

Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292.
Ефективна економіка. 2023. № 12.

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2023.12.62>
УДК 330.3; 338.1

*Ж. Т. Черноусова,
к. ф.-м. н., доцент кафедри економічної кібернетики,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0769-9048>*

*Н. В. Шпінта,
магістрант кафедри економічної кібернетики,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-8830-8053>*

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЮ ПРОЄКТІВ СЕКТОРУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УМОВАХ РИЗИКУ

*Zh. Chernousova,
PhD in Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of
Economic Cybernetics, National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0769-9048>*
*N. Shpynta,
Master's student of the Department of Economic Cybernetic,
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-8830-8053>*

MODELING THE OPTIMAL STRUCTURE OF THE INVESTMENT PORTFOLIO OF PROJECTS IN THE ALTERNATIVE ENERGY SECTOR UNDER RISK CONDITIONS

У статті досліджено результати економіко-математичного моделювання оптимальної структури інвестиційного портфелю проєктів сектору альтернативної енергетики України в період воєнного стану та післявоєнної відбудови. У дослідженні адаптовано традиційний підхід до оцінки ефективності інвестицій та управління інвестиційним портфелем для застосування методики у проєктах альтернативної енергетики. Зокрема, враховано часовий фактор та дисконтування грошових потоків. Значну увагу приділено оцінкам ризику, які необхідно проводити перш ніж приймати рішення про інвестування в той чи інший проєкт. Важливо врахувати, що жодна інвестиція не є безризиковою, але ризик можна мінімізувати. На основі адаптованих показників ефективності інвестицій сформовано багатокритеріальну модель оптимізації. Модель враховує три цільові функції для вибору оптимального інвестиційного портфелю: максимізація надходжень, максимізація корисності від реалізації проєкту в розрізі екологічного ефекту та максимізації потужності портфелю, як складової соціально-економічного ефекту. Крім того, надано рекомендації щодо прийняття рішення із вибору оптимального інвестиційного портфелю на основі аксіому Парето та лексикографічного принципу.

The article examines the results of economic and mathematical modeling of the optimal structure of the investment portfolio of projects in the alternative energy sector of Ukraine during the period of martial law and post-war reconstruction. The state of the field of alternative energy is analyzed. The advantages and disadvantages of some energy sources in the structure of the country's energy complex are determined. The authors have identified possible ways of insuring risks that should attract foreign investment in the difficult times of martial law and post-war reconstruction. The article adapts the traditional approach to investment efficiency assessment and investment portfolio management for the application of the methodology in alternative energy projects. In particular, the time factor and cash flow discounting are taken into account. Considerable attention is paid to risk assessments, which must be carried out before making a decision to invest in a particular project. It is important to note that no investment is risk-free, but risk can be minimized. Within the framework of the study, a regression model was built to determine the coefficient of non-return of funds. The coefficient of military risk by region of Ukraine was also calculated. A multi-criteria optimization model was formed on the basis of adapted indicators of investment

efficiency. The model takes into account three objective functions for choosing the optimal investment portfolio: maximization of profitability, maximization of utility from project implementation in terms of environmental effect, and maximization of the power of the portfolio as a component of socio-economic effect. In addition, recommendations are given for making a decision on choosing the optimal investment portfolio based on the Pareto principle and the lexicographic principle. To demonstrate the operation of the decision-making algorithm for choosing the optimal investment portfolio, examples of two energy sector project portfolios are given. This algorithm provides a preference-based decision based on defined criteria in the order of their importance to the investor.

Ключові слова: альтернативна енергетика, інвестиційний портфель, ефективність інвестицій, оцінка ризику, прийняття рішення.

Keywords: alternative energy, investment portfolio, investment efficiency, risk assessment, decision-making.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Ефективне відновлення та модернізація інфраструктури в сфері альтернативної енергетики зараз стає важливими завданнями для України в контексті повоєнної відбудови та прагнення до сталого розвитку. У той же час інвестиції мають бути спрямовані на стале відновлення економіки та її модернізацію. Галузь альтернативної енергетики зараз потребує значних вливань капіталу для створення достатньої кількості нових станцій, які посилять енергетичну незалежність країни. Для того аби розумно розпоряджатися грошовими ресурсами та стимулювати будівництво нових об'єктів альтернативної енергетики, важливо вміти оцінювати та відбирати ті «зелені» інвестиційні проєкти, які будуть найбільш ефективними та оптимальними. Тобто, формувати оптимальний інвестиційний портфель проєктів галузі альтернативної енергетики з урахуванням усіх можливих ризиків. Однак, недостатньо тільки спиратись на оцінку прибутковості інвестиційного портфелю, адже у контексті сталого розвитку важливо також враховувати соціально-економічний та екологічний ефекти. Створена на основі зазначених показників

модель дозволить інвесторам обирати найбільш ефективний та оптимальний інвестиційний портфель.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження інвестицій у галузь альтернативної енергетики привертає увагу як українських, так і іноземних науковців. Зокрема, Дольф Жілен, Дегер Сайгін та Ніколас Вагнер у своїй роботі «Перспективи розвитку відновлювальної енергетики в Україні до 2030 року» вказують на наявність ризиків у глобальному масштабі, пов'язаних з використанням потенціалу відновлювальної енергетики [1].

Христенко Г. М. та Гурська С. І. вважають, що реформування енергетичної галузі та забезпечення подальшого економічного зростання визначає потребу в інноваційному прориві у використанні альтернативних джерел енергії. Цей прорив стане можливим лише за умови масштабного залучення інвестицій як зовнішніх, так і внутрішніх ресурсів. Інноваційно-інвестиційна діяльність в сфері розвитку альтернативних джерел енергії та оптимізації існуючого потенціалу має важливе внутрішнє та міжнародне значення. Вона слугує ключовим фактором не лише для зміцнення енергетичної безпеки країни, але й робить свій внесок у міжнародні зусилля з протидії глобальним змінам клімату [2].

