

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Янченко Олександр Олександрович

УДК 631.354

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ
ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

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
_____ Янченко О.О.

Керівник роботи

Грабар І.Г.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Янченко Олександр Олександрович. Підвищення ефективності технічного обслуговування та поточного ремонту зернозбирального комбайна.

– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

В магістерській роботі вдосконалений алгоритм рою частинок для оптимізації штрафного коефіцієнта SVM та ширини функції ядра. В удосконаленому алгоритмі вагу інерції поступово зменшували на кожній ітерації, щоб збалансувати здатність до глобального пошуку та здатність до локального пошуку популяції. Кінцевий показник діагностики несправностей IPSO-SVM склав 95,58%. Алгоритм IPSO-SVM підвищив точність прогнозування несправностей зернозбиральних комбайнів, а ефективність алгоритму була перевірена на практиці.

На основі комплексної платформи системи експлуатації та технічного обслуговування методу діагностики несправностей кукурудзозбирального комбайна було проведено моделювання та порівняння IPSO-SVM з SVM, GA-SVM та PSO-SVM.

Верифікація показала, що точність прогнозування несправностей зернозбирального комбайна була покращена і був розроблений новий метод для дослідження діагностики несправностей зернозбирального комбайна. Однак в роботі використовували лише штучні несправності для імітації польових умов. У порівнянні з польовими операціями може бути певна похибка точності.

Ключові слова: комбайн, несправність, технічне обслуговування, ремонт, SVM-модель.

ANNOTATION

Yanchenko Oleksandr Oleksandrovysh. Improving the efficiency of maintenance and current repair of a combine harvester. – *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, the particle swarm algorithm was improved to optimize the SVM penalty factor and kernel function width. In the improved algorithm, the inertia weight was gradually reduced at each iteration to balance the global search capability and the local population search capability. The final fault diagnosis rate of IPSO-SVM was 95.58%. The IPSO-SVM algorithm improved the accuracy of combine harvester fault prediction, and the effectiveness of the algorithm was tested in practice.

Based on the comprehensive platform of the operation and maintenance system of the corn harvester fault diagnosis method, the IPSO-SVM was simulated and compared with SVM, GA-SVM, and PSO-SVM.

The verification showed that the fault prediction accuracy of the combine harvester was improved and a new method was developed to investigate the fault diagnosis of the combine harvester. However, we only used artificial faults to simulate field conditions. Compared to field operations, there may be some accuracy error.

Keywords: combine harvester, malfunction, maintenance, repair, SVM model.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ У СУЧАСНИХ УМОВАХ.....	9
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ СТРУКТУРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ.....	13
РОЗДІЛ 3. ПРИНЦИП ТА ПРОЦЕС РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ ДІАГНОСТИКИ НЕСПРАВНОСТЕЙ.....	17
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБОВУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	26
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Аграрний сектор є однією з ключових галузей економіки України, забезпечуючи потреби внутрішнього ринку та значну частку експортної продукції. Вирощування та збирання зернових культур відіграє надзвичайно важливу роль у досягненні продовольчої безпеки країни. Основним засобом для механізованого збирання врожаю є зернозбиральний комбайн, який поєднує в собі низку технологічних операцій: зрізання, обмолот, очищення та транспортування зерна. Своєчасність і якість виконання цих процесів напрямку залежать від технічного стану комбайна, що визначається ефективністю технічного обслуговування (ТО) та поточного ремонту (ПР).

Зернозбиральний комбайн є технічно складною машиною, що складається з великої кількості вузлів і агрегатів, які працюють у важких умовах: підвищене пилове навантаження, динамічні та вібраційні навантаження, тертя робочих органів. Інтенсивна експлуатація в умовах обмеженого часу (сезонність жнив) призводить до підвищеного зносу елементів комбайна, що вимагає високого рівня організації технічного обслуговування та оперативного поточного ремонту.

Застарілий технічний парк, недостатній рівень діагностики, низька кваліфікація обслуговуючого персоналу та відсутність інноваційних рішень у ТО та ПР значно знижують продуктивність аграрних підприємств. У сучасних умовах виникає необхідність підвищення ефективності процесів технічного обслуговування та ремонту зернозбиральних комбайнів для забезпечення безперебійної та продуктивної роботи машин у період жнив.

Актуальність дослідження обумовлена наступними чинниками:

Зношеність машинно-тракторного парку (МТП). Велика частка зернозбиральних комбайнів в Україні відпрацювала нормативні терміни експлуатації та потребує регулярного обслуговування і ремонту.

Сезонний характер навантаження. Високі вимоги до працездатності комбайнів у період жнив створюють необхідність оперативного виконання ТО і ПР.

Неефективна організація сервісного обслуговування. Багато сільськогосподарських підприємств не мають належної технічної бази та кваліфікованого персоналу для якісного технічного обслуговування.

Недостатнє впровадження сучасних методів діагностики та ремонту. Використання застарілих технологій не дозволяє виявляти та усувати несправності на ранніх етапах.

Висока вартість простоїв техніки. У разі виходу комбайна з ладу під час збирання врожаю підприємство зазнає значних фінансових втрат через недоотримання урожаю.

Таким чином, підвищення ефективності технічного обслуговування та поточного ремонту зернозбиральних комбайнів є важливим завданням, вирішення якого сприятиме зниженню простоїв техніки, підвищенню продуктивності машин та загальної ефективності аграрного виробництва.

Мета та завдання дослідження.

Метою дослідження є підвищення ефективності технічного обслуговування та поточного ремонту зернозбиральних комбайнів шляхом удосконалення методів діагностики, організації сервісних процесів та впровадження інноваційних технологій.

Завдання дослідження:

- Провести аналіз сучасного стану технічного обслуговування та поточного ремонту зернозбиральних комбайнів;
- Визначити основні проблеми, що впливають на ефективність ТО та ПР;
- Обґрунтувати методи удосконалення організації процесів ТО і ПР;
- Дослідити можливість впровадження інноваційних технологій діагностики та ремонту комбайнів;

- Розробити рекомендації щодо оптимізації системи ТО та ПР на прикладі конкретних сільськогосподарських підприємств.

Об'єкт дослідження – процеси технічного обслуговування та поточного ремонту зернозбиральних комбайнів.

Предмет дослідження – методи, засоби та технології підвищення ефективності ТО і ПР комбайнів.

Методи дослідження. Для досягнення поставлених завдань у дослідженні застосовуються наступні методи:

- Аналіз і синтез – для вивчення стану технічного обслуговування та ремонту комбайнів;
- Експериментальні дослідження – для оцінки ефективності впровадження нових методів діагностики;
- Статистичний аналіз – для виявлення закономірностей зношення та відмов робочих елементів комбайнів;
- Графоаналітичні методи – для наочного представлення результатів дослідження.

Наукова новизна дослідження. Наукова новизна полягає у розробці та обґрунтуванні методів підвищення ефективності технічного обслуговування та поточного ремонту зернозбиральних комбайнів шляхом оптимізації організаційно-технологічного процесу ТО і ПР.

Практичне значення дослідження полягає у впровадженні результатів у діяльність сільськогосподарських підприємств для підвищення працездатності зернозбиральних комбайнів, зниження витрат на ремонти, скорочення простоїв техніки та підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку.

Перелік **публікацій** за темою роботи:

1. 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.

2. 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.

3. Потапчук Т.Ю., **Янченко О.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.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 20 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 35 сторінок комп'ютерного тексту, містить 10 рисунків та 3 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

1.1 Сучасний стан технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів

Зернозбиральні комбайни є ключовими елементами в аграрному секторі України та світу. Вони забезпечують своєчасне та ефективне збирання врожаю зернових культур, що напряду впливає на продуктивність агропідприємств. Проте стан технічного обслуговування цих машин залишається важливим аспектом, який визначає їхню ефективність, надійність та довговічність.

