

УДК 330.46:620.9:330.322

DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.212.218-226>**Черноусова Ж.Т.**

кандидат фізико-математичних наук

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Chernousova Zhanna

PhD in Physical and Mathematical Sc.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

<https://orcid.org/0000-0003-0769-9048>

МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РИЗИКІВ ТА ЇХ КРИТИЧНИХ РІВНІВ

Статтю присвячено дослідженню підходів до оцінювання енергоефективності підприємств в умовах зростання енергетичних ризиків, пов'язаних із нестабільністю електропостачання. Метою роботи є удосконалення методичних засад інвестиційного аналізу енергоефективних рішень шляхом урахування втрат від перебоїв енергопостачання. Запропоновано модифікацію класичних інвестиційних критеріїв ефективності на основі інтеграції параметра інтенсивності енергетичних ризиків, що дозволяє сформувати ризик-орієнтовані інвестиційні критерії оцінювання.

У роботі розроблено підхід до визначення критичних рівнів ризику, за яких змінюється доцільність інвестицій у енергоефективні заходи. Запропонований підхід дозволяє враховувати галузеві особливості та підвищує обґрунтованість інвестиційних рішень в умовах енергетичної невизначеності.

Ключові слова: енергоефективність, енергетичні ризики, інвестиційний аналіз, ризик-орієнтовані інвестиційні критерії, критичні рівні ризику, енергетична стійкість, енергоефективні інвестиції, прийняття інвестиційних рішень, економічна ефективність.

MODELING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF ENERGY-EFFICIENT DECISIONS UNDER ENERGY RISKS AND THEIR CRITICAL LEVELS

The article examines methodological approaches to evaluating the energy efficiency of enterprises under conditions of increasing energy risks caused by instability and interruptions of electricity supply. The relevance of the study is determined by the growing impact of energy insecurity on economic performance and investment decision-making. The aim of the study is to improve approaches to energy efficiency assessment by integrating energy risk factors into the investment analysis framework and developing modified performance criteria that account for losses associated with power outages.

A modification of classical investment indicators (NPV, IRR, payback period, and efficiency ratio) is proposed based on the introduction of a parameter reflecting the intensity of energy risks. This parameter enables the inclusion of expected losses from electricity supply disruptions into the structure of cash flows, thereby forming risk-oriented investment criteria. The proposed approach allows for a more realistic assessment of economic efficiency under uncertainty and improves the comparability of alternative investment options. The study also develops a method for determining critical risk levels at which the feasibility of investments in energy-efficient measures changes. It is demonstrated that accounting for energy risks significantly affects the results of efficiency evaluation and leads to changes in investment priorities. In particular, depending on the level of risk, enterprises may shift from focusing on energy efficiency improvements to investing in energy resilience and backup power solutions.

In addition, the proposed framework provides a basis for identifying threshold conditions that determine rational investment behavior under uncertainty. It allows decision-makers to balance expected energy savings and potential losses more effectively. The approach can be applied in developing strategies aimed at increasing both energy efficiency and operational resilience of enterprises in volatile energy environments.

Keywords: energy efficiency, energy risks, investment analysis, risk-oriented investment criteria, critical risk levels, energy resilience, energy-efficient investments, investment decision-making, economic efficiency

JEL classification: C61, D81, Q41, G31.

ISSN друкованої версії: 2224-6282

ISSN електронної версії: 2224-6290

© Черноусова Ж.Т., 2026

Постановка проблеми. Сучасні умови функціонування підприємств в Україні характеризуються високим рівнем енергетичної нестабільності, що проявляється у перебоях електропостачання, сезонних дефіцитах енергоресурсів та ризиках порушення безперервності діяльності. Події останніх зимових періодів, пов'язані з пошкодженням енергетичної інфраструктури, продемонстрували, що традиційні підходи до оцінювання енергоефективних проєктів не відображають реальних умов функціонування бізнесу. У цих умовах підприємства стикаються не лише з необхідністю зниження витрат на енергоресурси, але й із завданням мінімізації втрат від перебоїв електропостачання, що можуть суттєво перевищувати ефект від заходів енергоефективності. Це змінює логіку прийняття інвестиційних рішень, оскільки поряд із показниками економії зростає значущість факторів надійності та безперервності функціонування.

Водночас у практиці оцінювання інвестицій ефективність енергоефективних проєктів традиційно визначається за допомогою показників чистої приведеної вартості, внутрішньої норми дохідності та терміну окупності, які базуються на припущенні стабільності грошових потоків. Такі підходи не враховують втрати, пов'язані з енергетичною нестабільністю, що призводить до завищення оцінок ефективності та потенційно неефективних управлінських рішень.

Отже, виникає необхідність удосконалення підходів до оцінювання енергоефективності підприємств шляхом інтеграції факторів енергетичних ризиків у систему інвестиційного аналізу, що дозволить більш адекватно відобразити реальні умови функціонування бізнесу та підвищити обґрунтованість прийняття рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз сучасних українських досліджень у сфері енергоефективності свідчить про активний розвиток цієї проблематики, що зумовлено зростанням енергетичних ризиків та необхідністю підвищення стійкості економіки. У роботах 2023–2025 років основна увага приділяється розвитку відновлюваної енергетики, удосконаленню механізмів фінансування енергоефективних проєктів та інтеграції енергоефективності у стратегії економічного розвитку. При цьому дослідження переходу до відновлюваних джерел енергії базуються переважно на застосуванні системного, статистичного та порівняльного аналізу та використовують традиційні показники ефективності, що не виходять за межі класичних економічних підходів [1].