На практиці не існує ідеальної загальної програми для ефективного формування портфеля, але визначені основні цілі та стратегії успішного розміщення капіталу для створення комплексу фінансових активів. Шевченко Г. О. та Майорова Т. В. визначають, що інвестиційний процес передбачає безліч варіантів, альтернатив і ризиків. Основною метою створення портфеля є покращення результатів інвестування та забезпечення сукупності активів інвестиційної якості, що можлива лише в результаті їх комбінації [3].

3. Стайн визначає такі принципи управління портфелем інвестицій [4]:

- диверсифікація, яка дозволяє зменшити ризик портфеля шляхом розподілу інвестицій між різними активами;
- балансування ризику та прибутковості, адже мета управління портфелем інвестицій – досягти оптимального балансу між ними;

- перегляд портфеля, котрий необхідно регулярно здійснювати для того, щоб забезпечити відповідність портфелю інвестицій цілям інвестора.

Для кожної окремої галузі принципи управління портфелем інвестицій та інвестування загалом має свої особливості, а подекуди – унікальні аспекти, які необхідно враховувати. Зазначається, що управління портфелем інвестицій в альтернативній енергетиці має ряд особливостей, які відрізняють його від управління портфелем інвестицій в інших галузях. Однією з основних особливостей є те, що галузь альтернативної енергетики є відносно молодого і швидко розвивається. Це означає, що інвестиційний клімат в галузі альтернативної енергетики може змінюватися швидко і різко. Іншою особливістю є те, що галузь альтернативної енергетики є висококонкурентною, а це значить, що інвестори повинні ретельно аналізувати компанії, в які вони інвестують. Ще одна особливість – галузь альтернативної енергетики пов'язана з ризиком, який у свою чергу може бути пов'язаний з такими факторами, як [4]:

- нестабільність цін на енергію;
- технічні ризики;
- регуляторні ризики;
- екологічні ризики.

Дослідники також опрацьовують можливі варіанти моделювання оптимального інвестиційного портфелю, проте зазвичай у їх моделях враховується тільки показник прибутковості інвестицій. Так, Нецветаєв В. А. пропонує скоригувати два найвідоміші способи оптимізації інвестиційного портфеля: портфель максимальної прибутковості і портфель мінімального ризику. Автор визначає, що за допомогою побудови моделей часових рядів зміни прибутковості можна підвищити точність моделювання [5].

Постановка завдання. Метою статті є аналіз стану галузі альтернативної енергетики та інвестиційного клімату, у тому числі в умовах війни, та проведення економіко-математичного моделювання щодо формування оптимальної структури інвестиційного портфелю з урахуванням прибутковості, ризику, соціально-економічного та екологічного ефектів.

Виклад основного матеріалу дослідження. У 2019 році Україна потрапила до ТОП-10 країн у світі за розвитком відновлюваної енергетики, і вже у 2020 році вона увійшла до ТОП-5 європейських країн за швидкістю розвитку сонячної енергії [6].

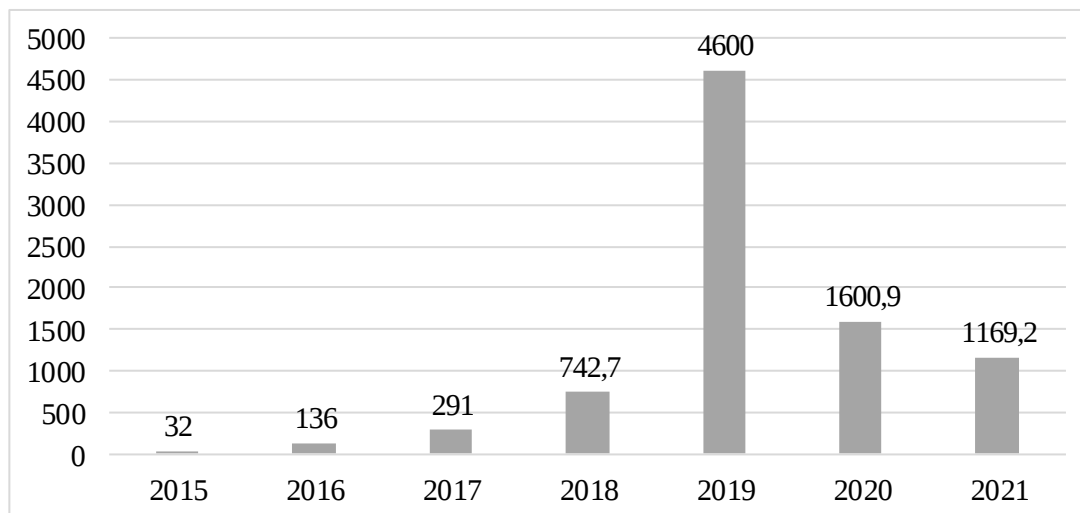


Рис. 1 Щорічний приріст потужностей ВДЕ України (2015-2021), МВт

Джерело: сформовано на основі [7]

У 2021 році частка електроенергії, яка була вироблена з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), склала 8,1% або 12,8 ТВт·год. Розподіл енергії за джерелами ВДЕ представлені на рис. 2.

