

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ЕНЕГЕТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ

У статті розглянуто питання розробки системи енергетичного моніторингу для підприємств молочної галузі, що є актуальним у контексті підвищення енергоефективності виробництва та зниження витрат паливно-енергетичних ресурсів. Проаналізовано структуру енергоспоживання молокозаводів, виокремлено основні види енергоресурсів: електроенергію, пару, природний газ та воду. Розроблено концептуальну модель енергомоніторингу, яка передбачає багаторівневу систему збору даних із ключових джерел споживання та структурних підрозділів підприємства. Запропоновано інтеграцію автоматизованих засобів обліку для вимірювання параметрів енергоспоживання з високою частотою зчитування та подальшим агрегуванням інформації у 15-хвилинні інтервали. Система також враховує зовнішні фактори, що впливають на динаміку енергоспоживання, зокрема кліматичні умови та обсяг виробництва. Запропонована типова схема енергомоніторингу дозволяє формувати енергетичний баланс підприємства, відстежувати зміну показників у динаміці, своєчасно виявляти нераціональне використання ресурсів і забезпечувати основу для прийняття управлінських рішень. Впровадження системи сприятиме підвищенню енергоефективності, економічній та екологічній стійкості підприємств молочної промисловості. Перспективи подальших досліджень пов'язані з інтеграцією штучного інтелекту в процеси аналізу та управління енергоспоживанням.

Ключові слова: аналіз енергоспоживання, енергомоніторинг, молокозавод.

Вступ. В умовах сучасного промислового розвитку раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів набуває вирішального значення для підтримки економічної стійкості підприємств та їх здатності конкурувати на ринку. Молочна промисловість, як один із ключових напрямів харчового виробництва, відзначається значними обсягами енергоспоживання, що зумовлено складною структурою технологічних процесів і високими вимогами до якості готової продукції.

Попри підвищений інтерес до проблем енергоефективності в Україні, більшість підприємств не мають системного підходу до оцінювання енергоспоживання. Зазвичай аналіз обмежується питомими або окремими показниками енергоефективності, що унеможливує повноцінну оцінку енергетичного стану підприємства. Відсутність комплексного моніторингу перешкоджає впровадженню ефективних енергозберігаючих заходів.

Необхідність енергетичного моніторингу регламентується міжнародними стандартами, такими як ДСТУ ISO 17741:2017 [1] та ДСТУ ISO 17743:2017 [2], які визначають засади вимірювання, аналізу, верифікації та звітності щодо енергетичних показників. Для досягнення ефективного управління енергоресурсами необхідно забезпечити постійний контроль параметрів енергоспоживання, систематичний аналіз використання ресурсів і організувати ведення документації, що відображає зміну енергетичних характеристик підприємства в динаміці.

Впровадження сучасних рішень у сфері енергомоніторингу сприяє скороченню витрат енергії, підвищенню загальної продуктивності, стабілізації функціонування обладнання, а також покращенню екологічної ситуації на виробництві. У зв'язку з цим, пошук нових методів та інструментів енергетичного моніторингу набуває особливої актуальності для підприємств молочної галузі та є важливим чинником їх сталого розвитку.

Мета та завдання. Метою роботи є розробка системи енергетичного моніторингу для підприємств молочної галузі з метою підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, зниження витрат та забезпечення сталого розвитку підприємств.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Аналіз енергоспоживання молокозаводами та визначення основних видів паливно-енергетичних ресурсів, що використовуються у виробничих процесах.

2. Розробка концептуальної моделі системи енергомоніторингу для молочних підприємств.

3. Визначення основних параметрів для здійснення енергетичного моніторингу на підприємствах молочної галузі.

4. Побудова типової моделі системи енергомоніторингу підприємств молочної галузі

Матеріал і результати досліджень.

Дослідження енергоспоживання на молочних підприємствах є важливим напрямом сучасної наукової думки. Ряд дослідників підкреслюють, що значний обсяг витрат на енергоресурси у харчовій промисловості зумовлює необхідність впровадження системного моніторингу та управління енергоспоживанням [3].

У роботах [4, 5] зазначено, що найбільш ефективні системи енергомоніторингу базуються на багаторівневій структурі збору даних з подальшим аналізом за допомогою цифрових технологій. Наприклад, у дослідженнях, присвячених впровадженню енергетичних інформаційних систем у промисловості Німеччини та Польщі, описано використання SCADA-платформ і систем прогнозування споживання для оптимізації режимів роботи обладнання.