У сучасних роботах, присвячених енергоефективності підприємств, акцент робиться на інтеграції ESG-факторів, стратегічному управлінні ресурсами та підвищенні конкурентоспроможності бізнесу. Водночас оцінювання ефективності таких заходів залишається прив'язаним до класичних фінансових критеріїв, зокрема чистої приведеної вартості, внутрішньої норми дохідності та терміну окупності [2]. Аналогічно, у дослідженнях малого бізнесу та державної політики у сфері енергоефективності основна увага приділяється інституційним механізмам, стимулюванню інвестицій та нормативному забезпеченню, тоді як питання

модифікації аналітичних критеріїв прийняття рішень залишаються недостатньо опрацьованими [3]. Сучасні аналітичні матеріали щодо розвитку енергетичного сектору України підкреслюють зростання ролі розподіленої генерації та інвестицій у резервні джерела енергозабезпечення як відповіді на втрати генеруючих потужностей та підвищення ризиків енергопостачання [4]. Проте навіть у цих роботах енергетичні ризики розглядаються переважно на макrorівні або в контексті стратегічного розвитку, без їх формалізації у вигляді кількісного параметра, інтегрованого в оцінювання ефективності інвестицій на рівні підприємств.

Водночас у міжнародних дослідженнях сформувався окремий напрям, пов'язаний із оцінюванням економічних втрат від перебоїв електропостачання (outage costs) та надійності енергосистем. Зокрема, за оцінками Світового банку, втрати підприємств від перебоїв електропостачання в країнах із підвищеним рівнем енергетичних ризиків можуть досягати кількох відсотків річного обсягу продажів, що підтверджує суттєвий вплив енергетичної нестабільності на результати господарської діяльності [5]. Оцінки Міжнародного енергетичного агентства також підкреслюють, що надійність електропостачання є ключовим фактором економічної ефективності, а перебої в енергопостачанні призводять до значних прямих і непрямих економічних втрат для підприємств [6].

Аналіз міжнародних досліджень також підтверджує домінування традиційних підходів до оцінки інвестицій, що базуються на використанні показників NPV, IRR та ROI [7, 8], у тому числі в роботах за участю українських дослідників [7]. Водночас сучасні підходи до оцінювання енергетичних систем активно розвиваються у напрямі складних оптимізаційних моделей та багатокритеріального аналізу [9], що підвищує точність оцінювання, але ускладнює їх використання на рівні підприємств. Крім того, у літературі відзначається відсутність узагальнених підходів до інтеграції економічних та операційних аспектів енергоспоживання в єдину систему оцінювання [10].

Таким чином, проведений огляд свідчить, що, незважаючи на значну кількість досліджень у сфері енергоефективності та розвиток напрямів оцінювання втрат від перебоїв електропостачання, у науковій літературі відсутні підходи, які б інтегрували ці аспекти в межах єдиного аналітичного критерію. Існуючі дослідження або обмежуються використанням класичних фінансових показників, або розглядають енергетичні ризики ізольовано, або базуються на складних моделях, що ускладнює їх застосування у практиці управління підприємствами. Це підтверджує наявність наукового розриву та обґрунтовує доцільність розроблення підходу, який передбачає інтеграцію втрат від перебоїв електропостачання у систему оцінювання ефективності інвестицій.

Мета статті – удосконалення підходів до оцінювання енергоефективності підприємств шляхом інтеграції факторів енергетичних ризиків у систему інвестиційного аналізу та розроблення ризик-орієнтованих критеріїв ефективності, що враховують втрати від

перебоїв електропостачання.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в дослідженні застосовано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів економічного аналізу. Порівняльно-аналітичний метод використано для зіставлення традиційних підходів до оцінювання енергоефективності та інвестиційної ефективності (NPV, IRR, термін окупності) з урахуванням сучасних умов енергетичної нестабільності, а також для узагальнення наукових підходів до врахування ризиків у процесі прийняття інвестиційних рішень.

Системний підхід дозволив розглядати енергоефективність підприємств як комплексну характеристику, що формується під впливом економічних, технологічних та енергетичних факторів, зокрема ризиків перебоїв електропостачання. Метод структурно-функціонального аналізу застосовано для визначення ролі втрат від енергетичних перебоїв у структурі грошових потоків підприємства та їх впливу на результати оцінювання ефективності інвестицій. Методи економіко-математичного моделювання використано для формалізації підходу до оцінювання енергоефективності з урахуванням енергетичних ризиків, зокрема для побудови модифікованих показників ефективності (NPV*, IRR*, термін окупності, EE*), що інтегрують фактор втрат від відключень електропостачання. Аналітичні розрахунки застосовано для оцінювання впливу параметра інтенсивності енергетичних ризиків на результати інвестиційного аналізу.

Методи узагальнення та абстрагування використані при формуванні теоретичних положень щодо інтеграції енергетичних ризиків у систему оцінювання ефективності. Табличний і розрахунковий методи застосовано для систематизації результатів дослідження, порівняння показників ефективності для різних типів підприємств та ілюстрації впливу енергетичних ризиків на інвестиційні рішення.

Виклад основних результатів дослідження. У класичних підходах енергоефективність розглядається як інструмент зниження витрат, а ефективність інвестицій оцінюється за допомогою показників типу чистої приведеної вартості (NPV), що визначається як: $NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{St - Ct}{(1+r)^t}$,

де I_0 – початкові інвестиційні витрати на впровадження заходів енергоефективності; S_t – економія енергоресурсів в періоді t , C_t – поточні витрати, пов'язані з реалізацією проекту в періоді t , r – ставка дисконту, T – горизонт аналізу (кількість періодів).

Однак дана модель не враховує ризиків перебоїв електропостачання, які можуть призводити до значних економічних втрат. Згідно з дослідженнями [5], перебої електроенергії є одним із ключових факторів економічних втрат підприємств, а їх вплив може становити значну частку операційних витрат. Додатково, дослідження [11] показують, що економічні втрати від відключень можуть досягати тисяч і десятків тисяч доларів за годину залежно від типу діяльності. У зв'язку з цим у роботі запропоновано розширення класичної моделі шляхом інтеграції фактору енергетичного ризику. Модифікований показник ефективності має

$$\text{вигляд: } NPV^* = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{St - Ct - \lambda_t \cdot Lt}{(1+r)^t},$$

де L_t – втрати від перебоїв енергопостачання періоду t , λ_t – інтенсивність енергетичних ризиків періоду t . Для підприємств втрати L_t можуть бути деталізовані як: $L_t = C_d + C_l + C_r$, де C_d – втрати від простою, C_l – втрати продукції, C_r – репутаційні втрати.

