

# СТРАТЕГІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ЕНТРОПІЇ: ІНТЕГРОВАНІЙ ПІДХІД

©2024 БУДАНОВ М. П.

УДК 658.1:519.876

JEL: E22; L25

## Буданов М. П. Стратегія забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств в умовах ентропії: інтегрований підхід

У статті розглядається стратегія забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств в умовах ентропії через інтегрований підхід. Особливу увагу приділено проблемі зниження ефективності інвестицій при значному масштабуванні енергетичних проєктів, де кожен наступний етап може приносити меншу вигоду порівняно з попереднім. Відмічено, що стратегічним завданням підприємства є пошук оптимального балансу між інвестиціями та економією, що потребує постійного оновлення методів і моделей для забезпечення ефективного управління енергетичною безпекою. У статті також підкреслюється важливість довгострокового планування для зниження енергетичної залежності та підвищення енергетичної безпеки підприємств, зокрема через інвестиції в сонячну енергетику. Доведено, що важливим аспектом є стратегічне планування, яке передбачає довгострокову оцінку інвестиційних проєктів в енергетичну інфраструктуру з урахуванням змінюваних ринкових умов і технологічних інновацій. Оскільки початкові інвестиції можуть бути значними, підприємства повинні планувати свої енергетичні стратегії таким чином, щоб досягнути оптимальної економії за мінімальних витрат, одночасно забезпечуючи стабільність енергопостачання та знижуючи ризики енергетичних збитків. Визначено, що інтеграція інноваційних технологій в енергетичні системи підприємств є необхідною умовою для забезпечення високої ефективності та конкурентоспроможності в умовах постійних змін. Оновлення технологічної бази сприяє зниженню вартості енергетичних установок і підвищенню їх продуктивності, що, своєю чергою, дозволяє досягти значних економічних результатів на всіх етапах експлуатації енергетичних систем. Обґрунтовано, що для забезпечення ефективного управління енергетичною безпекою в умовах ентропії необхідно застосовувати інтегрований підхід, який об'єднує стратегічне планування, економічний аналіз, запровадження інноваційних технологій, які є основою формування стратегії забезпечення означеного процесу. Показано, що реалізація інвестиційних проєктів на Запорізькій АЕС повинна здійснюватися з урахуванням довгострокових економічних і екологічних переваг. Оптимізація енергетичних витрат, інтеграція інноваційних технологій та ефективне використання відновлювальних джерел енергії можуть значно підвищити енергетичну незалежність підприємства та сприяти його стабільному розвитку в умовах мінливого зовнішнього середовища.

**Ключові слова:** стратегія, ентропія, управління, енергетична безпека, підприємство, інвестиційний проєкт.

**Рис.:** 2. **Табл.:** 1. **Формул.:** 10. **Бібл.:** 18.

**Буданов Микола Павлович** – здобувач ступеня доктора філософії, Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (вул. Університетська, 16, Харків, 61003, Україна)

**E-mail:** [pavelfeofanovich@ukr.net](mailto:pavelfeofanovich@ukr.net)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8032-0562>

UDC 658.1:519.876

JEL: E22; L25

## Budanov M. P. Strategy for Ensuring Energy Security Management of Enterprises in Conditions of Entropy: An Integrated Approach

The article discusses the strategy for ensuring energy security management of enterprises in conditions of entropy through an integrated approach. Special attention is given to the issue of diminishing returns on investment as energy projects scale up, where each subsequent stage may bring less benefit compared to the previous one. It is noted that the strategic task of the enterprise is to find the optimal balance between investments and savings, which requires continuous updating of methods and models to ensure effective energy security management. The article also emphasizes the importance of long-term planning to reduce energy dependence and enhance energy security for enterprises, particularly through investments in solar energy. It is shown that another important aspect is strategic planning, which involves long-term evaluation of investment projects in energy infrastructure, considering changing market conditions and technological innovations. Since initial investments can be significant, enterprises must plan their energy strategies in such a way as to achieve optimal savings with minimal costs while ensuring the stability of energy supply and reducing the risks of energy losses. The article demonstrates that the integration of innovative technologies into the energy systems of enterprises is a necessary condition for ensuring high efficiency and competitiveness in the face of constant change. Updating the technological base helps reduce the cost of energy installations and improve their productivity, which, in turn, allows for significant economic benefits at all stages of the operation of energy systems. It is substantiated that to ensure effective energy security management in conditions of entropy, an integrated approach must be applied, combining strategic planning, economic analysis, and the introduction of innovative technologies that form the basis for the development of a strategy to ensure this process. The article shows that the implementation of investment projects at Zaporizhzhia Nuclear Power Plant (ZNPP) should be carried out considering long-term economic and environmental benefits. Optimizing energy costs, integrating innovative technologies, and effectively utilizing renewable energy sources can significantly enhance the energy independence of the enterprise and contribute to its stable development in a changing external environment.

**Keywords:** strategy, entropy, management, energy security, enterprise, investment project.

**Fig.:** 2. **Tabl.:** 1. **Formulae:** 10. **Bibl.:** 18.

**Budanov Mykola P.** – Graduate of the degree of Doctor of Philosophy, Educational and Scientific Institute "Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy" of V. N. Karazin Kharkov National University (16 Universytetska Str., Kharkiv, 61003, Ukraine)

**E-mail:** [pavelfeofanovich@ukr.net](mailto:pavelfeofanovich@ukr.net)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8032-0562>

Сучасний світ переживає період глобальних змін, що стосуються всіх аспектів життєдіяльності суспільства, зокрема енергетичної безпеки. В умовах невизначеності, зростання глобальних загроз і нестабільності на енергетичних ринках підприємства стикаються з новими викликами щодо ефективного управління своїми енергетичними ресурсами та забезпечення стабільного енергопостачання. Одним із важливих аспектів цього процесу є здатність підприємств адаптуватися до змін, які обумовлені не тільки внутрішніми факторами, а й зовнішніми, які не завжди можна передбачити чи контролювати.