У даній роботі враховано ці підходи при побудові типової моделі системи енергомоніторингу для підприємства молочної галузі. Зокрема, реалізовано багаторівневу архітектуру збору даних з основних джерел споживання енергії — електроенергії, природного газу, пари, води — та ключових споживачів.

Молочні підприємства є суттєвими споживачами паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), оскільки їхні виробничі процеси включають численні стадії обробки молока та виробництва молочної продукції. На молокозаводах використовуються такі ПЕР: електроенергія (для роботи технологічного обладнання (насоси, мішалки, сепаратори, гомогенізатори, фасувальні лінії), систем охолодження та заморожування, освітлення), пара (пастеризація, стерилізація, нагрівання води для виробничих процесів і санітарної обробки, підтримання мікроклімату), природний газ (виробництво пари в котлах, використання в сушильних установках), технічна холодна та гаряча вода (використання для миття обладнання, охолодження, опалення, інші технологічні потреби)

Нехай ПЕР молокозаводу складається зі скінченної множини R_0 , об'єктів R_i . $R_0 = \{R_i | i = \overline{1, m}\}$, де m — загальна кількість ПЕР що споживається молокозаводом. Кожен ресурс R_i характеризує скінченна множина факторів F_0 . Таким чином R_i може бути вираженим факторами $R_i = \{F_{ij} | j = \overline{1, n}\}$, де n — кількість факторів. Кожен фактор може бути вимірний системою моніторингу [6]. Перелік ресурсів та факторів зображено на рис. 1.

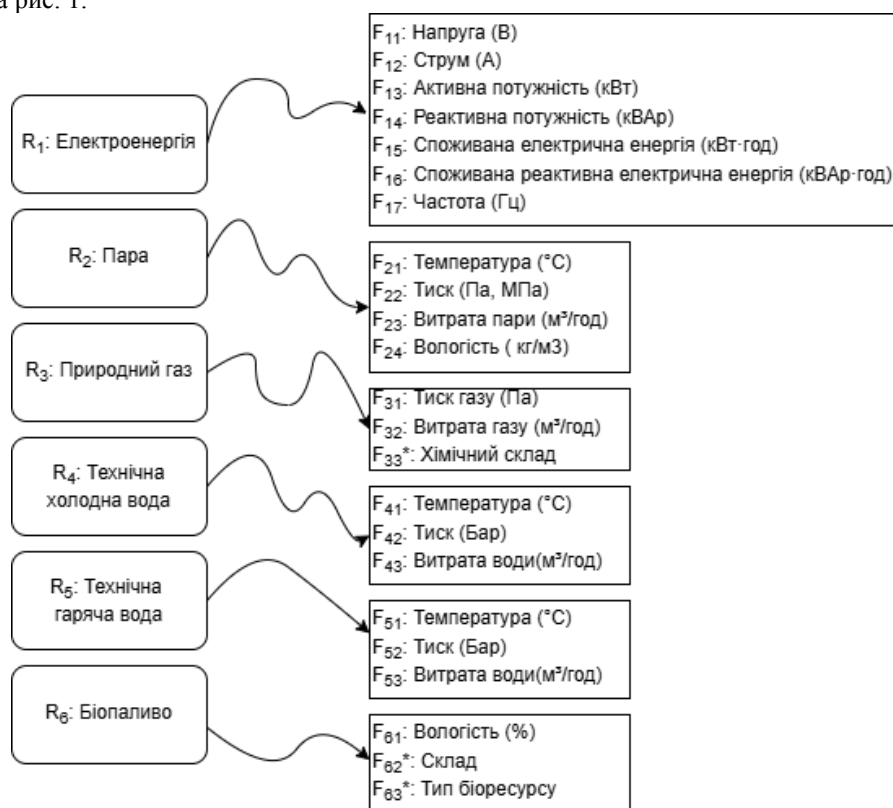


Рисунок 1 – Характеристики основних паливно-енергетичних ресурсів молокозаводу

Параметри, позначені зірочкою в таблиці 1, не передбачено вимірювати за допомогою автоматизованих засобів, оскільки вони зазвичай є сталими. Їх доцільно перевіряти періодично — орієнтовно раз на місяць або у разі зміни типу чи партії біопалива.