Таким чином, ефективність проекту визначається не лише економією ресурсів, а й здатністю мінімізувати ризики втрати безперервності діяльності.

Переписуючи модель, отримуємо: $NPV^* = NPV - \sum_{t=1}^T \frac{\lambda_t \cdot Lt}{(1+r)^t}$, що дозволяє інтерпретувати

ефективність як різницю між класичним економічним ефектом і очікуваними втратами від енергетичних ризиків. Запропонований підхід змінює логіку прийняття рішень: проекти з високою економією, але значною вразливістю до відключень, можуть поступатися рішенням, що забезпечують енергетичну автономність (генератори, акумуляторні системи, сонячні панелі). Практичні оцінки показують, що втрати від простою можуть у декілька разів перевищувати річний ефект від енергоефективності, що обґрунтовує доцільність інвестицій у підвищення стійкості.

У спрощених підходах ефективність енергоефективних заходів часто оцінюється як відношення отриманої економії енергоресурсів до інвестиційних витрат: $EE = \frac{S}{C_{proj}}$, де S – чиста економія ($S_t - C_t$); C_{proj} – загальні інвестиційні витрати на проект, що відповідає базовому уявленню про рентабельність інвестицій (ROI). Однак така оцінка не враховує ризики перебоїв електропостачання. Тоді вводимо новий критерій: $EE^* = \frac{S - \lambda \cdot L}{C_{proj}}$.

Запропонований підхід дозволяє інтегрувати фактор енергетичної нестабільності у процес оцінки енергоефективності, що є особливо актуальним для економік із високим рівнем інфраструктурних ризиків. На відміну від класичних моделей, новий критерій відображає реальні економічні умови функціонування підприємств і забезпечує більш обґрунтований вибір інвестиційних рішень. Для поглиблення аналізу доцільно розглянути вплив енергетичних ризиків на підприємства різних типів, а також на побутових споживачів, оскільки рівень втрат і характер прийняття рішень суттєво відрізняються.

Розглянемо виробниче підприємство середнього масштабу (металообробка або харчова промисловість), для якого характерним є значне енергоспоживання, обумовлене використанням технологічного та допоміжного обладнання. В Україні підприємства здійснюють облік встановленої електричної потужності та обсягів використання енергії відповідно до державних статистичних спостережень (форма №11-мп), що базуються на фактичних виробничих даних і використовуються для аналізу енергоспоживання [12]. Встановлена потужність підприємства формується як сума потужностей технологічного та допоміжного обладнання (виробничі лінії, верстати, компресори, вентиляційні та холодильні системи). Для підприємств зазначеного типу характерне використання обладнання з

індивідуальною потужністю від кількох до десятків кіловат, а їх сукупність формує загальне електричне навантаження на рівні сотень кіловат і більше. Точне значення встановленої потужності визначається структурою виробництва, кількістю обладнання та режимом його використання і в подальшому оцінюється на основі фактичного енергоспоживання підприємства. Додаткове підтвердження цього діапазону отримується через аналіз фактичного енергоспоживання підприємств. За галузевими оцінками, середні промислові підприємства споживають від 1000 до 5000 кВт·год електроенергії на добу, тоді як для харчового виробництва цей показник може досягати 15000–20000 кВт·год на добу (як для енергоємних виробництв) [13]. Отриманий діапазон відображає середнє робоче навантаження і підтверджує, що фактична потужність підприємств визначається не лише складом обладнання, але й режимом його використання. Такий підхід відповідає загальним принципам аналізу енергоспоживання промислових систем, де рівень навантаження є функцією виробничої структури та інтенсивності технологічних процесів [14, 15]. Річне споживання електроенергії може бути оцінене на основі добового споживання та кількості робочих днів. За умов добового споживання 1000–20000 кВт·год та 250–300 робочих днів на рік це відповідає річному обсягу приблизно 0,25–6,0 млн кВт·год. Візьмемо для розрахунків 5,0 млн кВт·год.

За сучасних умов функціонування енергоринку України вартість електроенергії для промислових споживачів становить у середньому 6–8 грн/кВт·год [16]. У розрахунках приймається значення 7 грн/кВт·год, що відповідає типовим ринковим умовам, що дає річні витрати на рівні близько 35 млн грн. Високий рівень енергетичних витрат обумовлює значну чутливість підприємств до перебоїв електропостачання. За оцінками Світового банку, такі перебої можуть призводити до втрат, що досягають кількох відсотків річного обсягу продажів підприємств [5]. Втрати від перебоїв електропостачання можуть бути оцінені як через втрату виробничої продуктивності, так і з урахуванням додаткових витрат, пов'язаних із зупинкою технологічних процесів, псуванням продукції та відновленням роботи обладнання. Базова оцінка втрат може бути отримана через відношення річного обсягу реалізації продукції до ефективного фонду робочого часу підприємства. Річний обсяг реалізації середніх промислових підприємств, відповідно до класифікації підприємств за розміром, може змінюватися в широкому діапазоні – від десятків до понад тисячі мільйонів гривень, із верхньою межею на рівні близько 2 млрд грн (еквівалент 50 млн євро), що відповідає критеріям віднесення підприємств до середніх у міжнародній практиці [17, 18]. При цьому зазначене значення є граничним, а фактичні обсяги реалізації можуть істотно варіюватися залежно від галузі, структури виробництва та рівня завантаження підприємства. За макроекономічними оцінками, середні підприємства формують значну частку виручки бізнесу, що підтверджує типовість масштабів діяльності на рівні сотень мільйонів гривень.

