

Калінін Олександр Володимирович¹,
доктор економічних наук, професор,
завідувач кафедри менеджменту та
інноваційного розвитку
Мосійчук Тетяна Костянтинівна¹,
кандидат економічних наук, декан
Луковіна Лариса¹,
здобувачка вищої освіти
¹Бізнес Школа КРОК,
Вищий навчальний заклад «Університет
економіки та права «КРОК»

Kalinin Oleksandr¹, Doctor of Sciences in Economics,
Professor, Head of the Department of Management
and Innovative Development,
<http://orcid.org/0000-0001-5238-0525>
Mosiychuk Tetyana¹, Ph.D. in Economics,
Dean, <https://orcid.org/0009-0001-6429-674X>
Lukovina Larisa¹,
<https://orcid.org/0009-0002-5190-9663>
¹KROK Business School,
Higher Education Institution "University
of Economics and Law 'KROK'"

УПРАВЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЯМИ У СТАЛІЙ РОЗВИТОК ЗЕЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

MANAGEMENT OF INVESTMENTS IN THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF GREEN ENERGY

Калінін О. В., Мосійчук Т. К., Луковіна Л. Управління
інвестиціями у сталій розвиток зеленої
енергетики. *Український журнал прикладної
економіки та техніки*.
2024. Том 9. № 4. С. 241 – 248.

Kalinin O., Mosiychuk T., Lukovina L.
Management of investments in the sustainable
development of green energy. *Ukrainian journal of
applied economics and technology*.
2024. Volume 9. № 4, pp. 241 – 248.

У статті досліджено ефективне управління інвестиціями у сталій розвиток зеленої енергетики, яке є ключовим напрямом для забезпечення енергетичної незалежності, зниження викидів парникових газів та виконання міжнародних кліматичних зобов'язань України. Проаналізовано зміни обсягів інвестицій в енергетику за регіонами та категоріями палива, що дозволило визначити ключові тенденції у глобальному та регіональному розподілі фінансових ресурсів. Досліджено проблеми заміщення атомної генерації в Україні, зокрема обмеження гідрогенерації, екологічні ризики теплової генерації та технічні обмеження альтернативних джерел енергії. Висвітлено міжнародний досвід впровадження сучасних енергетичних технологій, таких як малі модульні реактори (ММР), які забезпечують стабільність енергопостачання та сприяють зниженню вуглецевого сліду. Розглянуто сучасні підходи до оцінки інвестиційної привабливості енергетичних проєктів, включаючи використання методології NEST. Проведено розрахунки ключових економічних індикаторів, таких як LUEC (нормована вартість електроенергії), NPV (чиста приведена вартість), IRR (внутрішня норма доходності) та ROI (рентабельність інвестицій), що дозволяють приймати обґрунтовані рішення щодо впровадження інноваційних енергетичних технологій. Особливу увагу приділено використанню інструментів для оцінки ефективності малих модульних реакторів та відновлюваних джерел енергії, які є перспективними для енергетичної трансформації України. Результати дослідження підкреслюють важливість інтеграції відновлюваних джерел енергії у національну енергосистему, модернізації інфраструктури та адаптації законодавства до міжнародних стандартів. Наголошено, що впровадження нових технологій, таких як системи накопичення енергії, дозволить підвищити стабільність енергетичної системи навіть за умов значного зростання частки ВДЕ. Запропоновано напрями подальших досліджень, включаючи аналіз економічної ефективності впровадження малих модульних реакторів, розробку фінансових механізмів для залучення інвестицій у ВДЕ та вивчення впливу сучасних технологій на стабільність енергетичної системи України.

Ключові слова: сталій розвиток, зелена енергетика, управління інвестиціями, інвестиційна привабливість, енергетична безпека, відновлювані джерела енергії.

The article examines effective investment management in the sustainable development of green energy, which is a key direction for ensuring energy independence, reducing greenhouse gas emissions, and fulfilling Ukraine's international climate commitments. Changes in energy investment volumes by region and fuel categories are analyzed, allowing for identifying key trends in the global and regional distribution of financial resources. The challenges of replacing nuclear generation in Ukraine are investigated, including the limitations of hydropower, the environmental risks of thermal generation, and the technical constraints of alternative energy sources. International experience in implementing modern energy technologies, such as small modular reactors (SMRs), which ensure energy supply stability and contribute to reducing the carbon footprint, is highlighted. Modern approaches to evaluating the investment attractiveness of energy projects, including using the NEST methodology, are considered. Calculations of key economic indicators such as LUEC (Levelized Unit Electricity Cost), NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate of Return), and ROI (Return on Investment) are conducted, enabling well-founded decisions on implementing innovative energy technologies. Special attention is given to tools for assessing the effectiveness of small modular reactors and renewable energy sources, which hold promise for Ukraine's energy transformation. The research findings emphasize the importance of integrating renewable energy sources into the national energy system, modernizing infrastructure, and adapting legislation to international standards. It is highlighted that introducing new technologies, such as energy storage systems, will enhance the stability of the energy system even under conditions of significant growth in the share of renewables. Directions for further research are proposed, including the analysis of the economic efficiency of small modular reactors, the development of financial mechanisms for attracting investments in renewable energy, and the study of the impact of modern technologies on the stability of Ukraine's energy system.