Моніторинг споживання електроенергії на підприємствах молочної галузі передбачає інтеграцію

вимірювальних засобів на всіх ключових ділянках енергоспоживання. Енергетична система повинна включати засоби обліку для кожного джерела живлення, та основного споживача енергії (рис 2). Такий підхід дає змогу формувати докладний електроенергетичний баланс підприємства, що дозволяє проводити аналіз ефективності використання електроенергії на рівні конкретних технологічних процесів або одиниць обладнання. Споживачі паливно-енергетичних ресурсів також можуть бути згруповані у структурні підрозділи. У такому разі вимірювальні прилади слід встановлювати на вході до відповідних підрозділів з метою формування енергетичного балансу, що відповідає організаційній структурі підприємства.

Передбачається використання автоматичних вимірювальних пристроїв [10], здатних реєструвати параметри електричної мережі, зокрема напругу, частоту, активну та реактивну потужність, із частотою збору даних кожну секунду. Для забезпечення аналітичної обробки та прогнозування ці дані агрегуються в 15-ти хвилинні інтервали, це дозволить відслідковувати зміни в процесах. Далі агреговані дані зберігаються в централізованій базі даних.

Для здійснення якісного контролю та аналітики споживання палива (природного газу або біопалива), води та пари на підприємстві доцільно передбачити встановлення відповідних вимірювальних приладів на основних ділянках їх використання. Зокрема, лічильники палива доцільно монтувати на вході до котельного обладнання, а засоби вимірювання пари та гарячої води — на виході з котлів. Це дає змогу визначати тепловий баланс котельної установки та оцінювати її енергетичну ефективність за допомогою розрахунку коефіцієнта корисної дії.

Окремі витрати води, що не пов'язані з роботою котельні, але використовуються безпосередньо у виробничих процесах, також мають обліковуватись за допомогою водомірів. У подальшому вимірювальні пристрої для контролю витрат води, пари та газу слід розміщувати за аналогією до електроенергії — на рівні окремих структурних одиниць та основних споживачів. Такий підхід забезпечує формування інтегрованого енергетичного балансу підприємства (рис. 2).

