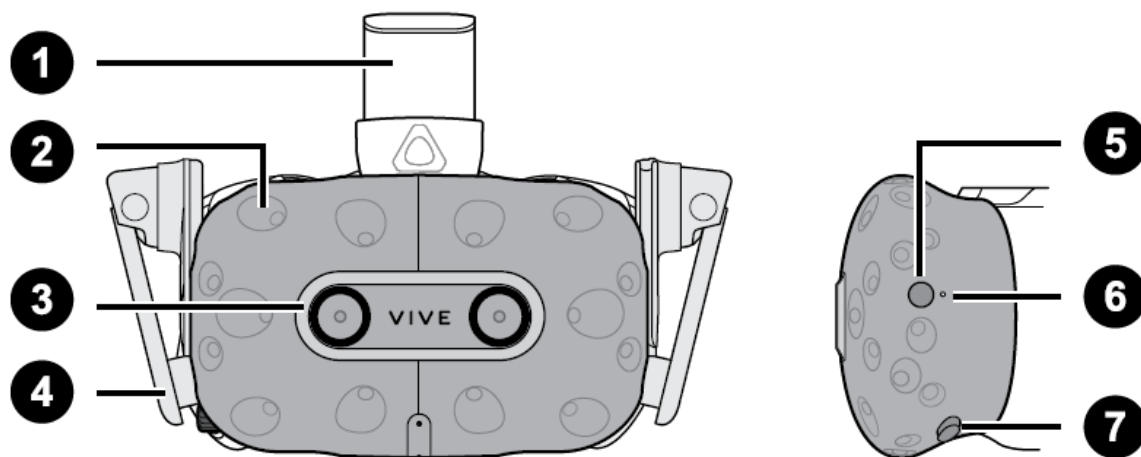


Рис. 2.5. Передній і бічний боки шолома: 1 – ремінець; 2 – датчик відстеження; 3 – об'єктив камери; 4 – навушники; 5 – кнопка; 6 – індикатор стану; 7 – кнопка регулювання відстані між обличчям і об'єктивом

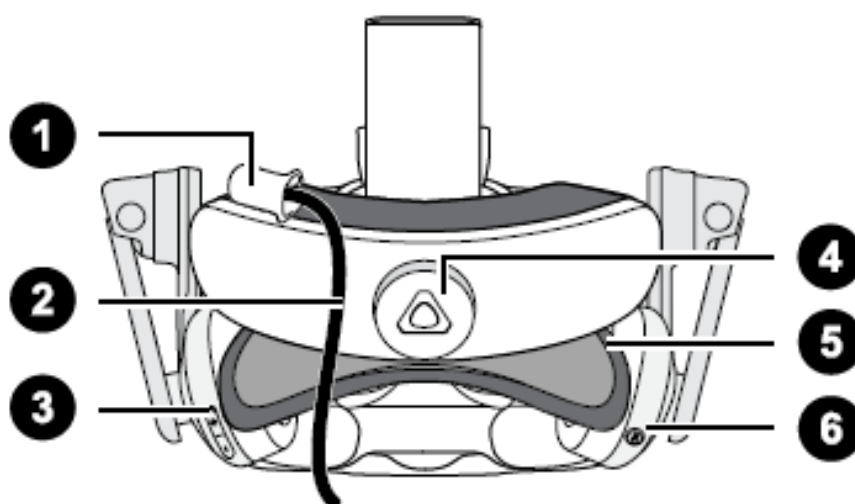


Рис. 2.6. Задній бік шолома: 1 – фіксатор кабелю; 2 – кабель; 3 – кнопка регулювання гучності; 4 – поворотний регулятор; 5 – підкладка для голови; 6 – кнопка вимкнення мікрофона