Вступ

Ефективне управління інвестиціями в сталий розвиток зеленої енергетики набуває дедалі більшого значення в умовах глобального переходу до низьковуглецевих технологій. Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) стали ключовим інструментом у досягненні цілей Паризької угоди, яка передбачає зниження викидів парникових газів на 45% до 2030 року [1]. За даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), у 2021 році частка ВДЕ в глобальному виробництві електроенергії досягла 29%, а в Європейському Союзі цей показник становив 37% [2]. В Україні частка ВДЕ у виробництві електроенергії зросла з 1,9% у 2010 році до 13,9% у 2020 році, що підтверджує високу динаміку розвитку сектору [3].

Актуальність оцінки інвестиційної привабливості у зелену енергетику зростає у контексті збільшення частки відновлювальних джерел енергії та потреби в безпечних, екологічних та ефективних енергетичних рішеннях. Вони можуть стати важливим елементом у переході до чистої енергії. Зростання частки відновлювальної енергетики, енергетична незалежність, зниження викидів CO₂ та потреба в стабільному енергопостачанні роблять привабливими для інвесторів маломодульні реактори. Вони забезпечують гнучкість, безпеку та адаптивність до мінливих умов ринку. Зростання використання ВДЕ потребує значних інвестицій у нові технології та вдосконалення існуючої інфраструктури. Відсутність ефективного управління цими інвестиціями може призвести до нестабільності енергопостачання, високих витрат та уповільнення переходу до сталого розвитку.

Аналіз наукових праць дозволяє окреслити ключові напрями досліджень і визначити важливість вказаної тематики. Атаманчук З. та Неголюк Ю. визначили ключові пріоритети розвитку «зеленої» економіки, акцентуючи увагу на стані інвестиційного забезпечення «зеленого» сектору в Україні [4]. Головна Ю. та Білоусько Т. дослідили роль інвестицій у розвиток зеленого бізнесу, розглянувши екологічні індекси України [5]. Немашкало К. у своїй роботі досліджувала інструменти фінансування «зеленого» інвестування, зокрема «зелені» облігації, екологічні кредити, інвестиційні фонди та механізми державно-приватного партнерства [6]. Ільницький Д. та Столярчук Я. акцентували увагу на процесах «озеленення» енергетичного сектору, визначивши його як потужний драйвер структурної модернізації національних економік [7]. Сотник І. та інші запропонували методологію моделювання інвестиційних потоків у регіональну відновлювану енергетику [8]. У дослідженні Ходаківського С. висвітлено вплив відновлюваної енергетики на економічну стабільність країн, підкреслено важливість інтеграції ВДЕ в енергосистему для забезпечення стійкості та ефективності енергетичного сектору [9]. Дослідження Ікрама М. та інших зосереджене на розробці інтегрованої моделі оцінки показників зелених технологій для чистого виробництва та сталих інвестицій. Автори визначили, що енергетична утилізація та зелений транспорт мають вирішальне значення для сталого розвитку [10; 11]. Аналіз публікацій свідчить, що сучасні дослідження зосереджені на вивченні інструментів фінансування, моделюванні інвестиційних потоків, оцінці екологічної ефективності та інтеграції зелених технологій у енергетичні системи. Подальші дослідження доцільно спрямувати на аналіз ефективності впровадження малих модульних реакторів, вдосконалення механізмів державно-приватного партнерства та адаптацію міжнародного досвіду до умов України.

Формулювання цілей статті

Мета статті полягає в комплексному аналізі ефективного управління інвестиціями у сталий розвиток зеленої енергетики, що вимагає проведення аналізу змін обсягів інвестицій в енергетику за регіонами та категоріями палива для виявлення ключових тенденцій у розподілі фінансових ресурсів, дослідження проблем заміщення атомної генерації в Україні, зокрема екологічних, технічних та економічних аспектів, із врахуванням особливостей національної енергосистеми, аналіз можливостей використання міжнародного досвіду у впровадженні інноваційних технологій, таких як малі модульні реактори (ММР), для забезпечення енергетичної стабільності та зниження вуглецевого сліду. Оцінка інвестиційної привабливості енергетичних проєктів з використанням методології NEST та визначення ролі ключових економічних індикаторів (LUEC, NPV, IRR, ROI).

Виклад основного матеріалу дослідження

Управління інвестиціями в сталий розвиток зеленої енергетики має вирішальне значення для досягнення енергетичної безпеки, зменшення викидів парникових газів і досягнення кліматичних цілей. Цей процес охоплює оптимальне використання фінансових, технологічних та людських ресурсів для забезпечення стійкого розвитку енергетичного сектору в умовах переходу до низьковуглецевої економіки.

По-перше, правильно спрямовані інвестиції дозволяють підвищити частку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у загальному енергетичному балансі. Враховуючи глобальну тенденцію до зниження витрат на відновлювані технології, такі як сонячна та вітрова енергетика, ефективне управління може прискорити перехід від викопних видів палива до чистої енергії. Наприклад, зростання інвестицій у фотоелектричну енергетику демонструє, що навіть невеликі економіки можуть значно збільшити виробництво екологічно чистої енергії, якщо ресурси будуть розподілені ефективно.

