

References

1. The government has adopted a number of decisions for the development of distributed generation. Official website of Rivne Regional State Administration. URL: <https://www.rv.gov.ua/news/uriad-ukhvalyv-nyzku-rishen-dlia-rozvytku-rozpodilenoi-heneratsii> (accessed 06.03.2025). (Ukr).
2. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 713 of July 18, 2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/713-2024-%D1%80> (accessed 06.03.2025). (Ukr).
3. UNDP Ukraine. Homepage. United Nations Development Program. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine> (accessed 06.03.2025). (Ukr).
4. Law of Ukraine No. 2955-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2955-20> (accessed 06.03.2025). (Ukr).
5. NEURC. Simplification of conditions for cogeneration plants. Official website of NEURC. URL: <https://www.nerc.gov.ua/news/nkrekp-sproshchuye-umovi-dlya-roboti-kogeneracijnih-ustanovok-yaki-vikoristovuyutsya-yak-rezervne-dzherelo-energiyi-dlya-obyektiv-kritichnoyi-infrastrukturi> (accessed 06.03.2025). (Ukr).
6. NEURC Resolution No. 352 of March 26, 2022. URL: <https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-zatverdzhennya-poryadku-timchasovogo-priyemnannya-elektrostanovok-do-sistemi-rozpodilu-u-period-diyi-v-ukrayini-voyennogo-stanu> (accessed 07.03.2025). (Ukr).
7. NEURC Resolution No. 832 of April 30, 2024, amending Resolution No. 355 of March 29, 2022. URL: <https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-vnesennya-zmin-do-postanovi-nkrekp-vid-29-bereznia-2022-roku-355-2> (accessed 07.03.2025). (Ukr).
8. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1316 of December 15, 2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1316-2023-%D0%BF#Text> (accessed 07.03.2025). (Ukr).
9. Official website of NPC "Ukrenergo". URL: <https://ua.energy> (accessed 08.03.2025). (Ukr).
10. Inzhur Energy. URL: <https://www.inzhur.reit/funds/Energy> (accessed 10.03.2025).

УДК 658.26

Гоєнко А. О., аспірант, ORCID 0009-0000-8896-2615,
науковий керівник: канд. техн. наук, доцент **А. В. Чернявський**,
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ

DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF ENERGY MONITORING AT DAIRY INDUSTRY ENTERPRISES

Анотація. У статті розглянуто концепцію системи енергетичного моніторингу для підприємств молочної галузі, яка спрямована на підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. Визначено основні джерела споживання енергії, запропоновано концептуальну модель системи енергомоніторингу та розроблено типову модель її побудови. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення управління енергоспоживанням на молочних підприємствах. Бібл. 9, рис. 3, табл. 1.

Ключові слова: енергомоніторинг, молокозавод, аналіз енергоспоживання.

Abstract. The article considers the concept of an energy monitoring system for dairy enterprises, which is aimed at increasing the efficiency of using fuel and energy resources. The main sources of energy consumption are identified, a conceptual model of an energy monitoring system is proposed, and a typical model of its construction is developed. The results obtained can be used to improve energy consumption management at dairy enterprises. Ref. 9, Fig. 3, Tabl. 1.

Key words: energy monitoring, dairy plant, energy consumption analysis.

Вступ. У сучасних умовах розвитку промисловості ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів є критичним фактором для забезпечення економічної стабільності та конкурентоспроможності підприємств. Молочна галузь, як один із важливих секторів харчової промисловості, характеризується високим рівнем споживання енергії, що обумовлено складністю технологічних процесів та необхідністю дотримання жорстких вимог до якості продукції.

Незважаючи на зростаючу увагу до питань енергоефективності в Україні, на більшості підприємств оцінка ефективності використання енергії здійснюється безсистемно, без довготривалого аналізу динаміки змін та чинників, що їх спричиняють. Як правило, ефективність енергоспоживання оцінюється лише за показниками питомого споживання паливно-енергетичних ресурсів або частковими показниками енергоефективності, що не дозволяє сформувати комплексну картину енергетичного стану підприємства. Відсутність системного підходу до енергетичного моніторингу знижує можливості підприємств щодо впровадження заходів з енергоефективності.