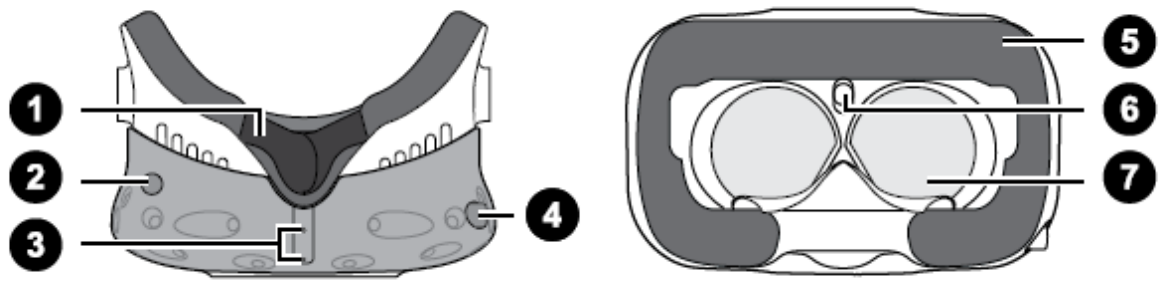


Рис. 2.7. Нижній та внутрішній боки шолома: 1 – накладка для носа; 2 – кнопка регулювання відстані між обличчям та об'єктивом; 3 – мікрофон; 4 – ручка IPD (регулювання відстані між окулярами); 5 – лицьова накладка; 6 – датчик наближення; 7 – окуляри.

У розробленому застосунку використано модуль візуалізації 360°, де для навчання користувача проведенню технічного обслуговування трактора або комбайна застосовано повноцінні 3D-моделі техніки, які візуалізуються на екрані шолома віртуальної реальності HTC Vive Pro, Oculus Quest 2.

Попередньо створені моделі компонуються в бібліотеки, а бібліотеки - в базу даних.

Інтеграція в програмне забезпечення 3D-візуалізації та звуків роботи конструктивних елементів сільськогосподарської техніки створює ефект присутності.

У процесі навчання користувач може переміщатися навколо техніки подібно до переміщення в популярному сервісі Google Street View [5] і взаємодіяти з вузлами МЕЗ відповідно до сценарію навчання. Це виключає ефект дисонансу при переході від навчання у віртуальному режимі до реального об'єкта [2].

Наявність 3D-моделей широкої номенклатури сільськогосподарської техніки в базі даних дає змогу моделювати різні сценарії для навчання.

Важливим аспектом у навчанні є підготовка фахівців, здатних у короткі терміни діагностувати несправності, тим самим знижуючи час простою техніки

[2, 3]. У зв'язку з цим у програмному комплексі реалізовано алгоритм пошуку несправностей у системах електропостачання та в гідравлічних системах. Алгоритм дає змогу:

- візуалізувати інтерактивні електричні схеми на дисплеї і скоротити час на пошук необхідних силових і керуючих ланцюгів, а для гідравлічних схем - різних магістралей;

- за навчальним сценарієм моделювати відмову тієї чи іншої системи;

- на візуалізованій електричній або гідравлічній схемі виокремити основні вузли, порушення працездатності яких могло б призвести до цієї несправності, а також визначити ланцюги або лінії, цілісність яких може впливати на роботу цих вузлів;

- на екрані пристрою демонструвати різні прийоми діагностування несправності та пошуку дефекту.

Для навчання з виявлення несправностей тому, хто навчається, в інтерактивному режимі пропонують виділити вузол в електричних схемах, відмова якого, на його думку, може спричинити відмову, змодельовану в сценарії навчання [2]. Під час виділення певного вузла виокремлюють ланцюги та лінії, що забезпечують його роботу. У ключових точках можуть бути відображені основні параметри (напруга, тиск тощо).

Розроблене програмне забезпечення дає змогу не тільки візуалізувати наявні схеми, а й за необхідності адаптувати їх під конструкторські креслення, видозмінювати схеми, на відміну від наявних на сьогодні програм.

Висновки по розділу

Особливістю методики формування комплексної інформаційної системи є підготовка інформаційних блоків та їхніх складових для використання на різних пристроях, а також у смарт-окулярах доповненої реальності.