По-друге, ефективне управління інвестиціями сприяє створенню сучасної енергетичної інфраструктури. Інвестиції в енергомережі, акумулюючі системи та гнучкі технології дозволяють

стабілізувати енергопостачання навіть за умов змінної генерації ВДЕ. Це особливо важливо для країн із високою часткою відновлюваної енергії, де залежність від погодних умов може створювати ризики нестабільності.

По-третє, управління інвестиціями у відновлювану енергетику сприяє економічному зростанню та створенню нових робочих місць. Згідно з дослідженнями, інвестиції в зелену енергетику створюють удвічі більше робочих місць порівняно з аналогічними інвестиціями у вичерпне паливо. Це дозволяє не лише підтримувати енергетичний перехід, але й стимулювати розвиток регіональної економіки.

Нарешті, ефективне управління інвестиціями допомагає вирішувати питання енергетичної справедливості. Це передбачає збільшення доступу до чистої енергії для населення, особливо в країнах, що розвиваються, де мільйони людей досі не мають доступу до електрики.

У 2024 році загальний обсяг інвестицій у глобальний енергетичний сектор вперше перевищить 3 трильйони доларів США, з яких понад 2 трильйони доларів будуть спрямовані на розвиток чистих енергетичних технологій та інфраструктури. Від 2020 року інвестиції в чисту енергетику прискорилися: витрати на відновлювані джерела енергії, енергетичні мережі та системи зберігання вже перевищують загальні витрати на традиційні вичерпні джерела енергії, такі як нафта, газ і вугілля [12; 13].

Залишається значний дисбаланс інвестиційних потоків: недостатній рівень інвестицій у чисту енергетику в країнах, що розвиваються (EMDE), за межами Китаю. У 2024 році очікується зростання інвестицій у чисту енергетику в EMDE до 320 мільярдів доларів США, що на 50% більше у порівнянні з 2020 роком. Це відповідає темпам зростання в країнах із розвинутою економікою (+50%), але поступається Китаю (+75%). Значна частина цього зростання припадає на інвестиції у відновлювані джерела енергії, які становлять половину всіх інвестицій в енергетичний сектор цих країн.

Значне зростання інвестицій у чисту енергетику, зокрема сонячну, вітрову та накопичувачі енергії, є ключовим драйвером трансформації енергетичного сектору, забезпечуючи підвищення ефективності та зниження викидів парникових газів. Проте у багатьох країнах, що розвиваються, прогрес обмежується низькими базовими рівнями інвестицій та фінансовими труднощами, що вимагає посилення міжнародної підтримки та інноваційних рішень. Глобальний тренд зростання інвестицій в енергомережі, атомну енергетику та електрифікацію транспорту підтверджують важливість комплексного підходу до енергетичної трансформації. Зростання інвестицій у чисту енергетику підтримується цілями зі скорочення викидів, технологічним прогресом та потребою в енергетичній безпеці. У США інвестиції у чисту енергію зростають до 300 мільярдів доларів США у 2024 році, що у 1,6 рази перевищує рівень 2020 року. У ЄС ця сума становитиме 370 мільярдів, а в Китаї – майже 680 мільярдів [12; 14].

Таким чином, управління інвестиціями є ключовим фактором для забезпечення сталого розвитку зеленої енергетики, підвищення енергетичної безпеки та досягнення глобальних кліматичних цілей. Це завдання вимагає системного підходу, співпраці між урядами, приватним сектором і міжнародними організаціями, а також впровадження інноваційних фінансових механізмів і технологій.

Основними викликами у сфері інвестиційного управління проектами зеленої енергетики є:

1. Залежність від природних умов, таких як сонячна інсоляція та вітрові ресурси, створює додаткові ризики для інвесторів. В Україні, де кліматичні умови можуть бути непередбачуваними, це особливо актуально.

2. За оцінками BloombergNEF [14], для досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року необхідно щорічно інвестувати понад 4 трильйони доларів США у глобальні проекти з відновлюваної енергетики. В Україні, попри зростання інвестицій у ВДЕ, фінансування все ще залишається недостатнім для досягнення амбітних цілей.

3. У багатьох країнах, включаючи Україну, ВДЕ часто працюють із низькою ефективністю через нестачу сучасних систем управління енергомережами та зберігання енергії [15]. Це призводить до втрат енергії та зниження економічної ефективності проектів.

4. Відсутність узгодженої державної політики та стимулів для інвесторів у багатьох країнах обмежує розвиток цього сектору. В Україні, попри наявність «зеленого» тарифу, існують проблеми з його стабільністю та прогнозованістю, що стримує інвестиційну активність.

Отже, ключовими проблемами, що постають у процесі управління інвестиціями в сталий розвиток, є:

- нестабільність ринків та інвестиційні ризики;
- обмежені фінансові ресурси;
- недостатня інтеграція технологій;
- регуляторні бар'єри.