Втрати від простою можуть бути оцінені як відношення річного обсягу реалізації підприємства до ефективного фонду робочого часу. Ефективний фонд часу для промислових підприємств за умов роботи 8–10 годин на добу протягом 250–300 робочих днів становить приблизно 2000–3000 годин на рік. З огляду на значну варіативність річного обсягу реалізації середніх підприємств, оцінки втрат також можуть змінюватися в широких межах, що зумовлює доцільність використання діапазонних або сценарних підходів при їх розрахунку. Це дає оцінку втрат виробничої продуктивності на рівні близько 667–1000 тис. грн за годину для підприємств, що працюють на верхній межі діапазону обороту. Водночас така оцінка відображає лише втрати випуску і не враховує повних економічних наслідків простою. За даними [5], втрати підприємств від перебоїв електропостачання можуть становити приблизно 2–6% річного обсягу продажів. Для підприємства з оборотом 2 млрд грн це відповідає річним втратам на рівні 40–120 млн грн. За умови 20–30 годин відключень на рік це еквівалентно приблизно 1,3–6,0 млн грн за годину у верхньому сценарії. Отже, узагальнений діапазон оцінки втрат становить приблизно 0,7–6,0 млн грн за годину, що відображає як базові, так і розширені економічні наслідки простою. За умови 20–30 годин відключень на рік сумарні втрати можуть становити приблизно 13–180 млн грн, що відображає значну варіативність оцінок залежно від масштабу діяльності та структури виробництва підприємства.

Ефект від впровадження заходів з енергоефективності визначається як добуток річного обсягу споживання електроенергії, тарифу та відносного скорочення споживання. За даними досліджень у сфері енергоефективності, типові заходи для промислових підприємств забезпечують зниження споживання на рівні 5–15% залежно від рівня модернізації та організації енергоменеджменту [6, 19]. Для підприємства з річним споживанням 5,0 млн кВт·год. кВт·год та тарифом 7 грн/кВт·год це відповідає економії на рівні приблизно 1,7–5,3 млн грн на рік.

Критичне значення параметра ризику визначається як відношення очікуваного ефекту енергоефективності до втрат від перебоїв електропостачання $\lambda^* = S/L$. Для виробничого підприємства, за умов ефекту енергоефективності на рівні 1,7–5,3 млн грн на рік та втрат від перебоїв у межах 13–180 млн грн, критичне значення параметра ризику становить приблизно 0,01–0,4. Такий широкий діапазон пояснюється значною варіативністю оцінок втрат і свідчить про високу чутливість інвестиційних рішень до параметрів енергетичного ризику.

Розглянемо підприємство у сфері офісної діяльності або ІТ (бізнес-центр, сервісна компанія, ІТ-офіс), для якого характерним є відносно нижчий рівень енергоспоживання порівняно з виробничими підприємствами, проте висока залежність від безперервності електропостачання. В Україні підприємства цього типу також здійснюють облік використання енергоресурсів відповідно до вимог державної статистики (форма №11-мтп), що дозволяє використовувати ці дані для

економічного аналізу [12]. Енергоспоживання офісних та ІТ-компаній визначається насамперед навантаженням від комп'ютерної техніки, серверного обладнання, систем кондиціонування, освітлення та інфраструктури зв'язку. Потужність одного робочого місця, з урахуванням персонального комп'ютера, периферійних пристроїв та освітлення, зазвичай становить близько 0,1–0,3 кВт. Для офісу на 50–200 працівників це формує базове навантаження на рівні 5–60 кВт, яке з урахуванням серверних систем, систем кондиціонування та допоміжної інфраструктури зростає до приблизно 50–300 кВт. Додаткове підтвердження цього діапазону отримується через аналіз питомого енергоспоживання офісних будівель. За міжнародними оцінками, річне споживання електроенергії офісних приміщень становить приблизно 100–300 кВт·год на м² залежно від рівня оснащення та кліматичних умов [6, 20, 21]. З урахуванням режиму роботи (8–10 годин на добу, 250–300 робочих днів на рік) базове річне споживання електроенергії формується в межах приблизно 0,1–0,6 млн кВт·год. У реальних умовах діяльності, з урахуванням безперервної роботи серверів, систем охолодження та нерівномірності навантаження, фактичне споживання може досягати 0,3–0,8 млн кВт·год на рік. Для подальших розрахунків доцільно використовувати значення 500 000 кВт·год як репрезентативне для офісу середнього масштабу.

За сучасних умов функціонування енергоринку України вартість електроенергії для бізнесу, з урахуванням тарифів на передачу та розподіл, становить у середньому близько 5–7 грн/кВт·год [16]. У розрахунках приймається значення 6 грн/кВт·год, що відповідає типовим умовам постачання. За цих умов річні витрати на електроенергію становлять: $500\,000 \cdot 6 = 3\,000\,000$ грн.

Незважаючи на відносно нижчий рівень енергоспоживання, офісні та ІТ-компанії характеризуються високою чутливістю до перебоїв електропостачання. За оцінками Світового банку, перебої в електропостачанні можуть призводити до суттєвих економічних втрат для бізнесу, навіть за відносно невеликих обсягів енергоспоживання [5]. Це пов'язано з втратою доступу до інформаційних систем, перериванням бізнес-процесів та ризиком втрати даних, зі зниженням продуктивності праці персоналу, простоем робочих місць. Оцінка втрат у цьому випадку може бути здійснена через вартість робочого часу. Для офісу на 50–150 працівників, за середньої вартості робочого часу 200–400 грн за годину на одного працівника, втрати становлять приблизно: $10\,000 - 60\,000$ грн/год, що узгоджується з оцінками витрат на оплату праці та недоотриманих результатів діяльності. За умов перебоїв електропостачання тривалістю 20–30 годин на рік сумарні втрати становлять приблизно: $L \approx 0,3 - 1,5$ млн грн на рік.

Ефект від впровадження заходів з енергоефективності визначається як добуток обсягу споживання електроенергії, тарифу та відносного скорочення споживання. Для офісних будівель типові заходи забезпечують зниження споживання на рівні 5–15%. Для обраного рівня споживання це відповідає економії:

$S \approx 150\,000 - 450\,000$ грн на рік.

