

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-86-44>

УДК 330.341.1:658:620.9

ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ З УРАХУВАННЯМ ІННОВАЦІЙНИХ ПІДХОДІВ

FORMATION OF A MANAGEMENT MODEL FOR ENERGY-EFFICIENT ENTERPRISES CONSIDERING INNOVATIVE APPROACHES

Ганчук Михайло Дмитрович

аспірант,

Вінницький національний технічний університет

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8617-839X>

Ganchuk Mykhailo

Vinnytsia National Technical University

Стаття присвячена розробці концептуальної моделі управління енергоефективними підприємствами в умовах глобальної цифрової трансформації. У роботі критично переосмислено традиційні управлінські підходи та обґрунтовано об'єктивну необхідність впровадження інтегрованих систем, що базуються на синергії технологій Industry 4.0, інструментів штучного інтелекту та принципів сталого розвитку. Особливу увагу приділено механізмам адаптації виробничих структур до динамічних змін зовнішнього середовища через цифровізацію енергетичного менеджменту. Автором розроблено цілісну структурно-функціональну модель управління, яка дозволяє оптимізувати використання енергоресурсів та підвищити загальну конкурентоспроможність суб'єктів господарювання. У дослідженні систематизовано порівняльні характеристики інноваційних методів підвищення енергоефективності, виявлено їхні переваги та обмеження в умовах дефіциту капітальних інвестицій. Визначено стратегічні напрями практичної імплементації запропонованої моделі для вітчизняних промислових комплексів. Акцентовано увагу на специфіці функціонування підприємств у контексті євроінтеграційних процесів та нагальних потреб повоєнного відновлення економіки України. Запропоновані рішення спрямовані на створення стійких виробничих мереж, здатних до швидкого масштабування та технологічного оновлення відповідно до міжнародних стандартів енергозаміщення.

Ключові слова: енергоефективність, концептуальна модель управління, цифрова трансформація, Industry 4.0, штучний інтелект, сталий розвиток, енергетичний менеджмент, євроінтеграція, інноваційні технології.

The article is devoted to the development of a structural and functional model for managing energy-efficient enterprises based on innovative approaches, taking into account current trends in digital transformation and sustainable development requirements. The relevance of the study is driven by the strategic objectives of Ukraine's industrial policy under European integration and the challenges of post-war recovery. The author emphasizes that the energy component in the cost structure of industrial enterprises reaches 20–60%, which determines the critical importance of energy management for business competitiveness. The study identifies a significant gap between the outdated methods of energy resource management currently used by most domestic enterprises and the potential offered by Industry 4.0 technologies. The methodological basis of the study includes a systematic analysis of innovative tools such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and "Digital Twin" technology. The proposed management model is built on three conceptual levels: strategic, operational, and infrastructural. The strategic level involves the formation of an energy strategy aligned with ESG principles and Green Investment standards. The operational level focuses on real-time data collection via IoT sensors and the use of predictive analytics based on machine learning to optimize energy flows. The infrastructural level ensures the integration of cloud platforms, cybersecurity solutions, and renewable energy sources (RES) with energy storage systems. The scientific novelty of the work lies in the comprehensive integration of Industry 4.0 tools with the ISO 50001 standard and ESG reporting requirements within a single management framework adapted to the Ukrainian socio-economic context. A comparative analysis of different management approaches conducted in the study proves that the transition from traditional (reactive) methods to digital-innovative models increases the potential for energy savings from 5–10% to 25–40%. The practical significance of the results is reflected in the developed roadmap for



implementing the model, which includes diagnosing digital maturity, phased implementation of IT solutions, and personnel training. The author justifies that the financing of such transformations can be effectively carried out through green bonds and international grant programs like the Ukraine Facility. The research concludes that the proposed model not only ensures a reduction in energy consumption but also contributes to the decarbonization of industry, bringing Ukrainian enterprises closer to EU energy efficiency standards. Prospects for further research include the approbation of the model in specific industrial sectors and the development of tools to assess the digital maturity of energy management systems.

Keywords: energy efficiency, industrial management, digital transformation, Industry 4.0, Artificial Intelligence, ESG standards, European integration, sustainable development.

