

УДК 620.9:005.334

І. Б. Семко, канд. техн. наук, доц.; Д. І. Бедрій, д-р техн. наук, доц.; О. В. Семко**РИЗИКИ ТА ВИКЛИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ В КОНТЕКСТІ
СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ**

Сучасний енергетичний сектор зазнає глибокої трансформації під впливом викликів глобального сталого розвитку, зростання попиту на енергію та нагальної потреби у зниженні викидів парникових газів. Відновлювані джерела енергії дедалі більше стають основою стійких енергетичних систем, сприяючи зменшенню залежності від викопного палива, підвищенню стабільності постачання та покращенню екологічних показників. Цей перехід до нової енергетичної моделі тісно пов'язаний зі збалансованим підходом, який інтегрує економічну ефективність, екологічну безпеку та соціальну справедливість. У цьому процесі енергетичний сектор відіграє ключову роль. Успіх енергетичного переходу значною мірою залежить від розвитку технологічних інновацій у виробництві, зберіганні та інтеграції енергії, а також від сильної політичної підтримки, економічних стимулів і мобілізації інвестицій. Взаємозв'язок технологічних, економічних і соціальних факторів сприяє формуванню ефективних і сталих енергетичних систем. Водночас комплексне управління ризиками є критично важливим для мінімізації потенційних негативних наслідків та підвищення надійності реалізації проєктів. Методи експертної оцінки, динамічний аналіз ризиків (DRA) та технології цифрових двійників відіграють особливо важливу роль у цьому контексті. Крім того, застосування штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу великих обсягів даних дає змогу прогнозувати потенційні загрози на енергетичних ринках, оптимізувати ланцюги постачання, передбачати попит і здійснювати стратегічне планування в енергетичному секторі. Досягнення цілей сталого розвитку вимагає інтеграції наукових досліджень, інженерних рішень, політичних стратегій і соціальних аспектів, а також довгострокового бачення та системного планування для забезпечення переходу до стійкої енергетичної системи.

Ключові слова: сталий розвиток, енергетичний сектор, проєкти, відновлювана енергія, енергетичний перехід, ризики.

Вступ

За своєю суттю енергетичний сектор слугує стратегічною основою економічного зростання; однак його пряма залежність від природних ресурсів призводить до деградації навколишнього середовища, що є несумісним із парадигмою сталого розвитку.

Згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA) та установ, відповідальних за моніторинг прогресу щодо досягнення Цілі сталого розвитку 7 (ЦСР 7), останні досягнення на шляху до цілей 2030 року залишаються недостатніми, особливо в країнах Африки. Така стагнація частково зумовлена пандемією COVID-19 та глобальною енергетичною кризою 2022 року [1].

Глобальний характер зміни клімату вимагає системного й проактивного підходу [2]. Реалізація комплексної кліматичної та екологічної політики може суттєво знизити рівень антропогенних викидів вуглецю завдяки проєктам із лісовідновлення та заліснення [4], запровадженню моделей циркулярної економіки [5], а також впровадженню технологій уловлювання, зберігання та використання вуглецю (CCSU) [6].

Науковці дедалі частіше розглядають енергетичний перехід як ключовий інструмент пом'якшення кліматичних ризиків через перехід до низьковуглецевих та відновлюваних джерел енергії, які безпосередньо впливають як на рівень викидів парникових газів, так і на макроекономічний розвиток країн [7, 8]. Як зазначають автори роботи [9], «...енергетичний перехід – це процес переходу від систем, заснованих на викопному паливі, насамперед вугіллі та нафті, до відновлюваних джерел енергії».

Реалізація проєктів у сфері відновлюваної енергетики та енергоефективності – критично важливих компонентів енергетичного переходу – сприяє покращенню як екологічної, так і економічної ситуації. Вона також підвищує енергетичну безпеку, диверсифікує джерела енергопостачання та зменшує залежність від імпортованих ресурсів. У свою чергу, це підтримує розвиток регіональної промисловості, створення нових робочих місць, зростання інноваційного потенціалу суспільства та формування довгострокових передумов сталого розвитку.

Отже, радикальна трансформація енергетичного сектору у відповідь на глобальні виклики сталого розвитку, зростання попиту на енергію та загрозу зміни клімату потребує системної інтеграції відновлюваних джерел, впровадження технологічних інновацій, розвитку ефективних механізмів зберігання та розподілу енергії, а також активної участі державних інституцій, бізнесу та громадянського суспільства.

Відновлювані джерела енергії стають центральним компонентом сучасних енергетичних систем, оскільки здатні забезпечити стабільне постачання енергії, зменшити залежність від викопного палива та скоротити викиди парникових газів.