На сьогоднішній день технічний стан зернозбиральних комбайнів в Україні характеризується:

- великим зношенням парку техніки: середній вік зернозбиральних комбайнів становить 15-20 років, що значно перевищує термін їх ефективної експлуатації;
- низьким рівнем оновлення техніки: через фінансові обмеження аграрні підприємства часто використовують комбайни, які потребують інтенсивного технічного обслуговування;
- недостатньою якістю обслуговування: відсутність сучасних методів діагностики та кваліфікованих спеціалістів у сільськогосподарських регіонах негативно впливає на ефективність ТО;
- проблемою доступу до запасних частин: оригінальні запчастини мають високу вартість, що спонукає аграріїв використовувати неоригінальні аналоги.

Таким чином, нинішній стан технічного обслуговування потребує модернізації на всіх рівнях: від технологічних процесів до інфраструктурного забезпечення.

1.2 Основні проблеми технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів

Аналізуючи сучасний стан, можна виділити такі ключові проблеми в системі технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів:

- застаріла матеріально-технічна база: стан ремонтних майстерень не відповідає сучасним вимогам технічного обслуговування;
- дефіцит кваліфікованих кадрів: відсутність підготовлених фахівців для проведення високоякісного діагностування та ремонту;
- недостатнє використання сучасних технологій: обмежене впровадження цифрових рішень, таких як сенсорні системи діагностики, IoT (Інтернет речей), моніторинг у режимі реального часу;
- Сезонний характер навантаження: у період жнив навантаження на технічне обслуговування зростає в декілька разів, що створює ризики простоїв техніки;
- Проблеми з логістикою запасних частин: довготривалі терміни поставки запасних частин та їх вартість значно ускладнюють оперативне обслуговування.

1.3 Перспективи розвитку технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів

З огляду на наявні проблеми, розвиток технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів має відбуватися в таких напрямках:

- Впровадження інноваційних технологій.

Системи дистанційного моніторингу та діагностики: використання GPS, IoT-сенсорів та спеціального програмного забезпечення для автоматизованого діагностування технічного стану комбайнів.

Предиктивне обслуговування (Predictive Maintenance): аналіз зібраних даних для прогнозування можливих відмов та планування ремонтів заздалегідь.

Використання дронів та безпілотних технологій: для контролю якості обслуговування на великих агропідприємствах.

- Оновлення матеріально-технічної бази.

Створення сучасних ремонтно-обслуговуючих центрів з використанням автоматизованих стендів, сучасних інструментів та обладнання.

Модернізація існуючих майстерень для виконання ремонтних робіт у польових умовах.

- Підготовка та підвищення кваліфікації кадрів.

Організація навчальних програм та тренінгів для механіків з технічного обслуговування.

Співпраця з виробниками зернозбиральних комбайнів для підготовки фахівців з обслуговування нових моделей техніки.

- Інфраструктурний розвиток та логістика.

Оптимізація логістики постачання запасних частин та витратних матеріалів шляхом організації регіональних центрів обслуговування.

Створення мобільних сервісних бригад для швидкого обслуговування в польових умовах.

- Фінансова підтримка оновлення парку техніки.

Запровадження державних програм підтримки оновлення сільськогосподарської техніки.

Створення лізингових схем та програм кредитування для придбання сучасних комбайнів.

1.4 Висновки до розділу

Сучасний стан технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів вимагає комплексного підходу до його модернізації. Основні перспективи розвитку полягають у впровадженні інноваційних технологій, оновленні інфраструктури обслуговування та підготовці кваліфікованих фахівців. Розвиток цієї галузі є критично важливим для забезпечення ефективності аграрного сектору України та досягнення високих показників урожайності.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ СТРУКТУРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Комбінована система моніторингу несправностей комбайнів, що базується на комплексній експлуатації та технічному обслуговуванні, включала промисловий комп'ютер Senke SK-15GB, модуль збору даних Advantech (ADVANTECH) USB-4761, датчик швидкості SPH-318, датчик динамічного крутного моменту ТУНС/Tianyu Hengchuang CYT-302, промисловий звуковий і світловий сигналізатор Hangua YS-BJ02, і т.п. Серед них датчик швидкості SPH-318 мав точність менше 1%, лінійність менше 0,1%, відстань виявлення 0,5...3 мм і частоту відгуку 10 кГц. Динамічний датчик крутного моменту мав точність $\pm 0,3\%$ в діапазоні температур навколишнього середовища $-20\sim 60$ °C, діапазон крутного моменту 0~1000 Нм, частота відгуку 3 мс. Структура модуля діагностики та моніторингу несправностей зернозбирального комбайна показана на рис. 2.1.

Система діагностики несправностей комбайна в основному складалася з модуля збору даних і модуля діагностики несправностей. Зокрема, модуль збору даних в основному використовував датчики для збору інформації, такої як зміни швидкості і крутного моменту під час роботи комбайна, а також зберігав і обробляв зібрану інформацію; модуль діагностики несправностей в основному порівнював зібраний сигнал з нормальним сигналом шляхом вилучення характеристик сигналу, реалізовував автоматичну діагностику несправностей і виводив результат діагностики. Структура діагностики несправностей показана на рис. 2.2.

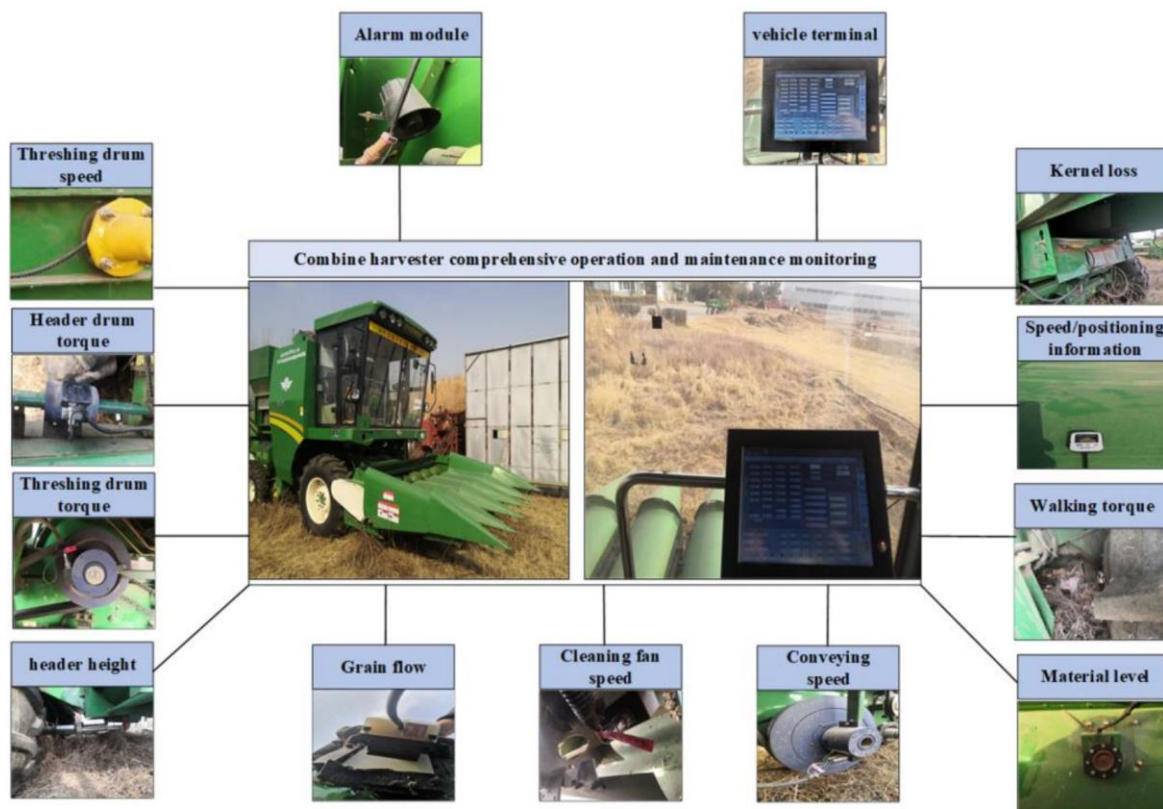


Рис. 2.1. Структура системи діагностики та моніторингу несправностей зернозбирального комбайна.