Для вирішення зазначеної проблеми необхідно здійснити глибоке дослідження теоретичних основ стратегії забезпечення управління енергетичною безпекою в умовах високої ентропії та нестабільності. Вивчення сучасних стратегій, які застосовуються підприємствами для забезпечення стабільності енергопостачання, дозволяє визначити їх переваги та обмеження. Однак більшість наявних стратегій недостатньо ефективні для умов, що характеризуються високим рівнем ентропії, де традиційні методи планування та прогнозування часто виявляються неадекватними. Стратегії забезпечення управління енергетичною безпекою повинні враховувати не лише традиційні економічні та технічні параметри, а й соціально-політичні, екологічні, а також фактори глобальних змін (зміну клімату, геополітичну нестабільність, інновації в енергетичних технологіях). Для цього важливо розробити комплексні багатофакторні стратегії, які дозволяють прогнозувати різноманітні сценарії розвитку подій і оптимізувати енергетичні стратегії відповідно до змінних умов, що обумовлює використання інтегрованого підходу до процесу їх розробки та реалізації.

Останні дослідження у сфері енергетичної безпеки зосереджуються на стратегіях енергетичної безпеки на підприємствах в умовах зростаючих глобальних викликів. Згідно з публікаціями [1; 2; 13] підприємства повинні інтегрувати у свою стратегію управління енергетичними ресурсами принципи сталого розвитку та «зелених» технологій, що дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище й оптимізувати витрати на енергію. У роботах [3–5; 14], показано, що одним із важливих аспектів, які забезпечують енергетичну незалежність, є інтеграція альтернативних джерел енергії (наприклад, підприємства шукають рішення для зменшення залежності від традиційних джерел енергії, зокрема газу та вугілля, через використання відновлюваних джерел енергії. У роботах [6; 7; 15] розкрито сучасні підходи до моделювання та прогнозування енергетичних ризиків, які до-

зволяють враховувати фактори ентропії в енергетичних системах і оцінювати ймовірність аварій та ризиків. У роботах [8–12] звертається увага на питання управління невизначеністю та ризиками. В умовах нестабільності підприємства повинні активно застосовувати методи управління ризиками, щоб знизити рівень енергетичних втрат через підвищену ентропію. У роботах [16–18] розкрито такі аспекти, як управління інноваційним потенціалом, його трансформація та вплив на розвиток промислових енергетичних підприємств. Важливим аспектом є зниження енергетичних втрат через високий рівень неефективності, характерний для традиційних енергетичних систем, що, безумовно, потребує переосмислення концептуальних поглядів щодо розробки та реалізації стратегії забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств в умовах ентропії на основі інтегрованого підходу.

Аналіз останніх публікацій дозволяє виділити кілька *невирішених частин загальної проблеми*: наявні моделі енергетичної безпеки не враховують повною мірою вплив ентропії на довгострокову стабільність системи; недосконалість інтеграції різних джерел енергії; відсутність єдиного інтегрованого підходу до енергетичної безпеки на рівні підприємства; високі витрати на енергетичні технології, що часто унеможлиблює їх упровадження.

Ці невирішені проблеми вимагають подальшого розвитку теоретичних і практичних підходів до управління енергетичною безпекою підприємств в умовах нестабільності та ентропії.

*Метою* статті є розробка стратегії забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств в умовах ентропії на основі інтегрованого підходу.

В умовах середовища, яке турбулентно змінюється, необхідно розробляти стратегії, які здатні швидко реагувати на нові виклики й адаптуватися до них. Це включає використання методів гнучкого управління та застосування концепцій ризик-менеджменту, завдяки чому підприємства можуть оперативнo коригувати свої енергетичні стратегії залежно від змін на ринку чи в зовнішньому середовищі.

Для ефективного управління енергетичною безпекою підприємств необхідно розробити інструменти, які б забезпечували точніші прогнози, допомагали б оцінювати різні сценарії розвитку та визначати оптимальні перелік тактичних і стратегічних дій. Це може включати в себе застосування інтелектуальних систем, моделей штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування й управління ризиками, що виникають через високий рівень ентропії в енергетичних системах.

Важливо розглядати енергетичну безпеку підприємства як частину більш широкої екосистеми, включно з взаємодією з іншими підприємствами, державними структурами, енергетичними ринками та іншими зовнішніми факторами. Врахування цього у формуванні стратегії дозволить точніше оцінити вплив різних чинників на енергетичну безпеку та визначити оптимальні стратегії для мінімізації ризиків (рис. 1).

Ентропія як показник невизначеності та хаосу в системах виявляється важливою характеристикою для оцінки ступеня енергетичної безпеки підприємств. Збільшення рівня ентропії в системі управління енергетичними ресурсами може призвести до зниження ефективності, втрати ресурсів і навіть до кризових ситуацій, які мають серйозні наслідки для діяльності підприємства.