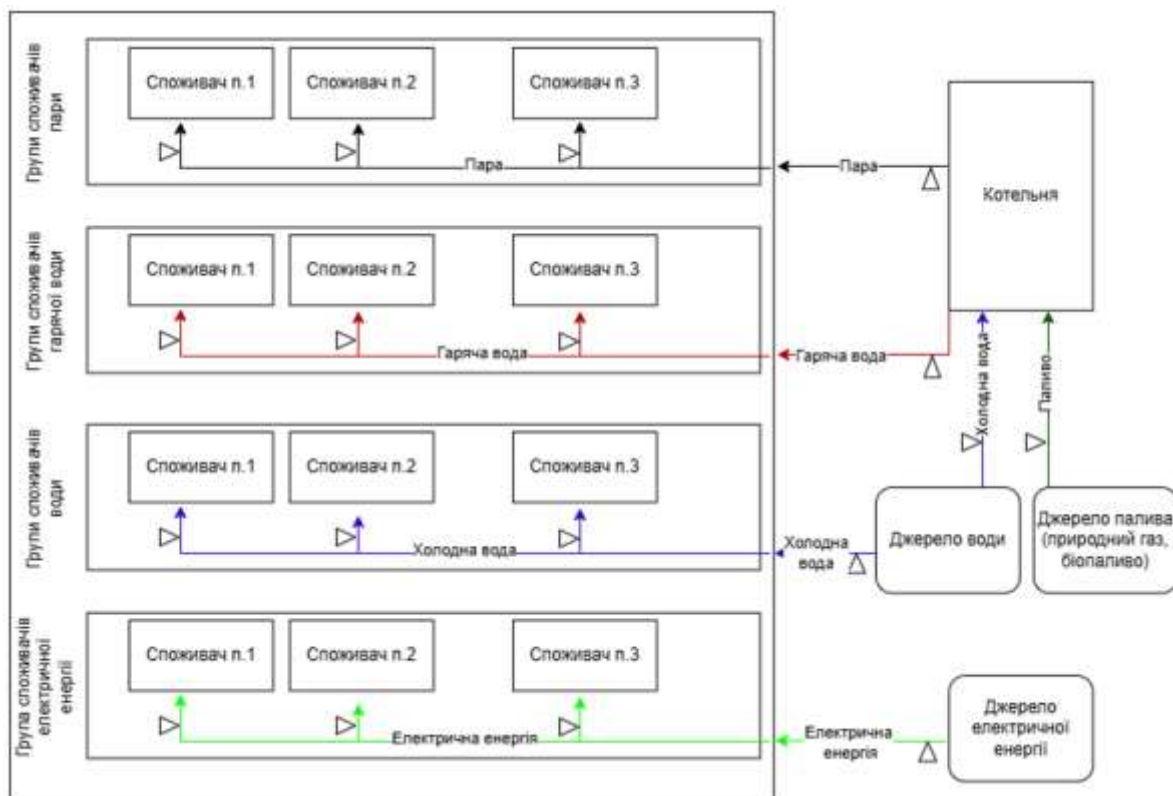


Рисунок 2 - Умовна схема моніторингу

Частота зчитування даних залежить від характеристик встановлених приладів обліку. У випадку обліку палива, води та пари фіксація даних зазвичай здійснюється щосекунди, після чого інформація агрегується в 15-ти хвилинні інтервали для подальшого аналізу, аналогічно до електричної енергії. Такий підхід дає змогу оперативно виявляти витрати, надмірне споживання ресурсів та впроваджувати заходи з їх оптимізації. Всі контрольовані параметри наведені у таблиці 1.

Окрім безпосереднього моніторингу показників енергоспоживання на молочному підприємстві, доцільним є також збір інформації про фактори, що впливають на витрати паливно-енергетичних ресурсів

або мають високу кореляцію з ними [7, 9]. Це дозволяє глибше аналізувати динаміку змін у споживанні енергії та покращувати точність прогнозів. Наприклад, холодильне обладнання та компресорні системи, які є одними з найбільших споживачів електроенергії, працюють з урахуванням зовнішніх кліматичних умов — зокрема температури повітря. Відповідно, реєстрація таких параметрів, як температура в приміщеннях (°C), вологість повітря (%) та обсяг виробництва продукції (кг/місяць) [11], дозволяє краще пояснювати коливання в енергоспоживанні.

