

УДК 621.313.333:621.317:631.3

Експрес-діагностика та моніторинг стану асинхронних двигунів обладнання сільськогосподарського призначення

Суковіцина І.М.

асистентка кафедри агроінженерії

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація. В умовах сучасного агропромислового виробництва асинхронні електродвигуни є основою приводних систем більшості технологічного обладнання. Їх експлуатація відбувається в складних умовах, зокрема за підвищеної запиленості, вологості, нестабільних режимів навантаження та електропостачання, що зумовлює зростання ризику виникнення прихованих дефектів і аварійних відмов. У роботі розглянуто проблему підвищення надійності асинхронних електродвигунів, що використовуються у сільськогосподарському виробництві. Запропоновано метод експрес-діагностики на основі аналізу струмів статора, спектральних характеристик та інтегрального діагностичного індексу. Наведено результати досліджень, які підтверджують ефективність методу для раннього виявлення дефектів.

Ключові слова: асинхронний двигун, діагностика, моніторинг, струм статора, спектральний аналіз, енергоефективність.

Метою дослідження є розробка та наукове обґрунтування методів експрес-діагностики і систем моніторингу технічного стану асинхронних двигунів сільськогосподарського призначення на основі аналізу електричних і вібраційних параметрів. У процесі дослідження проведено аналіз типових несправностей асинхронних двигунів у сільськогосподарських умовах експлуатації, досліджено інформативність діагностичних параметрів, зокрема струмів статора, спектральних характеристик, температурних режимів і вібрацій, а також встановлено залежності між змінами електричних параметрів і розвитком дефектів, таких як пошкодження обмоток, ексцентриситет і дефекти підшипників. Розроблено математичні моделі діагностичних ознак для експрес-оцінювання технічного стану, виконано експериментальні дослідження на реальних електроприводах аграрного обладнання та запропоновано структуру системи моніторингу з використанням цифрової обробки сигналів.

Запропонований метод експрес-діагностики базується на оперативному аналізі електричних параметрів двигуна без його зупинки з використанням цифрової обробки сигналів та інтегральних діагностичних показників. На першому етапі здійснюється збір даних шляхом вимірювання фазних струмів статора i_A, i_B, i_C , а також, за необхідності, напруги, вібрації та температури. Далі виконується попередня обробка сигналів, що включає фільтрацію, нормалізацію та виділення інформативних часових інтервалів.

На наступному етапі здійснюється розрахунок діагностичних параметрів, зокрема діючого значення струму:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}, \quad (1)$$

що дозволяє оцінити рівень навантаження та загальний стан двигуна. Для оцінювання симетрії навантаження використовується коефіцієнт асиметрії струмів:

$$K_{asym} = \frac{\max(I_A, I_B, I_C) - \min(I_A, I_B, I_C)}{I_{avg}} \quad (2)$$

який є інформативним щодо міжвиткових замикань, перекосу фаз та порушень якості електроживлення. Подальший аналіз передбачає застосування спектрального аналізу сигналів, що дозволяє визначити характерні частоти дефектів. Зокрема, частота ковзання визначається як $f_s = s \cdot f$, а наявність дефектів ротора може бути встановлена за гармоніками виду $f = f_1(1 \pm 2s)$. Додатково враховуються характерні частоти дефектів підшипників.

Важливим діагностичним параметром є коефіцієнт гармонічних спотворень:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (3)$$

який дозволяє оцінити рівень нелінійності системи та деградацію електромагнітних процесів у двигуні.

Ключовим елементом методу є формування інтегрального діагностичного індексу:

$$D = w_1 K_{asym} + w_2 THD + w_3 \Delta I + w_4 S_{def} \quad (4)$$

де w_i – вагові коефіцієнти,

ΔI – відхилення діючого значення струму,

S_{def} – спектральні ознаки дефектів.

Отримане значення індексу дозволяє здійснювати комплексну оцінку технічного стану двигуна. Критерії оцінки наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Критерії оцінки стану

Значення D	Стан двигуна
0 – 0.2	Нормальний
0.2 – 0.5	Початкові відхилення
0.5 – 0.8	Розвиток дефекту
> 0.8	Критичний стан

У результаті досліджень встановлено, що запропонований метод дозволяє:

- виявляти дефекти на ранніх стадіях їх розвитку;
- підвищити точність діагностики на 15 – 25 %;
- скоротити час оцінювання технічного стану до 1 – 5 секунд.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше розроблено метод експрес-діагностики асинхронних двигунів на основі комплексного аналізу

миттєвих значень струмів статора з урахуванням змінних режимів навантаження; удосконалено підхід до виявлення ранніх дефектів шляхом поєднання спектрального аналізу струмів і вібраційних сигналів; отримали подальший розвиток математичні моделі оцінювання технічного стану на основі інтегральних діагностичних індексів; вперше запропоновано узагальнений критерій експрес-оцінки стану двигуна, що враховує одночасно електричні та механічні параметри; розроблено алгоритм раннього попередження відмов на основі аналізу трендів діагностичних параметрів.

Практичне значення результатів дослідження полягає у зниженні часу діагностики, можливості раннього виявлення дефектів, зменшенні аварійності та витрат на ремонт, а також у можливості інтеграції розроблених рішень у сучасні системи моніторингу та керування електроприводами. Отримані результати сприяють підвищенню надійності, енергоефективності та безперервності функціонування технологічного обладнання сільськогосподарського призначення.

Список використаних джерел:

1. Iryna Sukovitsyna,, Larisa Vakhonina, (2025) Designs and parameters of asynchronous electric motors for agricultural needs. *Agricultural Engineering.eu*. DOI: 10.15150/ae.2025.3351
2. Garcia-Calva, T.; Morinigo-Sotelo, D.; Fernandez-Cavero, V.; Romero-Troncoso, R. Early Detection of Faults in Induction Motors—A Review. *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 21. Art. 7855. DOI: 10.3390/en15217855. (MDPI)
3. Yakhni, M.; Cauet, S.; Sakout, A.; Assoum, H.; Etien, E.; Rambault, L.; El-Gohary, M. Variable speed induction motors' fault detection based on transient motor current signatures analysis: A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2023. Vol. 184. Art. 109737. DOI: 10.1016/j.ymssp.2022.109737. (ScienceDirect)
4. Sintoni, M.; Macrelli, E.; Bellini, A.; Bianchini, C. Condition Monitoring of Induction Machines: Quantitative Analysis and Comparison. *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 2. Art. 1046. DOI: 10.3390/s23021046. (MDPI)
5. Yousuf, M.; Alsuwian, T.; Amin, A. A.; Fareed, S.; Hamza, M. IoT-based health monitoring and fault detection of industrial AC induction motor for efficient predictive maintenance. *Measurement and Control*. 2024. Vol. 57, Issue 8. DOI: 10.1177/00202940241231473. (Sage Journals)

Abstract: In modern agro-industrial production, induction electric motors form the basis of drive systems for most technological equipment. Their operation takes place under harsh conditions, including high levels of dust, humidity, unstable load regimes, and power supply fluctuations, which increases the risk of hidden defects and emergency failures. The paper addresses the problem of improving the reliability of induction motors used in agricultural production. An express diagnostic method based on the analysis of stator currents, spectral characteristics, and an integral diagnostic index is proposed. The research results confirming the effectiveness of the method for early fault detection are presented.

Keywords: induction motor, diagnostics, monitoring, stator current, spectral analysis, energy efficiency.