Критичне значення параметра ризику за наведеними оцінками: $\lambda^* = S/L \approx 0,1 - 1,0$. Отриманий діапазон свідчить про значну варіативність співвідношення між ефектом енергоефективності та втратами від перебоїв електропостачання для офісних та ІТ-компаній. Це означає, що навіть помірні значення енергетичних ризиків можуть впливати на структуру інвестиційних рішень, зокрема зменшуючи економічну привабливість енергоефективних заходів. Водночас, на відміну від виробничих підприємств, для яких характерна висока чутливість до перебоїв електропостачання, у офісному секторі доцільність інвестицій у резервне енергоживлення виникає лише за відносно високих значень параметра λ .

Розглянемо підприємство у сфері логістики або ритейлу (складський комплекс, супермаркет, дистрибуційний центр), для якого характерним є середній рівень енергоспоживання, але висока чутливість до перебоїв електропостачання. Енергоспоживання таких об'єктів формується за рахунок освітлення, холодильного обладнання, ІТ-інфраструктури, вентиляційних систем та обробки вантажів. Річне споживання електроенергії підприємствами у сфері логістики та ритейлу визначається площею об'єкта, інтенсивністю операцій та складом обладнання, зокрема системами освітлення, холодильними установками, вентиляцією та ІТ-інфраструктурою. За міжнародними оцінками енергоефективності будівель, питоме споживання електроенергії для комерційних об'єктів становить приблизно 100–300 кВт·год на 1 м² на рік [20]. Площа логістичних та ритейл-об'єктів визначається їх функціональним призначенням і масштабом діяльності. За міжнародними класифікаціями комерційної нерухомості супермаркети та торговельні об'єкти належать до середніх і великих комерційних будівель, площа яких може становити від 1000 до 15000 м² [20, 21]. Водночас за даними ринкових досліджень складської нерухомості, логістичні комплекси (складські комплекси) середнього масштабу зазвичай мають площу в діапазоні 3000–10000 м², що підтверджується аналітичними звітами міжнародних консалтингових компаній [22, 23]. З урахуванням перетину цих діапазонів для узагальнених розрахунків доцільно використовувати інтервал 5000–10000 м² як типовий для об'єктів середнього масштабу у сфері логістики та ритейлу. Для таких об'єктів річне споживання електроенергії становить: $5000 \cdot 100 = 500\,000$ кВт·год,

$10000 \cdot 300 = 3\,000\,000$ кВт·год. Отже, базовий діапазон становить приблизно 0,5–3,0 млн кВт·год на рік. З урахуванням безперервної роботи холодильного обладнання, касових систем та ІТ-інфраструктури фактичне споживання, як правило, знаходиться у верхній частині цього діапазону [13], що дозволяє використовувати інтервал 1–3 млн кВт·год як узагальнену оцінку. Таким чином, діапазон 1–3 млн кВт·год на рік є узагальненою оцінкою, що узгоджується як із питомими показниками енергоспоживання, так і з масштабами типових логістичних та ритейл-об'єктів. Для подальших розрахунків приймається середнє значення на рівні

2 млн кВт·год.

З урахуванням сучасних умов функціонування енергоринок України, фактична вартість електроенергії для бізнесу формується на ринкових засадах і, з урахуванням тарифів на передачу та розподіл, становить у середньому 6–8 грн/кВт·год, а в умовах дефіциту може бути ще вищою [24]. У розрахунках доцільно використовувати середнє значення 7 грн/кВт·год, що відповідає типовим умовам для підприємств. За таких умов річні витрати на електроенергію становитимуть: $2 \cdot 7 = 14$ млн грн.

Втрати від перебоїв електропостачання у логістичних та ритейл-компаніях мають змішаний характер і включають як прямі, так і непрямі компоненти: псування товарів, порушення умов зберігання, зупинку складських операцій, відмову касових систем та ІТ-інфраструктури, а також втрату клієнтів. Оцінка вартості простою може бути здійснена через відношення річного обороту до ефективного фонду робочого часу. Для підприємств цього типу це дає оцінку на рівні порядку 100 000–300 000 грн за годину, що відповідає типовим економічним параметрам діяльності логістичних та ритейл-об'єктів. За умов тривалості перебоїв електропостачання 20–30 годин на рік сумарні втрати становлять: $L \approx 2\,000\,000\text{--}9\,000\,000$ грн.

Ефект від впровадження заходів з енергоефективності визначається як добуток річного споживання, тарифу та відносного скорочення споживання. Для підприємств цього типу типове зниження споживання становить 5–15%, що відповідає економії від $S = 2\,000\,000 \cdot 7 \cdot 0,05 = 700\,000$ до $S = 2\,000\,000 \cdot 7 \cdot 0,15 = 2\,100\,000$ грн.

Підставлення значень дає критичне значення параметра ризику: $\lambda^* \approx S/L = 0,08\text{--}1,0$. Це свідчить про те, що підприємства у сфері логістики та ритейлу займають проміжне положення між виробничими та офісними системами: втрати від перебоїв є суттєвими, але не настільки критичними, як у виробництві. У результаті інвестиційні рішення щодо впровадження заходів енергоефективності або резервного енергоживлення значною мірою залежать від фактичного рівня енергетичних ризиків.

Розглянемо побутового споживача (домогосподарство), для якого характерним є значно нижчий рівень енергоспоживання порівняно з підприємствами, але водночас висока залежність від безперервності електропостачання у повсякденному житті. Енергоспоживання домогосподарства визначається використанням базових електроприладів (освітлення, побутова техніка, холодильне обладнання, системи опалення та кондиціонування), а також індивідуальними характеристиками житла та стилем споживання. За даними міжнародних енергетичних досліджень, середнє річне споживання електроенергії домогосподарствами становить приблизно 2000–4000 кВт·год залежно від рівня електрифікації та кліматичних умов [20]. Для умов України типовим є споживання на рівні 1500–

3000 кВт·год на рік для міських домогосподарств, що відповідає базовому набору електроприладів. Для подальших розрахунків приймемо середнє значення на рівні 2500 кВт·год.

За тарифу на електроенергію для населення, який у 2024–2025 роках становить близько 4,32 грн/кВт·год [16], річні витрати домогосподарства на електроенергію становитимуть приблизно 10 800 грн.