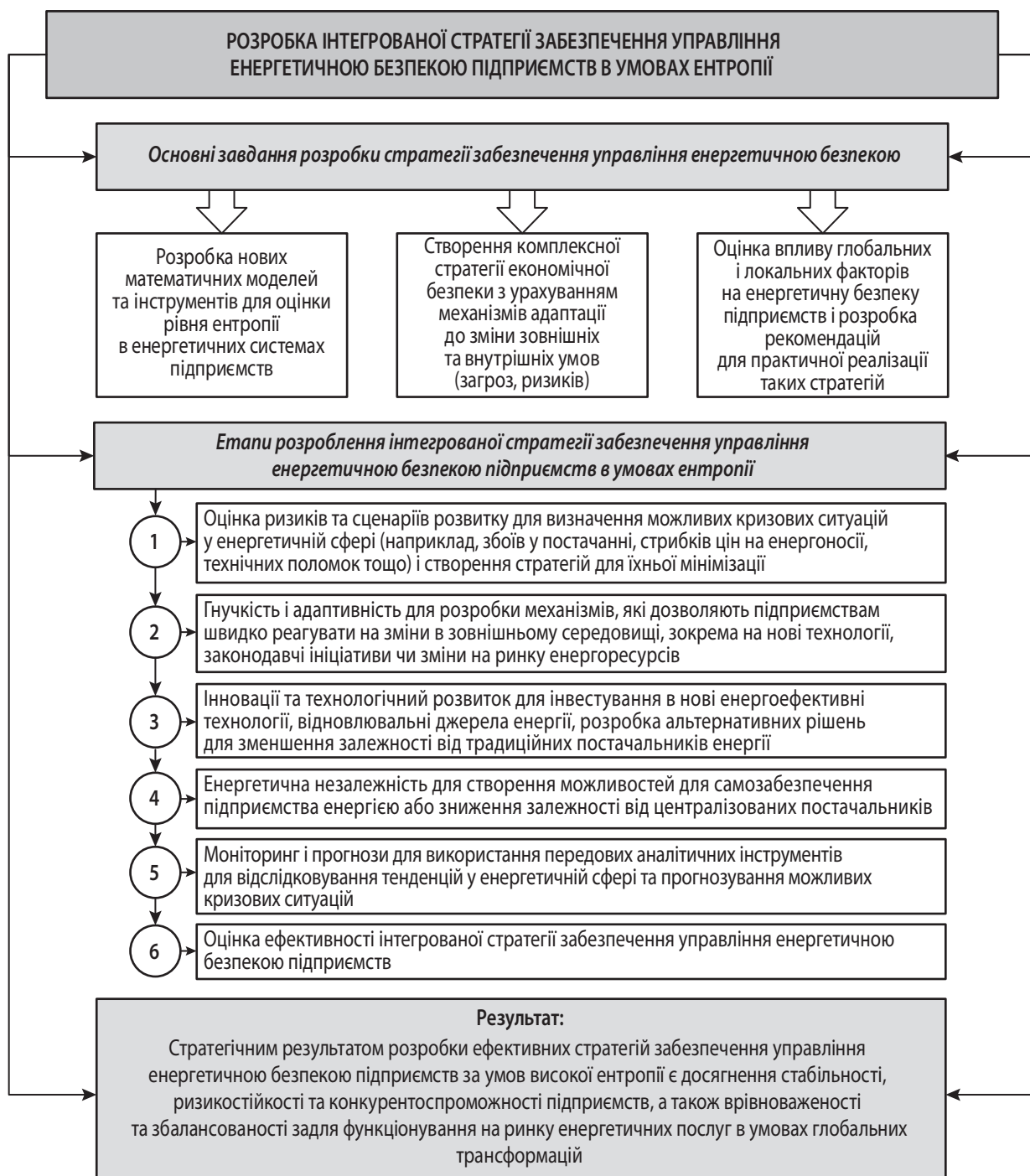


Рис. 1. Стратегія забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств в умовах ентропії на основі інтегрованого підходу

У зв'язку з цим виникає потреба в розробці нових методів і моделей, які дозволять не лише аналізувати наявні ризики, але й формувати стратегії забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств в умовах високої ентропії. Розробка таких стратегій має включати врахування багатьох факторів, зокрема: коливань на енергетичних ринках, змін в енергетичній інфраструктурі, політичної й економічної нестабільності, а також зміни кліматичних умов і технологічних інновацій.

Завдання полягає в розробці концептуальних підходів до формування стратегії енергетичної безпеки підприємств, що враховують ці фактори, а також забезпечують гнучкість і здатність до адаптації в умовах підвищеної ентропії.

**П**роцес розробки та формування стратегічного забезпечення управління енергобезпекою підприємств в умовах ентропії – це системний процес, логічна структурна побудова якого дозволяє топ-менеджменту підприємств ефективно забезпечувати управлінську діяльність як в якісному, так і в кількісному вимірі, особливості якої ускладнюються саме умовами нестабільності та невизначеності, що і проявляються внаслідок ентропії. Ентропія в цьому контексті може трактуватись як міра хаосу або невизначеності підприємств електроенергетичної системи, що виникає через: зміни в глобальних енергетичних ринках; технологічні нововведення; екологічні чи політичні фактори; коливання попиту та пропозиції енергії.

Комплексна стратегія забезпечення управління енергобезпекою підприємств в умовах ентропії, орієнтуючись на ці чинники, має на меті створення ефективної системи стійкого функціонування підприємств, що дозволить зробити процес постачання енергії стабільним і безпечним навіть за умов підвищеної невизначеності.

Загалом, інтегрована стратегія забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств дозволяє підприємствам в умовах високої ентропії (хаосу) створювати стійку енергетичну політику, яка здатна зберігати стабільність роботи в умовах постійних змін і непередбачуваних обставин.

Побудова комплексної стратегії забезпечення управління енергобезпекою підприємств в умовах ентропії може бути досить складним процесом, оскільки вона повинна враховувати різні аспекти: економічні, технічні, екологічні та соціальні. Для цього можна використати математичні й алгоритмічні підходи, що дозволяють моделювати невизначеність і хаос (ентропію) у сфері енергетики.

Для кожного етапу побудови комплексної стратегії забезпечення управління енергобезпекою підприємств в умовах ентропії можна визначити

конкретні математичні моделі та формули, що описують процеси, з якими підприємство стикається під час реалізації стратегії.

**Р**озглянемо кожний етап як локальну складову інтегрованої стратегії забезпечення управління енергобезпекою підприємств за умов ентропії більш детально, з відповідними математичними виразами.

1. *Оцінка ризиків та сценаріїв розвитку* – це процес визначення ймовірностей різних можливих сценаріїв, що можуть вплинути на енергобезпеку підприємства в майбутньому. Насамперед потрібно оцінити ймовірні ризики та можливі сценарії розвитку в умовах ентропії, що доцільно зробити за допомогою таких інструментів, як аналіз чутливості, сценарне планування, теорії ймовірностей та дерева рішень, методи Монте-Карло для моделювання невизначеності.

На основі теорії ймовірностей запропоновано формулу (1) для оцінки ризиків, що може визначити загальний ризик підприємства для кожного сценарію ( $i$ ), ймовірності ( $P_i$ ) і потенційні наслідки ( $C_i$ ) у вигляді збитків або вигоди:

$$R_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i, \quad (1)$$

де  $R_i$  – загальний ризик підприємства для кожного сценарію ( $i$ );

$P_i$  – ймовірність настання  $i$ -го сценарію;

$C_i$  – наслідки  $i$ -го сценарію.