Енергетична стратегія України ставить амбітні цілі, передбачаючи 25% частки ВДЕ до 2030 року та кліматичну нейтральність до 2050 року, незважаючи на виклики війни. Ці показники демонструють важливість системного підходу до розвитку відновлюваної енергетики, а також ефективного управління інвестиціями у цей сектор [13].

Аналіз стану ядерної та відновлювальної енергетики України є критично важливим з огляду на сучасні виклики та стратегічні цілі енергетичної політики країни. Це обґрунтовується певними причинами.

Ядерна енергетика забезпечує значну частку стабільного електропостачання в Україні. Водночас зростання частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є стратегічним напрямом, збереження балансу між надійністю ядерної енергетики та екологічністю ВДЕ стає ключовим фактором забезпечення

енергетичної безпеки. Аналіз цих секторів дозволить визначити оптимальну структуру енергетичного балансу країни.

В умовах поступового виведення з експлуатації застарілих енергоблоків атомних електростанцій впровадження малих модульних реакторів (ММР) може стати перспективним рішенням для заміщення потужностей. ММР відзначаються гнучкістю, меншими капітальними витратами та швидкими темпами будівництва. Аналіз перспектив їх впровадження є необхідним для ухвалення інвестиційних рішень.

Україна має унікальні умови, які впливають на реалізацію енергетичних проєктів: специфічне регуляторне середовище, постійні економічні виклики та військові дії. Аналіз цих чинників є важливим для розробки практичних рекомендацій щодо впровадження енергетичних технологій.

Аналіз сценаріїв функціонування енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) України є важливим аспектом для ефективного управління інвестиціями у сталий розвиток зеленої енергетики. Згідно з консервативними оцінками, у період 2030–2040 років очікується необхідність зупинки частини енергоблоків із сумарною потужністю приблизно 4–5 ГВт. У подальший період, з 2030 до 2050 року, за умов реалізації консервативного або реалістичного сценарію прогнозується припинення експлуатації діючих атомних потужностей на рівні 10,835 ГВт [17].

Такі сценарії вказують на значні виклики, пов'язані з необхідністю заміщення вибуваючих потужностей новими джерелами генерації. Це питання набуває критичного значення для забезпечення енергетичної безпеки країни, зниження викидів парникових газів і досягнення кліматичних цілей. Планування інвестиційних заходів має враховувати прогнозовані втрати потужностей і спрямовуватися на впровадження як інноваційних ядерних технологій, таких як малі модульні реактори (ММР), так і на розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Таким чином, сценарії можливого функціонування енергоблоків АЕС України відображають необхідність комплексного підходу до управління інвестиціями, що передбачає баланс між забезпеченням надійного енергопостачання та розвитком екологічно чистих технологій. Ефективне використання ресурсів і планування інвестицій сприятиме досягненню сталого розвитку національної енергетики.

У контексті переходу до сталого розвитку енергетичного сектору дослідження проблем заміщення атомної генерації іншими видами енергетичних технологій набуває особливої актуальності. Україна стикається з необхідністю заміни застарілих атомних енергоблоків у зв'язку із завершенням термінів їхньої експлуатації. Проте заміщення атомної енергетики іншими видами генерації супроводжується низкою економічних, екологічних та технічних викликів, які потребують детального аналізу (таблиця 1).

Таблиця 1. Проблеми заміщення атомної генерації в Україні та можливість використання міжнародного досвіду

Проблема	Опис	Вплив	Можливі рішення	Міжнародний досвід
Обмеженість гідро-генерації	Гідроелектростанції не можуть розглядатись як повноцінна альтернатива через обмеженість гідроресурсів України	Низький потенціал розширення гідрогенерації, залежність від природних умов	Використання гідрогенерації в обмежених масштабах як доповнення до інших джерел	Норвегія: ефективне використання обмежених гідроресурсів із впровадженням систем накопичення для стабілізації енергомережі
Зростання викидів від теплової генерації	Теплова генерація призводить до суттєвого збільшення викидів парникових газів і погіршення екологічної ситуації	Погіршення екології, невідповідність міжнародним кліматичним зобов'язанням, залежність від обмежених ресурсів органічного палива	Модернізація існуючих теплових станцій, впровадження технологій уловлювання вуглецю, поступове зниження частки теплової генерації	Німеччина: впровадження технологій уловлювання та зберігання вуглецю (CCS), перехід на біопаливо
Обмеження альтернативних джерел енергії	Залежність від природних чинників (час доби, погодні умови) ускладнює стабільне постачання електроенергії	Негарантованість видачі потужності, необхідність додаткових інвестицій у резервні генерації (теплові, гідро) та акумулюючі системи	Інтеграція систем накопичення енергії, розвиток гнучких технологій для балансування енергосистеми	США, Австралія: масштабне впровадження систем накопичення енергії (Tesla Megapack) та інтеграція гібридних систем для балансування енергомережі
Економічні виклики	Висока вартість заміщення атомної генерації іншими джерелами через необхідність модернізації енергетичної інфраструктури	Збільшення інвестиційного навантаження, ризики енергетичної нестабільності	Планування довгострокових інвестицій, залучення міжнародних партнерів, розробка державних програм підтримки	Польща: залучення ЄС до фінансування модернізації енергосистеми, використання міжнародних грантів і фондів

Джерело: сформовано авторами на основі [18–19].