Втрати від перебоїв електропостачання для побутових споживачів мають переважно непрямий характер і пов'язані з погіршенням умов проживання, порушенням побутових процесів, обмеженням доступу до інформаційних послуг, а також потенційним псуванням продуктів. На відміну від підприємств, ці втрати важко прямо монетизувати, однак їх можна оцінити через витрати на альтернативні рішення (джерела резервного живлення, акумулятори, генератори) або втрати часу. За умов регулярних відключень сумарні річні втрати можуть оцінюватися на рівні $L \approx 8\,000\text{--}12\,000$ грн, що є співставним із річними витратами на електроенергію, але значно нижчим порівняно з відповідними втратами підприємств. Ефект від впровадження заходів з енергоефективності визначається як добуток обсягу споживання електроенергії, тарифу та відносного скорочення споживання. Для побутових споживачів типове скорочення становить 5–15% за рахунок використання енергоефективних приладів та оптимізації споживання. Для обраного рівня споживання це відповідає економії від $S = 2500 \cdot 4,32 \cdot 0,05 \approx 540$ грн до $S = 2500 \cdot 4,32 \cdot 0,15 \approx 1620$ грн. Критичне значення параметра ризику визначається як: $\lambda^* = S/L$ і після підставлення значень дає: $\lambda^* \approx 0,05\text{--}0,2$. Це свідчить про те, що для побутових споживачів навіть відносно невеликі втрати від перебоїв можуть перевищувати економічний ефект від енергоефективності. У результаті інвестиції у резервне живлення (акумуляторні системи, генератори) стають доцільними лише за умов високої частоти та тривалості відключень, тоді як за помірних ризиків більш ефективними залишаються заходи енергозбереження.

Таким чином, рівень втрат і відповідні значення λ^* суттєво відрізняються за типами споживачів, що підтверджує необхідність галузевої диференціації моделей енергоефективності (табл. 1).

Прогнозування λ може здійснюватися на основі історичних даних про відключення; сезонних факторів (зимові пікові навантаження); технічного стану енергосистеми; сценарного аналізу. Ключовим параметром моделі є інтенсивність енергетичних ризиків λ , яка може бути інтерпретована як частка часу, протягом якого підприємство зазнає впливу відключень: $\lambda = T_{out} / T_{work}$, де T_{out} – сумарна тривалість відключень, T_{work} – загальний фонд робочого часу. Наприклад, за 240 годин відключень на рік (4 год/день протягом 60 днів) і 2000 годин роботи підприємства: $\lambda = 0,12$. У кризових умовах це значення може зростати до 0,3–0,5, що суттєво змінює результати оцінки ефективності.

Таблиця 1

Критичні значення ризику λ^* для різних типів економічних агентів

Тип економічного агента	Річна економія S , млн грн	Річні втрати L , млн грн	Критичне значення $\lambda^* = S / L$	Характер рішення
Виробниче підприємство	1,7 – 5,3	13–180	0,01–0,4	Орієнтація на резерв
Логістика / ритейл	0,7 – 2,1	2–9	0,08–1,0	Комбіноване рішення
Офіс / ІТ	0,15 – 0,45	0,3–1,5	0,1–1,0	Переважно енергоефективність
Побутові споживачі	0,0005 – 0,0017	0,008 – 0,012	0,05–0,2	Автономність

Джерело: розраховано та складено автором

Запропонований підхід до оцінки енергоефективності передбачає інтеграцію фактору енергетичних ризиків не лише у показник чистої приведеної вартості, але й у систему класичних інвестиційних критеріїв загалом. Це забезпечує методологічну узгодженість аналізу та дозволяє враховувати вплив перебоїв електропостачання на результати прийняття рішень. У класичному вигляді ефективність інвестицій оцінюється за допомогою показників чистої приведеної вартості (NPV), внутрішньої норми дохідності (IRR) та терміну окупності (Payback Period). Проте всі ці критерії базуються на припущенні стабільності грошових потоків і не враховують втрати, пов'язані з енергетичною нестабільністю. Аналогічним чином разом з модифікацією моделі NPV, модифікується внутрішня норма дохідності. Якщо у класичному підході IRR визначається як така ставка дисконту, при якій NPV дорівнює нулю, то

$$PP^* = \{t: -I_0 + \sum_{i=1}^t (S_i - C_i - \lambda_i \cdot L_i) \geq 0\}.$$

Включення складової $\lambda \cdot L$ призводить до збільшення терміну окупності, а за високих значень ризику – навіть до втрати окупності в межах заданого горизонту планування.

Таким чином, усі ключові показники ефективності базуються на єдиній логіці коригування грошових потоків на величину очікуваних втрат від енергетичних ризиків. На відміну від традиційних підходів, де ризики враховуються через сценарії або зміну ставки дисконту, запропонований підхід інтегрує їх безпосередньо у структуру грошових потоків. Це дозволяє більш адекватно відображати реальні умови функціонування підприємств в умовах енергетичної нестабільності та підвищує обґрунтованість інвестиційного вибору.

Висновки. У статті досліджено проблему оцінювання енергоефективності підприємств в умовах зростання енергетичних ризиків, зумовлених нестабільністю електропостачання. Встановлено, що традиційні підходи до оцінювання ефективності інвестицій, засновані на показниках чистої приведеної вартості, внутрішньої норми дохідності та терміну окупності, не повною мірою відображають реальні умови функціонування підприємств, оскільки не враховують втрати від перебоїв енергопостачання.

Обґрунтовано доцільність інтеграції енергетичних ризиків у процес інвестиційного аналізу шляхом включення втрат від відключень до структури грошових потоків. Запропоновано модифікацію класичних критеріїв ефективності (NPV*, IRR*, термін окупності,

в умовах енергетичних ризиків вона визначається з рівняння: $-I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{S - \lambda t \cdot L}{(1+r)^t} = 0$.