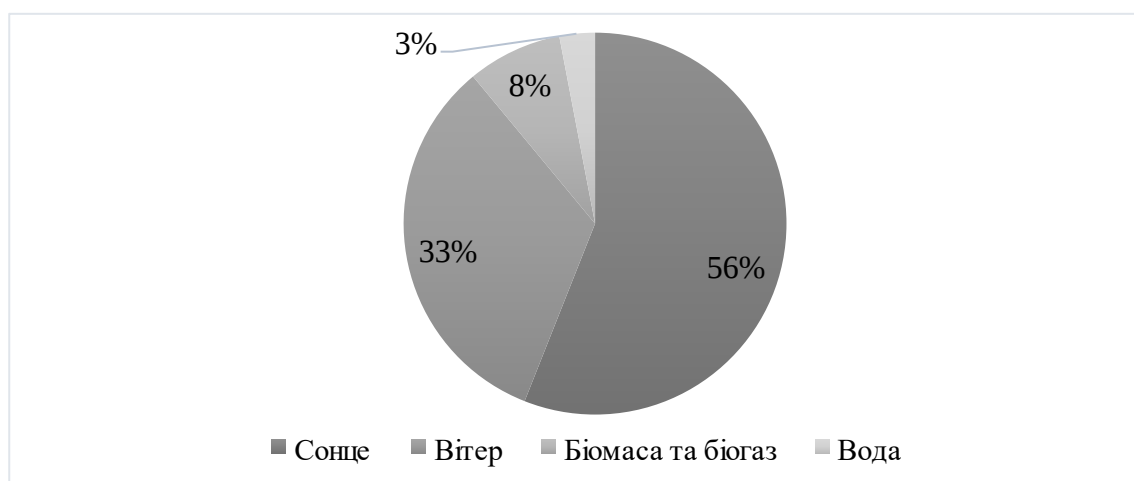


Рис. 2 Структура виробництва енергії ВДЕ за джерелами у 2021 році

Джерело: сформовано на основі [8]

У результаті успішно реалізованих проєктів у сфері відновлюваної енергетики в Україні, щорічні викиди CO₂ в атмосферу станом на 2021 рік були зменшені на понад 10,3 млн тон, що еквівалентно викидам від понад 2,2 млн

автомобілів. Наприклад, завдяки електроенергії, згенерованій вітровими електростанціями промислового типу в 2021 році, було заощаджено 1,8 млн тонн вугілля, 1 171,4 тис. м3 природного газу та скорочено викиди CO₂ приблизно на 3,1 млн тонн [8].

Протягом останнього десятиріччя, міжнародні та українські інвестори внесли понад 12 мільярдів доларів США прямих іноземних інвестицій у економіку України. Станом на кінець 2021 року частка іноземних інвесторів у встановленій потужності ВДЕ становила понад 35% [8]. Цей показник характеризує український сектор ВДЕ як доволі конкурентний та відкритий. Ймовірно, галузь альтернативної енергетики і далі б розвивалась, якби не повномасштабне вторгнення.

Після вторгнення російських військ в Україну, масовані обстріли стали загрозою для критичних об'єктів енергетичної інфраструктури. Так, з початку повномасштабного вторгнення втрачено близько 75% – вітрової генерації та більше 20% – сонячної [9].

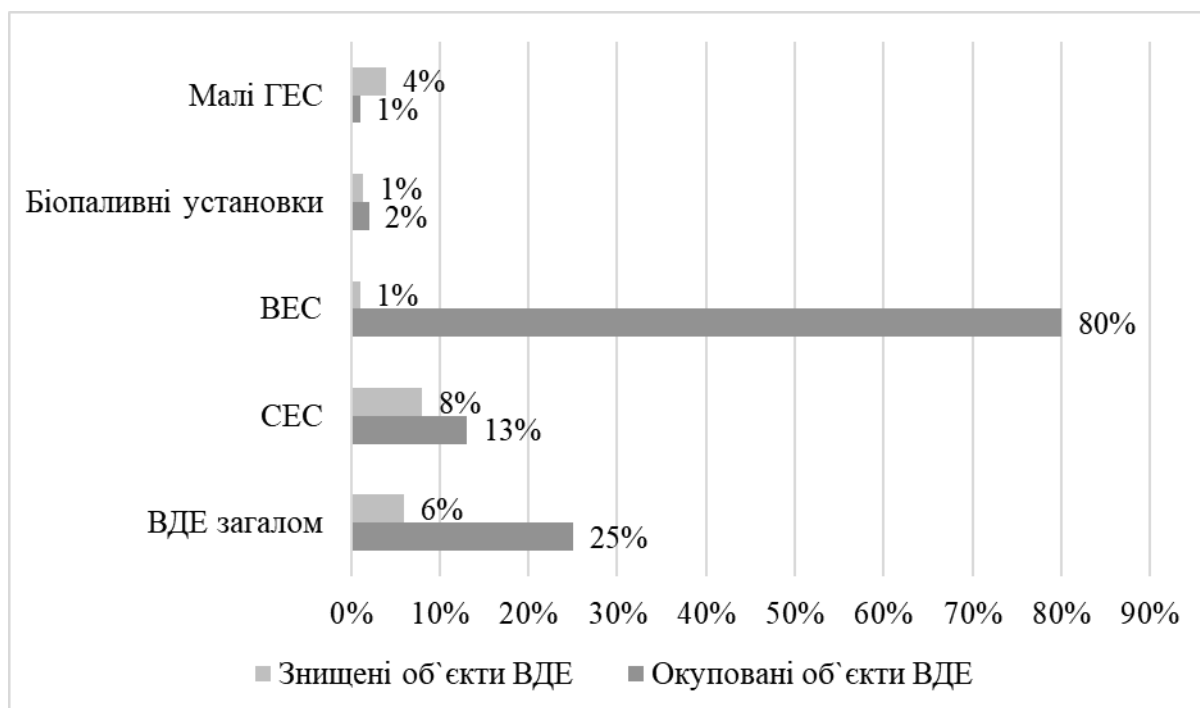


Рис. 3 Статистика знищених/пошкоджених та окупованих об'єктів ВДЕ за джерелами

Джерело: сформовано на основі [10]

Відновлювана енергетика і зараз знаходиться під значною загрозою, адже близько 47% встановленої потужності електростанцій на відновлюваних джерелах енергії розміщуються у регіонах із активними бойовими діями, або в тих, які від них уже постраждали. Значна кількість станцій ВДЕ перебуває в регіонах, сусідніх з воєнними діями [11].