Таким чином, дослідження викликів та перспектив заміщення атомної генерації є ключовим елементом для формування ефективної енергетичної політики України, яка сприятиме досягненню

енергетичної незалежності, забезпеченню екологічної безпеки та виконанню міжнародних зобов'язань щодо сталого розвитку.

Малі модульні реактори (ММР) мають значний потенціал для енергетичної трансформації України, забезпечуючи стабільність енергопостачання, зниження викидів парникових газів та інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Вони є інвестиційно привабливими, однак впровадження потребує модернізації інфраструктури, адаптації законодавства до міжнародних стандартів і залучення міжнародного досвіду. В міжнародній практиці для оцінки привабливості інвестицій у енергетичні проекти використовують такі індикатори [21; 22]:

Нормована вартість електроенергії (Levelized Cost of Electricity, LCOE Levelized Unit Electricity Cost, LUEC) – це індикатор, який визначає відношення загальних фінансових витрат на енергетичний проект до обсягу виробленої електроенергії за весь період експлуатації та розраховується в \$/МВт-год. Цей індикатор включає капітальні витрати, витрати на експлуатацію та обслуговування електростанції, витрати на паливний цикл.

Розрахунок LUEC за методологією NEST INPRO [20; 23] виконується за такою формулою:

$$LUEC = LUAC + LUOM + LUF C \quad (1)$$

де LUAC – капітальні витрати на будівництво та виведення електростанції з експлуатації у відношенні до обсягу згенерованої електроенергії за весь життєвий цикл енергетичного проекту;

LUOM – витрати на експлуатацію та обслуговування електростанції у відношенні до обсягу згенерованої електроенергії за весь життєвий цикл енергетичного проекту;

LUF C – витрати на реалізацію обраного типу паливного циклу у відношенні до обсягу згенерованої електроенергії за весь життєвий цикл енергетичного проекту;

LUEC є базовим економічним індикатором, який демонструє середню приведену вартість виробництва електроенергії за весь життєвий цикл енергетичної системи.

Цей показник дозволяє порівнювати різні джерела генерації, враховуючи всі витрати, зокрема капітальні витрати, експлуатаційні витрати та витрати на паливо. Конкурентний рівень LUEC є важливим для забезпечення привабливості інвестицій у певну енергетичну технологію. Завдяки розрахунку LUEC інвестори можуть оцінити конкурентоспроможність енергетичних технологій відносно інших доступних джерел.

З метою оцінки ефективності та результативності енергетичних зелених технологій з точки зору інвестиційної привабливості було проведено аналіз на основі принципу стійкості. Методологія INPRO для оцінки інноваційних реакторів та паливних циклів забезпечує комплексний підхід [24]. Цей принцип враховує, що виробництво електроенергії має бути конкурентоспроможним у порівнянні з альтернативними джерелами енергії, доступними у певному часовому та географічному контексті.

Основні вихідні дані до розрахунку (алгоритм роботи NEST та результуючі індикатори) наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Вихідні дані до розрахунку економічних та інвестиційних індикаторів(вихідні параметри NEST)

Категорія	Параметри		
Ключові економічні показники	- ставка дисконтування, %;	Експлуатація та обслуговування	- постійні експлуатаційні витрати та витрати на обслуговування, \$/кВт;
	- податкова ставка, %;		- змінні експлуатаційні витрати та витрати на обслуговування, \$/кВт
	- ціна на одиницю електроенергії, \$/кВт-год;	Паливний цикл	- середнє вигорання палива, МВт-день/кг;
	- ринковий дохід, М\$/рік;		- паливна кампанія, рік;
	- частка ринку, %;		- середнє збагачення палива в першому завантаженні активної зони, %;
	- показник прибутковості, %;		- вартість ядерного палива, \$/кг;
	- термін зростання, рік		- швидкість зростання ціни на ядерне паливо, 1/рік
Техніко-економічні параметри енергоблоку	- чиста електрична потужність, МВт;	Специфічні параметри для ВДЕ	- витрати на експлуатацію та обслуговування накопичувача енергії, \$/кВт-год
	- час будівництва, рік;		- термін будівництва накопичувача енергії, рік;
	- термін експлуатації, рік;		- ємність накопичувача енергії, кВт-год;
	- коефіцієнт використання встановленої потужності, %;		- інші витрати на підтримання мережі, \$/кВт-год
	- термінічний ККД, %;		
	- сумарна вартість будівництва (ОСС), \$/кВт;		
	- непередбачувані витрати, \$/кВт;		
- витрати на підключення, \$/кВт;			

Джерело: сформовано авторами на основі [24–26].

Інструмент NEST є потужним засобом для комплексної оцінки економічної доцільності енергетичних проектів. Його використання сприяє прийняттю обґрунтованих рішень щодо

впровадження нових технологій, таких як малі модульні реактори, і дозволяє оцінити їхню конкурентоспроможність у порівнянні з іншими джерелами енергії. Таким чином, NEST відіграє ключову роль у розробці стійких енергетичних систем, які відповідають сучасним економічним, екологічним і технологічним вимогам.