Отримане значення r^* є ризик-скоригованою внутрішньою нормою дохідності. Оскільки величина $\lambda \cdot L$ зменшує чисті грошові потоки, виконується нерівність $IRR^* < IRR$, що відображає зниження привабливості інвестиційних проектів у нестабільних умовах. При цьому можливі ситуації, коли проекти з високою енергозбережливою ефективністю, але значними втратами від перебоїв, поступаються альтернативам із меншими показниками економії, але вищою стійкістю. Термін окупності також зазнає змін. У класичному вигляді він визначається як момент часу, коли накопичені грошові потоки стають додатними. З урахуванням ризиків цей критерій набуває вигляду:

EE*), що забезпечує більш адекватну оцінку інвестиційних рішень в умовах енергетичної нестабільності.

Результати аналітичних розрахунків для підприємств різних типів (виробничих, логістичних, офісних, а також побутових споживачів) показали, що врахування енергетичних ризиків суттєво змінює оцінку ефективності, знижуючи привабливість традиційних енергоефективних заходів та підвищуючи значущість інвестицій у забезпечення енергетичної стійкості. Доведено, що оптимальна інвестиційна стратегія залежить не лише від рівня енергоспоживання, але й від чутливості підприємства до перебоїв електропостачання. Встановлено, що інтеграція параметра інтенсивності енергетичних ризиків у систему оцінювання дозволяє перейти від сценарного врахування невизначеності до її формалізованого включення у моделі прийняття рішень. Це підвищує обґрунтованість інвестиційного вибору та сприяє формуванню більш ефективних підходів до управління енергоспоживанням підприємств. Перспективами подальших досліджень є розроблення методів прогнозування параметра енергетичних ризиків, розширення емпіричної бази дослідження та адаптація запропонованого підходу до умов різних галузей економіки.

Декларація про використання ШІ. Під час підготовки статті використовувалися інструменти штучного інтелекту, зокрема ChatGPT (версія 5.2), виключно для допоміжних цілей: редагування тексту, уточнення перекладу анотації, структуризації матеріалу та

інформаційної підтримки при пошуку відкритих джерел. Усі аналітичні результати, розрахунки та висновки отримані автором самостійно. Автор несе відповідальність за фінальний зміст роботи,

науковість, достовірність наведених даних, обґрунтованість висновків та коректність списку використаних джерел.

Список використаних джерел:

1. Кім О. О., Кім Т. І. Перехід України на відновлювані джерела енергії на основі міжнародного трансферу технологій європейських країн як основа її інноваційної економіки. *Бізнес Інформ*. 2025. № 8. С. 181–190. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-8-181-190>
2. Розіт Т. В., Дубина Д. О. (2025). Вплив вектору розвитку енергоефективності та впровадження ESG-факторів на розвиток підприємств України. *Економіка та суспільство*. Вип. 80. 6 с. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-80-8>
3. Скрильник А. С. (2025). Енергоефективні стратегії малого бізнесу в умовах інклюзивної економіки. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. № 8(211). С. 175-189. DOI: <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2025.08.10>
4. Бондарчук І. (2025). Розвиток генерувальних потужностей та інвестиції в альтернативну енергетику. *Forbes Україна*. URL: <https://forbes.ua/money/rozvitok-generuyuchikh-potuzhnostey-ta-investitsii-v-alternativnu-energetiku-pro-trendi-energetichnoi-galuzi-ta-prognoz-na-2025-rik-rozpovidae-energoekspert-ivan-bondarchuk-15012025-26321>
5. Enterprise Surveys : What Businesses Experience. World Bank. 2023. URL: <https://www.enterprisesurveys.org>
6. Electricity Security : Reliable Power Systems in Transforming Energy Systems. International Energy Agency. 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/electricity-security>
7. Sala D., Bashynska I., Pavlov K., Pavlova O., Halytsia I., Hevko B. Comprehensive assessment of economic efficiency for energy-saving investments in public utility enterprises: optimizing consumption and sustainable development. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 23. Art. 10163. DOI: <https://doi.org/10.3390/su162310163>
8. Matofani M., Hartati S., Septyan D. Analysis of financial efficiency of renewable energy projects through a value-based management approach. *Sinomics Journal*. 2025. Vol. 4, Iss. 1. Pp. 103–116.
9. Ju S., Cai M., Shakaraliyeva Z., Umarova N., Li F. (2026). Energy management and efficiency evaluation of an integrated off-grid hydrogen energy use system. *Energy Strategy Reviews*. 2026. Vol. 64. Pp. 647–655. Art. 102078. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2026.102078>
10. Dickemann P. How do companies manage energy? A systematic literature review on energy cost accounting, energy efficiency, and energy management. *Applied Energy*. 2025. Vol. 397. 33 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126372>
11. IEEE. Official website. URL: <https://www.ieee.org/>
12. Роз'яснення щодо показників форми державного статистичного спостереження. *Buhgalter.com.ua*. URL: <https://buhgalter.com.ua/dovidnik/inshe/rozyasnennya-shchodo-pokaznykiv-formi-derzhavnogo-statystichnogo-5/>
13. Промислові сонячні електростанції: вигоди СЕС для підприємства. *Ecotech Ukraine*. 2025. URL: <https://www.ecotech.ua/promyslovi-sonyachni-elektrostantsiyi-vygody-ses-dlya-pidpryyemstva/>
14. Electricity Security 2021. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/electricity-security>
15. Manufacturing Energy Consumption Survey (MECS). U.S. Energy Information Administration. URL: <https://www.eia.gov/consumption/manufacturing/>
16. National Energy and Utilities Regulatory Commission of Ukraine. Official website. URL: <https://www.nerc.gov.ua/>
17. Access to financing for small and medium enterprises in Ukraine. Centre for Economic Strategy. URL: <https://ces.org.ua/wp-content/uploads/2024/07/access-to-financing-for-small-and-medium-enterprises-in-ukraine.pdf>
18. Small and medium enterprises. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Small_and_medium_enterprises
19. Industrial Energy Efficiency. U.S. Department of Energy. URL: <https://www.energy.gov/eere/amo/industrial-energy-efficiency>
20. Tracking Buildings. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings>
21. Use of energy in commercial buildings. U.S. Energy Information Administration. URL: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/commercial-buildings.php>
22. Research and Reports. CBRE. URL: <https://www.cbre.com/insights/reports>
23. Research. Colliers. URL: <https://www.colliers.com/en/research>
24. Electricity market indexes. Ukrainian Energy Exchange. URL: <https://www.ueex.com.ua/eng/exchange-quotations/electric-power/indexes/>

References:

1. Kim, O. O., & Kim, T. I. (2025). Perekhid Ukrainy na vidnovliuvani dzhherela enerhii na osnovi mizhnarodnoho transferu tekhnolohii yevropeiskykh krain yak osnova yii innovatsiinoi ekonomiky [Ukraine's transition to renewable energy based on international technology transfer from European countries as a foundation of its innovative economy]. *Business Inform*, (8), 181–190. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-8-181-190> [in Ukrainian].