У структурі виробництва електроенергії частка АЕС є найбільшою, що зумовлено однією із головних переваг цього джерела енергії – великою кількістю енергії згенерованої невеликою кількістю палива та низькими експлуатаційними витрати після запуску. Проте, серед недоліків такого типу станцій можна відзначити високі ризики забруднення, проблеми зі зберіганням відпрацьованого палива, а також значні витрати на будівництво та знесення електростанцій, після завершення її діяльності. Другим типом електростанцій в структурі енергетичного сектору України є ТЕС. Перевагою такого джерела енергії є низька вартість спорудження, однак, такі станції завдають значну шкоду навколишньому середовищу, а також потребують великих площ для зберігання токсичних відходів. Між іншим, ремонт раніше збудованих ТЕС обходиться дорого, а складові та обладнання завозяться з-за кордону [12].

Хоча частка ВДЕ у структурі виробництва електроенергії є найменшою, проте саме ВДЕ має найбільше переваг: екологічна безпека, невичерпність джерела енергії, економічна вигода і легкість в обслуговуванні та ремонті. Ціна електроенергії з ВДЕ не включає паливну складову, а отже, після відшкодування початкових інвестицій стає конкурентною [12].

У 2019 році в рейтингу Climatescope [13] від Bloomberg New Energy Finance (Bloomberg NEF), Україна посіла 8 місце серед 104 країн світу за привабливістю для інвестицій в низьковуглецеві джерела енергії та «зелену» економіку.

Починаючи з 2019 року, інвестиції в нові проекти відновлюваної енергетики в Україні стали більш значущими, ніж в проекти з видобутку вугілля. У 2020 році за даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України в зелену енергетику було інвестовано 1,24 млрд євро. Ці кошти було інвестовано у 1,6 ГВт нових потужностей, що генерують електроенергію з

відновлюваних джерел. У проекти з енергоефективності через програму «теплих кредитів» та енергосервіс було вкладено 46 млн євро, зокрема 35 млн євро за кредитами і 11 млн євро за 122 ЕСКО-договорами [14].

Проте, нині інвестори не поспішають вкладати свій капітал в економіку України. Для того, щоб стимулювати інвестиції необхідно, у першу чергу, надати гарантії безпеки інвестицій у воєнний та післявоєнний періоди. Адже, саме цей фактор є одним з тих, що найбільше стримує інвесторів. Можна визначити кілька шляхів створення гарантій безпеки інвестицій: страхування ризиків з боку міжнародних організацій, в яких є досвід діяльності у цьому напрямку та гарантії держав-партнерів своєму бізнесу, який хоче інвестувати в Україну [12].

Для фінансового аналізу ефективності інвестицій в найбільшій мірі використовуються 4 показники: чистий зведений дохід, термін окупності, внутрішня норма дохідності, коефіцієнт прибутковості (рентабельність). Зазвичай використовують методи аналізу, які враховують часовий фактор та дисконтування грошових потоків [15, с. 112].

Ми адаптували ці показники до галузі альтернативної енергетики, зокрема, для оцінки ефективності інвестицій у проекти сонячних (СЕС) та вітрових електростанцій (ВЕС).

Чистий зведений дохід – це найважливіший показник ефективності проекту, який виражається різницею дисконтованих в один момент часу показників доходу та капіталовкладень. Позначається NPV (net present value) [15, с. 112].

Нехай потік надходжень $R_1, R_2, \dots, R_n$. Інвестиції вважаємо від'ємними, а дохід, який отримаємо – додатньою величиною. У такому разі $W = NPV$ має наступний вигляд:

$$W = \sum_{t=1}^n R_t v^t, \quad v = \frac{1}{1+q}, \quad (1)$$

де: R_t – потік надходжень у момент часу t ;

v – річний дисконтний множник за ставкою порівняння q .

Нехай інвестиції K у проект разові на початку, а потім n років отримується дохід E , який буде відрізнятись в залежності від ставки $q(n)$. У середньому, термін будівництва СЕС чи ВЕС складає 2 роки, тобто наприкінці другого року

будівництва станція може бути запущена в експлуатацію і приносити дохід. У цьому випадку для $W(q)$ отримуємо такий замкнений вираз:

$$W(q) = \frac{E(1)}{(1+q(3))^3} + \frac{E(2)}{(1+q(4))^4} + \dots + \frac{E(n-2)}{(1+q(n))^n} - K, \quad (2)$$

де: $q(t)$ – ставка порівняння у період t ;

K – разові капітальні вкладення на початку;

n – тривалість проєкту;

$E(1), E(2) \dots E(n-2)$ – надходження протягом другого, третього ..., $n-2$ років експлуатації станції;

q, n, K, E – відомі (за умови виконання певного сценарію значень q, n, E).

Цей вираз можна застосовувати для аналізу залежності NPV від параметрів n, q, K, E .

Термін окупності $n_{ок}$ – це період, в якому сума доходів дисконтованих на момент завершення інвестицій рівна сумі інвестицій, зведених на цей момент. Тобто це показник того, коли повністю окупуваються інвестиції. Термін окупності залежить від ставки порівняння: $n_{ок} = n_{ок}(q)$ [15, с. 114].

У критерію $n_{ок}$ є недолік – він не враховує прибуток проєкту отриманий за межами $n_{ок}$, тому цей показник використовують разом з іншими критеріями [15, с. 115]. Адаптована формула для розрахунку терміну окупності для проєктів СЕС та ВЕС:

$$\frac{E(1)}{(1+q(3))^3} + \frac{E(2)}{(1+q(4))^4} + \dots + \frac{E(n-2)}{(1+q(n))^n} = K, \quad (3)$$

де: $q(t)$ – ставка порівняння у період t ;

K – разові капітальні вкладення на початку;

n – тривалість проєкту;

$E(1), E(2) \dots E(n-2)$ – надходження протягом другого, третього ..., $n-2$ років експлуатації станції;

q, K, E – відомі, а n – невідоме (за умови виконання певного сценарію значень q та E).