Якщо наслідки виражаються у вигляді економічних втрат або вигоди, то показник  $C_i$  може бути як негативним (матеріальні збитки), так і позитивним (економічні вигоди).

2. *Розробка стратегій гнучкості та адаптації*. Одним із ключових аспектів є створення комплексної стратегії адаптації, тобто розробка комбінованих сценаріїв, які дозволяють підприємству адаптуватися до змін.

Алгоритм адаптації включає такі кроки: оцінка поточних ресурсів та можливостей підприємства; прогнозування потенційних змін (наприклад, енергетичні, технологічні, ринкові); для кожного прогнозу формування локальної стратегії адаптації зі специфічними креативними інструментами та методами досягнення результату (сценарії диверсифікації постачальників, використання альтернативних джерел енергії тощо; вибір оптимальної стратегії на основі аналізу витрат і вигоди).

Це обумовлює необхідність виокремлення системи тактичних дій уніфікованого характеру для адаптації комбінованих сценаріїв розвитку відповідно до можливої зміни умов функціонування підприємств на основі використання моделювання

з побудовою відповідних прогнозних трендів, що дозволяє підприємству обирати таку стратегію, реалізація якої дає можливість досягти максимальних показників економічної ефективності.

Одним із методів для оцінки стратегічних можливостей є теорія прийняття рішень, або метод аналізу варіантів, який дозволяє для оптимізації адаптаційної стратегії забезпечення управління енергобезпекою підприємств за умов ентропії використовувати формулу (2):

$$S_{ad} = \arg \max[V(S_i) - C(S_i)], \quad (2)$$

де  $S_{ad}$  – стратегія адаптації;  
 $V(S_i)$  – вигоди від реалізації стратегії ( $S_i$ );  
 $C(S_i)$  – витрати на впровадження стратегії ( $S_i$ ).

**3. Інновації та технологічний розвиток.** Для стратегії забезпечення управління енергетичною безпекою запропоновано використовувати новітні технології, такі як відновлювані джерела енергії, енергоефективні технології, а також інтелектуальні системи управління енергетичними потоками.

Інвестиції в нові технології дозволять знизити енергетичні витрати, підвищити ефективність, забезпечити відновлювані джерела енергії, що в економічному аспекті вимагає здійснення оцінювання ефективності таких інвестицій та їхнього впливу на енергобезпеку підприємств.

У зазначеному контексті доцільно розглядати формування інтегрованої стратегії забезпечення управління енергетичною безпекою шляхом обліку енергетичних потоків через підприємство, що включає постачання енергії з різних джерел і технологічні втрати. Технології для збереження енергії (наприклад, сонячні панелі) можуть зменшити загальний обсяг споживаної енергії, яка визначається згідно з виразом (3):

$$\sum E_{En} = E_{ZP} - E_{Vt} + E_{VD}, \quad (3)$$

де  $\sum E_{En}$  – загальне споживання енергії підприємством;

$E_{ZP}$  – енергія, що надходить від зовнішніх постачальників;

$E_{Vt}$  – втрати енергії в процесі передачі;

$E_{VD}$  – енергія, що виробляється власними джерелами (наприклад, сонячними панелями).

Запропоновано вартість інвестицій у нові технології визначати згідно з виразом (4):

$$S_{In} = \sum_{i=1}^m (I_n V_i + V_{OP}), \quad (4)$$

де  $S_{In}$  – вартість інвестицій у нові технології;  
 $I_n V_i$  – інвестиційні витрати на  $i$ -й технологічний елемент;

$V_{OP}$  – операційні витрати на  $i$ -й технологічний елемент.

Загальний ефект від інновацій можна оцінити як різницю між заощадженнями на енергетичних витратах і витратами на технології та визначити згідно з виразом (5):

$$\Delta S_{In} = \sum E_{En} \cdot \Delta p - S_{In}, \quad (5)$$

де  $\Delta S_{In}$  – загальний економічний ефект від інновацій;

$\sum E_{En}$  – загальне споживання енергії підприємством;

$\Delta p$  – зниження вартості енергії завдяки використанню нових технологій;

$S_{In}$  – вартість інвестицій у нові технології.

**4. Стратегія енергетичної незалежності.** Підприємства можуть зменшувати залежність від зовнішніх постачальників, використовуючи власні джерела енергії (сонячні панелі, вітрові турбіни тощо).

Алгоритм для забезпечення енергетичної незалежності включає такі кроки: оцінка потужності доступних джерел енергії та їхньої здатності забезпечити підприємство енергією (наприклад, сонячну панель чи вітрогенератор); розрахунок необхідної кількості установок для покриття базових потреб в енергії; оцінка економічних витрат на встановлення й експлуатацію таких установок; визначення періоду окупності таких інвестицій і можливість скорочення залежності від зовнішніх джерел.

Якщо підприємство планує встановити сонячні панелі з потужністю ( $P_{solar}$ ), то кількість енергії, що потрібна для забезпечення підприємства, запропоновано визначити згідно з виразом (6):

$$E_{EnP} = \sum E_{En} - E_{ZP}, \quad (6)$$

де  $E_{EnP}$  – кількість енергії, що потрібно для забезпечення підприємства, якщо планується встановити сонячні панелі з потужністю ( $P_{solar}$ );

$\sum E_{En}$  – загальне споживання енергії підприємством;

$E_{ZP}$  – енергія, що надходить від зовнішніх постачальників.

Запропоновано вираз (7), який дозволяє визначити, скільки панелей потрібно встановити для забезпечення енергетичної незалежності:

$$N_{solar} = \frac{E_{EnP}}{P_{solar}}, \quad (7)$$

де  $N_{solar}$  – кількість сонячних панелей;

$E_{EnP}$  – кількість енергії, що потрібно для забезпечення підприємства, якщо планується встановити сонячні панелі з потужністю ( $P_{solar}$ );

$P_{solar}$  – потужність сонячних панелей.