Створено систему підбору та вбудовування регламентів проведення ТО, ремонтів сільськогосподарської техніки в інформаційне середовище.

Запропоновано методику та алгоритм роботи програмного забезпечення для ремонтно-обслуговувального впливу. Для цього розроблено:

- файлову структуру інформаційної бази комплексної інформаційної системи та їхніх компонентів для використання на цифрових пристроях під час ремонтно-обслуговувального впливу МЕЗ;
- програмно-алгоритмічні та інформаційні засоби автоматизованого прийняття рішення під час роботи з МЕЗ.

Розроблені науково-методичні положення зі створення інформаційної системи можуть бути використані при побудові аналогічних інформаційних систем стосовно різних МЕЗ.

Запропоновано спосіб адаптації програмно-алгоритмічних та інформаційних засобів і їхніх складових для використання на цифрових пристроях з метою навчання виконавців ремонтно-обслуговувального впливу.

РОЗДІЛ 3

ФОРМУВАННЯ, ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ

3.1 Формування інформаційної системи для умов господарств

Згідно з розробленою методикою до початку проведення порівняльних досліджень було сформовано систему інформаційного забезпечення технічного обслуговування МЕЗ. Підготовлені інформаційні модулі та їхні складові для використання на цифрових пристроях, що дають змогу реалізувати технологію доповненої реальності, було систематизовано та зведено в бази даних.

Для реалізації інформаційного забезпечення обслуговування МЕЗ для збору необхідних даних використовували [5, 2]:

- технологічні карти обслуговування конкретної техніки;
- нормативи витрат часу на виконання операцій, що діють у цих господарствах;
- списки складу виконавців робіт з обслуговування.

Враховували й те, що обладнання та техніку постійно вдосконалюють, адаптують до конкретних умов експлуатації, у зв'язку з чим у розробленому програмному забезпеченні було передбачено можливість видозмінювати необхідні підпрограми.

Під час проведення досліджень у господарствах вивчали умови організації технічного обслуговування та ремонтів парку машин [4, 7]. Визначали можливість та актуальність застосування технологій доповненої реальності.

Виявляли господарства, де є необхідність проведення ТО та ремонту техніки в польових умовах (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Ремонт трактора у польових умовах.

У зв'язку з цим до застосовуваного обладнання та інструменту висували підвищені вимоги до мобільності, пило-, вологозахищеності тощо.

Оцінка ефективності використання технологій доповненої реальності на базі структурного підрозділу Вавиловського університету

Для оцінки ефективності використання технологій доповненої реальності дослідження проводили за двома видами тракторів: Buhler Versatile 535 та K-700.

Усі сільськогосподарські та транспортні машини структурного підрозділу оснащені системою програмного комплексу «Агросигнал», функціонування якої забезпечує компанія «ІнфоБіС», що займається цифровізацією сільського господарства [4].

Попередньо до початку дослідження з бази даних програмного комплексу «Агросигнал» було отримано відомості про час простою машин за період з квітня по жовтень 2024 р. [3]. Простої поділено на два види: планові та позапланові. До перших було віднесено простої, пов'язані зі щозмінними та періодичними технічними обслуговуваннями, а також час, витрачений під час перезміни операторів. Час, витрачений на виявлення дефектів і усунення

несправностей машин і знарядь, що виникли під час робочої зміни, було віднесено до позапланових простоїв [2, 5].

Дані про простої машинно-тракторних агрегатів із тяговими тракторами К-700 і Buhler Versatile 535 подано у вигляді гістограм на рисунках 3.2 і 3.3.



Рис. 3.2. Причини та час простою трактора К-700.