Зі збільшенням терміну окупності $n_{ок}$ проєкт стає менш прибутковим (і водночас, більш ризиковим). І навпаки, при малих термінах окупності $n_{ок}$ проєкт буде більш прибутковим (і водночас, менш ризиковим).

Внутрішня норма дохідності – це складна ставка відсотка, за якої зведена величина інвестицій стає рівна зведеним на ту ж саму дату сумі доходів. Позначається IRR (internal rate of return). Нехай капіталовкладення здійснюються за рахунок залучених коштів за ставкою i . Тоді різниця $(i - IRR)$ показує ефективність інвестиційної діяльності [15, с. 116].

Розрахунок $q_b = IRR$ – перший крок аналізу проєкту. Рівняння для $IRR = q_b$ отримують, прирівнюючи чистий зведений дохід $NPV = W$ до нуля [39]. Тобто,

$$\frac{E(1)}{(1+q)^3} + \frac{E(2)}{(1+q)^4} + \dots + \frac{E(n-2)}{(1+q)^n} - K = 0, \quad (4)$$

де: q – ставка порівняння (шукана);

K – разові капітальні вкладення на початку;

n – тривалість проєкту;

$E(1), E(2) \dots E(n-2)$ – надходження протягом другого, третього ..., $n-2$ років експлуатації станції.

Якщо $IRR = i$, то інвестиції безприбуткові.

Якщо $IRR > i$, то інвестиції неприбуткові для інвестора.

Якщо $IRR < i$, то інвестиції прибуткові для інвестора.

Рентабельність, або коефіцієнт прибутковості – це відношення зведених доходів від інвестиційної діяльності до зведених на той же час інвестицій [15, с. 117]. Якщо K – разові інвестиції на початку проєкту, а потік платежів доходів річна рента, то рентабельність U має вигляд:

$$U = \frac{\frac{E(1)}{(1+q(3))^3} + \frac{E(2)}{(1+q(4))^4} + \dots + \frac{E(n-2)}{(1+q(n))^n}}{K}, \quad (5)$$

де: $q(t)$ – ставка порівняння у період t ;

K – разові капітальні вкладення на початку;

n – тривалість проєкту;

$E(1), E(2) \dots E(n-2)$ – надходження протягом другого, третього ..., $n-2$ років експлуатації станції.

При управлінні інвестиційним портфелем одне із найважливіших завдань, полягає у балансуванні між прибутковістю та ризиком, пошук їх оптимального співвідношення. Вирішення цього завдання залежить від ефективності управління портфелем активів [16].

Нехай K – сума активів, p – прибутковість (дохідність), t – коефіцієнт ризику (неповернення коштів), m – кількість груп активів. Частину вкладених коштів у i -й актив позначимо як α_i , тоді величина K реальних активів банку фактично дорівнює [16]:

$$K = \sum_{i=1}^m K * \alpha_i, \quad \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1, \quad (6)$$

де: K – сума активів;

α_i – частина вкладених коштів у i -й актив;

m – кількість груп активів.

Отже, сформульована задача максимізації надходжень за допомогою введених позначень має вигляд [16]:

$$\sum_{i=1}^m K_i * p_i \rightarrow \max, \quad (7)$$

де: K_i – i -й актив, $K_i = K * \alpha_i$;

p_i – прибутковість (дохідність) i -го активу.

З урахуванням умови:

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i \leq 1, \quad (8)$$

Обмеження задачі вибору виглядатиме так [16]:

$$\sum_{i=1}^m K_i \leq K, \quad (9)$$

$$K_i \geq 0, i = \overline{1, m}. \quad (10)$$

Цільову функцію також можна записати ще з урахуванням можливих втрат, тоді маємо [16]:

$$\sum_{i=1}^m (K_i + K_i * p_i - K_i * t_i) = \sum_{i=1}^m K_i (1 + p_i - t_i) \rightarrow \max, \quad (11)$$

де: K – сума активів;

α_i – частина вкладених коштів у i -й актив;

p_i – прибутковість i -го активу, $1 + p_i = U_i$ – рентабельність i -го активу (5);

t_i – коефіцієнт неповернення коштів i -го активу;

m – кількість активів.

Під час проведення фінансового аналізу ефективності інвестицій за згаданими показниками потрібно враховувати зміну ставки порівняння q та зміну ціни на електроенергію.

Інвестор, який розглядає можливість вкладення коштів в проекти відновлюваної енергетики в Україні, повинен ретельно оцінити ризики, перш ніж приймати рішення про вкладення власного капіталу. Причому, важливо пам'ятати, що жодна інвестиція не є безризиковою. Інвестор повинен бути готовим до того, що він може втратити частину а то і всі свої інвестиції.

Що стосується моделі розрахунку коефіцієнту ризику, то у випадку інвестицій у проекти зеленої енергетики в умовах війни треба враховувати три складові: термін окупності, IRR та коефіцієнт ризику військових руйнувань (позначимо як $r_{\text{в}}$). Тобто,

$$t = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{n_{\text{ок}} - n_{\text{min}}}{n_{\text{max}} - n_{\text{min}}} \right) + \beta_2 \left(\frac{i - \text{IRR}}{i} \right) + \beta_3 r_{\text{в}}, \quad (12)$$

де: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ – коефіцієнти, які знаходяться за економіко-статистичними даними для такого виду та типу проєктів;

$n_{\text{ок}}$ – термін окупності проєкту;

n_{min} – мінімальний термін окупності проєкту;

n_{max} – максимальний термін окупності проєкту;

i – ставка за договором;

$r_{\text{в}}$ – ризик руйнувань внаслідок військових дій.

Знаходимо коефіцієнти рівняння $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ на основі даних про інвестиційні проєкти будівництва станцій альтернативної енергетики в країнах з поширеним тероризмом [17] за допомогою регресійного аналізу та отримуємо результат (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,7032$):

$$t = 0,433 - 0,495 \left(\frac{n_{\text{ок}} - n_{\text{min}}}{n_{\text{max}} - n_{\text{min}}} \right) + 0,444 \left(\frac{i - \text{IRR}}{i} \right) + 0,383 r_{\text{в}} \quad (13)$$

Ми також розраховували значення всіх параметрів моделі, у тому числі $r_{\text{в}}$ – ризик руйнувань внаслідок військових дій на основі збору даних із відкритих джерел (рис. 4).