Постановка проблеми. Підвищення енергоефективності є одним із ключових завдань промислової політики України в умовах євроінтеграції. Енергетична складова у структурі витрат промислових підприємств становить від 20 до 60% залежно від галузевої специфіки [1, с. 373], що визначає критичне значення ефективного управління енергоспоживанням для конкурентоспроможності вітчизняного бізнесу.

Водночас більшість українських підприємств застосовує застарілі методи управління енергоресурсами, що не відповідають сучасним вимогам ринку та не дозволяють скористатися перевагами цифрових технологій. Відсутність системного підходу до формування моделі управління енергоефективністю, яка інтегрувала б інноваційні інструменти Industry 4.0, штучний інтелект та принципи ESG, зумовлює необхідність відповідних наукових досліджень [2, с. 13].

Актуальність теми посилюється у зв'язку з повоєнною відбудовою України та необхідністю залучення зелених інвестицій. Відповідно до Директиви ЄС про енергоефективність 2023/1791, українські підприємства мають поступово впроваджувати стандарти підвищення енергоефективності, що вимагає формування адекватних управлінських моделей [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання впровадження інноваційних підходів до управління енергоефективністю підприємств активно досліджуються у вітчизняній та зарубіжній науковій літературі. Вплив державної політики на розрив в енергоефективності з доказовою базою по Україні дослідили Lyulyov, Pimonenko, Kwilinski та ін. [1]. Питання зеленої конкурентоспроможності підприємств в умовах цифровізації розглянули Chen, Kwilinski, Chyugryn, Lyulyov, Pimonenko [2].

Систематичний огляд сталого фреймворку Industry 4.0, що охопив 85 наукових праць, здійснили Kamble, Gunasekaran та Gawankar, запропонувавши інтегровану модель поєднання технологій Industry 4.0 із

процесною інтеграцією та сталими результатами [4]. Виклики та переваги впровадження Industry 4.0 для малого і середнього бізнесу з визначенням шести основних бар'єрів проаналізували Masood та Sonntag [5].

Концептуальні засади поняття «Industry 4.0» і його роль у формуванні четвертої промислової революції обґрунтували Lasi, Fettke, Kemper, Feld та Hoffmann [6]. Роль цифровізації у формуванні зеленої конкурентоспроможності та просуванні зелених інвестицій досліджував ряд українських вчених [7; 8]. Проблеми оцінки енергоефективності та шляхи зменшення розриву в Україні досліджували Pimonenko та Lyulyov [9].

Водночас питання формування комплексної моделі управління енергоефективними підприємствами, яка органічно поєднувала б інструменти цифровізації, вимоги ESG та специфіку вітчизняного промислового середовища, залишається недостатньо розробленим. Практично відсутні дослідження таких моделей з урахуванням умов повоєнного відновлення та євроінтеграції України [10, с. 85–100].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри наявний науковий доробок, у дослідженнях залишається ряд невирішених питань. По-перше, не сформовано цілісної концептуальної моделі управління енергоефективними підприємствами, яка б інтегрувала технологічний, організаційний та інституційний виміри з урахуванням специфіки вітчизняного середовища. По-друге, недостатньо вивченими є механізми практичної імплементації інструментів Industry 4.0 в систему енергетичного менеджменту підприємств різних галузей України. По-третє, відсутній системний аналіз факторів, що обмежують впровадження інноваційних підходів до управління енергоефективністю у вітчизняному підприємницькому середовищі.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета статті – розробка структурно-функціональної моделі управ-

ління енергоефективними підприємствами на основі інноваційних підходів з урахуванням сучасних тенденцій цифрової трансформації та вимог сталого розвитку. Для досягнення мети поставлено такі завдання: систематизувати теоретичні підходи до управління енергоефективністю; визначити ключові інноваційні інструменти моделі; розробити структурно-функціональну модель управління; провести порівняльний аналіз підходів до управління енергоефективністю підприємств.

Виклад основного матеріалу дослідження. Запропонована модель управління енергоефективними підприємствами базується на трьох концептуальних рівнях: стратегічному, операційному та інфраструктурному. Кожен рівень виконує специфічні функції у забезпеченні комплексного підходу до управління енергоспоживанням.