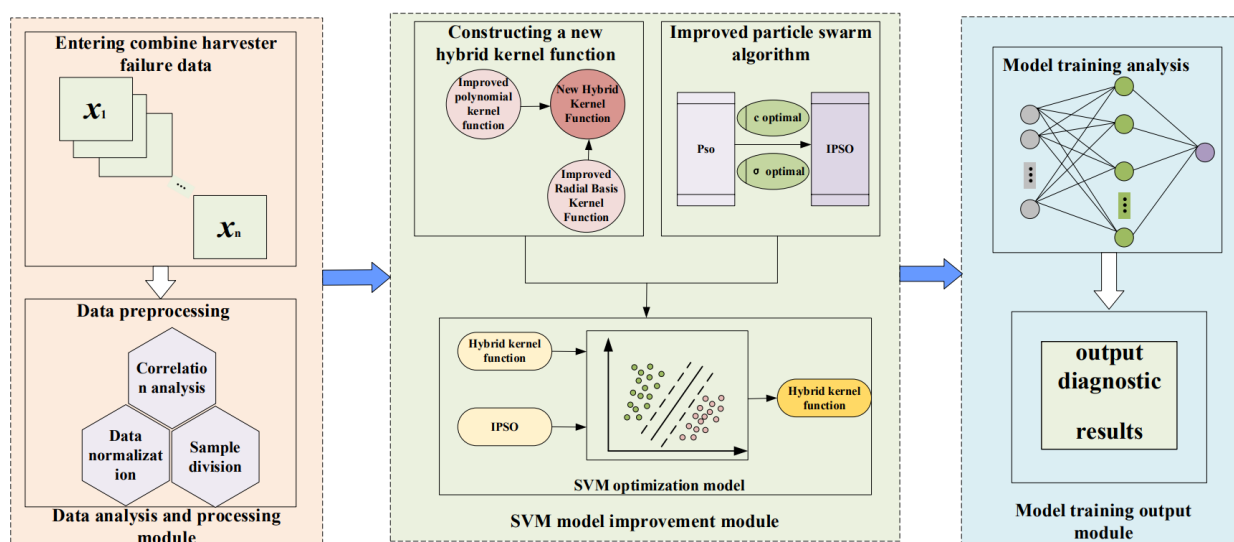


Рис. 2.2. Структурна схема діагностики несправностей зернозбирального комбайна.

Інформація про несправності є основою діагностики несправностей, а комплексна експлуатація та технічне обслуговування є метою діагностики

несправностей. Це включає в себе клієнт користувача сільськогосподарської техніки, сервер технічного персоналу, термінал транспортного засобу, збір та експлуатацію інформації, а також платформу технічного обслуговування.

Що стосується попиту на послуги, то користувачі сільськогосподарської техніки в основному використовують APP для надсилання запитів на технічне обслуговування, резервування планів технічного обслуговування та перевірки інструкцій з технічного обслуговування на платформі експлуатації та обслуговування. Обслуговуючий персонал – це технічні спеціалісти компаній, що надають послуги з експлуатації та технічного обслуговування сільськогосподарської техніки, які надають послуги з технічного обслуговування комбайнів за принципом "від дверей до дверей", а також отримують та надсилають інструкції з технічного обслуговування.

Як бортовий комп'ютер сільськогосподарської техніки, бортовий термінал може переглядати робочі параметри, інформацію про позиціонування та інформацію про в режимі реального часу. Інформація, зібрана на комбайні, використовується для моніторингу та відправки інформації про ключові компоненти комбайна за допомогою встановлення датчиків.

Комплексна платформа експлуатації та технічного обслуговування надає прикладні послуги постачальникам послуг, персоналу з експлуатації та технічного обслуговування, а також користувачам сільськогосподарської техніки на виробничих підприємствах у вигляді веб-додатків, доступ до яких можна отримати через браузер. Таким чином, інформація про експлуатацію та технічне обслуговування може бути отримана та надіслана сільськогосподарським користувачам та технічним спеціалістам керівництвом в режимі реального часу.

Модель діагностики несправностей є основою діагностики несправностей комбайнів. Зібрані дані моніторингу та дані про робочий стан кожного модуля комбайна визначаються за допомогою моделі діагностики несправностей для визначення типу несправності. Статистика інформації про несправності

використовується для реалізації взаємодії з користувачами системи управління експлуатацією та технічним обслуговуванням, реалізації функцій статистики інформації про несправності, управління, відображення, сигналізації тощо, а також для надання таких послуг, як статистика несправностей та запити. Загальна архітектура експлуатації та технічного обслуговування комбайна показана на рис. 2.3.