Водночас ефективність переходу залежить не лише від технологічних інновацій у виробництві та зберіганні енергії, але й від політичної підтримки, економічних стимулів та готовності суспільства до змін. Тому взаємодія технологічних, економічних і соціальних чинників є ключовим елементом для інтеграції політики й технологій з метою побудови ефективної та стійкої енергетичної системи, здатної досягати довгострокових цілей сталого розвитку.

Ця стаття має на меті дослідити основні ризики, пов'язані з енергетичним переходом у межах парадигми сталого розвитку.

Аналіз сучасних досліджень та публікацій

Подолання кліматичних змін та забезпечення сталого розвитку потребує трансформаційного підходу у глобальному енергетичному секторі, який досі значною мірою залежить від традиційних джерел, які залишаються головними чинниками парникової кризи, формуючи понад 75 % світових викидів парникових газів [10].

Енергетичний перехід охоплює різні аспекти від домінування енергетичних ресурсів на ринку до розвитку технологій перетворення енергії та трансформації соціально-технічних систем, залишаючись складним, багатокритеріальним процесом із непередбачуваними результатами, визначається взаємодією численних учасників та зворотними зв'язками в енергетичних і суспільних системах [11].

Енергетичний перехід включає як зміну технологічного процесу перетворення та джерела енергії, так і формування нових моделей споживання електроенергії в суспільстві [12, 13].

Для підвищення надійності та стійкості енергопостачання інноваційний розвиток має охоплювати впровадження проєктів Smart-grid, удосконалення технологій зберігання енергії та розширення механізмів міжнародної енергетичної інтеграції.

За [14], «енергетичний перехід є поступовим перетворенням глобальної енергетичної структури, що нині значною мірою базується на викопному паливі та твердій біомасі, у систему, орієнтовану на відновлювані джерела енергії» [14].

Відновлювана енергетика принципово відрізняється тим, що, на відміну від традиційних джерел, які є основними чинниками кліматичних змін, не призводить до масових викидів парникових газів, не виснажує природні ресурси та не створює масштабних екологічних ризиків, як видобування та спалювання викопного палива [15].

За словами авторів [14], політика у сфері енергоефективності зазвичай реалізується за допомогою регуляторних або неринкових заходів, що покликані впливати на свідомість і поведінку споживачів, таких як встановлення енергетичних стандартів, системи маркування, просвітницькі ініціативи та освітні проєкти.

Важливими показниками зростання економіки є підвищення енергоефективності, яке призводить до зростання ВВП та зайнятості внаслідок збільшення обсягів виробництва в неенергетичних секторах, а також до зростання купівельної спроможності домогосподарств [16, 17].

У роботі [18] автори аналізують європейський досвід енергоефективності та можливості його інтеграції в економіку України. Відзначено, що Європейський «Зелений курс» є політичним інструментарієм, спрямованим на перехід до кліматичної нейтральності, який стимулює використання відновлюваних джерел енергії.

Директива DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL [19] встановлює загальну систему сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел, правила фінансової підтримки проєктів отримання та споживання електроенергії з відновлюваних джерел, встановлює критерії сталого розвитку і скорочення викидів парникових газів для біопалива, біорідини та палива з біомаси.

В іншій директиві, DIRECTIVE (EU) 2018/2002 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL [20] відмічено, що помірність енергетичного попиту є одним із п'яти вимірів Стратегії енергетичного союзу, встановленої в «Рамковій стратегії для стійкого енергетичного союзу з перспективною політикою у сфері зміни клімату». Підвищення енергоефективності у ланцюгу «виробництво – передача – розподіл – кінцеве споживання енергії», сприяє зменшенню втрат енергії на всіх етапах, скороченню викидів парникових газів, зниженню витрат для споживачів та підвищенню надійності енергопостачання, що в комплексі підтримує досягнення цілей сталого розвитку та енергетичної безпеки, «допоможе зменшити енергетичну бідність та призведе до підвищення конкурентоспроможності, створення нових робочих місць та активізації економічної діяльності в усій економіці, тим самим поліпшивши якість життя громадян» [20].

Робота [21] присвячена вивченню стратегічного переходу до відновлюваних джерел енергії з метою досягнення сталого розвитку. Проаналізовані країни з найвищими показниками Індексу енергетичного переходу (ETI) за 2023 рік та відмічено про необхідність зміни парадигми в енергетичній галузі шляхом зменшення залежності від імпортного палива та переорієнтації на відновлювані джерела.