Значущість енергомоніторингу підтверджується низки стандартів: ДСТУ ISO 17741:2017 [1], ДСТУ ISO 17743:2017 [2]. Ці документи визначають принципи моніторингу, вимірювання, аналізу та перевірки рівня енергоефективності в організаціях. Для забезпечення ефективного енерговикористання необхідним є запровадження постійного контролю за енергетичними показниками, аналіз споживання ресурсів та організація системи документообігу, що відображатиме динаміку енергоспоживання на підприємстві.

Застосування сучасних технологій енергомоніторингу сприяє не лише зменшенню енергетичних витрат, а й підвищенню ефективності виробництва, забезпеченню стабільної роботи обладнання та підвищенню рівня екологічної безпеки підприємства. Дослідження та розробка нових підходів до енергомоніторингу є актуальними завданнями для молочної галузі та мають вагоме значення для її подальшого розвитку.

Метою досліджень 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 задачі:

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. Молочні підприємства є суттєвими споживачами паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), оскільки їхні виробничі процеси включають численні стадії обробки молока та виробництва молочної продукції. Споживання енергії на молокозаводах охоплює такі основні напрямки (табл. 1) [3].

Таблиця 1. Характеристики основних паливно-енергетичних ресурсів молокозаводу

Ресурси	Використання	Основні параметри які може бути виміряно системою моніторингу
Електроенергія	Робота технологічного обладнання (насоси, мішалки, сепаратори, гомогенізатори, фасувальні лінії), систем охолодження та заморожування, освітлення	Напруга (В), струм (А), активна потужність (кВт), реактивна потужність (кВАр), споживана електрична енергія (кВт·год), споживана реактивна електрична енергія (кВАр·год), частота (Гц)
Пара	Пастеризація, стерилізація, нагрівання води для виробничих процесів і санітарної обробки, підтримання мікроклімату	Температура (°С), тиск (Па, МПа), витрата пари (м³/год), вологість (кг/м³)
Природний газ	Виробництво пари в котлах, використання в сушильних установках	Тиск газу (Па), витрата газу (м³/год)
Технічна та гаряча вода	Використання для миття обладнання, охолодження, опалення, інші технологічні потреби	Температура (°С), тиск (Бар), витрата води (м³/год)

Ефективний моніторинг електроенергії на молочних підприємствах передбачає встановлення вимірювальних пристроїв на всіх критичних етапах енергоспоживання. На рис. 1 наведено умовну схему розміщення вимірювальних пристроїв в розподільчих щитках, система повинна містити засоби вимірювання для кожного джерела енергії, структурного підрозділу та основних споживачів. Це дозволяє створити деталізований електричний баланс підприємства, забезпечуючи аналіз ефективності використання електроенергії на рівні окремих технологічних процесів та установок.