Опис енергетичних потоків запропоновано визначити за виразом (8):

$$E_{PEn} - E_{EnS} = \Delta E_{EnN} + E_{Vt}, \quad (8)$$

де  $E_{PEn}$  – потік енергії, що надходить до системи (наприклад, від постачальників або джерел енергії);

$E_{EnS}$  – зміна енергії в накопичувачах (наприклад, батареї або акумулятори);

$\Delta E_{EnN}$  – енергетичні втрати в процесі зберігання енергії;

$E_{Vt}$  – енергетичні втрати в процесі передачі енергії.

5. *Моніторинг і прогнозування.* Для прогнозування енергетичних потреб і ризиків можна використовувати методи машинного навчання (нейронні мережі, регресійні моделі чи моделі часу) або статистичні моделі, які дозволяють здійснювати прогнози в умовах неповної інформації. Алгоритм прогнозування включає: збір історичних даних про споживання енергії, ціни на енергоносії, події на ринку; побудову прогностичної моделі (наприклад, регресії чи нейронної мережі); оцінку точності моделі та корекції на основі нових даних; використання моделі для прогнозування можливих кризових ситуацій або змін на ринку енергоресурсів; оцінку ефективності моделі.

З метою прогнозування енергетичної потреби на основі ретроспективних даних  $E(t)$  можна застосувати метод експоненціального згладжування для короткострокових прогнозів, що запропоновано визначати згідно з виразом (9):

$$E_{EnPg}(t+1) - \alpha E_{En}(t) + (1 - \alpha) = E_{EnPg}(t), \quad (9)$$

де  $E_{EnPg}(t+1)$  – прогнозована потреба в енергії на наступний період;

$\alpha$  – коефіцієнт згладжування ( $0 < \alpha < 1$ );

$E(t)$  – реальна енергетична потреба на поточний період.

Для довгострокових прогнозів можна застосувати регресійні моделі або нейронні мережі, які враховують більш складні залежності.

6. *Оцінку ефективності інтегрованої стратегії забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств* доцільно базувати на визначенні відношення вигод і витрат, а також на визначенні рівня ризику. Для того, щоб комплексна стратегія забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств була ефективною, потрібно оцінити її на основі відношення вигоди від впровадження стратегії до витрат на її реалізацію, відповідно до виразу (10):

$$Q_{ef} = \frac{V_{vgp}}{V_{vtp}}, \quad (10)$$

де  $Q_{ef}$  – коефіцієнт ефективності стратегії забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств;

$V_{vgp}$  – величина вигоди для кожної стратегії забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств;

$V_{vtp}$  – величина витрат на впровадження кожної стратегії забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств.

Таким чином, застосування запропонованих аналітичних виразів (1÷10) дозволяє проводити оцінку впливу інвестицій в сонячну електростанцію для прогнозування стратегічних результатів реалізації організаційно-економічних заходів у рамках забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств у довгостроковій перспективі (табл. 1).

На основі даних табл. 1 доцільно визначити тренди, які відображають залежність економії на енергетичних витратах від вартості установки, періоду окупності та ефективності витрат, що є важливими інструментами для стратегічного планування та довгострокових інвестицій в енергетичну безпеку, зокрема для таких об'єктів, як Запорізька АЕС.

Автором у рамках забезпечення управління енергетичною безпекою Запорізької АЕС на період з 2010 по 2035 рр. було побудовано загальну гістограму динаміки розвитку енергетичних підприємств з урахуванням ефективності реалізації стратегічних заходів економічного характеру (інвестиційних проектів) (рис. 2).

Цей графік є важливим інструментом для стратегічного планування, оскільки він відображає зміни у ефективності різних енергетичних стратегій, зокрема тих, що стосуються використання сонячних панелей, у контексті таких важливих показників, як: економія на енергетичних витратах, період окупності та ефективність витрат.

Загальна гістограма дозволяє відстежити, як з часом змінюються ключові показники енергетичної безпеки, що дозволяє підприємствам і організаціям, зокрема Запорізької АЕС, планувати свої інвестиції в енергозабезпечення на довгострокову перспективу.

Дані графіка дозволяють спостерігати, як змінюється економія на енергетичних витратах від впровадження заходів стратегічного характеру в рамках забезпечення управління енергетичною безпекою, особливо із впровадженням сонячних панелей. На гістограмі (див. рис. 2) можна побачити, як економія зростає протягом часу, оскільки кількість сонячних панелей збільшується, а також з часом знижується вартість їх установки завдяки розвитку технологій.

Результати прогнозування оцінки впливу інвестицій в сонячну електростанцію на ефективність управління енергетичною безпекою підприємств у стратегічній перспективі

Рік	P (%)	N <sub>solar</sub> (од.)	V <sub>En</sub> (USD/міс.)	T <sub>ок</sub> (міс.)	Q <sub>ef</sub> (USD/міс.)	I <sub>solar</sub> (USD)
2000	40	5	20	11,9	0,0023	1500
2005	40	5	20	11,9	0,0023	1500
2010	40	5	21	11,9	0,0023	1500
2015	50	10	42	23,81	0,0046	3000
2020	60	15	63	35,72	0,007	4500
2025	70	30	126	71,43	0,014	9000
2030	80	23	187,2	40,5	0,0247	7590
2035	100	54	200	75,6	0,0132	15120