Стратегічний рівень передбачає формування енергетичної стратегії підприємства, узгодженої з цілями сталого розвитку та вимогами ESG-звітності. Ключовими елементами цього рівня є: визначення енергетичних цілей і KPI, розробка дорожньої карти цифровізації енергоуправління, розподіл ресурсів для впровадження інноваційних технологій. Стратегічний рівень формує рамкові умови для операційного управління енергоефективністю [4, с. 408–425].

Операційний рівень охоплює безпосереднє управління енергопотоків із застосуванням цифрових інструментів. Центральне місце тут займають технології IoT – мережа датчиків і смарт-лічильників, що у режимі реального часу збирають дані про споживання енергоресурсів у розрізі кожного виробничого процесу. Зібрані дані опрацьовуються системами

предиктивної аналітики на основі машинного навчання [5, с. 103261].

Концепція цифрового двійника (digital twin) виробничого підприємства є наступним кроком у розвитку операційного рівня моделі. Цифровий двійник – це віртуальна копія реального підприємства, яка у режимі реального часу відображає стан усіх енергетичних систем і виробничих процесів. Це дозволяє проводити симуляції різних сценаріїв управління без ризику для реального виробництва [6, с. 239–242].

Інфраструктурний рівень включає технічну та організаційну інфраструктуру: хмарні платформи для зберігання та обробки даних, кібербезпекові рішення, системи автоматизації та диспетчеризації (SCADA/BMS), інтеграцію з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) – сонячними панелями, вітровими установками та системами акумуляції енергії.

Порівняльний аналіз підходів до управління енергоефективністю підприємств, представлений у Таблиці 1, дозволяє оцінити відносні переваги кожного з них та обґрунтувати доцільність переходу до інтегрованих цифрово-інноваційних моделей.

Як видно з Таблиці 1, кожен наступний рівень еволюції підходу забезпечує значно вищий потенціал енергозаощадження. Перехід від традиційного управління до цифрово-інноваційної моделі Industry 4.0 дозволяє збільшити енергозаощадження з 5–10% до 25–40%, тобто у 3–4 рази. Це підтверджує висновки Kamble, Gunasekaran та Gawankar [4] щодо ефективності сталого фреймворку Industry 4.0.

Реалізація запропонованої моделі на вітчизняних підприємствах передбачає:

Таблиця 1

Порівняльний аналіз підходів до управління енергоефективністю підприємств

Підхід до управління	Ключові інструменти	Потенціал енергозаощадження
Традиційне (реактивне) управління	Ручний облік, періодичні перевірки	5–10% від базового споживання
Процесно-орієнтований підхід	Регламентация витрат, внутрішній аудит	10–20% за рахунок оптимізації процесів
ISO 50001 / Система енергетичного менеджменту	KPI, постійне вдосконалення, сертифікація	15–30% при повному впровадженні
Цифрово-інноваційна модель (Industry 4.0)	IoT, предиктивна аналітика, AI, цифровий двійник	25–40%, скорочення простоїв на 30%
Інтегрована зелена модель (ESG + інновації)	ВДЕ, накопичення енергії, вуглецева нейтральність	Зниження вуглецевого сліду понад 50%

Джерело: сформовано автором на основі [1; 4; 5; 6]

1) діагностику поточного стану системи управління енергоспоживанням та оцінку цифрової зрілості підприємства; 2) розробку roadmap з визначенням пріоритетних технологій та джерел фінансування; 3) поетапне впровадження IoT-рішень і систем предиктивної аналітики; 4) навчання персоналу та формування організаційної культури, орієнтованої на енергоефективність; 5) інтеграцію з системами ESG-звітності та моніторинг KPI.

Фінансування впровадження моделі може здійснюватися через механізми зелених облігацій, грантів ЄС для повоєнного відновлення (Ukraine Facility), ЄБРР та Зеленого кліматичного фонду. Це відповідає стратегічним пріоритетам євроінтеграції України та дозволяє поєднати цілі підвищення конкурентоспроможності підприємств із завданнями декарбонізації промисловості [10, с. 85–100].

