

підвищує надійність і ефективність контролю асинхронних двигунів, зменшуючи ризик аварій та матеріальних втрат.

Отже, запропонований метод є актуальним інструментом для автоматизованого моніторингу та оцінки технічного стану АД, а його застосування сприятиме підвищенню експлуатаційної безпеки та продовженню строку служби електродвигунів.

#### **Список використаних джерел**

1. Seera, M., Lim, C. P., Nahavandi, S., & Loo, C. K. Condition monitoring of induction motors: A review and an application of an ensemble of hybrid intelligent models. *Expert Systems with Applications*, 2014, 41(10), 4891-4903.
2. Trutt, F. C., Sottile, J., & Kohler, J. L. Online condition monitoring of induction motors. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2002, 38(6), 1627-1632.

**Abstract.** *The paper substantiates the method for determining the residual resource of an asynchronous electric motor based on the use of fuzzy logic, and presents the structure of the developed fuzzy logic system.*

**Keywords:** *induction electric motor, factor, fuzzy, operation, logic, insulation, residual life, diagnostics*

**Науковий керівник:**

**Єгоров О.Б.,**

*канд. тех. наук, доцент*

*кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки*

*Харківський національний університет міського*

*господарства ім. О.М. Бекетова*

**УДК. 004.942**

## **ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ У ХОЛОДИЛЬНИХ ПРОЦЕСАХ АПК**

**Давіденко П. С.**

здобувач вищої освіти спеціальності 144 Теплоенергетика,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

м. Харків, Україна

**Анотація:** *У даній роботі розглянуто застосування цифрових моделей у холодильних та технологічних системах АПК для оптимізації режимів, зниження енергоспоживання та підвищення надійності виробництва.*

**Ключові слова:** *холодильні системи АПК, інформаційні технології, цифрові двійники*

Підвищення енергоефективності, керованості та стабільності агропромислового виробництва в сучасних умовах є завданням першочергового пріоритету. Розв'язання цих викликів неможливе без впровадження цифрової трансформації технологічних процесів та систем керування, що передбачає

перехід від локальних автоматизованих систем до інтегрованих виробничих комплексів. Одним із ключових інструментів такої трансформації є цифровий двійник (digital twin) – динамічна віртуальна копія реального технологічного об'єкта. Цифровий двійник об'єднує рівень оперативного керування, що реалізується засобами PLC та SCADA, із даними від IoT-сенсорів, які забезпечують безперервний збір фізичних параметрів, та аналітичними моделями і алгоритмами машинного навчання, що виконують оцінювання стану обладнання та оптимізацію режимів його роботи, причому за даними [1] це дає зниження енергоспоживання на 15–30 %.

Застосування цифрових двійників є доцільним і економічно обґрунтованим для тих об'єктів агропромислового комплексу, які характеризуються змінними режимами тепло- та масообміну, високою енергоємністю та вимогами до стабільності параметрів, що потребує впровадження прогностичних систем керування. Зокрема це системи зберігання продукції та холодильні установки. Системи холоду споживають до 17 % енергії у світі [2], холодний ланцюг має високі витрати на збереження продукції, тому впровадження цифрових двійників здатне дати тут відчутний ефект енергоощадності.

На відміну від традиційних систем керування, які, як правило, працюють за фіксованими алгоритмами і не враховують динаміку змін зовнішніх умов, режимів завантаження камер, теплових потоків тощо, цифровий двійник будується на базі термодинамічних моделей і фактичних експлуатаційних даних і не тільки дає змогу адаптивно формувати режими роботи обладнання, забезпечуючи узгоджені параметри компресора, конденсатора та випарника та підвищуючи загальну енергоефективність системи, але й проводити параметричне моделювання теплотехнічних процесів, передбачати зміни в режимах роботи та забезпечувати прогностичну діагностику вузлів.

У реальних проєктах для харчових складів та овочесховищ впровадження цифрових моделей керування холодильними системами показало відчутний ефект. Наприклад, у демонстраційному проєкті для CO<sub>2</sub>-систем супермаркетів [3] відзначено підвищення енергоефективності за рахунок модулюючого керування компресорами. У польовому звіті Southern California Edison [4] застосування вдосконалених алгоритмів керування холодом на складі заморожених продуктів забезпечило зниження енергоспоживання на 19–25 %. Аналогічний ефект підтверджено у виробничих кейсах для овочесховищ [5].

Таким чином, використання віртуальних моделей у харчових та зберігальних комплексах України створює передумови для економії ресурсів, зниження втрат продукції та гнучкого реагування на коливання енергоринку, що є особливо важливим в умовах нестабільного енергозабезпечення та повністю відповідає сучасним тенденціям розвитку «розумного» агропромислового виробництва.

#### Список використаних джерел

1. Ba L., Tangour F., El Abbassi I., Absi R. Analysis of Digital Twin Applications in Energy Efficiency: A Systematic Review // *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 8. P. 1–21. DOI: 10.3390/su17083560.
2. International Institute of Refrigeration. *The Role of Refrigeration in the*

*Global Economy*. 2015. 32 p. Режим доступу: [https://sainttrofee.nl/wp-content/uploads/2019/01/NoteTech\\_29-World-Statistics.pdf](https://sainttrofee.nl/wp-content/uploads/2019/01/NoteTech_29-World-Statistics.pdf)

3. Supermarket refrigeration systems, 2024. Режим доступу: <https://digitaltwins4hprs.dk/cases/supermarket-refrigeration-systems/>

4. Evaluation of Direct Energy Savings and Demand Response Potential from Phase Change Materials for Cold Storage Cooling Applications. 2021. Режим доступу: <https://www.vikingcold.com/wp-content/uploads/2022/03/Utility-Demonstration-Project-Report.pdf>

5. 30% energy savings for a potato cold storage. Режим доступу: <https://www.advansor.com/case-cold-storage-potatoes>

**Abstract.** *This work examines the use of digital models in refrigeration and technological systems of the agro-industrial sector to optimize operating modes, reduce energy consumption, and enhance production reliability.*

**Keywords:** *agro-food refrigeration systems, information technologies, digital twin*

**Науковий керівник:**

**Круглякова О.В.**

*канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

**УДК: 577.3:621.3.049:004.942**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПРОВІДНОСТІ ІОННИХ КАНАЛІВ КЛІТИНИ ПІД ДІЄЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ**

**Руденко Андрій**

асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки  
Миколаївський національний аграрний університет  
м. Миколаїв, Україна

**Анотація.** *У роботі розглянуто механізми впливу електромагнітного поля на електрофізіологічні властивості клітинної мембрани та функціонування іонних каналів, зокрема натрієвих. На основі математичного моделювання, електрофізичних підходів та систем чисельного аналізу проведено дослідження динаміки мембранного потенціалу, пульсацій клітини та особливостей іонного транспорту. Використання моделей Нав'є–Стокса, параметричних моделей клітинної пульсації та модифікованої моделі Курамото дозволило оцінити характер синхронізації клітин та вплив зовнішнього електромагнітного поля на їхню активність. У MATLAB/Simulink реалізовано чисельне моделювання, що демонструє ефекти деполяризації та гіперполяризації клітини під дією електромагнітних коливань. Результати підтверджують можливість*