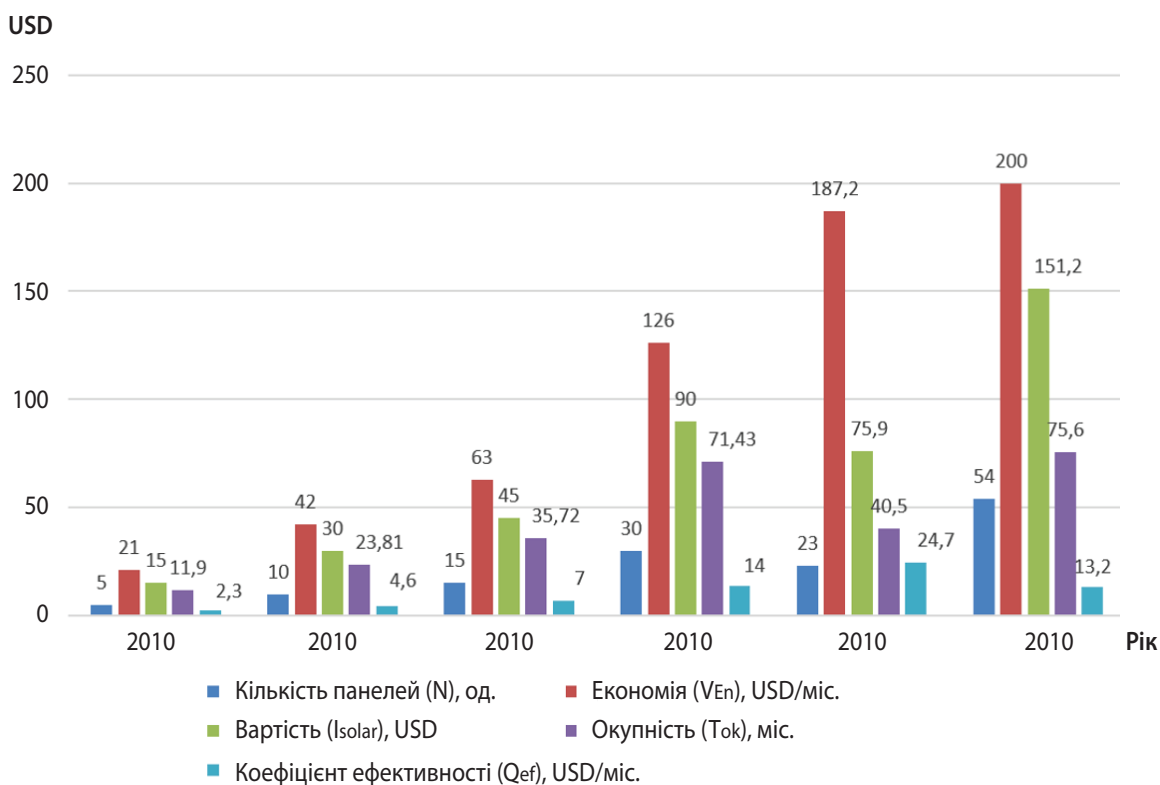


Рис. 2. Динаміки розвитку енергетичних підприємств з урахуванням ефективності реалізації стратегічних заходів економічного характеру (інвестиційних проєктів) у рамках забезпечення управління енергетичною безпекою Запорізької АЕС, 2010–2035 рр.

Етапи впровадження сонячних панелей у рамках локальної фінансової стратегія показують, що спочатку, в перші роки реалізації стратегії, економія на енергетичних витратах буде помітною, але обмеженою через невелику кількість сонячних панелей і високі початкові витрати на установку. З часом, із розширенням установки сонячних панелей і покриттям енергетичних потреб, економія буде зростати.

Однак важливо враховувати, що на початку цей процес буде не лінійним, а залежним від техно-

логічних змін, змін у вартості енергії та державної підтримки. Також необхідно відмітити вплив зовнішніх факторів (зміни в цінах на енергоносії або наявність державних субсидій для відновлювальних джерел енергії), які можуть значно прискорити темпи економії. На графіку це може відобразитися як стрімке зростання економії на певних етапах залежно від політичних чи економічних факторів.

Період окупності на графіку (див. рис. 2) відображає час, необхідний для того, щоб початкові витрати на встановлення сонячних панелей були

компенсовані через економію на енергетичних витратах, що є важливим показником для стратегічного планування, оскільки підприємства прагнуть скоротити період окупності, щоб швидше повернути інвестиції.

Аналіз короткострокової окупності показав, що на початкових етапах, коли встановлюється тільки обмежена кількість панелей, період окупності може бути довшим через високі початкові витрати на установку. Однак із кожним роком окупність зменшуватиметься завдяки зростанню економії на енергетичних витратах і потенційному зниженню вартості установок.

Аналіз стратегічної перспективи показав, що протягом 2010–2035 рр. графік, ймовірно, продемонструє зменшення періоду окупності внаслідок технологічних досягнень, здешевлення обладнання та зростання вартості традиційних енергоносіїв, що робить інвестиції в сонячні панелі ще більш вигідними.

Фінансова стратегія полягає в тому, щоб оптимізувати фінансування, а також мінімізувати період окупності, що може включати використання фінансових інструментів, таких як державні субсидії, кредитні лінії чи інші форми залучення інвестицій, які дозволяють зменшити початкові витрати.

Ефективність витрат є ще одним важливим показником, який на графіку (див. рис. 2) показує, скільки економії на енергетичних витратах отримує підприємство на кожну одиницю вкладених коштів. Зазвичай, з часом ефективність знижується, оскільки збільшення масштабів проекту (більш широке впровадження сонячних панелей) потребує додаткових капіталовкладень, але вигоди від кожної окремої одиниці витрат стають менш значними.

У цьому контексті доцільно розглянути зниження ефективності за великого масштабу: коли підприємство інвестує значно більше коштів у збільшення покриття енергетичних потреб, кожен наступний етап може приносити менше вигоди порівняно з попереднім. Це явище пояснюється тим, що початкові установки дають вищу віддачу, а додаткові інвестиції в більш масштабні проекти можуть не привести до пропорційного зростання економії на енергетичних витратах.

Стратегічним завданням підприємства є пошук оптимального балансу між інвестиціями та економією, що обумовлює доцільність перманентного пошуку моделей, методів, інструментів, використання яких дозволить розробляти найефективніші стратегії для забезпечення управління енергетичною безпекою з урахуванням моделювання результатів стосовно збереження балансу між збільшенням інвестицій та зменшенням

коефіцієнта ефективності витрат і прогнозувати тенденції зміни рівня енергетичної незалежності підприємства.

Особливо важливе значення це має для стратегічного планування, оскільки дозволяє підприємствам, зокрема Запорізькій АЕС, планувати оптимізацію інвестицій в енергетичну інфраструктуру, зважаючи на ефективність різних стратегій на кожному етапі розвитку. Враховуючи, що початкові інвестиції можуть бути значними, важливо планувати довгострокову стратегію так, щоб максимально збільшити економію за мінімальних витрат і мінімізувати період окупності.