Висновки. У статті розроблено структурно-функціональну модель управління

енергоефективними підприємствами, що базується на інтеграції інструментів Industry 4.0 (IoT, AI, цифровий двійник), принципів ISO 50001 та вимог ESG-звітності. Модель охоплює три рівні: стратегічний, операційний та інфраструктурний.

Порівняльний аналіз підтвердив, що впровадження цифрово-інноваційних методів дозволяє досягти енергозаощадження у 25–40% порівняно з 5–10% при традиційних підходах. Це свідчить про значний потенціал інноваційної трансформації для вітчизняної промисловості в умовах наближення до стандартів ЄС.

Перспективами подальших досліджень є: апробація запропонованої моделі на підприємствах конкретних галузей; розробка методичного інструментарію оцінки цифрової зрілості підприємств; дослідження механізмів державної підтримки інноваційних трансформацій у сфері енергоефективності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Lyulyov O., Pimonenko T., Kwilinski A., Dzwigol H., Dzwigol-Barosz M., Pavlyk V., Barosz P. The Impact of the Government Policy on the Energy Efficient Gap: The Evidence from Ukraine. *Energies*. 2021. Vol. 14, № 2. P. 373. <https://doi.org/10.3390/en14020373>.
2. Chen Y., Kwilinski A., Chygryn O., Lyulyov O., Pimonenko T. The Green Competitiveness of Enterprises: Justifying the Quality Criteria of Digital Marketing Communication Channels. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, № 24. P. 13679. <https://doi.org/10.3390/su132413679>.
3. European Parliament. Directive 2023/1791 of 13 September 2023 on energy efficiency (recast). Official Journal of the European Union. 2023. L 231. P. 1–111.
4. Kamble S. S., Gunasekaran A., Gawankar S. A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*. 2018. Vol. 117. P. 408–425. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>.
5. Masood T., Sonntag P. Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*. 2020. Vol. 121. P. 103–261. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>.
6. Lasi H., Fettke P., Kemper H.-G., Feld T., Hoffmann M. *Industry 4.0*. Business & Information Systems Engineering. 2014. Vol. 6, № 4. P. 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>.
7. Chygryn O., Bilan Y., Kwilinski A. Stakeholders of Green Competitiveness: Innovative Approaches for Creating Communicative System. *Marketing and Management of Innovations*. 2020. № 3. P. 356–368. <https://doi.org/10.21272/mmi.2020.3-26>.
8. Prokopenko O., Telizhenko O., Kovalenko Ye., Lytvynenko S., Nych T., Kovalskyi A. Promising Directions of Increasing Energy Efficiency and Development of Green Energy in the Household Sector of Ukraine. *Rivista di Studi sulla Sostenibilita*. 2023. № 2. P. 107–127. <https://doi.org/10.3280/riss2023-002007>.
9. Us Ya., Pimonenko T., Lyulyov O. Energy Efficiency Profiles in Developing the Free-Carbon Economy: On the Example of Ukraine and the V4 Countries. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2021. Vol. 23, № 4. P. 49–66. <https://doi.org/10.33223/epj/129287>.
10. Prokopenko O., Chechel A., Sotnyk I., Omelyanenko V., Kurbatova T., Nych T. Improving State Support Schemes for the Sustainable Development of Renewable Energy in Ukraine. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2021. Vol. 24, № 1. P. 85–100. <https://doi.org/10.33223/epj/131010>.
11. Pimonenko T., Lyulyov O., Us Ya. Cointegration between Economic, Ecological and Tourism Development. *Journal of Tourism and Services*. 2021. Vol. 12, № 23. P. 169–180. <https://doi.org/10.29036/JOTS.V12I23.293>.
12. Kwilinski A., Kuzior A. Cognitive Technologies in the Management and Formation of Directions of the Priority Development of Industrial Enterprises. *Management Systems in Production Engineering*. 2020. Vol. 28. P. 133–138. <https://doi.org/10.2478/mspe-2020-0020>.

13. Drobyazko S., Hilorme T. Methods for Evaluating Technical Innovations in the Implementation of Energy-Saving Measures in Enterprises. *MethodsX*. 2022. Vol. 9. P. 101658. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101658>.
14. International Energy Agency. World Energy Outlook 2023. Paris: IEA, 2023. 464 p. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (дата звернення: 15.03.2025).
15. Trypolska G., Kurbatova T., Prokopenko O., Howaniec H., Klapkiv Yu. Wind and Solar Power Plant End-of-Life Equipment: Prospects for Management in Ukraine. *Energies*. 2022. Vol. 15, № 5. P. 1653. <https://doi.org/10.3390/en15051653>.