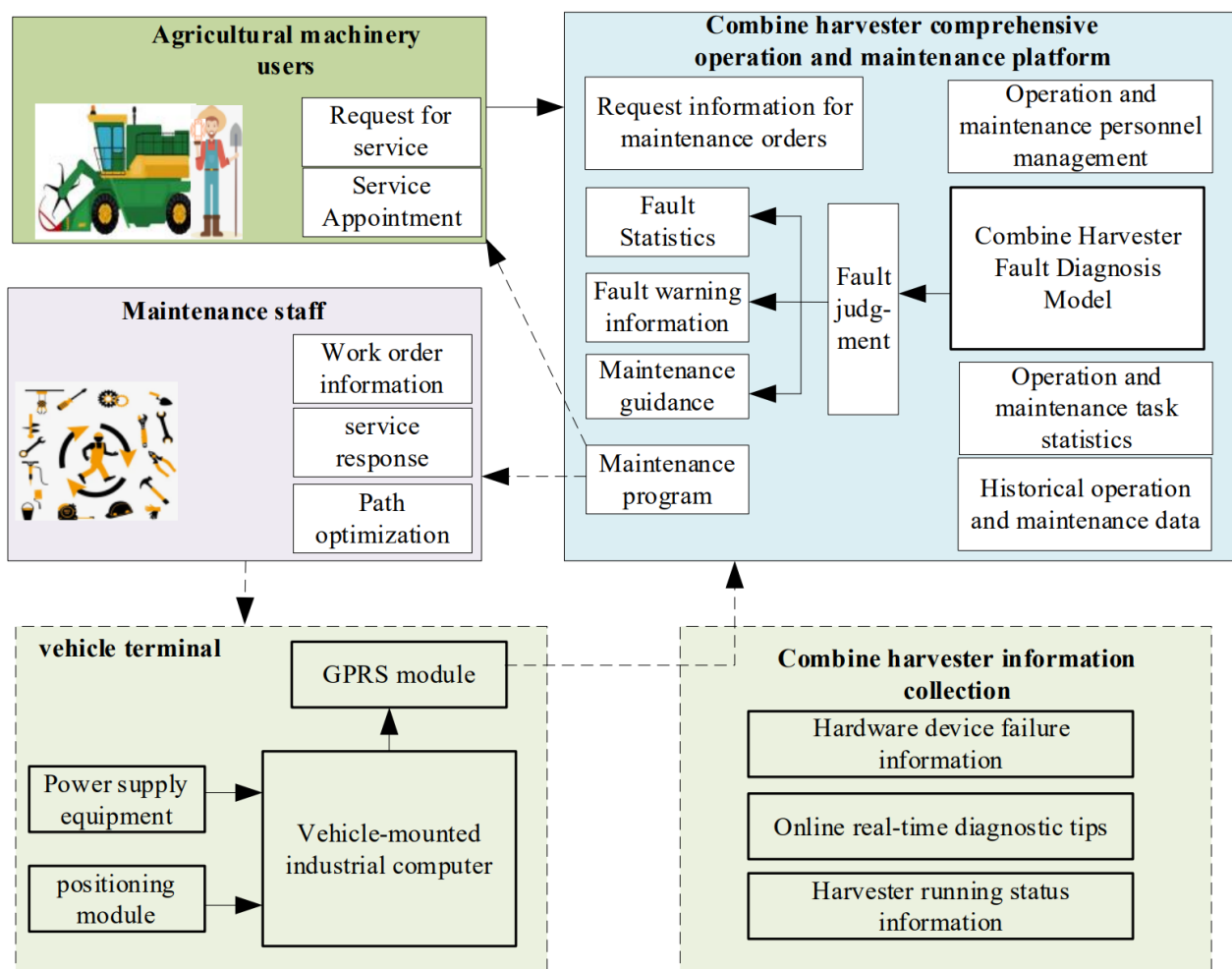


Рис. 2.3. Загальна схема експлуатації та обслуговування зернозбирального комбайна.

РОЗДІЛ 3

ПРИНЦИП ТА ПРОЦЕС РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ ДІАГНОСТИКИ НЕСПРАВНОСТЕЙ

SVM – це алгоритм машинного навчання, заснований на принципі мінімізації структурного ризику, який вперше був використаний у розпізнаванні образів. SVM має високі показники узагальнення при вирішенні задач діагностики несправностей з невеликою кількістю зразків, тоді як проблема діагностики несправностей в процесі експлуатації зернозбиральних комбайнів полягає в нестачі зразків несправностей. Тому SVM було обрано як алгоритм класифікації несправностей у реальній ситуації з невеликою кількістю зразків несправностей зернозбиральних комбайнів.

Основна ідея побудови нелінійної SVM-моделі полягає у відображенні вхідного вектора $x \in R_n$ у високорозмірний простір ознак F за допомогою попередньо обраної нелінійної функції відображення та створенні оптимальної гіперплощини класифікації у цьому високорозмірному просторі ознак F . Як показано на рис. 1.3, припускається, що заданий набір даних має вигляд $\{x_i, y_i\}$, $i = 1, 2, \dots, N$, $y_i \in \{-1, +1\}$, $x_i \in R_d$, трикутниками та хрестиками на площині, відповідно, позначено дві вибірки, які потрібно класифікувати.

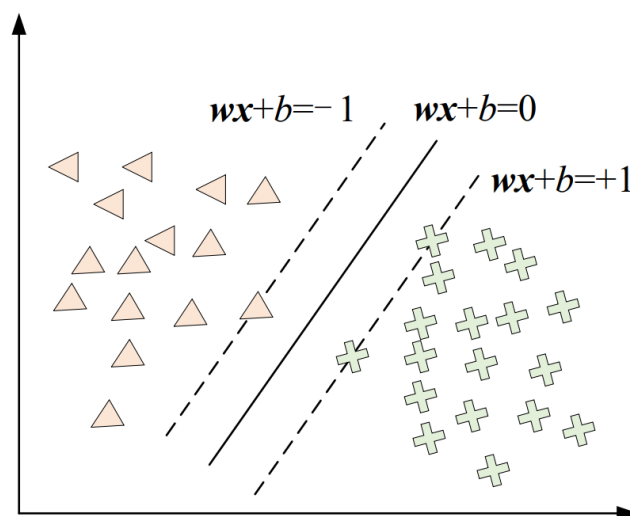


Рис. 3.1. SVM модель.

Функція рішення оптимальної класифікаційної гіперплощини має наступний вигляд:

$$y = \text{sgn}[(w \cdot x) + b]. \quad (3.1)$$

У формулі: $\text{sgn}(-)$ - символічна функція, w – ваговий вектор, x – вхідний вектор, b – константа.

Після того, як дані відображені у високорозмірний простір ознак за допомогою нелінійної функції відображення $\varphi(x)$, функція рішення класифікації має вигляд:

$$y = \text{sgn}[(w \cdot \varphi(x)) + b]. \quad (3.2)$$

Обмеженнями є:

$$y_i [(w \cdot \varphi(x_i)) + b] - 1 \geq 0; i = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

x_i відноситься до i -х навчальних даних, $y_i = \pm 1$.

Відповідно до теорії розмірності VC, для мінімізації структурного ризику за вищезазначених обмежень математичний процес можна виразити у вигляді наступної задачі квадратичного програмування:

$$\min \phi(w) = w \cdot w^T / 2 \quad (3.4)$$

Введемо змінну слабкості $\xi_i \geq 0$. Якщо вибірка точно класифікована, то $\xi_i = 0$, інакше $\xi_i > 0$. Рівняння (3) набуває вигляду:

$$y_i [(w \cdot \varphi(x_i)) + b] - 1 + \xi_i \geq 0 \quad (3.5)$$

Гіперплощина класифікації повинна максимізувати мінімальну відстань між двома типами зразків і гіперплощиною, тому оптимізована цільова функція виглядає наступним чином:

$$\max W(\alpha) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n a_j - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j y_i y_j (x_i, x_j) \quad (3.6)$$

У рівнянні (6) штрафний коефіцієнт C представляє ступінь покарання за неправильно класифіковані зразки. У процесі мінімізації використовуються множники Лагранжа та методи оптимізації квадратичного програмування, а перетворена двоїста задача має вигляд

$$\max W(\alpha) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n a_j - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j y_i y_j (x_i, x_j) \quad (3.7)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^n a_i y_i = 0, 0 \leq a_i \leq C (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.9)$$

У формулі I - кількість опорних векторів. Для нелінійних задач необхідно відобразити дані у вимірний простір ознак за допомогою нелінійного відображення. Припускаючи, що функція ядра $K(x_i, x)$ є нелінійною функцією відображення, функція рішення для:

$$f(x) = \text{sgn} \left(\sum_{i=1}^I y_i a_i K(x_i, x) + b \right) \quad (3.10)$$

Оскільки радіально-базисна функція ядра (RBF) потребує визначення лише одного параметра, що є вигідним для оптимізації параметрів, RBF обрано як функцію ядра в цій роботі:

$$K(x_i, x) = \exp - \frac{x - x_i^2}{\sigma^2} \quad (3.11)$$

де σ – параметр функції ядра.

Показано, що штрафний параметр c і параметр функції ядра σ є основними факторами, які впливають на продуктивність SVM. Для отримання кращої узагальнюючої здатності SVM використано алгоритм рою частинок на основі глобальної оптимізації для знаходження оптимальних параметрів штрафної функції та параметрів функції ядра.

Алгоритм оптимізації рою частинок – це алгоритм глобального пошуку, що походить від алгоритму пошуку їжі для пташиних зграй. Метод пошуку "швидкість- позиція", прийнятий в POS, розглядає частинки як точки, що мають тільки швидкість і положення, ігноруючи вплив їх маси і об'єму. Завдяки своїй простій концепції і швидкій збіжності, він успішно застосовується в багатьох областях [1]. Основна ідея полягає в тому, що кожна частинка летить з певною швидкістю в D-вимірному просторі пошуку, а її власна швидкість і оптимальне положення динамічно коригуються функцією пристосованості, індивідуальним досвідом польоту частинки та досвідом польоту інших частинок, щоб отримати оптимальний розв'язок оптимізаційної задачі.

Стандартний алгоритм PSO лінійно зменшує інерційну вагу w під час роботи. В цей час розмір кроку пошуку стає меншим, і ітерація поступово наближається до екстремальної точки. Однак, лише лінійно зменшуючи w , алгоритму буде важко вискочити з неї, як тільки він увійде в околицю локального екстремального значення, що ускладнить глобальну оптимізацію. Щоб вирішити цю проблему, в ітераційному процесі здатність до глобального

пошуку та здатність до локального пошуку в процесі оптимізації можна збалансувати за допомогою нелінійного зменшення параметра W . Вагу інерції w покращують наступним чином:

$$w = \frac{s_{\max}^2 w_{\max} - (w_{\max} - w_{\min}) \times s_{\max}^2 s^2}{s_{\max}^2} \quad (3.12)$$

де: $w_{\max}$ – початкова інерційна вага, $w_{\min}$ – кінцева інерційна вага, s – поточна кількість ітерацій, $s_{\max}$ – максимальна кількість ітерацій.

Алгоритм оптимізації PSO-SVM широко використовувався в діагностиці несправностей зернозбиральних комбайнів, але після багатьох експериментів було виявлено, що частинки в алгоритмі оптимізації PSO-SVM схильні до явища "передчасності", тобто в процесі класифікації та діагностики несправностей частинки будуть збиратися в певному положенні. Процес реалізації IPSO-SVM показано на рис. 3.2.

За допомогою алгоритму IPSO 1 отримують оптимальні значення штрафного параметра c та параметра функції ядра σ , що мінімізують похибку ШНМ, які використовуються для навчання ШНМ та прогнозування класифікації.

Алгоритм 1 Кроки:

Крок 1: Штрафний параметр c та параметр ядра σ SVM використовуються як змінні, що оптимізуються, і виконується реальне кодування.

Крок 2: У d -вимірному просторі параметрів випадковим чином ініціалізуються m частинок, визначаються їхні положення та швидкості, тобто визначаються параметри SVM, і вибираються певні входні вибірки для побудови SVM-моделі.

Крок 3: Визначається, чи виконується умова припинення. Якщо так, то виводиться оптимальна особина, якій присвоюється штрафний параметр c та параметр ядра σ SVM.

Крок 4: Якщо він не підходив, SVM навчали обчислювати та оцінювати значення придатності частинок. Після того, як умова суспензії виконана, оптимальні параметри виводяться і класифікуються.

Крок 5: Якщо оптимальні параметри не виводяться, швидкість і положення частинок будуть ітеративно шукатися і оновлюватися, ШНМ буде перенавчатися, і придатність частинок буде оцінюватися повторно. Після того, як умови суспензії будуть виконані, оптимальні параметри будуть виведені і класифіковані; в іншому випадку швидкість і положення частинок будуть ітеративно перебиратися і оновлюватися весь час.

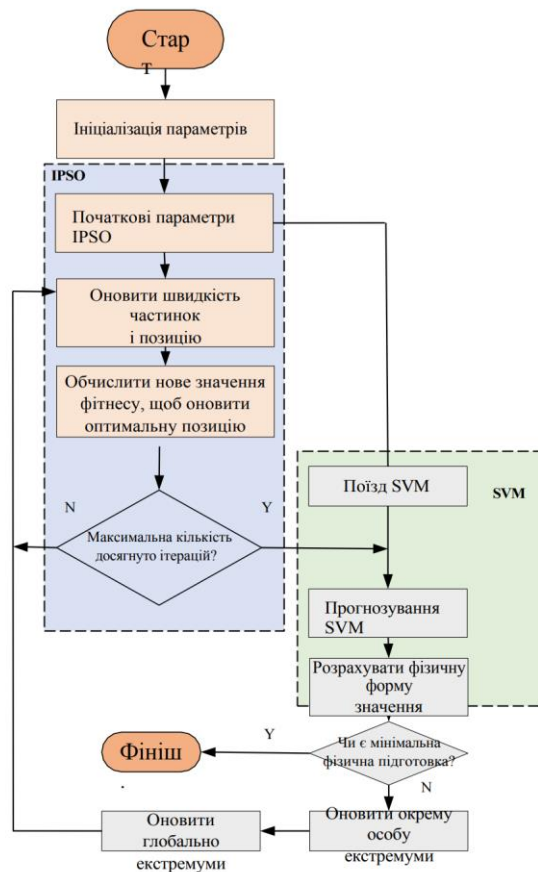


Рис. 3.2. Блок-схема діагностики несправностей IPSO-SVM.

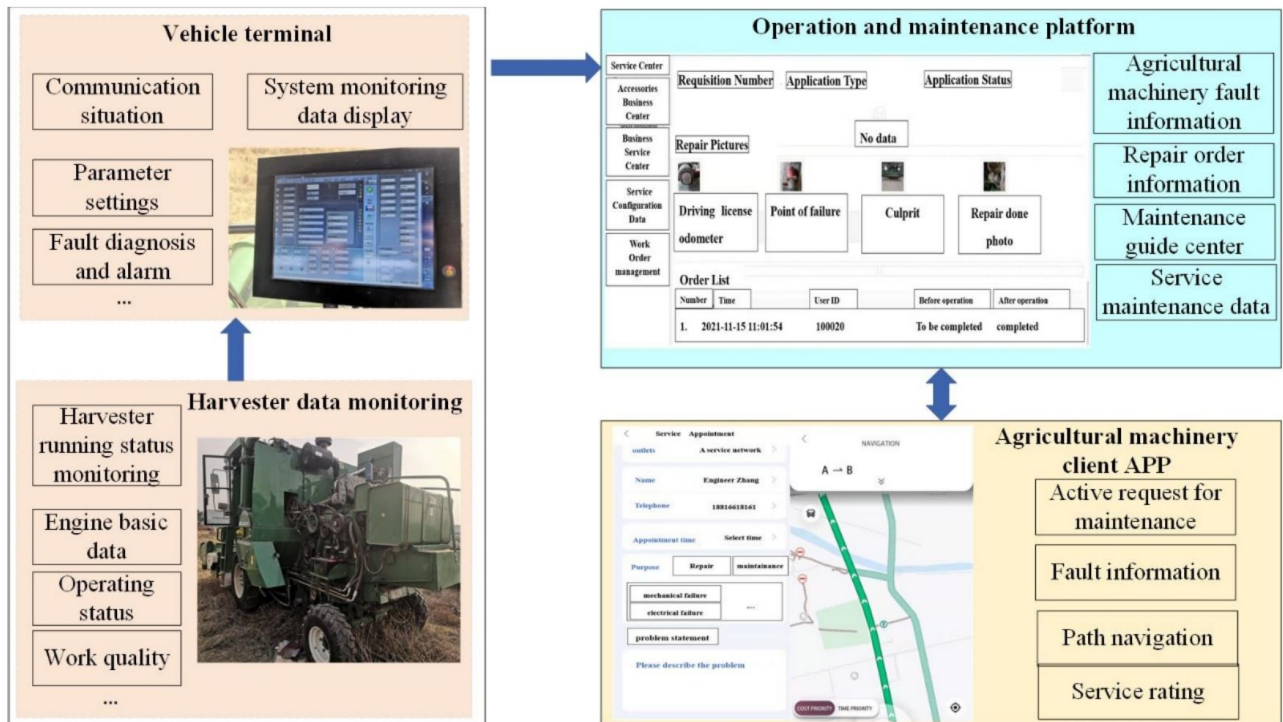


Рис. 3.3. Загальна схема системи експлуатації та обслуговування.

Рівень сприйняття: датчик був встановлений на об'єкті моніторингу зернозбирального комбайна для моніторингу стану роботи, якості роботи, статусу роботи та інших даних комбайна.