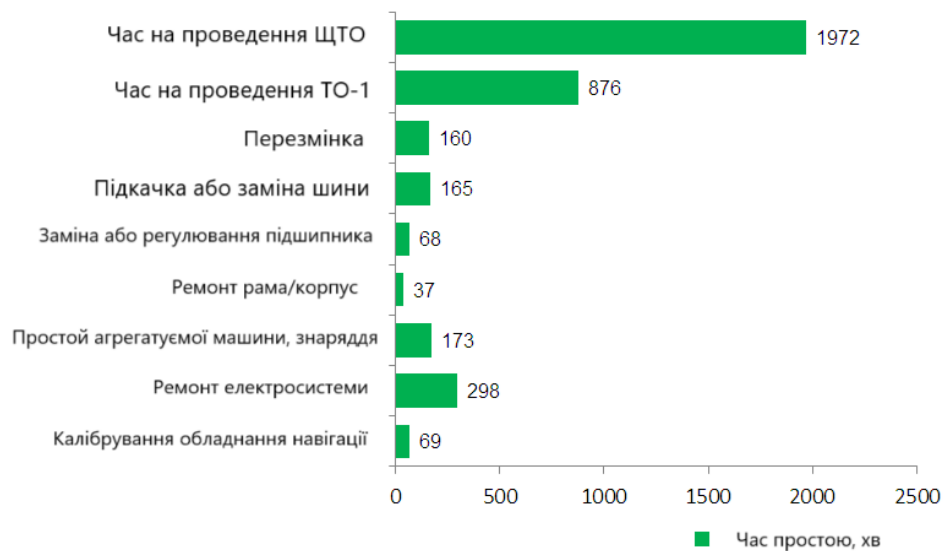


Рис. 3.3. Причини та час простою трактора Buhler Versatile 535

Дані трактори в розглянутий період працювали чотири місяці, при цьому в квітні і травні вони були зайняті на польових роботах з посіву зернових культур і

оранки, в серпні і вересні – на оранці зябу, культивуваці парів і на транспортних роботах.

Загальний час простою за чотири місяці роботи трактора К-700 становив 3328 хв (або 55,4 год), трактора Buhler Versatile 535 – 3818 хв (63,6 год).

Аналіз наведених даних показав, що більшість позапланових простоїв пов'язана з несправностями, що виникають унаслідок незадовільної якості виконання робіт під час проведення щозмінних і періодичних технічних обслуговувань [3, 4]. Частка таких простоїв трактора К-700 становить 23,9 % від загальної кількості, трактора Buhler Versatile 535 - 21,2 %.

Важливе значення при скороченні часу простоїв мають ефективність проведення діагностики та усунення виниклих несправностей, наявність висококваліфікованих кадрів ремонтної служби та її грамотна організація. Крім цього, істотний вплив на тривалість простоїв має резервний запас складальних одиниць і деталей у господарстві для їх оперативної заміни [3, 4].

Планові простої охоплюють час, витрачений на щозмінне технічне обслуговування, що проводиться наприкінці або на початку зміни, і технічне обслуговування № 1. Періодичність проведення технічного обслуговування № 1 для тракторів К-700 і Buhler Versatile 535 - 250 мото-годин. З урахуванням тривалості змін, кількості часу, витраченого на проведення кожного виду технічного обслуговування, плановий простій трактора К-700 становив 2530 хв, трактора Buhler Versatile 535 - 3008 хв, або 76,0 і 78,7 % відповідно. До простою включали також витрати часу на перезміну.

Частка часу на технічне обслуговування становить 91,1 % від часу планових простоїв.

Мета експериментальних досліджень полягала у визначенні ефективності виконання робіт з технічного обслуговування та підтвердження результатів теоретичних досліджень, згідно з якими використання цифрових технологій

шляхом застосування смарт-окулярів призводить до скорочення часу проведення ТО на 10...15 % [4].

Для оцінки ефективності застосування AR-технологій при виконанні робіт з технічного обслуговування було проведено порівняльні випробування з використанням смарт-окулярів RealWear HMT-1, оснащених розробленим програмним забезпеченням, і без застосування AR-технологій (рис. 3.4).