У дослідженні [22], автори пропонують посилити політичну підтримку на національному та міжнародному рівнях в процесі переходу на відновлювані джерела енергії та подолання загроз.

Відповідно до прийнятого Національного плану з енергетики та клімату до 2030 року в Україні визначені ключові проєкти, зокрема [23]:

- скорочення викидів парникових газів на 65 % порівняно з рівнем 1990 р.;
- частка відновлюваних джерел енергії у структурі валового кінцевого енергоспоживання не менше 27 %;
- первинне споживання енергії не більше 72,224 млн т н. е.;
- кінцеве споживання енергії – 42,168 млн т н. е.;
- очікувана економія енергії у будівлях органів державної влади не менше 21.4 т н. е./рік;
- зниження рівня імпортозалежності (брутто-імпорт у загальному первинному постачанні енергії) до 33 %;
- поглиблення диверсифікації джерел і шляхів постачання енергоресурсів – не більше 30 % від одного постачальника;
- повна і всебічна інтеграція ринків електроенергії та природного газу України з європейським ринком;
- вільне ціноутворення на енергетичних ринках з механізмами підтримки вразливих споживачів;
- розвиток та фінансування інновацій та досліджень в секторі чистих технологій, відновлюваної енергетики та низьковуглецевого виробництва;

- підвищення конкурентоспроможності;
- кліматична нейтральність енергетичного сектору до 2050 [23].

Для успішності переходу необхідно проводити моніторинг та аналіз основних трендів і напрямів розвитку енергетичного сектору, враховуючи особливості відновлюваних, традиційних джерел енергії, технологічні та цифрові інновації.

За словами авторів [24] «Технологічні інновації, разом із політичною та економічною підтримкою, формують майбутнє глобального енергетичного сектору, де відновлювані джерела стануть основою сталого енергопостачання» [24].

Попри те, що проєкти у сфері відновлюваної енергетики демонструють численні переваги та відіграють центральну роль у досягненні глобальних цілей сталого розвитку, сам процес переходу до стійкої енергетичної системи супроводжується значними викликами та потенційними ризиками. До них належать технологічні, фінансові, регуляторні та соціальні фактори, які можуть уповільнити або ускладнити впровадження нових енергетичних рішень.

Детальний аналіз і результати

Сучасність переживає масштабні трансформації, зумовлені викликами сталого розвитку, загостренням кліматичних проблем, необхідністю справедливого переходу до відновлюваної енергетики, швидкоплинними умовами функціонування та багатограними соціальними труднощами. Такі зміни водночас відкривають нові перспективи та породжують ризики.

Відповідно до дослідження [24], для розуміння потенційних шляхів енергетичної трансформації, слід врахувати, що протягом останніх 150 років відбулося щонайменше дві масштабні зміни в енергетичній системі. Перша трансформація мала традиційний характер з акцентом на заміну джерел палива, що було продиктовано потребами індустріалізації. Сьогодні трансформація спрямована на досягнення сталого розвитку та реалізацію проєктів енергетичного переходу, в основі якого лежить виклик, породжений кліматичною кризою та енергетичною безпекою, що супроводжується комплексом ризиків технологічних, економічних, соціальних та екологічних вимірів (рис. 1).