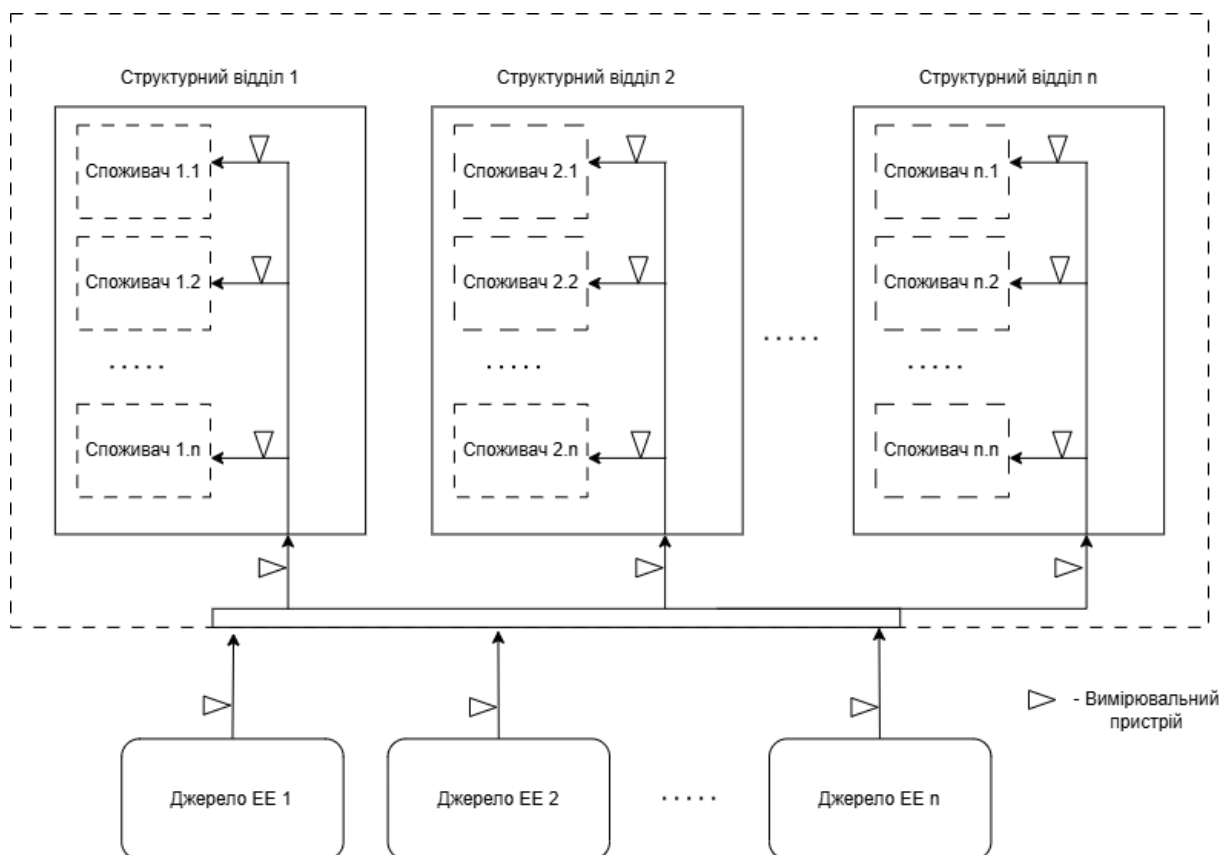


Рисунок 1. Умовна схема моніторингу електричної енергії

Система передбачає встановлення автоматичних вимірювальних пристроїв [7], які вимірюють напругу, частоту та активне і реактивне навантаження з періодичністю 1 секунда. Зберігатись в базі даних будуть агреговані дані на протязі однієї години для оперативного аналізу та прогнозування.

Для ефективного контролю та аналізу використання природного газу, води та пари необхідно встановити відповідні вимірювальні пристрої на ключових етапах споживання. Зокрема, вимірювачі слід встановити на вході природного газу в котельню, а також на виході пари та гарячої води, що генерується котельнею. Це дозволить визначати тепловий баланс котельні та оцінювати її коефіцієнт корисної дії (ККД).

Водоміри також встановлюються для обліку води, що не спрямовується на котельню, а використовується у виробничих процесах. Надалі вимірювальні пристрої для води, пари та газу розміщуються аналогічно до електроенергії – на структурних підрозділах та суттєвих споживачах, що дозволяє формувати загальний енергетичний баланс підприємства (рис. 2).

Періодичність вимірювання обумовлена встановленими вимірювальними пристроями. Для природного газу, води та пари здебільшого дані реєструються кожну секунду, а в подальшому буде відбуватись агрегація цих даних за одну годину. Такий підхід дозволяє вчасно виявляти витoki, перевитрати та оптимізувати використання ресурсів. Вимірювати можна всі показники що зазначені в табл. 1.