2. Rozit, T. V., & Dubyna, D. O. (2025). Vplyv vektoru rozvytku enerhoefektyvnosti ta vprovadzhenia ESG-faktoriv na rozvytok pidpriemstv Ukrainy [Impact of energy efficiency development vector and ESG factors on enterprise development in Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo*, (80). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-80-8> [in Ukrainian].
3. Skrylnyk, A. S. (2025). Enerhoefektyvni stratchii maloho biznesu v umovakh inkluzyvnoi ekonomiky [Energy-efficient strategies of small business in the conditions of inclusive economy]. *Enerhozberezhennia. Enerhetyka. Enerhoaudyt*, 8(211), 175–189. <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2025.08.10> [in Ukrainian].
4. Bondarchuk, I. (2025). Rozvytok heneruiuchykh potuzhnostei ta investytsii v alternatyvnu enerhetyku: trendy enerhetychnoi haluzi [Development of generating capacities and investments in renewable energy: trends of the energy sector]. *Forbes Ukraine*. <https://forbes.ua/money/rozvitok-generuyuchikh-potuzhnostey-ta-investitsii-v-alternativnu-energetiku-pro-trendi-energetichnoi-galuzi-ta-prognoz-na-2025-rik-rozpovidae-energoekspert-ivan-bondarchuk-15012025-26321> [in Ukrainian].
5. World Bank. (2023). Enterprise Surveys: What Businesses Experience. <https://www.enterprisesurveys.org> [in English].
6. International Energy Agency. (2020). Electricity Security: Reliable Power Systems in Transforming Energy Systems. <https://www.iea.org/reports/electricity-security> [in English].
7. Sala, D., Bashynska, I., Pavlov, K., Pavlova, O., Halytsia, I., & Hevko, B. (2024). Comprehensive assessment of economic efficiency for energy-saving investments in public utility enterprises: optimizing consumption and sustainable development. *Sustainability*, 16(23), 10163. <https://doi.org/10.3390/su162310163> [in English].
8. Matofani, M., Hartati, S., & Septyan, D. (2025). Analysis of financial efficiency of renewable energy projects through a value-based management approach. *Sinomics Journal*, 4(1), 103–116. [in English].
9. Ju, S., Cai, M., Shakaraliyeva, Z., Umarova, N., & Li, F. (2026). Energy management and efficiency evaluation of an integrated off-grid hydrogen energy use system. *Energy Strategy Reviews*, (64), 647–655, 102078. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2026.102078> [in English].
10. Dickemann, P. (2025). How do companies manage energy? A systematic literature review on energy cost accounting, energy efficiency, and energy management. *Applied Energy*, 397. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126372> [in English].
11. IEEE. (n.d.). Official website. <https://www.ieee.org/> [in English].
12. Buhgalter.com.ua. (n.d.). Roziasnennia shchodo pokaznykiv formy derzhavnoho statystychnoho sposterezhennia [Explanation of indicators of state statistical reporting form]. <https://buhgalter.com.ua/dovidnik/inshe/rozyasnennya-shchodo-pokaznykiv-formi-derzhavnogo-statistichnogo-5/> [in Ukrainian].
13. Ecotech Ukraine. (n.d.). Promyslovi soniachni elektrostantsii: vyhody SES dlia pidpriemstva [Industrial solar power plants: benefits for enterprises]. <https://www.ecotech.ua/promyslovi-sonyachni-elektrostantsiyi-vyhody-ses-dlya-pidpriemstva/> [in Ukrainian].
14. International Energy Agency. (n.d.). Electricity Security. <https://www.iea.org/reports/electricity-security> [in English].
15. U.S. Energy Information Administration. (n.d.). Manufacturing Energy Consumption Survey (MECS). <https://www.eia.gov/consumption/manufacturing/> [in English].
16. National Energy and Utilities Regulatory Commission of Ukraine. (n.d.). Official website. <https://www.nerc.gov.ua/> [in Ukrainian].
17. Centre for Economic Strategy. (2024). Access to financing for small and medium enterprises in Ukraine. <https://ces.org.ua/wp-content/uploads/2024/07/access-to-financing-for-small-and-medium-enterprises-in-ukraine.pdf> [in English].
18. Wikipedia. (n.d.). Small and medium enterprises. https://en.wikipedia.org/wiki/Small_and_medium_enterprises [in English].
19. U.S. Department of Energy. (n.d.). Industrial Energy Efficiency. <https://www.energy.gov/eere/amo/industrial-energy-efficiency> [in English].
20. International Energy Agency. (n.d.). Tracking Buildings. <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings> [in English].
21. U.S. Energy Information Administration. (n.d.). Use of energy in commercial buildings. <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/commercial-buildings.php> [in English].
22. CBRE. (n.d.). Research and Reports. <https://www.cbre.com/insights/reports> [in English].
23. Colliers. (n.d.). Research. <https://www.colliers.com/en/research> [in English].
24. Ukrainian Energy Exchange. (n.d.). Electricity market indexes. <https://www.uex.com.ua/eng/exchange-quotations/electric-power/indexes/> [in English].

Дата надходження статті: 02.04.2026 р.

Дата прийняття статті до друку: 23.04.2026 р.

Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.05.2026 р.

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY.