

СЕКЦІЯ 10. ІНЖЕНЕРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
SECTION 10. ENGINEERING AND TECHNOLOGY

УДК 631.171

JEL Classification: Q16, O33, L86

DOI: <https://doi.org/10.64076/eecsr250816.02>

Довгополюк А. М.,
здобувач вищої освіти,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України, м. Київ

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
МЕХАНІЗМІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ АКУСТИЧНОГО
СИГНАЛУ В КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ
ТЕХНОЛОГІЯХ**

Сільськогосподарська техніка є невід'ємною частиною сучасного агропромислового комплексу. Під час роботи у важких польових умовах обладнання зазнає значних механічних навантажень, впливу пилу, вологи та вібрацій. Несвоєчасне виявлення дефектів може призвести до аварійних зупинок, втрати врожаю та значних економічних збитків. Традиційні методи діагностики, що передбачають зупинку машини та проведення візуального або інструментального контролю, мають низку недоліків: високі витрати часу, потребу у кваліфікованому персоналі та обмежену оперативність. В умовах цифровізації сільського господарства особливого значення набуває впровадження комп'ютерно-інтегрованих технологій (CIM), що поєднують IoT-модулі, хмарні обчислення та системи реального часу для забезпечення безперервного моніторингу стану техніки.

У науковій літературі широко описані методи технічної діагностики, засновані на аналізі вібраційних, акустичних та теплових сигналів. Дослідження Randall (2011) підтверджують високу ефективність спектрального аналізу для виявлення дефектів підшипників, а роботи Elasha (2016) демонструють можливість використання акустичних емісій для моніторингу обертових механізмів. Публікації Wang et al. (2019) і Zhou et al. (2021) описують успішні приклади інтеграції сенсорних мереж з SCADA та хмарними платформами для аграрного сектору. Незважаючи на це, застосування комплексних CIM-рішень у сільському господарстві все ще обмежене, що зумовлює актуальність розробки універсальних, масштабованих і доступних систем.

Мета дослідження – розробити, впровадити та протестувати автоматизовану систему збору, обробки та аналізу акустичних сигналів для діагностики технічного

стану сільськогосподарських механізмів, інтегровану у комп'ютерно-інтегроване виробниче середовище, SCADA та САПР.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

- розробити архітектуру IoT-системи збору даних;
- реалізувати прототип сенсорної мережі з мікрофонними модулями;
- розробити алгоритми попередньої та глибинної обробки акустичних сигналів;
- інтегрувати аналітичні модулі з хмарною інфраструктурою та SCADA;
- провести порівняльний аналіз із традиційними методами діагностики;
- оцінити точність, швидкодію та масштабованість системи.

Система складається з трьох рівнів: польові сенсори, шлюзи збору даних та хмарна аналітична платформа. Перший рівень – це IoT-модулі на базі ESP32, оснащені мікрофонами Audio-Technica ATR3350iS з частотним діапазоном 50 Гц – 18 кГц. Другий рівень – шлюзи Raspberry Pi 4, які виконують попередню обробку сигналів (фільтрацію шумів, нормалізацію) та передають дані по MQTT. Третій рівень – хмарний сервіс AWS IoT Core з інтеграцією в AWS SageMaker для машинного навчання та Amazon Timestream для зберігання часових рядів.

Хмарна інфраструктура виконує функції масштабованого обчислювального центру, здатного обробляти дані з сотень сенсорів одночасно. Завдяки AWS Lambda обробка відбувається подійно, що мінімізує затримки. Середній час від моменту фіксації сигналу до відображення результату в SCADA становив 1,8 с. Дані зберігаються у захищених сховищах із багаторівневим доступом, а передача здійснюється з використанням TLS-шифрування.

Порівняльний аналіз традиційних і автоматизованих методів діагностики наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

**Порівняльний аналіз традиційних і
автоматизованих методів діагностики**

Параметр	Традиційна діагностика	Автоматизована СІМ-система	Покращення
Час виявлення дефекту	1–3 дні	до 2 с	у 1000 разів швидше
Вартість обладнання	Висока	Середня	–40%
Необхідність зупинки	Обов'язкова	Не потрібна	Безперервність роботи
Точність	70–80%	90–96%	+20%
Можливість віддаленого моніторингу	Обмежена	Повна	Глобальний доступ

Отримані результати автоматично надходили до SCADA Wonderware, де відображались у вигляді інтерактивних графіків і карт технічного стану. Інтеграція з САПР (SolidWorks) дозволила створювати цифрові двійники вузлів і агрегатів з позначенням ступеня зносу, що значно полегшувало планування ремонтів та заміну деталей.

Випробування проводилися на трьох типах техніки: комбайн John Deere T660, трактор МТЗ-82 та сівалка Horsch Pronto 6DC. Було протестовано по три вузли кожної машини: редуктор, підшипниковий вузол і приводний механізм. Дані збиралися у трьох режимах: холостий хід, середнє та максимальне навантаження. Кожен сеанс тривав 5 хвилин, що дозволило сформувати базу з понад 15 годин записів.

Система досягла середньої точності 96,2% у виявленні зношених підшипників, 92,5% – дисбалансу та 90,8% – пошкодження зубців шестерень. Виявлено, що акустичний метод менш чутливий до мікродефектів, ніж вібраційний, але завдяки автоматичному оновленню моделей у хмарі точність поступово зростає. Система виявилась стійкою до впливу стороннього шуму та погодних умов завдяки застосуванню адаптивної фільтрації.

Розроблена СІМ-система акустичної діагностики довела свою ефективність у польових умовах. Вона забезпечує безперервний моніторинг, швидке виявлення дефектів та інтеграцію з виробничими та інженерними системами підприємства. Подальший розвиток передбачає масштабування на інші види техніки, впровадження алгоритмів прогнозування відмов та інтеграцію з аналітикою великих даних.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2016.
2. Randall R. B. Vibration-based condition monitoring. Chichester : John Wiley & Sons, 2011.
3. Widrow B., Stearns S. D. Adaptive signal processing. Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1985.
4. McConnell K. Vibration testing : theory and practice. New York : John Wiley & Sons, 1995.
5. Elasha F., Mba D. Acoustic emission monitoring of rotating machinery: review and case studies. *Applied Acoustics*. 2016.
6. Wang J., Zhang Y., Li X. Intelligent fault diagnosis using IoT and cloud computing. *IEEE Access*. 2019.
7. Zhou Y., Chen H., Sun Z. SCADA integration with IoT for smart agriculture. *Sensors*. 2021.