Мережевий рівень: Платформа експлуатації та технічного обслуговування сільськогосподарської техніки була розгорнута в центрі надання послуг підприємств сільськогосподарського машинобудування, включаючи систему баз даних oracle, операційне середовище JRE та обладнання для контролю безпеки. Як показано на Рисунку 7, платформа була надана у вигляді прикладної системи B/S і реалізована за допомогою багаторівневої ієрархічної структури, яка в основному включала: управління замовленнями на обслуговування, управління мережею технічного обслуговування, управління роботою персоналу з технічного обслуговування, управління звітністю користувачів сільськогосподарської техніки, завантаження даних про експлуатацію та технічне обслуговування, автоматичне управління інструкціями з технічного обслуговування, а також модулі імпорту та експорту даних.

No	Code	Provider name	Personnel ID	Staff ID	Personnel name	Number	Role	Level	Time	State	Creator	Begin Time	Modified	Operation
1	106108	Anyang Agricultural Machinery Co., Ltd.	1499529776864	106108	ZHANG	15100000001	Provider	3	2022-03-04	Enable	WU	2022-03-04 07:38:53	WU	Change records
2	106157	Luoyang Agricultural Machinery Co., Ltd.	149935216877	106157	ZHANG	15100000002	Provider	1	2022-03-03	Enable	QIU	2022-03-03 16:51:32	QIU	Change records
3	106340	Qingdao Agricultural Machinery Co., Ltd.	149246533212	106340	ZHANG	15100000003	Provider	3	2022-03-01	Enable	CHI	2022-03-01 11:38:03	CHI	Change records

(a)

Requisition Number	Application type	Application time	Application status
No data			

Numbering	Operation time	Operating user	State before operation	State after operation	Remark
1	2021-11-15 11:01:54	100020	To be completed	Completed	
2	2021-11-15 10:49:50	Anyang Xinfengle Agricultural Machinery Co. LTD	Waiting list	Pending	

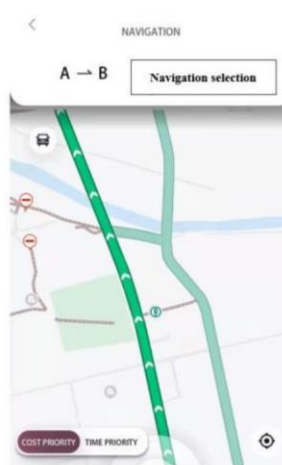
(b)

Рис. 3.4. Система управління інформацією платформи експлуатації та технічного обслуговування: (а) Управління інформацією про технічний персонал; (б) Історія замовлень на ремонт.

Система працює на основі сервісу, що надається оператором мобільного зв'язку. Термінал користувача сільськогосподарської техніки може активно звертатися до платформи для ремонту, отримання інформації про стан комбайна, перегляду сервісної мережі, планування маршрутів, оцінки сервісного обслуговування тощо, що було зручно для користувачів сільськогосподарської

техніки для розуміння стану комбайна в режимі реального часу і, в той же час, він може отримувати інформацію про платформу експлуатації та обслуговування і оптимальну програму технічного обслуговування. У поєднанні з результатами моніторингу та діагностики стану, а також самостійно обраними методами та часом обслуговування, він може взаємодіяти з інформацією платформи в режимі реального часу для отримання оптимальних планів обслуговування та надання технічних гарантій на експлуатацію, технічне обслуговування, капітальний ремонт та нагляд за обладнанням.

а)



б)

в)

Рис. 3.5. Функції ручного терміналу для користувачів сільськогосподарської техніки: (а) – звіт користувача про ремонт; (б) – планування маршруту обслуговування на СТО; (в) – оцінка сервісу після обслуговування.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБОВУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ

Для того, щоб перевірити продуктивність моделі в реальних умовах експлуатації, у вересні 2024 року Житомирському районі було проведено випробування комбінованого механізму збирання врожаю, як показано на рисунку 9. Тестовою моделлю є кукурудзозбиральний комбайн Wuzheng 4YZP-4X, сорт R1377, співвідношення зерна до незернової маси 1,06, вологість зерна 23,7%, вологість стебел 32,4%. Ширина захвату комбайна становить 4,75 м, а швидкість подачі – 6 кг/год. Через непередбачуваність і нечасте виникнення природних відмов, під час випробувань було застосовано ручне втручання, що призвело до конкретних відмов комбайна, відповідно до дорожньої карти трансмісії та ситуації з відмовами комбайна. Відповідно до GB/T 8097-2008 "Метод випробування комбайнів для збиральної техніки" було досліджено продуктивність розробленої моделі IPSO-SVM, а також В якості тестового показника було обрано точність ідентифікації несправностей.

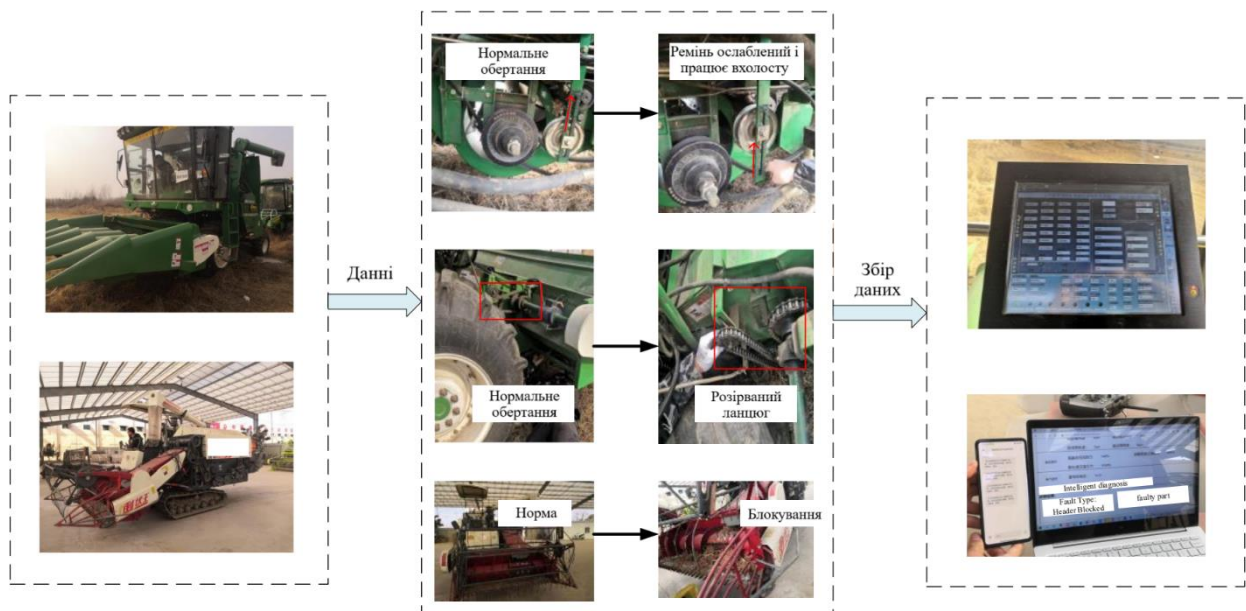


Рис. 4.1. Діагностика несправностей та моніторинговий тест зернозбирального комбайна.

За допомогою системи збору даних була зібрана інформація про основні робочі органи комбайна в полі, в основному включаючи швидкість подавального шнека, швидкість ланцюгового транспортера, швидкість молотильного барабана, швидкість вентилятора і швидкість тягового органу. У таблиці 1 наведені робочі дані під час експерименту з відмовами.

Таблиця 4.1. – Зібрані дані задач діагностики несправностей.