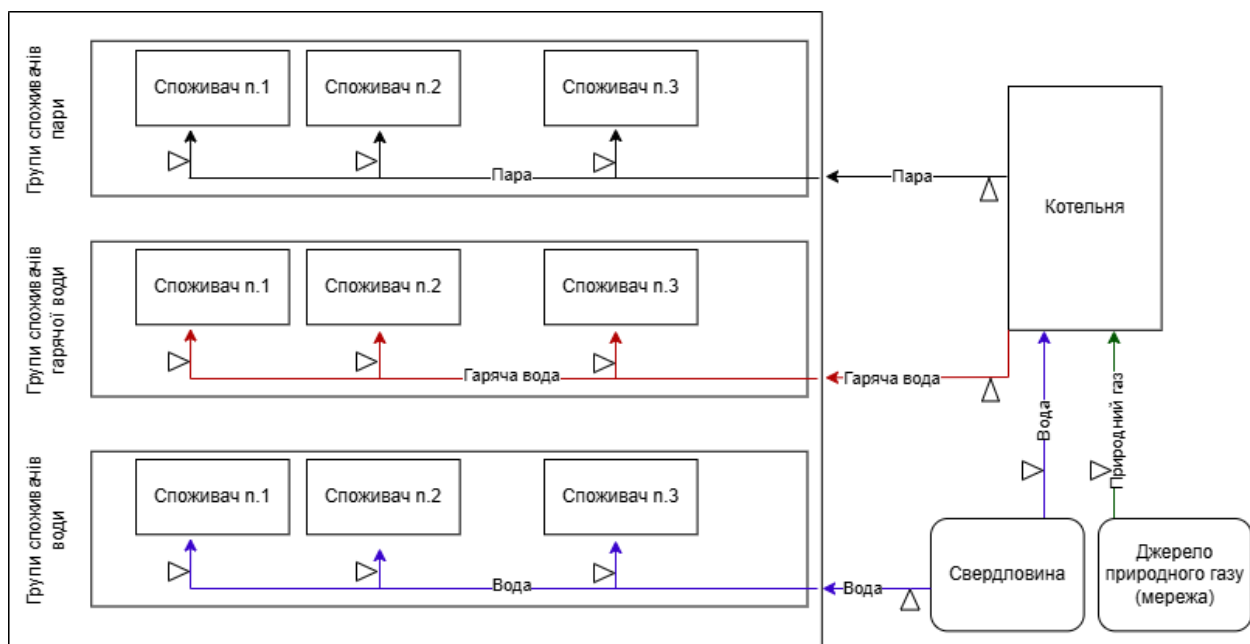


Рисунок 2. Умовна схема моніторингу води, теплової енергії та газу

Крім безпосереднього вимірювання параметрів енергії, що споживається на молокозаводі, доцільно контролювати чинники, які впливають на споживання паливно-енергетичних ресурсів або сильно корелюють з споживанням ресурсів [4, 6]. Це дозволяє більш точно аналізувати зміни у використанні енергоресурсів і здійснювати їхнє прогнозування. Наприклад, одним із найбільших споживачів електроенергії є холодильні компресорні установки та системи охолодження, робота яких значною мірою залежить від температури навколишнього середовища. Відповідно, реєстрація цього параметра допоможе пояснити динаміку споживання та підвищити точність прогнозування. До таких параметрів відноситься: температура приміщень ($^{\circ}\text{C}$), вологість повітря (%), виробництво продукції (кг/місяць) [8].

В результаті типова система моніторингу буде виглядати так, як показано на рис. 3. Всі необхідні дані про споживання паливно енергетичних ресурсів на чинників що впливають на їх споживання будуть збиратись за допомогою вимірювальних пристроїв, агрегуватись зберігатись у базі даних для подальшої обробки. На основі зібраних даних можна буде досягти цілей енергомоніторингу, а саме: отримати інформацію про енергетичний баланс підприємства, оцінити поточний рівень енергоефективності, виконувати коригувальні дії, відстежувати, прогнозувати споживання енергоресурсів, моніторити цільові показники енергоефективності, тощо [5, 9].