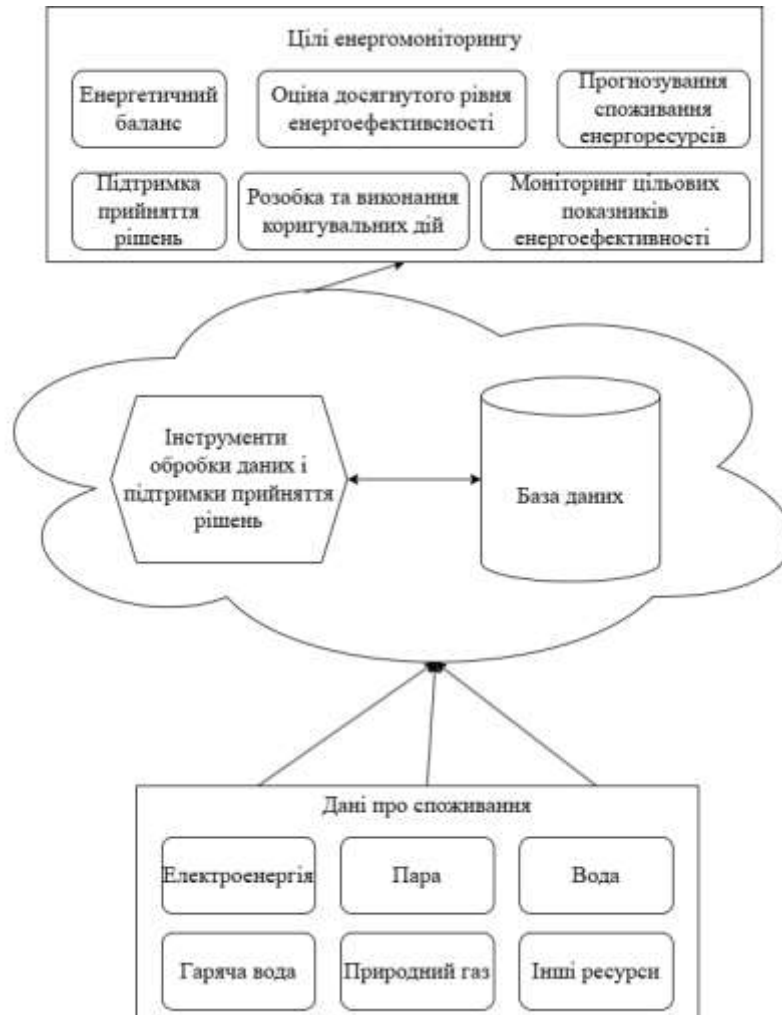


Рисунок 3 – Типова схема системи енергомоніторингу

В результаті типова система моніторингу буде виглядати так, як показано на рисунку 3. В математичному вигляді типову схему можна представити так:

$$f\left(\sum_{i,j=1}^{m,n} Ri(F_{ij})\right) = \sum_{k=1}^p G_k$$

Де $f\left(\sum_{i,j=1}^{m,n} Ri(F_{ij})\right)$ функція яка являє собою інструменти обробки даних та підтримки прийняття рішень, а $\sum_{k=1}^p G_k$ – цілі енергетичного моніторингу яких буде досягнуто.

Усі дані щодо використання паливно-енергетичних ресурсів, а також чинників, що впливають на їхнє споживання, будуть збиратися за допомогою відповідних вимірювальних пристроїв. Надалі ці дані агрегуються та зберігаються в базі даних для подальшої обробки. Аналізуючи цю інформацію, можливо досягти основних завдань енергомоніторингу: сформувати енергетичний баланс підприємства, визначити рівень енергоефективності, відстежувати динаміку цільових показників тощо [8, 12].

Висновки. У межах проведеного дослідження була розроблена концепція системи енергомоніторингу, орієнтованої на підприємства молочної промисловості. Запропонована система забезпечує комплексне управління енергетичними ресурсами завдяки впровадженню сучасних засобів автоматизованого збору даних, що дозволяє здійснювати своєчасний аналіз і прогнозування енергоспоживання.

Впровадження такої системи сприятиме зростанню енергоефективності підприємств, підвищенню їх екологічної та економічної стійкості, а також створить передумови для довгострокового управління енергетичними потоками. Перспективні напрямки подальших досліджень включають удосконалення методів аналізу даних, інтеграцію системи з автоматизованим управлінням виробництвом, а також використання алгоритмів штучного інтелекту для підтримки прийняття рішень.

Список використаної літератури

1. Загальні технічні правила вимірювання, розрахунку та верифікації обсягів енергозбереження в проєктах : ДСТУ ISO 17741:2017.
2. Енергозбереження. Визначення методологічної основи розрахунку та звітності щодо обсягів енергозбереження: ДСТУ ISO 17743:2017.
3. Находов В.Ф., Бориченко О.В., Лунін М.М., Досвід створення та функціонування систем енергомоніторингу на муніципальних об'єктах. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2025. с. 7-13.
4. Андрійчук. А.А., Багаторівнева системи енергетичного моніторингу як інформаційний засіб системи енергетичного менеджменту птахофабрики Зб. наукових праць НН ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: НН ІЕЕ, 2021. с.60 – 63.
5. Антонюк В., Гарасимчук І., Потапський П., Структура багаторівневої системи моніторингу. Ефективне використання енергії: стан і перспективи. 2023. с. 295-297.
6. Розен В.П., Ячник Е.А., Лебедева О.В., Рейтингова оцінка рівня ефективності установ державного контролю з енергозбереження. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2008. с. 1-11.
7. Гоєнко А.О., Формування оптимальної енергетичної стратегії підприємств молочної галузі з урахуванням обмеженості енергопостачання : магістерська дисертація. Київ, 2023. 120 с.
8. Чернявський А.В., Якобук Д.В., Інформаційно-аналітичні засоби моніторингу енергоефективності об'єктів нафтодобувної галузі. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2014. с. 106-111.
9. Гече Ф.Е., Мулеса О.Ю., Гриненко В.В., Смоланка В.Ю. Знаходження найвпливовіших факторних ознак при побудові лінійних регресійних моделей. Технологічний аудит та виробничі резерви, 3(2(47), 2019. Р. 20–25. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.175020>
10. Вимірювальні пристрої Simens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products.html> (дата звернення 05.03.2025)
11. Чернявський А.В., Гоєнко А.О. Багатокритеріальний підхід до прийняття рішень щодо вибору оптимальної стратегії реалізації потенціалу енергозбереження на молокозаводах України. 7-ма міжнародна конференція ІЕЕЕ з енергорозумних систем. 2020. с. 418–423.
12. Коцар О., Карпенко А., Актуальні проблеми енергомоніторингу на муніципальних об'єктах. Енергетика і автоматика. 2022. с. 63-65.