Застосування методології NEST для оцінки інвестиційної привабливості енергетичних проєктів в Україні має значний потенціал, особливо в умовах необхідності модернізації енергетичної інфраструктури. Оцінка показників LUEC, NPV, IRR та ROI дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо інвестицій у проєкти, які пов'язані із впровадженням малих модульних реакторів (ММР), відновлюваних джерел енергії та інших інноваційних технологій.

Використання розрахункової програми NEST та методології INPRO є важливим інструментом для оцінки економічної ефективності та інвестиційної привабливості енергетичних технологій. Цей підхід сприяє розробці стійких енергетичних систем, які відповідають сучасним вимогам до конкурентоспроможності, екологічності та інвестиційної привабливості.

Висновки та перспективи подальших розвідок

Ефективне управління інвестиціями у сталий розвиток зеленої енергетики є ключовим інструментом для забезпечення енергетичної незалежності, виконання міжнародних кліматичних зобов'язань та підвищення конкурентоспроможності національної енергосистеми. Аналіз змін обсягів інвестицій у регіональному та глобальному контексті свідчить про зростання зацікавленості у впровадженні відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової генерації, а також потребу у модернізації традиційних джерел. Дослідження проблем заміщення атомної генерації в Україні показало, що гідрогенерація має обмежений потенціал через географічні фактори; теплові електростанції є екологічно ризикованими, а альтернативні джерела енергії потребують значних резервних потужностей для забезпечення стабільності постачання. Використання міжнародного досвіду, зокрема впровадження малих модульних реакторів (ММР), відкриває нові можливості для заміщення застарілих енергоблоків атомних станцій, забезпечення енергетичної стабільності та декарбонізації енергетики. Результати оцінки інвестиційної привабливості за допомогою методології NEST показали важливість показників LUEC, NPV, IRR та ROI для прийняття обґрунтованих рішень щодо впровадження нових енергетичних технологій. Для успішної інтеграції ВДЕ та забезпечення стійкості енергосистеми необхідна модернізація інфраструктури, впровадження систем накопичення енергії та адаптація законодавства до міжнародних стандартів.

Напрями подальших досліджень включають детальний аналіз економічної ефективності впровадження малих модульних реакторів в Україні, розробку фінансових механізмів для залучення інвестицій у ВДЕ та вивчення впливу інтеграції сучасних технологій на стабільність енергетичної системи. Особливу увагу слід приділити адаптації міжнародного досвіду до національних умов, зокрема у сфері управління енергетичними проєктами та впровадження інноваційних технологій.

Література

1. Глобальний договір ООН в Україні. Паризька кліматична угода для України. URL: <https://globalcompact.org.ua/news/parizka-klimatichna-ugoda-dlja-ukraini/>.
2. International Energy Agency: IEA. Energy Efficiency Progress Tracker. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-efficiency-progress-tracker>.
3. Golaw. Інвестиції у відновлювану енергетику України: як корпоративні PPA забезпечують стабільність та прибуток. URL: https://golaw.ua/ua/insights/publication/investicziyi-u-vidnovlyuvanu-energetiku-ukrayini-yak-korporativni-ppa-zabezpechuyut-stabilnist-ta-pributok%E0%BF%BC/?utm_source=chatgpt.com.
4. Атаманчук З.А., Неголюк Ю.В. Ключові пріоритети розвитку «зеленої» економіки в Україні. *Журнал економічних досліджень*. 2020. № 15(3). С. 45–59.
5. Головня Ю., Білоусько Т. Роль інвестицій у розвиток зеленого бізнесу в Україні. *Екологічний вісник*. 2021. № 18(2). С. 23–32.
6. Немашкало К. Інструменти фінансування «зеленого» інвестування: проблеми та перспективи. *Економіка та управління*. 2022. № 20(1). С. 12–19.
7. Ільницький Д., Столярчук Я. «Озеленення» енергетичного сектору як драйвер модернізації економіки. *Енергетична політика*. 2021 №. 25(4). С. 67–79.
8. Сотник І., Коваленко О., Мельник І. Моделювання інвестиційних потоків у регіональну відновлювану енергетику. *Регіональні дослідження*. 2022. № 28(2). С. 35–47.
9. Ходаківський С. Відновлювана енергетика та її вплив на економічну стабільність. *Енергетична безпека*. 2020. № 12(3). С. 78–89.
10. Ікрам М., Ахмед Р., Шах А. Інтегрована модель оцінки зелених технологій для сталого виробництва. *Журнал сталого розвитку*. 2021. № 30(1). С. 45–57.
11. Laktionova, Olga, et al. Digitalization and management of crypto assets as a source of investment for “green” projects. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2024. p. 01028. DOI:10.1051/e3sconf/202455801028
12. International Energy Agency (IEA). Change in energy investment volume by region and fuel category, 2016 versus 2023. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/change-in-energy-investment-volume-by-region-and-fuel-category-2016-versus-2023>.
13. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Статистика щодо розвитку відновлюваної енергетики. URL: <https://saee.gov.ua/uk/content/informatsiyini-materialy>.