## ВИСНОВКИ

Збільшення кількості встановлених сонячних панелей, безумовно, знижує залежність від зовнішніх постачальників енергії, що є важливим аспектом для забезпечення стійкості та безпеки енергетичних постачань в умовах глобальних економічних і політичних викликів.

Це підтверджує необхідність пошуку шляхів постійного оновлення технологій, що дозволяє знижувати витрати на встановлення та підвищувати ефективність енергетичних систем. Зі зниженням вартості обладнання та зростанням інноваційних технологій сонячної енергетики підприємства можуть обирати стратегії, які гарантують більшу економію за мінімальних початкових витрат.

Оцінка економії на енергетичних витратах, періоду окупності та ефективності витрат надає підприємствам чітке розуміння того, які інвестиції є найбільш вигідними на різних етапах розвитку та як вони можуть сприяти зростанню рівня енергетичної безпеки підприємств. ■

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Prokhorova V., Budanov M., Budanov P. Devising an integrated methodology for energy safety assessment at an industrial power-generating enterprise. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 4. No. 13. P. 118–131. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.308056>
2. Kyzym M., Khaustova V., Shpilevskiy V. et al. Consistency of Trends in the Economic and Energy Development of Ukraine: Assessment and Analysis. *3<sup>rd</sup> International Conference on Sustainable, Circular Management and Environmental Engineering (ISCMEE 2023)*. Turkey, Izmir, 12 July. 2023. Art. 01018. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340801018>
3. Khaustova V. Y., Salashenko T. I., Lelyuk O. V. Energy security of national economy based on the system approach. *Науковий вісник Полісся*. 2018. № 2. Ч. 1. С. 79–92. DOI: [https://doi.org/10.25140/2410-9576-2018-1-2\(14\)-79-92](https://doi.org/10.25140/2410-9576-2018-1-2(14)-79-92)



4. Полозова Т. В. Управління стратегічним розвитком підприємств енергетичного ринку України. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2024. Т. 9. № 1. С. 162–168. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-27>
5. Кошкіна О. Ф., Бігун Л. О. Впровадження системи енергетичного менеджменту на сучасному підприємстві. *The 9<sup>th</sup> International scientific and practical conference "Current challenges of science and education"* (May 6–8, 2024) Berlin, Germany: MDPC Publishing, 2024. P. 226–230. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/05/CURRENT-CHALLENGES-OF-SCIENCE-AND-EDUCATION-6-8.05.24.pdf#page=226>
6. Клят Ю., Соломицький О., Семененко О. та ін. Визначення та класифікація загроз енергетичній безпеці України в сучасних умовах військових викликів. *Social Development and Security*. 2024. Vol. 14. No. 2. P. 272–285. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.2.22>
7. Степаненко С. В., Мануйлов О. В. Особливості функціонування підприємств-постачальників на енергетичному ринку України в умовах ризику. *Актуальні проблеми інноваційної економіки та права*. 2024. № 1. С. 97–103. DOI: <https://doi.org/10.36887/2524-0455-2024-1-20>
8. Ma Y., Feng G. F., Chang C. P. The impact of energy security on energy innovation: a non-linear analysis. *Applied Economics*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/00036846.2024.2317810>
9. Zhang S., Lin S., Wang C., Shahbaz P. Towards energy sustainability: Exploring the nexus between global valuechain participation and energy security in developing and developed countries. *Plos one*. 2024. Vol. 19. Iss. 1. e0296705. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296705>
10. Lee C. C., Yuan Z., He Z. W., Xiao F. Do geopolitical risks always harm energy security? Their non-linear effects and mechanism. *Energy Economics*. 2024. Vol. 29. Art. 107245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107245>
11. Man O. R., Radu R. I., Mihai I. O. et al. Approaches to a New Regional Energy Security Model in the Perspective of the European Transition to Green Energy. *Economies*. 2024. Vol. 12. Iss. 3. Art. 61. DOI: <https://doi.org/10.3390/economies12030061>
12. Nguyen H. H., Van Nguyen P., Ngo V. M. Energy security and the shift to renewable resources: The case of Russia-Ukraine war. *The Extractive Industries and Society*. 2024. Vol. 17. Art. 101442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101442>
13. Прохорова В., Ус В. «Зелена» енергетика в концепції циркулярної економіки: відновлення та використання поновлюваних джерел у нестабільних умовах. *Адаптивне управління: теорія і практика. Серія «Економіка»*. 2024, Вип. 18. DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0654-18\(36\)-05](https://doi.org/10.33296/2707-0654-18(36)-05)
14. Прохорова В. В., Проценко А. В. Управління структурними трансформаціями інноваційного потенціалу промислових енергетичних підприємств : монографія. Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2021. 226 с.
15. Prokhorova V., Protsenko V., Abuselidze G. et al. Safety of industrial enterprises development: evaluation of innovative and investment component. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2019. № 5. С. 155–161. DOI: <https://doi.org/10.29202/nvngu/20195/24>
16. Прохорова В. Реформування енергетичного сектору України в контексті управління енергетичною безпекою. *Адаптивне управління: теорія і практика. Серія «Економіка»*. 2023. Вип. 15. DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0654-15\(30\)-03](https://doi.org/10.33296/2707-0654-15(30)-03)
17. Прохорова В. В., Бабічев А. В., Буданов М. П. Енергетична безпека як стратегічний пріоритет забезпечення національної безпеки України. *Трансформація економічного середовища в умовах ентропії* : кол. моногр. Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2024. С. 162–172. DOI: [10.33296/monograpf-2024](https://doi.org/10.33296/monograpf-2024)
18. Прохорова В. В., Мушнікова С. А., Юрман Я. В. Ентропія як параметричне обмеження умов розвитку соціально-економічних систем. *Трансформація економічного середовища в умовах ентропії* : кол. моногр. Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2024. С. 92–98. DOI: [10.33296/monograpf-2024](https://doi.org/10.33296/monograpf-2024)