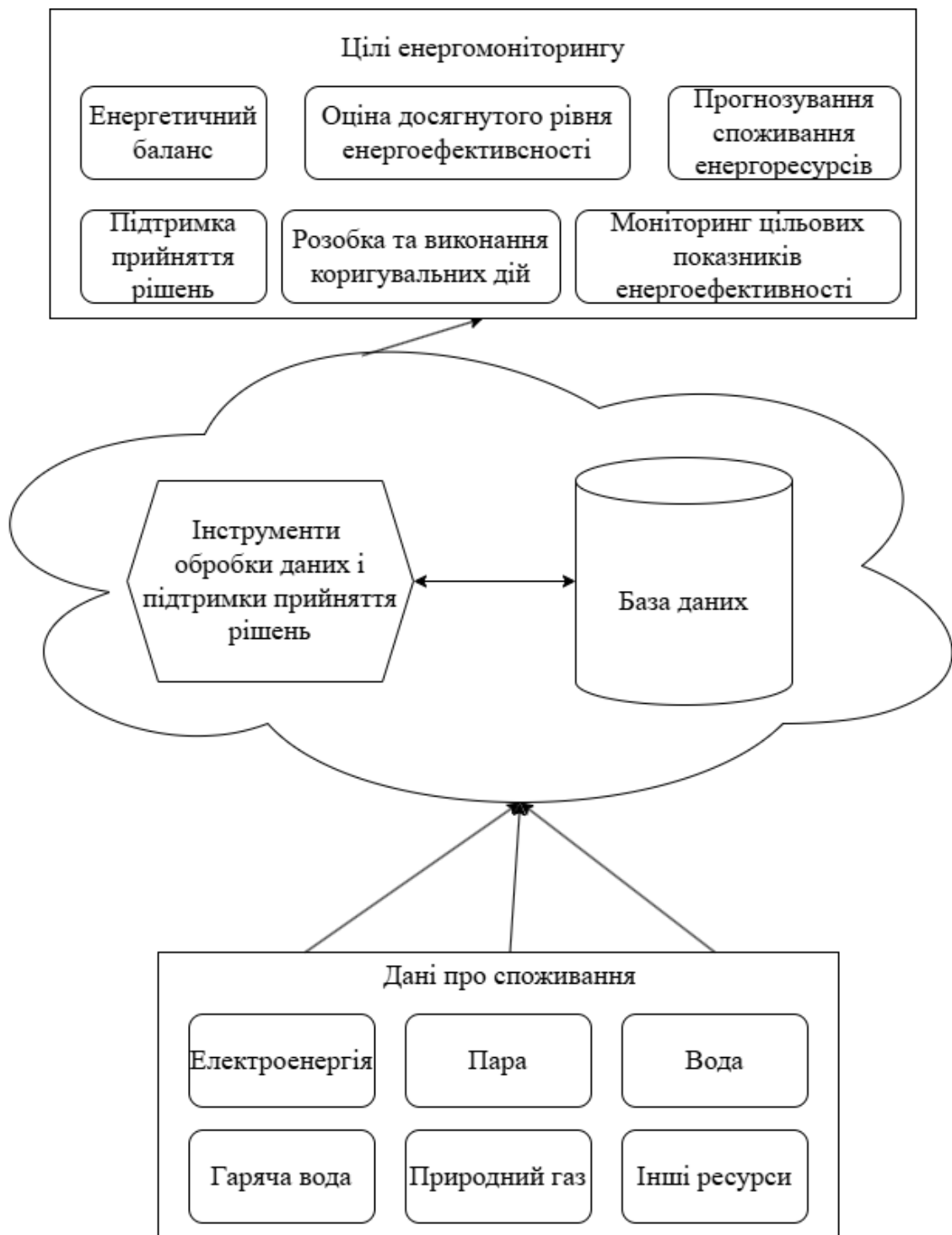


Рисунок 3. Типова схема системи енергомоніторингу

Висновки. У ході проведеного дослідження було розроблено концепцію системи енергетичного моніторингу для підприємств молочної галузі, яка дозволяє забезпечити комплексний підхід до управління паливно-енергетичними ресурсами. Запропонована система базується на використанні сучасних засобів автоматичного вимірювання параметрів споживання енергоресурсів, що, у свою чергу, забезпечує не лише оперативний аналіз, а й ефективне прогнозування енергоспоживання.