Номер	Швидкість подачі шнека (об/хв ⁻¹)	Швидкість обертання вентилятора (об/хв ⁻¹)	Швидкість руху ланцюгового конвеєра (об/хв ⁻¹)	Частота обертання молотильного барабана (об/хв ⁻¹)	Швидкість кроку (об/хв ⁻¹)
1	247,79	1544,45	559,72	748,91	174,78
2	244,59	1485,25	581,22	758,44	174,18
3	259,48	1497,25	545,44	749,45	174,78
4	242,75	1280,44	521,45	759,44	175,18
5	241,44	1752,15	529,12	744,52	175,78
6	248,74	1445,95	545,18	759,74	171,18
7	247,24	1499,17	547,75	724,97	177,78
8	141,19	1544,45	159,71	147,18	48,24
9	85,81	1544,45	77,12	0	14,28
10	41,22	1544,45	0	0	24,57
11	241,18	1507,44	544,18	755,84	177,15
12	249,94	1518,75	545,18	721,07	177,71
13	258,49	1529,54	541,75	747,44	177,07
14	244,24	1540,14	554,98	751,54	177,54
15	245,57	1551,74	524,41	748,22	177,99
16	240,44	1572,47	545,18	725,24	178,45
17	41,22	1521,45	0	0	24,85
18	245,81	1584,75	527,98	742,48	179,47
19	244,44	1495,28	571,78	747,44	179,84
20	242,82	1707,54	541,14	742,82	180,29

Через втручання системи в тест, зібрані сирі дані про швидкість мали 0 значень, аномальні значення та відсутні значення, тому необхідно було попередньо обробити дані тестові дані. Якщо всі атрибути у вибірці дорівнювали 0, вибірка видалялася; для викидів, що перевищували максимальну швидкість відповідної деталі, вони замінювалися лінійною інтерполяцією; для пропущених значень заповнювалися сплайн- інтерполяцією. Зібрані дані були розділені на п'ять типів вибірок несправностей. Після попередньої обробки даних було отримано загалом 2700 вибірок, включаючи 1650 вибірок нормальної роботи комбайнів, 178 вибірок засмічення подавального шнека, 163 вибірок засмічення вентилятора, 229 вибірок засмічення граблин конвеєра, 180 вибірок засмічення молотильного барабана та 300 вибірок прослизання скребкової стрічки.

Розподіл даних показано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розподіл кількості навчальних та тестових наборів.

Подача	Всього	Нормал.	Шнек для забито	Вентилятор	Конвеєрний ланцюг	Молотьба Барабан засмічений	Скребок Ремінь ослаблений
				Невдача.	Граблі засмічені		
Навчальний набір	2000	1450	150	128	186	140	248
Тестовий набір	700	300	38	37	45	40	54

Для шести типів даних було зібрано по 100 груп зразків для кожної категорії, і загалом було відібрано 600 зразків. Потім вони були випадковим чином розділені на дві частини, 60 з кожного типу даних були відібрані як навчальні вибірки, а решта 40 - як тестові вибірки, і нормалізовані. Було встановлено п'ять основних типів даних про несправності комбайнів, а для збору та тестування було обрано шість типів даних, а саме: зламаний ланцюг приводу шнека, зламаний відривний барабан, зламаний скребок, зламаний ланцюг трансмісії та ланцюг приводу граблів, а ремінь шківа вентилятора був вільним та нормальним.

Для діагностики несправностей були відібрані вибіркові дані, зібрані за допомогою інформації про несправності водного комбайна в програмному забезпеченні Matlab R2018a. Всього було відібрано 300 зразків, які були випадковим чином розділені на дві частини, з яких 30 зразків були обрані як навчальні, а решта 20 зразків - як тестові. З рисунку 10 видно, що діагностичні помилки в основному виникали для другого-шостого типів несправностей. Серед них помилки діагностики класифікатора IPSO-SVM траплялися тричі, відповідно, одна помилка даних другого типу несправності була помилково віднесена до третього типу, одна помилка даних третього типу несправності була помилково віднесена до четвертого типу, і одна помилка даних п'ятого типу несправності була помилково віднесена до шостої категорії, що в основному покращило точність діагностики четвертої та шостої категорій несправностей порівняно з класифікаторами GA-SVM і PSO-SVM.

Результати тестування моделі IPSO-SVM на тестовому наборі експериментальних даних наведені в таблиці 4.3. Два зразки засмічення подавального шнека були помилково сприйняті як засмічення молотильного барабана, а одна поломка вентилятора була сприйнята як засмічення граблин ланцюгового конвеєра. Причиною помилки ідентифікації було те, що подавальний шнек і відбійний барабан належали до однієї і тієї ж трансмісійної конструкції, а вентилятор і граблини – до однієї і тієї ж пасової трансмісії.

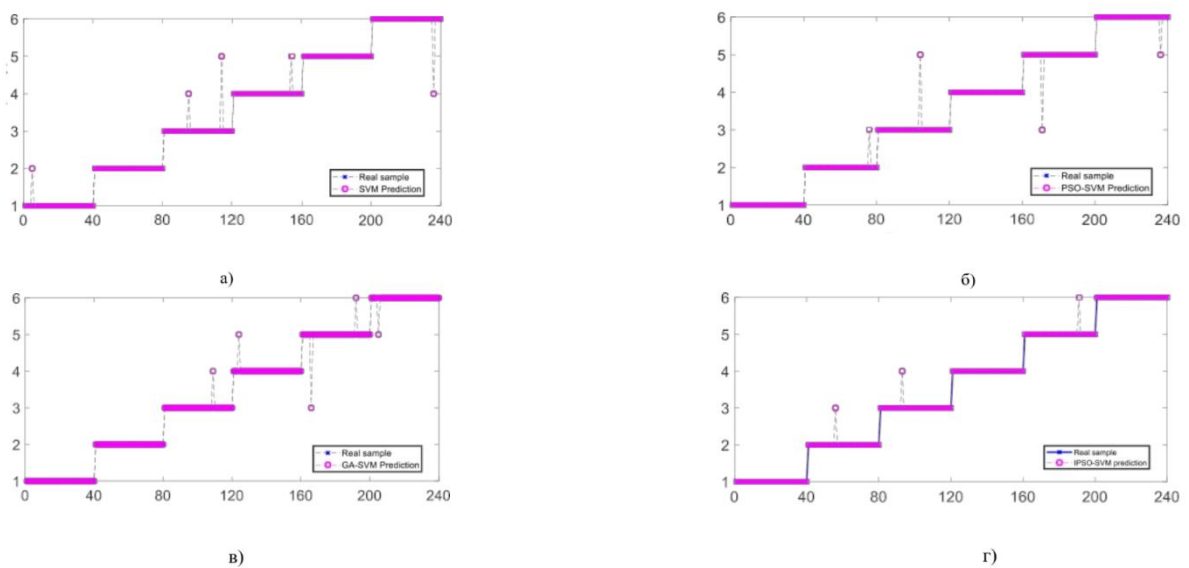


Рис. 4.2. Результати класифікації чотирьох класифікаторів відмов зернозбиральних комбайнів. (а) Результат діагностики SVM, (б) результат діагностики PSO-SVM, (в) результат діагностики GA-SVM та (г) результат діагностики IPSO-SVM.

Таблиця 4.3 – Результати ідентифікації несправностей моделлю IPSO-SVM на даних тестового набору.

Несправності в роботі	Кількість Зразки	Кількість Правильна класифікація	Кількість Класифікація помилок	Точність Ставка/%
Нормально.	365	365	0	100
Шнек подачі засмічений	56	54	0	96.37
Несправність вентилятора	38	37	1	97.32
Засмічення ланцюгових граблин конвеєра	26	26	0	100
Молотильний барабан засмічений	18	17	1	94.12
Скребкова стрічка ослаблена	73	73	0	100
Середня точність розпізнавання		98.97		

Результати експерименту показали, що середня швидкість розпізнавання системи склала 97,96%. Серед них коефіцієнт розпізнавання несправностей молотильного барабана склав лише 94,11%, що в основному було пов'язано з прискореним підйомом і раптовим зниженням оборотів двигуна комбайна під час процесу збору даних і процесом холостого ходу швидкості молотильного барабана, що призводило до нечіткого судження. Для вентилятора та подавального шнека показники розпізнавання становили 97,30% та 96,36% відповідно. Вентилятор приводився в дію шківом вентилятора, а подаючий шнек - проміжним валом жатки, відносно незалежним.