A. Hoienko¹, Ph. D. student, ORCID 0009-0000-8896-2615

A. Cherniavskiy¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0003-2858-8224

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

CONCEPTUAL MODEL FOR DEVELOPING AN ENERGY MONITORING SYSTEM FOR DAIRY INDUSTRY ENTERPRISES

The article addresses the development of an energy monitoring system for dairy industry enterprises, which is particularly relevant in the context of improving production energy efficiency and reducing fuel and energy resource consumption. The structure of energy consumption at dairy plants is analyzed, and the main types of energy resources are identified: electricity, steam, natural gas, and water. A conceptual model of energy monitoring has been developed, which provides a multi-level data collection system from key consumption sources and structural units of the enterprise. The integration of automated metering devices is proposed to measure energy consumption parameters with a high frequency of data reading, followed by aggregation into 15-minute intervals. The system also takes into account external factors influencing the dynamics of energy use, including climatic conditions and production volume. The proposed typical energy monitoring scheme enables the formation of the enterprise's energy balance, tracking of indicator changes over time, timely detection of inefficient resource use, and provides a foundation for informed managerial decision-making. The implementation of such a system will contribute to increased energy efficiency and to the economic and environmental sustainability of dairy industry enterprises. Future research prospects include the integration of artificial intelligence into energy consumption analysis and management processes.

Keywords: energy consumption analysis, energy monitoring, dairy plant.

References

1. General Technical Rules for Measurement, Calculation, and Verification of Energy Savings in Projects: DSTU ISO 17741:2017.
2. Energy Savings. Definition of the Methodological Basis for Calculation and Reporting of Energy Savings: DSTU ISO 17743:2017.
3. Nakhodov V.F., Borychenko O.V., Lunin M.M. Experience in Creating and Operating Energy Monitoring Systems at Municipal Facilities. *Energy: Economics, Technology, Ecology*. 2025. pp. 7–13.
4. Andriichuk A.A. Multilevel Energy Monitoring System as an Informational Tool of the Energy Management System at a Poultry Factory. *Collection of Scientific Papers of the Educational and Research Institute of Energy Saving and Energy Management, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute*. 2021. pp. 60–63.
5. Antonyuk V., Harasymchuk I., Potapyskyi P. Structure of a Multilevel Monitoring System. *Efficient Use of Energy: Current State and Prospects*. 2023. pp. 295–297.
6. Rozen V.P., Yachnyk E.A., Lebedieva O.V. Rating Assessment of the Efficiency Level of State Energy Saving Control Institutions. *Energy: Economics, Technology, Ecology*. 2008. pp. 1–11.
7. Hoienko A.O. Formation of an Optimal Energy Strategy for Dairy Industry Enterprises Considering Energy Supply Limitations: Master's Dissertation. Kyiv, 2023. 120 p.
8. Cherniavskiy A.V., Yakobiuk D.V. Information-Analytical Tools for Monitoring the Energy Efficiency of Oil Production Facilities. *Energy: Economics, Technology, Ecology*. 2014. pp. 106–111.
9. Heche F.E., Mulesa O.Yu., Grynenko V.V. Identification of the Most Influential Factor Features in the Development of Linear Regression Models. *Technology Audit and Production Reserves*, 3(2(47), 2019. P. 20–25. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.175020>
10. Siemens Measuring Devices. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products.html> (accessed on 05.03.2025).
11. Cherniavskiy A., Hoienko A. A Multi-Criteria Approach to Decision-Making on Choosing the Optimal Strategy for Implementing the Energy-Saving Potential at Ukrainian Dairies. In *Proc. 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*. IEEE, 2020. pp. 418–423.
12. Kotsar O., Karpenko A. Current Issues of Energy Monitoring at Municipal Facilities. *Energy and Automation*. 2022. pp. 63–65.

Надійшла: 05.04.2025

Received: 05.04.2025