Основними результатами цього дослідження є:

- Визначено основні джерела споживання енергії на молочних підприємствах, що дає змогу здійснювати більш ефективний розподіл ресурсів, а також виявляти зони нераціонального використання енергії. Такий підхід дозволяє своєчасно виявляти потенційні втрати енергоресурсів та впроваджувати заходи для їхнього зменшення.

- Запропоновано концептуальну модель системи енергетичного моніторингу, яка включає набір вимірювальних пристроїв, що охоплюють кожен вид енергетичних ресурсів, а також ключові параметри, що підлягають постійному моніторингу. Це дозволяє забезпечити безперервний контроль за використанням енергії та отримувати актуальну інформацію для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

- Розроблено типову модель побудови системи енергомоніторингу, яка враховує специфічні особливості технологічних процесів молочних підприємств. Запропонована модель дає змогу здійснювати детальний аналіз енергоспоживання як на рівні окремих структурних підрозділів підприємства, так і в межах конкретних технологічних процесів. Це забезпечує високий рівень деталізації оцінки ефективності використання енергетичних ресурсів та дозволяє виявляти резерви для їх оптимізації.

- Продемонстровано можливості використання розробленої системи енергетичного моніторингу для підтримки процесу прийняття управлінських рішень, спрямованих на зниження загальних витрат підприємства, оптимізацію виробничих процесів та підвищення рівня енергоефективності. Використання таких рішень сприяє не лише економічній доцільності виробництва, а й підвищенню його екологічної стійкості.

Таким чином, розроблена система енергетичного моніторингу сприяє покращенню енергоефективності підприємств молочної галузі, підвищенню їхньої екологічної та економічної стійкості, а також створює необхідні умови для довгострокового контролю та управління процесами споживання енергетичних ресурсів.

Подальші дослідження в цьому напрямку можуть бути зосереджені на вдосконаленні методів аналізу отриманих даних, розширенні можливостей інтеграції системи енергомоніторингу з автоматизованими системами управління виробничими процесами, а також на розробці та впровадженні алгоритмів штучного інтелекту для більш точного прогнозування майбутнього енергоспоживання та виявлення потенційних точок для оптимізації ресурсів.

Список використаних джерел

1. Загальні технічні правила вимірювання, розрахунку та верифікації обсягів енергозбереження в проєктах: ДСТУ ISO 17741:2017. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73399 (дата звернення 04.03.2025).

2. Енергозбереження. Визначення методологічної основи розрахунку та звітності щодо обсягів енергозбереження: ДСТУ ISO 17743:2017. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73407 (дата звернення 04.03.2025).

3. Гоєнко А. О., Вибір стратегії підвищення енергетичної ефективності системи холодопостачання молокозаводу: бакалаврська робота. Київ, 2021. 130 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/4ea58242-d4d6-4bfd-9872-5ce08ffca999/content> (дата звернення 05.03.2025).
4. Гоєнко А. О., Формування оптимальної енергетичної стратегій підприємств молочної галузі з урахуванням обмеженості енергопостачання: магістерська дисертація. Київ, 2023. 120 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66780> (дата звернення 06.03.2025).
5. Чернявський А. В., Якобчук Д. В. Інформаційно-аналітичні засоби моніторингу енергоефективності об'єктів нафтодобувної галузі. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2014. С. 106–111. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/10248> (дата звернення 04.03.2025).
6. Гече Ф. Е., Мулеса О. Ю., Гриненко В. В. Знаходження найвпливовіших факторних ознак при побудові лінійних регресійних моделей. 2019. URL: <https://journals.urau.ua/tarp/article/download/175020/177648/392805> (дата звернення 07.03.2025).
7. Вимірювальні пристрої Siemens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products.html> (дата звернення 05.03.2025).
8. 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 IEEE з енергорозумних систем. 2020. С. 418–423. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9160061> (дата звернення 07.03.2025).
9. Коцар О., Карпенко А., Актуальні проблеми енергомоніторингу на муніципальних об'єктах. *Енергетика і автоматика*. 2022. С. 63–65. URL: <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/51317/15993> (дата звернення 05.03.2025).