## REFERENCES

- Khaustova, V. Y., Salashenko, T. I., and Lelyuk, O. V. "Energy security of national economy based on the system approach". *Naukovyi visnyk Polissia*, vol. 1, no. 2 (2018): 79-92. DOI: [https://doi.org/10.25140/2410-9576-2018-1-2\(14\)-79-92](https://doi.org/10.25140/2410-9576-2018-1-2(14)-79-92)
- Kliat, Yu. "Vyznachennia ta klasyfikatsiia zahroz enerhetychnii bezpetsi Ukrainy v suchasnykh umovakh viiskovykh vyklykiv" [Identification and Classification of Threats to Ukraine's Energy Security in the Current Context of Military Challenges]. *Social Development and Security*, vol. 14, no. 2 (2024): 272-285. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.2.22>
- Koshkina, O. F., and Bihun, L. O. "Vprovadzhennia systemy enerhetychnoho menedzhmentu na suchasnomu pidpriemstvi" [Implementation of the Energy Management System at a Modern Enterprise]. *Current challenges of science and education* (2024): 226-230. <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/05/CURRENT-CHALLENGES-OF-SCIENCE-AND-EDUCATION-6-8.05.24.pdf#page=226>
- Kyzym, M. et al. "Consistency of Trends in the Economic and Energy Development of Ukraine: Assessment and Analysis". *3<sup>rd</sup> International Conference on Sustainable, Circular Management and Environmental Engineering (ISCMEE 2023)*, art. 01018. Turkey, Izmir, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340801018>
- Lee, C. C. et al. "Do geopolitical risks always harm energy security? Their non-linear effects and mechanism".

- Energy Economics*, art. 107245, vol. 29 (2024).  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107245>
- Ma, Y., Feng, G. F., and Chang, C. P. "The impact of energy security on energy innovation: a non-linear analysis". *Applied Economics* (2024).  
DOI: <https://doi.org/10.1080/00036846.2024.2317810>
- Man, O. R. "Approaches to a New Regional Energy Security Model in the Perspective of the European Transition to Green Energy". *Economies*, art. 61, vol. 12, no. 3 (2024).  
DOI: <https://doi.org/10.3390/economies12030061>
- Nguyen, H. H., Van Nguyen, P., and Ngo, V. M. "Energy security and the shift to renewable resources: The case of Russia-Ukraine war". *The Extractive Industries and Society*, art. 101442, vol. 17 (2024).  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101442>
- Polozova, T. V. "Upravlinnia stratehichnym rozvytkom pidpriemstv enerhetychnoho rynku Ukrainy" [Management of Strategic Development of Enterprises in the Energy Market of Ukraine]. *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky ta tekhniki*, vol. 9, no. 1 (2024): 162-168.  
DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-27>
- Prokhorova, V. "Reformuvannia enerhetychnoho sektoru Ukrainy v konteksti upravlinnia enerhetychnoiu bezpekoiu" [Reforming the Energy Sector of Ukraine in the Context of Energy Security Management]. *Adaptyvne upravlinnia: teoriia i praktyka. Seriia «Ekonomika»*, no. 15 (2023).  
DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0654-15\(30\)-03](https://doi.org/10.33296/2707-0654-15(30)-03)
- Prokhorova, V. et al. "Safety of industrial enterprises development: evaluation of innovative and investment component". *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no. 5 (2019): 155-161.  
DOI: <https://doi.org/10.29202/nvngu/20195/24>
- Prokhorova, V. V., and Protsenko, A. V. *Upravlinnia strukturnymy transformatsiiami innovatsiinoho potentsialu promyslovykh enerhetychnykh pidpriemstv* [Management of Structural Transformations of the Innovative Potential of Industrial Energy Enterprises]. Kharkiv: Vydavnytstvo Ivanchenka I. S., 2021.
- Prokhorova, V. V., Babichev, A. V., and Budanov, M. P. "Enerhetychna bezpeka yak stratehichnyi prioritet zabezpechennia natsionalnoi bezpeky Ukrainy" [Energy Security as a Strategic Priority for Ensuring the National Security of Ukraine]. In *Transformatsiia ekonomichnoho seredovyschcha v umovakh entropii*, 162-172. Kharkiv: Vydavnytstvo Ivanchenka I. S., 2024.  
DOI: 10.33296/monograpf-2024
- Prokhorova, V. V., Mushnykova, S. A., and Yukhman, Ya. V. "Entropiia yak parametrychne обмеження умов розвитку sotsialno-ekonomichnykh system" [Entropy as a Parametric Limitation of the Conditions of Development of Socio-economic Systems]. In *Transformatsiia ekonomichnoho seredovyschcha v umovakh entropii*, 92-98. Kharkiv: Vydavnytstvo Ivanchenka I. S., 2024.  
DOI: 10.33296/monograpf-2024
- Prokhorova, V., and Us, V. "«Zelena» enerhetyka v kontseptsii tsyrkuliarnoi ekonomiky: vidnovlennia ta vykorystannia ponovliuvanykh dzherel u nestabilnykh umovakh" [«Green» energy in the Concept of Circular Economy: Recovery and Use of Renewable Sources in Unstable Conditions]. *Adaptyvne upravlinnia: teoriia i praktyka. Seriia «Ekonomika»*, no. 18 (2024).  
DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0654-18\(36\)-05](https://doi.org/10.33296/2707-0654-18(36)-05)
- Prokhorova, V., Budanov, M., and Budanov, P. "Devising an integrated methodology for energy safety assessment at an industrial power-generating enterprise". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 4, no. 13 (2024): 118-131.  
DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.308056>
- Stepanenko, S. V., and Manuilov, O. V. "Osoblyvosti funktsionuvannia pidpriemstv-postachalnykiv na enerhetychnomu rynku Ukrainy v umovakh ryzyku" [Peculiarities of Functioning of Supplying Enterprises in the Energy Market of Ukraine under Conditions of Risk]. *Aktualni problemy innovatsiinoi ekonomiky ta prava*, no. 1 (2024): 97-103.  
DOI: <https://doi.org/10.36887/2524-0455-2024-1-20>
- Zhang, S. et al. "Towards energy sustainability: Exploring the nexus between global valuechain participation and energy security in developing and developed countries". *Plos one*, vol. 19, no. 1. e0296705 (2024).  
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296705>