REFERENCES:

1. Lyulyov O., Pimonenko T., Kwilinski A., Dzwigol H., Dzwigol-Barosz M., Pavlyk V., Barosz P. The Impact of the Government Policy on the Energy Efficient Gap: The Evidence from Ukraine. *Energies*. 2021. Vol. 14, № 2. P. 373. <https://doi.org/10.3390/en14020373>.
2. Chen Y., Kwilinski A., Chygryn O., Lyulyov O., Pimonenko T. The Green Competitiveness of Enterprises: Justifying the Quality Criteria of Digital Marketing Communication Channels. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, № 24. P. 13679. <https://doi.org/10.3390/su132413679>.
3. European Parliament. Directive 2023/1791 of 13 September 2023 on energy efficiency (recast). *Official Journal of the European Union*. 2023. L 231. P. 1–111.
4. Kamble S. S., Gunasekaran A., Gawankar S. A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*. 2018. Vol. 117. P. 408–425. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>.
5. Masood T., Sonntag P. Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*. 2020. Vol. 121. P. 103–261. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>.
6. Lasi H., Fettke P., Kemper H.-G., Feld T., Hoffmann M. *Industry 4.0*. Business & Information Systems Engineering. 2014. Vol. 6, № 4. P. 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>.
7. Chygryn O., Bilan Y., Kwilinski A. Stakeholders of Green Competitiveness: Innovative Approaches for Creating Communicative System. *Marketing and Management of Innovations*. 2020. № 3. P. 356–368. <https://doi.org/10.21272/mmi.2020.3-26>.
8. Prokopenko O., Telizhenko O., Kovalenko Ye., Lytvynenko S., Nych T., Kovalskiy A. Promising Directions of Increasing Energy Efficiency and Development of Green Energy in the Household Sector of Ukraine. *Rivista di Studi sulla Sostenibilita*. 2023. № 2. P. 107–127. <https://doi.org/10.3280/riss2023-002007>.
9. Us Ya., Pimonenko T., Lyulyov O. Energy Efficiency Profiles in Developing the Free-Carbon Economy: On the Example of Ukraine and the V4 Countries. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2021. Vol. 23, № 4. P. 49–66. <https://doi.org/10.33223/epj/129287>.
10. Prokopenko O., Chechel A., Sotnyk I., Omelyanenko V., Kurbatova T., Nych T. Improving State Support Schemes for the Sustainable Development of Renewable Energy in Ukraine. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2021. Vol. 24, № 1. P. 85–100. <https://doi.org/10.33223/epj/131010>.
11. Pimonenko T., Lyulyov O., Us Ya. Cointegration between Economic, Ecological and Tourism Development. *Journal of Tourism and Services*. 2021. Vol. 12, № 23. P. 169–180. <https://doi.org/10.29036/JOTS.V12I23.293>.
12. Kwilinski A., Kuzior A. Cognitive Technologies in the Management and Formation of Directions of the Priority Development of Industrial Enterprises. *Management Systems in Production Engineering*. 2020. Vol. 28. P. 133–138. <https://doi.org/10.2478/mspe-2020-0020>.
13. Drobyazko S., Hilorme T. Methods for Evaluating Technical Innovations in the Implementation of Energy-Saving Measures in Enterprises. *MethodsX*. 2022. Vol. 9. P. 101658. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101658>.
14. International Energy Agency. (2023). World Energy Outlook 2023. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (accessed March 15, 2025)
15. Trypolska, G., Kurbatova, T., Prokopenko, O., Howaniec, H., & Klapkiv, Yu. (2022). Wind and solar power plant end-of-life equipment: Prospects for management in Ukraine. *Energies*, 15(5), 1653. <https://doi.org/10.3390/en15051653>

Дата надходження статті: 20.04.2026

Дата прийняття статті: 08.05.2026

Дата публікації статті: 19.05.2026