Точність класифікації була обрана як показник оцінки ефективності, і чотири методи SVM, PSO-SVM, GA-SVM та IPSO-SVM були використані для класифікації несправностей обраного набору даних. Параметр m було встановлено рівним 20, максимальне значення ваги інерції w - 1.40, мінімальне значення w - 0.4, параметр прискорення $c1$ - 1.6, $c2$ - 1.8, кількість ітерацій X - 4, Y - 6, покращені параметри оптимізації IPSO були кращими, ніж у алгоритму PSO, а результати оптимізації IPSO були найкращими. Коли оптимальні параметри c і σ становили 3,281 і 0,407 відповідно, модель IPSO-SVM мала найкращу продуктивність, а точність розпізнавання становила 97,96%, що краще, ніж у моделі PSO-SVM.

У цьому дослідженні для класифікації несправностей вибраного набору даних було використано SVM, PSO-SVM, GA-SVM та IPSO-SVM. Для забезпечення точності експериментальних результатів для експерименту було відібрано 2700 вибірок даних.

Розроблена система діагностики несправностей комбайнів та дистанційної експлуатації та обслуговування, а також проведена діагностика несправностей роботи комбайна. У той же час, на основі інтелектуального сільськогосподарського сценарію, була розроблена комплексна платформа експлуатації та обслуговування зернозбиральних комбайнів, а також реалізований метод експлуатації та обслуговування сходового типу на основі

технології діагностики несправностей, включаючи поштовх обслуговування несправностей і т.д., щоб забезпечити основу для подальшого розвитку комплексної технології експлуатації та обслуговування зернозбиральних комбайнів.

З огляду на запропонований у цій статті метод діагностики несправностей, заснований на розробленому датчику швидкості для системи моніторингу та збору даних про роботу комбайна, перевірка застосування та порівняльний аналіз були проведені за допомогою набору даних, що ефективно підвищило точність діагностики несправностей зернозбирального комбайна, а також покращило метод. Однак є деякі проблеми, такі як: в процесі діагностики тип несправності був неправильно оцінений, а проблеми відділення від барабана і шнека були помилково оцінені як один і той же тип несправності. Основна проблема полягала в тому, що враховувався лише один фактор.

Оскільки трансмісійна структура комбайна була з'єднана, в майбутньому процесі дослідження слід використовувати різноманітні датчики для вивчення проблем несправностей комбайна, а алгоритм машинного навчання може бути використаний для коригування типів даних моніторингу та вагового співвідношення для досягнення кращої дискримінації.

У цьому дослідженні було проведено проектування системи збору даних комбайна, проектування системи діагностики несправностей та побудову комплексної платформи експлуатації та обслуговування комбайна. На основі технології повного циклу експлуатації та технічного обслуговування зернозбирального комбайна подальші дослідники можуть в основному здійснювати передачу інформації про несправності, розподіл та планування ресурсів обслуговування та технічного обслуговування, що буде найважливішою частиною майбутніх досліджень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Метою цього дослідження було створення системи діагностики несправностей зернозбиральних комбайнів, а також розробка платформи з експлуатації та технічного обслуговування для передачі інформації в центр управління виробника в режимі реального часу, щоб заздалегідь забезпечити надійні заходи з технічного обслуговування для операторів сільськогосподарської техніки, точно діагностувати несправності зернозбиральних комбайнів, швидко надсилати інформацію про несправності та надавати плани технічного обслуговування користувачам сільськогосподарської техніки.

SVM-класифікатор широко використовується в дослідженнях діагностики несправностей, але його точність класифікації значною мірою пов'язана з вибором параметра c та параметра функції ядра g . У цій роботі вдосконалений алгоритм рою частинок для оптимізації штрафного коефіцієнта SVM та ширини функції ядра. В удосконаленому алгоритмі вагу інерції поступово зменшували на кожній ітерації, щоб збалансувати здатність до глобального пошуку та здатність до локального пошуку популяції. Кінцевий показник діагностики несправностей IPSO-SVM склав 95,58%. Алгоритм IPSO-SVM підвищив точність прогнозування несправностей зернозбиральних комбайнів, а ефективність алгоритму була перевірена на практиці.

На основі комплексної платформи системи експлуатації та технічного обслуговування методу діагностики несправностей кукурудзозбирального комбайна було проведено моделювання та порівняння IPSO-SVM з SVM, GA-SVM та PSO-SVM.

Верифікація показала, що точність прогнозування несправностей зернозбирального комбайна була покращена і був розроблений новий метод для дослідження діагностики несправностей зернозбирального комбайна. Однак ми

використовували лише штучні несправності для імітації польових умов. У порівнянні з польовими операціями може бути певна похибка точності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вовк О.С., Бондаренко А.М. Технічний сервіс машин у сільськогосподарському виробництві: навч. посіб. Харків: ХНАУ. 2019. 275 с.
2. Писаренко П.М. Ремонт сільськогосподарських машин і обладнання. Вінниця: Нова книга. 2016. 290 с.
3. Єременко В.І. Сільськогосподарські машини: будова, налаштування, обслуговування. Київ: Вища школа. 2020. 400 с.
4. Мороз О.Г. Технічна експлуатація машин і обладнання АПК. Полтава: РВЦ ПДАА. 2017. 318 с.
5. Чернов О.І., Гаврилюк В.М. Діагностика та технічне обслуговування комбайнів: навч. посіб. Одеса: ОНАХТ. 2020. 265 с.
6. Степаненко І.Л., Ковальчук А.В. Сучасні технології ремонту машин і обладнання. Львів: ЛНАУ. 2019. 282 с.
7. Трегубов В.І., Гончаренко І.А. Організація технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. Харків: Колегіум. 2017. 324 с.
8. Кузьменко В.О. Розробка і впровадження новітніх методів ТО сільгоспмашин. Київ: Аграрна освіта. 2021. 300 с.
9. Бойко А.І., Захарченко І.В. Поточний ремонт сільськогосподарської техніки. Вінниця: Нова книга. 2018. 250 с.
10. Грінченко І.П., Лапін В.В. Експлуатаційна надійність та діагностика машин. Суми: СумДУ. 2016. 275 с.
11. Мінаєв О.О. Основи організації технічного сервісу машин. Київ: Освіта України. 2020. 243 с.
12. Мельник В.Ф. Зернозбиральні комбайни: конструкція, ремонт та обслуговування. Тернопіль: Економічна думка. 2019. 320 с.
13. Петров О.М., Самойленко Ю.В. Сучасні технології технічного обслуговування комбайнів. Дніпро: ДДАЕУ. 2018. 290 с.

14. Жук Г.Л., Коваленко П.П. Ефективне використання та ремонт зернозбиральної техніки. Житомир: Полісся. 2017. 305 с.
15. Смірнов М.І. Ресурсозбереження в технічному обслуговуванні сільськогосподарських машин. Київ: Аграрна наука. 2021. 270 с.
16. Дорошенко Л.А., Чумак В.М. Відновлення деталей машин у сільському господарстві. Харків: Міськдрук. 2016. 298 с.
17. Грищук П.О. Методи та засоби діагностування машин АПК. Черкаси: ЧДТУ. 2020. 240 с.
18. Буркацький В.П. Сучасні системи ТО і ремонту комбайнів. Львів: УкрНДІМ. 2019. 280 с.
19. Ковтун А.І. Надійність та довговічність сільськогосподарської техніки. Харків: ТОР. 2017. 210 с.
20. Мірошніченко В.В., Левченко О.П. Діагностика і технічний стан машин. Київ: Агроосвіта. 2018. 300 с.