Під час експерименту фахівці господарства відзначали простий і зрозумілий інтерфейс програмного забезпечення, що не потребує тривалого навчання. У технології із застосуванням доповненої реальності реалізовано принцип «вільні руки», що позитивно впливає на хід проведення робочих операцій, скорочуючи витрати часу.

Результати експериментів із застосуванням AR-технологій і без них представлені в таблиці 1.1.



а



б

Рис. 3.4. Проведення робіт з ЩТО: а – із застосуванням доповненої реальності; б – без неї.

Таблиця 3.1 – Результати апробації AR-технологій під час проведення ЩТО і ТО-1

Найменування техніки	Вид обслуговування	Час проведення, хв
----------------------	--------------------	--------------------

		без використання AR-технологій	З використанням AR-технологій
К-700	ЩТО	17,3	15,2
	ТО -1	319,6	267,2
Buhler Versatile 535	ЩТО	38,5	33,1
	ТО-1	452	378,3

Аналіз отриманих даних показує, що витрати часу на проведення щозмінного технічного обслуговування для трактора К-700 знизилися на 12,2 %; для робіт, пов'язаних із проведенням технічного обслуговування № 1, - на 16,4 %. Для трактора Buhler Versatile 535 ці показники становили 14,1 і 16,3 % відповідно.

Для трактора Fendt проведення ЕТО і ТО-1 із застосуванням смарт-окулярів доповненої реальності, показали ефективність їхнього використання та економію часу виконання операцій через відсутність витрат часу для введення даних у технологічну карту. Запис ведеться в автоматичному режимі за голосовою командою, реалізується допомога в проведенні різних операцій у режимі реального часу шляхом виведення підказок на дисплей смарт-окулярів.

Результати проведених порівняльних досліджень відображено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати проведених досліджень ТО трактора Fendt 933.

Вік механізатора, років	Вид обслуговування	Тривалість виконання ТО, хв	
		без використання AR-технологій	З використанням AR-технологій
36–55	ЩТО	38,5	34,3
	ТО-1 (50 мото-год)	135,5	118,7
25–35	ЕТО	36,8	32,9
	ТО-1 (50 мото-год)	136,7	120,5

Отримані дані показують, що витрати часу на проведення щозмінного технічного обслуговування для вікової групи 25-35 років знизилися на 10,6 %, для групи 36-55 років – на 10,9 %; за роботами, пов'язаними з проведенням ТО-1 – на 17,1 і 12,3 % відповідно.

Скорочення часу проведення робіт з ЕТО у групи 25-35 років відносно групи 36-55 років становило 7,1 %, а з ТО-1 - 3,5 %. Це можна пояснити вищим ступенем адаптації до використання смарт-окулярів у виконавців групи 25-35 років, проте виконавці більш вікової групи, маючи труднощі у використанні смарт-окулярів, компенсують цей недолік більшим досвідом проведення такого виду робіт.

Висновки по розділу

Для оцінки ефективності використання технологій доповненої реальності дослідження проводили за чотирма видами тракторів: Buhler Versatile 535, K-700, Fendt 933. Під час випробувань порівнювали виконання ТЗ із використанням смарт-окулярів RealWear HMT-1, оснащених розробленим програмним забезпеченням, і без застосування AR-технологій.

Проведено аналіз втрат робочого часу у зв'язку з простоями техніки. У середньому на один трактор сумарні втрати часу при простоях становили 5502,7 год, зокрема планові простої – 3897,8 год, позапланові – 1604,9 год. Зниження часу на проведення ЕТО з використанням AR-технологій – 12 %, ТО-1 – на 14,9 %. У підсумку планові простої скоротилися до 3433,6 год, тобто на 12 %.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виконаний аналіз існуючих цифрових рішень для вдосконалення технічного сервісу мобільних енергетичних засобів в АПК показав, що розробка комплексного цифрового продукту для сервісного обслуговування тракторів і з/г комбайнів залишається невирішеною. У сучасних умовах інтенсивного розвитку комп'ютерної техніки та інформаційних технологій встановлено, що одним із суттєвих чинників підвищення ефективності технічної експлуатації машин є використання інформаційних ресурсів і технологій, а також використання віртуальної та доповненої реальності для технічного сервісу.