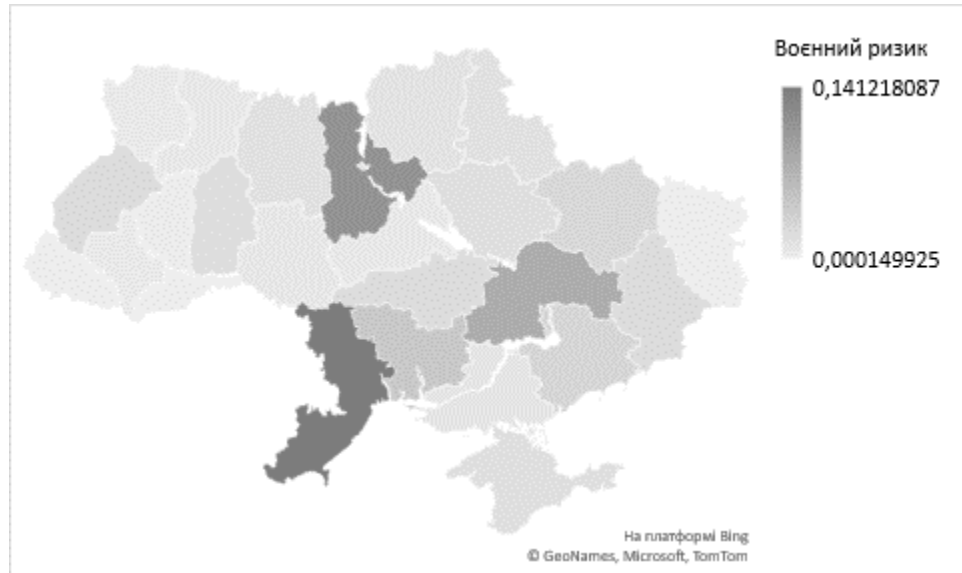


Рис. 4 Ризик руйнувань внаслідок військових дій

Джерело: сформовано авторами

Окрім фінансовою складової ми вважаємо доцільним також врахувати соціально-економічний та екологічний чинники. Тож, формуємо цільову функцію соціально-економічного змісту, в основі якої максимізація потужності проєктів портфелю:

$$\sum_{i=1}^m P_i * r_i \rightarrow \max, \quad (14)$$

де: m – кількість проєктів;

P_i – планова очікувана потужність i -го проєкту;

r_i – частка введеної потужності через 2 роки;

$r_i = (1 - r_{\text{в}i}(1)) * (1 - r_{\text{в}i}(2))$ – у випадку дворічного будівництва станції;

$r_{\text{в}i}$ – показник рівня влучання.

Цільова функція екологічного змісту, спрямована на максимізацію корисності від побудови станцій альтернативної енергетики:

$$\sum_{i=1}^m V_i \rightarrow \max, \quad (15)$$

де: m – кількість проєктів;

V_i – користь побудови СЕС і ВЕС.

$$V_i = (e * P_i - \gamma * e * P_i) * c, \quad (16)$$

де: e – кількість відходів CO₂ виробництва на одиницю потужності теплових станцій;

P_i – потужність за 1 рік виробництва;

γ – частка відходів CO₂, що приходить на одиницю потужності виробництва теплових станцій, що асимілюється навколишнім середовищем за рік;

e – кількість відходів CO₂ виробництва на одиницю потужності;

c – вартість знешкодження умовної одиниці відходів.

На основі такого підходу маємо економіко-математичну модель оптимізації структури інвестиційного портфелю проєктів галузі альтернативної енергетики:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m K_i (1 + p_i - t_i) \rightarrow \max \\ \sum_{i=1}^m P_i * (1 - r_{\text{вi}}(1)) * (1 - r_{\text{вi}}(2)) \rightarrow \max \\ \sum_{i=1}^m (e * P_i - \gamma * e * P_i) * c \rightarrow \max \\ \sum_{i=1}^m K_i \leq K, \\ K_i \geq 0, i = \overline{1, m} \end{cases} \quad (17)$$

Після формування портфелів необхідно визначити найбільш оптимальний. Оскільки проблема, яку потрібно вирішити багатокритеріальна та неструктурована, то для прийняття рішення варто використовувати метод, заснований на принципі Парето та лексикографічний метод.

Принцип Парето допомагає із множини всіх можливих рішень виключити завідомо неприйнятні. Застосувавши алгоритм Парето можна отримати множину Парето-оптимальних рішень, кожна альтернатива, що утворює цю множину, за якимись критеріями краща, а за якимись гірша. Вибір кінцевого рішення буде суб'єктивним та враховуватиме вподобання експерта [18, с. 565–573].

Щоби вибрати конкретне рішення із утвореної множини Парето можна використати лексикографічний принцип вибору оптимального портфелю. Проте передусім потрібно звести до однорідного вигляду кожен критерій та визначити шкалу виміру, для якої кожна градація має виражати однаковий рівень вподобань

за кожним критерієм. Алгоритм лексикографічного принципу полягає у тому, щоб спершу упорядкувати критерії за важливістю. У нашому випадку, для галузі альтернативної енергетики ми вбачаємо доцільним визначити найважливішим критерієм надходження, потім – користь побудови, і, наостанок, сумарна очікувана потужність. Далі для всіх альтернатив будуються векторні оцінки, в яких критерії розташовуються в порядку їх важливості, яку вже встановили на попередньому кроці. Потім серед всіх можливих рішень відбираються такі, які мають максимальне значення оцінки по найважливішому критерію. З тих, що залишилися, відбір проводиться по другому за важливістю критерію і так далі. [18, с. 573–575]. Для прикладу було сформовано два варіанти інвестиційних портфелів проєктів альтернативної енергетики, результати розрахунків представлені у табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1. Інвестиційний портфель №1