14. Bloomberg. CO2 Emissions From Electricity May Have Already Peaked as Wind and Solar Take Over. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-04-11/co2-emissions-from-electricity-may-have-already-peaked>.
15. Частка ВДЕ у глобальному електроенергетичному балансі сягнула 30%. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/chastka-vde-u-hlobalnomu-elektroenerhetychnomu-balansi-siahnula-30>.
16. Ember. Global Electricity Review 2023. URL: <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2023/>.
17. Індекс прозорості енергетики України. URL: <https://index.ua-energy.org/?ga=2>.
18. B. Mignacca, G. Locatelli. Economics and finance of Small Modular Reactors: A systematic review and research agenda. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 118 (2020), 109519. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109519>.
19. Kalinin, O. Investment Security in the Development of the Digital Economy. *Economics Ecology Socium* 2024, 8, 73-84. DOI: <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2024.8.2-6>.
20. Kutsan U.G., Godun O.V., Kyrianchuk V.N. Application of NEST code for comparative economic evaluation of energy systems, *Elektron. model*. 2018, No. 40(5). pp. 111-118. DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.40.05.111>
21. Nuclear Energy Agency Organisation for Economic Co-operation and Development. The Economics of the Back End of the Nuclear Fuel Cycle. 2013. URL: <https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2019-12/7061-ebenfc.pdf>.
22. International Atomic Energy Agency. INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Economics. IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-4.4, 2014. URL: <https://www.iaea.org/publications>.
23. NEST algorithm rev. 6.0, Basic calculation of LUEC. URL: <http://inpro-dev.westeurope.cloudapp.azure.com/>.
24. ANNEX III. NEST – NESA Economics Support Tool NEST. URL: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/50/003/50003466.pdf>
25. Гуцалюк О.М., Салига К.С., Небаба Н.О. Формування інвестиційної привабливості та забезпечення економічної ефективності корпоративного інтеграційного об'єднання. *Ефективна економіка*. 2018. № 4. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7217>.
26. Hutsaliuk O.M., Bondar Iu.A., Popov O.Y. Forming of Investment Attractiveness and Providing of Economic Efficiency of Corporate Integration Association. *Economic Herald of the Donbass*. 2022. № 2 (68). pp. 41-51. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-2\(68\)-79-85](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-2(68)-79-85).
27. Hutsaliuk O., Bondar Iu., Remzina N., Lizut R. Modifications of Digital Technologies by Client-oriented Service of Logistics Activities in the Management System of the Enterprise. *Philosophy, Economics and Law Review*. 2023. Vol. 3. No. 1. Pp. 91-102. DOI: <https://doi.org/10.31733/2786-491X-2023-1-91-102>.
28. Kolodinskiy S.B., Hutsaliuk O.M., Kramskiy S.O. Management of inter-firm cooperative relations for the exchange of innovations by enterprises of Ukraine. *Intellectualization of logistics and Supply Chain Management*. 2022. Vol. 15. pp. 46-55. DOI: <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2022-15-4>.

References

1. Hlobalnyi dohovir OON v Ukraini. (n.d.). Paryzka klimatychna uhoda dlia Ukrainy [Paris Climate Agreement for Ukraine]. Retrieved from <https://globalcompact.org.ua/news/parizka-klimatichna-ugoda-dlja-ukraini/>.
2. International Energy Agency (IEA). (n.d.). Energy Efficiency Progress Tracker. Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-efficiency-progress-tracker>.
3. Golaw. (n.d.). Investytsii u vidnovliuvalnu enerhetyku Ukrainy: yak korporatyvni PPA zabezpechuiut stabilnist ta prybutok [Investments in Renewable Energy in Ukraine: How Corporate PPAs Ensure Stability and Profitability]. Available at: https://golaw.ua/ua/insights/publication/investicziyi-u-vidnovlyuvanu-energetiku-ukrayini-yak-korporativni-ppa-zabezpechuyut-stabilnist-ta-pributok%E0%BF%BC/?utm_source=chatgpt.com.
4. Atamanchuk, Z. A., & Neholiuk, Yu. V. (2020). Kliuchovi priorytety rozvytku "zelenoi" ekonomiky v Ukraini [Key Priorities for the Development of the "Green" Economy in Ukraine]. *Zhurnal ekonomichnykh doslidzhen*, No. 15(3), pp. 45–59.
5. Holovnia, Yu., & Bilusko, T. (2021). Rol investytsii u rozvytok zelenoho biznesu v Ukraini [The Role of Investments in the Development of Green Business in Ukraine]. *Ekolohichniy visnyk*, No. 18(2), pp. 23–32.
6. Nemashkalo, K. (2022). Instrumenty finansuvannia "zelenoho" investuvannia: problemy ta perspektyvy [Tools for Financing "Green" Investment: Problems and Prospects]. *Ekonomika ta upravlinnia*, No. 20(1), pp. 12–19.
7. Ilnytskyi, D., & Stoliarchuk, Ya. (2021). "Ozelenennia" enerhetychnoho sektoru yak draiver modernizatsii ekonomiky ["Greening" the Energy Sector as a Driver of Economic Modernization]. *Enerhetychna polityka*, No. 25(4), pp. 67–79.
8. Sotnyk, I., Kovalenko, O., & Melnyk, I. (2022). Modeliuvannia investytsiinykh potokiv u rehionalnu vidnovliuvalnu enerhetyku [Modeling of Investment Flows in Regional Renewable Energy]. *Rehionalni doslidzhennia*, No. 28(2), pp. 35–47.
9. Khodakivskiy, S. (2020). Vidnovliuvalna enerhetyka ta yii vplyv na ekonomichnu stabilnist [Renewable Energy and Its Impact on Economic Stability]. *Enerhetychna bezpeka*, No. 12(3), pp. 78–89.
10. Ikram, M., Ahmed, R., & Shah, A. (2021). Intehrovana model otsinky zelenykh tekhnolohii dlia staloho vyrobnytstva [Integrated Model for the Assessment of Green Technologies for Sustainable Production]. *Zhurnal staloho rozvytku*, No. 30(1), pp. 45–57.
11. Laktionova, O., et al. (2024). Digitalization and Management of Crypto Assets as a Source of Investment for "Green" Projects. In *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, p. 01028. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202455801028>.
12. International Energy Agency (IEA). (n.d.). Change in energy investment volume by region and fuel category, 2016 versus 2023. Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/change-in-energy-investment-volume-by-region-and-fuel-category-2016-versus-2023>.
13. Derzhavne ahentstvo z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia Ukrainy [State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine]. (n.d.). Statystyka shchodo rozvytku vidnovliuvalnoi enerhetyky [Statistics on the Development of Renewable Energy]. Available at: <https://sae.gov.ua/uk/content/informatsiyni-materialy>.