Розроблено систему інформаційного забезпечення технічного сервісу МЕЗ. Розроблено та реалізовано в середовищі Unity програмно-алгоритмічні та інформаційні засоби автоматизованого вирішення мобільних енергетичних засобів. Вони включають діагностування, форми надання довідкових, оперативних і вихідних даних, а також прийоми їх автоматизованого

формування в комп'ютері та на мобільних пристроях з використанням AR-технологій.

Розроблені цифрові рішення, на основі застосування AR-діагностики, VR-тренажерів, цифрових електричних і гідравлічних схем, модулів візуалізації 360о, дали змогу реалізувати навчання користувачів і проводити технічне обслуговування, діагностику та ремонт машин на основі вивчення конструкції їхніх основних вузлів агрегатів. Розроблені науково-методичні положення зі створення інформаційної системи можуть бути використані й під час побудови аналогічних інформаційних систем стосовно інших МЕЗ.

Проведено практичну апробацію інформаційної системи для технічного сервісу МЕЗ в АПК. Для підтвердження теоретичних передумов було проведено експериментальні дослідження, під час яких проведено аналіз втрат робочого часу у зв'язку з простоями техніки. У середньому на один трактор сумарні втрати часу під час простоїв становили: 5502,7 хвилин, планові простої - 3897,8 і позапланові – 1604,9 хвилин. Зниження часу під час проведення робіт зі щозмінного технічного обслуговування з використанням AR-технології, склало: 12%, ТО-1 – 14,9%. У підсумку планові простої знизилися до 3433,6 хвилин, або на 11,9%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гуменюк В. М., Ткаченко О. В. Технічний сервіс у сільському господарстві. Київ: Аграрна наука, 2017. 320 с.
2. Дяченко В. В., Гончарук І. С. Ремонт і обслуговування машинно-тракторного парку. Харків: Міськдрук, 2018. 256 с.
3. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
4. Василенко П. М. Основи технічного сервісу машин та обладнання АПК. Київ: Колос, 2015. 288 с.
5. Вербицький П. В., Мороз О. В. Системи технічного обслуговування машинно-тракторного парку. Вінниця: Нова Книга, 2019. 312 с.

6. Кириченко І. П., Сидоренко М. О. Сучасні технології ремонту та обслуговування мобільних машин. Харків: ХНАУ ім. В. В. Докучаєва, 2020. 298 с.
7. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
8. Мухін М. М. Експлуатація та ремонт мобільної техніки. Львів: ЛНАУ, 2019. 272 с.
9. Кравчук В. П., Кулініч А. М. Основи технічної експлуатації тракторів і автомобілів. Одеса: Поліграф, 2020. 344 с.
10. Василенко П. М. Інженерна експлуатація машинно-тракторного парку. Київ: Університетське видавництво, 2016. 252 с.
11. Гончарук С. М., Чернищенко І. П. Інноваційні підходи до технічного сервісу в агропромисловому комплексі. Полтава: Полтавський аграрний університет, 2022. 215 с.
12. Назаренко Ю. С., Іванченко В. О. Ефективність технічного сервісу в АПК. Дніпро: УДХТУ, 2019. 300 с.
13. Павленко І. О. Технології підтримання роботоздатності машинно-тракторного парку. Київ: Колос, 2018. 250 с.
14. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.
15. Сидоренко О. М. Технічний сервіс мобільних енергетичних засобів. Київ: Аграрна наука, 2020. 294 с.
16. Василенко П. М., Кириченко І. П. Оцінка надійності та ефективності функціонування техніки в АПК. Вінниця: Нова Книга, 2017. 224 с.