References

1. General Technical Rules for Measurement, Calculation, and Verification of Energy Savings in Projects: DSTU ISO 17741:2017. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=7339 (accessed 04.03.2025). (Ukr).
2. Energy Savings. Definition of the Methodological Basis for Calculation and Reporting of Energy Savings: DSTU ISO 17743:2017. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73407 (accessed 04.03.2025). (Ukr).
3. Hoienko A. O., Selection of a Strategy for Increasing the Energy Efficiency of a Dairy Plant's Refrigeration System: Bachelor's Thesis. Kyiv, 2021. 130 p. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/4ea58242-d4d6-4bfd-9872-5ce08ffca999/content> (accessed 05.03.2025). (Ukr).
4. Hoienko A. O., Formation of an Optimal Energy Strategy for Dairy Industry Enterprises Considering Energy Supply Limitations: Master's Dissertation. Kyiv, 2023. 120 p. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66780> (accessed 06.03.2025). (Ukr).
5. 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. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/10248> (accessed 06.03.2025). (Ukr).
6. Heche F. E., Mulesa O. Yu., Grynenko V. V., Identification of the Most Influential Factor Features in the Development of Linear Regression Models. 2019. URL: <https://journals.urau.ua/tarp/article/download/175020/177648/392805> (accessed 05.03.2025). (Ukr).

7. Siemens Measuring Devices.
URL: <https://www.siemens.com/global/en/products.html> (accessed 05.03.2025).
8. A. Cherniavskyi, A. Hoienko, “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. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9160061> (accessed 07.03.2025).
9. Kotsar O., Karpenko A. Current Issues of Energy Monitoring at Municipal Facilities. Energy and Automation. 2022. pp. 63–65. URL: <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/51317/15993> (accessed 05.03.2025). (Ukr).

УДК 621.313.322-843.6

Тітов Є. О., аспірант, ORCID 0009 0007 8222 7477,
науковий керівник: канд. техн. наук, доцент М. А. Коваленко,
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

ВПЛИВ РЕЖИМІВ НАВАНТАЖЕННЯ НА ФОРМУ КРИВОЇ НАПРУГИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ДИЗЕЛЬ- ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

INFLUENCE OF LOAD MODES ON THE SHAPE OF THE VOLTAGE CURVE OF THE SYNCHRONOUS GENERATOR OF A DIESEL GENERATING SET

Анотація. У статті досліджується вплив режимів навантаження на форму кривої напруги синхронного генератора дизель-електрогенераторної установки (ДГУ). Аналізуються особливості напруги при різних рівнях навантаження (0 %, 50 %, 100 %), а також робота автоматичного регулятора напруги (AVR). Виявлено, що зміна навантаження впливає на гармонійні спотворення та стабільність електропостачання, що є критично важливим для надійності автономних енергосистем. Запропоновано методiku оцінки стабільності вихідної напруги та рекомендації щодо покращення роботи генераторних систем. Бібл. 4, рис. 6.

Ключові слова: автономні електромеханічні перетворювачі, електрогенеруючі пристрої, експлуатація, енергоефективність, надійність, технічне обслуговування, електропостачання, генераторні системи.

Abstract. The article examines the impact of load modes on the voltage waveform of a synchronous generator in a diesel generating set (DGS). The characteristics of voltage at different load levels (0 %, 50 %, 100 %) and the operation of the automatic voltage regulator (AVR) are analyzed. It was found that load variations affect harmonic distortions and power supply stability, which is crucial for the reliability of autonomous energy systems. A methodology for assessing voltage stability is proposed, along with recommendations for improving generator system performance. Ref. 4, Fig. 6.

Keywords: autonomous electromechanical converters, power generating devices, operation, energy efficiency, reliability, maintenance, power supply, generator systems.