Проект	К, млн дол США	p	t	Надходження за 20 років експлуатації, млн дол США
Орівська ВЕС	45	0,2	0,1	50,22
Грінтеко СЕС	30	0,4	0,26	33,97
Богуслав-2 СЕС	18	0,5	0,16	24,95
Сума:	93			109,14
Сумарні надходження за портфелем, млн дол США				109,14
Користь побудови СЕС і ВЕС, дол США на рік				489,6
Сумарна очікувана потужність портфелю, кВт-год				90593

Джерело: сформовано авторами

Таблиця 2. Інвестиційний портфель №2

Проект	К, млн дол США	p	t	Надходження за 20 років експлуатації, млн дол США
Старокозача СЕС	38	0,4	0,37	37,85
Кам'янська ВЕС	16	0,6	0,13	23,32
Кам'янець- Подільська СЕС	16	0,7	0,42	19,95
Богуслав-2 СЕС	18	0,5	0,16	24,95
Сума:	88			106,07
Сумарні надходження за портфелем, млн дол США				106,07
Користь побудови СЕС і ВЕС, дол США на рік				550,08
Сумарна очікувана потужність портфелю, кВт-год				101783,90

Джерело: сформовано авторами

Почнемо із порівняння найважливішого критерію, тобто сумарних надходжень за портфелем. Обидва портфелі близькі за значенням цього критерію, тож ми не можемо обрати оптимальний портфель одразу. Зважаючи на це перейдемо до порівняння портфелів за другим критерієм – користю побудови станцій. Значення показників теж можна вважати близькими. Тож, переходимо до порівняння за третім критерієм – сумарною очікуваною потужністю. Саме цей критерій дозволяє визначити найбільш оптимальний портфель, адже різниця за його значенням відчутна і складає 11191 кВт-год. Отже, оптимальним інвестиційним портфелем у цьому прикладі є другий портфель.

Використання цих принципів прийняття рішення допоможе інвестору на основі своїх вподобань та важливості критеріїв обрати найбільш оптимальний інвестиційний портфель проєктів альтернативної енергетики.

Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Дослідження стану галузі альтернативної енергетики та її інвестиційного клімату, є важливим для розвитку економіки України в цілому. Якість інвестиційних рішень визначає остаточні результати діяльності. Спроможність раціонально обґрунтовувати інвестиційні рішення залежить від методів оцінки ефективності

інвестицій, які застосовуються у конкретних умовах, зокрема станом фінансового ринку, рівнем ризиків і специфікою кожного конкретного проєкту. Адаптація цих методів для альтернативної енергетики вимагає уточнення параметрів, таких як прогнозовані витрати та доходи, тривалість проєкту, а також врахування специфічних факторів, які впливають на галузь альтернативної енергетики.

Розроблена методологія оцінки ефективності проєктів в галузі альтернативної енергетики та формування оптимальної структури інвестиційного портфелю дозволяє врахувати вплив її специфічних факторів, а також умови сьогодення, тобто ризики ушкоджень та втрат через війну. Врахування соціально-економічного та екологічного факторів при виборі оптимального інвестиційного портфелю проєктів сектору альтернативної енергетики допоможе Україні не лише зменшити негативний вплив на довкілля, але й залучити більше інвестицій та забезпечити сталість енергетичного сектору в майбутньому. Таким чином, наявна потреба формування стратегій, спрямованих на мінімізацію ризиків та максимізації прибутковості в умовах воєнного стану.

Література

1. Жілен Д., Сайгін Д., Вагнер Н. Prospects for the development of renewable energy in Ukraine until 2030: informational material. IRENA. 2015. 53 с. URL: https://saee.gov.ua/sites/default/files/ENG%20IRENA_REmap_Ukraine_paper_2015%201304.pdf.
2. Христенко Г. М., Гурська І. С. Інноваційно-інвестиційна діяльність у розвитку альтернативних джерел енергії. Ефективна економіка. 2021. №8. 7 с. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/8_2021/85.pdf.
3. Шевченко Г. О., Майорова Т. В. Портфельне інвестування. КНЕУ. 2010. 407 с.
4. Стейн З. Renewable Energy Portfolio. 2023. URL: <https://www.carboncollective.co/sustainable-investing/renewable-energy-portfolio> (дата звернення: 19.11.2023).

5. Нецветаєв В. А. Оптимальне управління інвестиційними портфелями з урахуванням тенденцій зміни прибутковості. Економічний вісник НГУ. 2010. №2. С. 121-129. URL: https://ev.nmu.org.ua/docs/2010/2/EV20102_121-129.pdf.
6. Зелена енергетика в Україні на межі банкрутства. Що далі? Економічна правда: вебсайт. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/04/10/685513/> (дата звернення: 09.12.2023).
7. Щорічний Звіт УБЕА «Вітроенергетичний сектор України 2021. Огляд ринку». УБЕА. URL: <http://uwea.com.ua/ua/news/entry/> (дата звернення: 04.11.2023).
8. Омельченко В. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. Разумков центр. 2022. URL: https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny#_ftn25 (дата звернення: 04.11.2023).
9. Герман Галущенко: вітчизняна енергосистема поступово відновлюється після ворожих атак. Міністерство енергетики України. URL: <https://mev.gov.ua/novyna/herman-halushchenko-vitchyznyana-enerhosystema-postupovo-vidnovlyuyetsya-pislya-vorozhykh> (дата звернення: 07.11.2023).
10. Звіт про прямі збитки інфраструктури та непрямі втрати економіки від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на червень 2023 року. ГО «Інститут Київська Школа Економіки». 2023. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/09/June_Damages_UKR_Report.pdf.
11. Половина потужностей відновлюваної енергетики України під загрозою знищення через військову агресію РФ. УАВЕ. 2022. URL: <https://uare.com.ua/14-novyny.html?start=12> (дата звернення: 05.12.2023).
12. Черноусова Ж. Т, Шпинта Н. В. Аналітика інвестування у сектор альтернативної енергетики України шляхом страхування воєнних ризиків. Моделювання та прогнозування економічних процесів: зб. тез доп. XVII Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. 2023 р.
13. Emerging Markets Outlook 2019. Climatescope. 2019. URL: <https://www.global-climatescope.org/downloads/climatescope-2019-report-en.pdf>.