14. Bloomberg. (2023). CO2 Emissions From Electricity May Have Already Peaked as Wind and Solar Take Over. Available at: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-04-11/co2-emissions-from-electricity-may-have-already-peaked>.
15. Chastka VDE u hlobalnomu elektroenerhetychnomu balansi sihnula 30% [Share of RES in the Global Electricity Balance Reached 30%]. (n.d.). Available at: <https://ua-energy.org/uk/posts/chastka-vde-u-hlobalnomu-elektroenerhetychnomu-balansi-siahnula-30>.
16. Ember. (2023). Global Electricity Review 2023. Available at: <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2023/>.
17. Indeks prozorosti enerhetyky Ukrainy [Ukraine Energy Transparency Index]. (n.d.). Available at: https://index.ua-energy.org/?_ga=2.
18. Mignacca, B., & Locatelli, G. (2020). Economics and Finance of Small Modular Reactors: A Systematic Review and Research Agenda. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 118, 109519. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109519
19. Kalinin, O. (2024). Investment Security in the Development of the Digital Economy. *Economics Ecology Socium*, No. 8(2), pp. 73–84. DOI: <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2024.8.2-6>.
20. Kutsan, U. G., Godun, O. V., & Kyrianchuk, V. N. (2018). Application of NEST Code for Comparative Economic Evaluation of Energy Systems. *Elektron. Model.*, 40(5), pp. 111–118. DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.40.05.111>.
21. Nuclear Energy Agency Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD-NEA). (2013). *The Economics of the Back End of the Nuclear Fuel Cycle*. Available at: <https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2019-12/7061-ebenfc.pdf>.
22. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2014). *INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Economics*. IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-4.4. Available at: <https://www.iaea.org/publications>
23. NEST Algorithm Rev. 6.0. (n.d.). Basic Calculation of LUEC. Available at: <http://inprodev.westeurope.cloudapp.azure.com/>.
24. ANNEX III. NEST – NESA Economics Support Tool NEST. (n.d.). Available at: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/50/003/50003466.pdf>
25. Hutsaliuk, O. M., Salyha, K. S., & Nebaba, N. O. (2018). Formuvannia investytsiinoi pryvablyvosti ta zabezpechennia ekonomichnoi efektyvnosti korporatyvnoho intehratsiinoho obiednannia [Formation of Investment Attractiveness and Ensuring Economic Efficiency of Corporate Integration Association]. *Efektyvna Ekonomika*, No. 4. Available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7217>.
26. Hutsaliuk, O. M., Bondar, Iu. A., & Popov, O. Y. (2022). Forming of Investment Attractiveness and Providing of Economic Efficiency of Corporate Integration Association. *Economic Herald of the Donbass*, No. 2(68), pp. 41–51. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-2\(68\)-79-85](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2022-2(68)-79-85).
27. Hutsaliuk, O., Bondar, Iu., Remzina, N., & Lizut, R. (2023). Modifications of Digital Technologies by Client-Oriented Service of Logistics Activities in the Management System of the Enterprise. *Philosophy, Economics and Law Review*, Vol. 3(1), pp. 91–102. DOI: <https://doi.org/10.31733/2786-491X-2023-1-91-102>.
28. Kolodinskyi, S. B., Hutsaliuk, O. M., & Kramskyi, S. O. (2022). Management of Inter-Firm Cooperative Relations for the Exchange of Innovations by Enterprises of Ukraine. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*, Vol. 15, pp. 46–55. DOI: <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2022-15-4>.

Стаття надійшла до редакції 15.12.2023 р.