14. В 2020 році зелена енергетика України залучила 1,24 млрд євро інвестицій. Євроінтеграційний портал. 2022. URL: <https://eu-ua.org/novyny/v-2020-roci-zelena-energetyka-ukrayiny-zaluchyla-124-mlrd-yevro-investytsyj/> (дата звернення: 04.12.2023).
15. Капустян В. О., Пасенченко Ю. А. Фінансова математика. 2-е вид. 2012. 216 с.
16. Васильченко І. П., Васильченко З. М. Фінансова математика. 2-е вид. 2012. 250 с.
17. GWEC Global Wind Report 2022. GWEC. 2022.
18. Мадера А. Г. Моделювання і прийняття рішень в менеджменті: Керівництво для майбутніх топ-менеджерів. 2010. 688 с.

References

1. Zhilen, D., Sajhin, D. and Vahner, N. (2015), "Prospects for the development of renewable energy in Ukraine until 2030: informational material", *IRENA*, available at: https://saee.gov.ua/sites/default/files/ENG%20IRENA_REmap_Ukraine_paper_2015%201304.pdf (Accessed 19 Nov 2023).
2. Khrystenko, H. M. and Hurs'ka, I. S. (2021), "Innovative investment activity in the development of alternative energy sources", *Efektivna ekonomika*, vol. 8, available at: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/8_2021/85.pdf (Accessed 20 Nov 2023).
3. Shevchenko, H. O. and Majorova, T. V. (2010), *Portfel'ne investuvannia* [Portfolio investment, KNEU, Kyiv, Ukraine.
4. Carbon collective (2023), "Renewable Energy Portfolio", available at: <https://www.carboncollective.co/sustainable-investing/renewable-energy-portfolio>, (Accessed 19 Nov 2023).
5. Netsvetaiev, V. A. (2010), "Optimum management of investment portfolios taking into account trends in profitability", *Ekonomichnyj visnyk NHU*, vol 2, pp. 121-129, available at: https://ev.nmu.org.ua/docs/2010/2/EV20102_121-129.pdf.

6. Ekonomichna pravda (2022), “Green energy in Ukraine is on the verge of bankruptcy. What's next?”, available at: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/04/10/685513/>, (Accessed 09 Dec 2023).
7. UVEA (2021), “UVEA Annual Report "Wind energy sector of Ukraine 2021. Market overview”, available at: <http://uwea.com.ua/ua/news/entry/>, (Accessed 04 Nov 2023).
8. Razumkov tsentr (2022), “The renewable energy sector of Ukraine before, during and after the war”, available at: https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny#_ftn25, (Accessed 04 Nov 2023).
9. Ministerstvo enerhetyky Ukrainy (2023), “Herman Galushchenko: the domestic energy system is gradually recovering after enemy attacks”, available at: <https://mev.gov.ua/novyna/herman-halushchenko-vitchyznyana-enerhosystema-postupovo-vidnovlyuyetsya-pislya-vorozhykh>, (Accessed 07 Nov 2023).
10. Instytut Kyivs'ka Shkola Ekonomiky (2023), “Report on direct infrastructure damage and indirect economic losses from the destruction caused by Russia's military aggression against Ukraine as of June 2023”, available at: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/09/June_Damages_UKR_Report.pdf. (Accessed 25 Nov 2023).
11. UAVE (2022), “Half of Ukraine's renewable energy capacity is under threat of destruction due to the military aggression of the Russian Federation”, available at: <https://uare.com.ua/14-novyny.html?start=12>, (Accessed 05 Dec 2023).
12. Chernousova, Zh. T. and Shpynta, N. V. (2023), “Analysis of investing in the alternative energy sector of Ukraine by insurance of war risks”, *Zbirka tez dopovidej XVII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia. Modeliuvannia ta prohnozuvannia ekonomichnykh protsesiv* [International scientific and practical conference. Modeling and Forecasting of Economic Processes, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine.

13. Climatescope (2019), “Emerging Markets Outlook 2019”, available at: <https://www.global-climatescope.org/downloads/climatescope-2019-report-en.pdf>.
14. European integration portal (2020), “In 2020, green energy of Ukraine attracted 1.24 billion euros of investments”, available at: <https://eu-ua.org/novyny/v-2020-roci-zelena-energetyka-ukrayiny-zaluchyla-124-mlrd-yevro-investytsiy/> (Accessed 04 Dec 2023).
15. Kapustian, V. O. and Pasenchenko, Yu. A. (2012), *Finansova matematyka* [Financial mathematics, 2nd ed, Obrij, Kyiv, Ukraine.
16. Vasyl'chenko, I. P. and Vasyl'chenko, Z. M. (2012), *Finansova matematyka* [Financial mathematics, 2nd ed, Kondor-Vydavnytstvo, Kyiv, Ukraine.
17. GWEC (2022), “GWEC Global Wind Report 2022”. available at: <https://gwec.net/wp-content/uploads/2022/03/GWEC-GLOBAL-WIND-REPORT-2022.pdf>, (Accessed 07 Dec 2023).
18. Madera, A. H. (2010), *Modeliuvannia i pryjniattia rishen' v menedzhmenti: Kerivnytstvo dlia majbutnikh top-menedzheriv* [Modeling and decision-making in management: A guide for future top managers, Vydavnytstvo LKI, Moscow, Russia.

Стаття надійшла до редакції 14.12.2023 р.