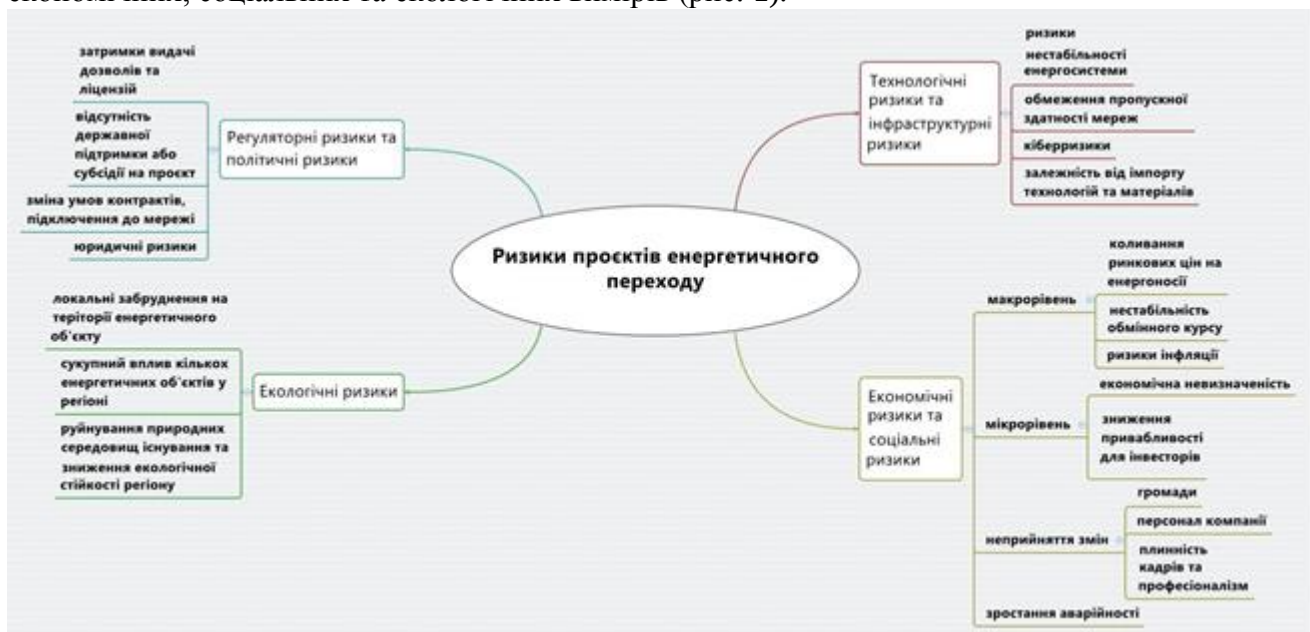


Рис. 1 Основні ризики проєктів енергетичного переходу

Відповідно до рис. 1., група технологічних та інфраструктурних ризиків містить:

- ризики нестабільності енергосистеми (виникають на перетині технічних, операційних, ринкових факторів та проявляються як нестійкість частоти і напруги, що призводить до погіршення якості електроенергії, коливання потужності, каскадні відмови);
- обмеження пропускної здатності мереж (традиційна інфраструктура часто не готова до

інтеграції великої кількості децентралізованих джерел енергії, процеси модернізації відстають від темпів розвитку відновлюваної генерації);

- кіберризики (сучасні цифрові технології наряду із перевагами несуть і загрози, які можуть спричинити масові відключення або маніпуляції даними);
- залежність від імпорту технологій та матеріалів (значна частина компонентів для сонячних панелей, акумуляторів та вітрових турбін виробляються у незначній кількості країн, що створює ризики постачання та політичного тиску).

Наступна група ризиків представлена економічними та фінансовими ризиками, які мають багаторівневий характер і проявляються на макро- та мікрорівнях. У загальному вигляді можна охарактеризувати наступним чином:

- макрорівень включає ризики ринкових коливань цін на енергоресурси, нестабільність валютних курсів, ризики інфляції та загальної економічної нестабільності, що впливає на вартість капіталу для великих інвестиційних проєктів;
- мікрорівневі ризики стосуються окремих компаній, проєктів та інвесторів, які призводять до порушення грошових потоків, падіння привабливості для інвесторів через невизначеність економічного середовища.

Соціальні ризики енергетичному переходу охоплюють низку факторів через неприйняття змін:

- громадами (не підтримку будівництва нових енергетичних об'єктів через занепокоєння екологічними, естетичними чи соціальними наслідками);
- трудовими колективами (не бажання персоналу опановувати новітні технології та методи роботи, що веде до зниження продуктивності та конфліктів);
- чутливими групами населення (відсутності доступу до соціальних програм, що веде до соціального напруження);
- плінність та професіоналізм кадрів (незадоволеність умовами праці, нестачу мотивації, відсутність можливостей для розвитку);
- зростання аварійності енергообладнання (загроза безпеці працівників, населення та зростання витрати на обслуговування і страхування).

Політичні та регуляторні ризики в проєктах енергетичного переходу виникають через:

- затримки видачі дозволів, ліцензій (веде до затримки будівництва, модернізації, впровадження нових технологій), що сприяє зростанню фінансових та часових витрат, невизначеності для інвесторів;
- неможливість отримати державну підтримку або субсидії для проєктів, що робить їх менш привабливими для інвесторів;
- перегляд умов контрактів, підключення до мережі може ускладнити операційну діяльність через зміну економічних параметрів проєктів та термінів окупності інвестицій;
- юридичні спори з державними органами або іншими учасниками ринку (невідповідність нормативних вимог, конфлікти інтересів), що веде до додаткових витрат та затримок у реалізації проєктів.

Екологічні ризики в проєктах енергетичного переходу проявляються на різних рівнях і мають як локальні, так і регіональні наслідки:

- локальні забруднення можуть виникати безпосередньо на території розташування енергетичних об'єктів (забруднення повітря, води та ґрунту, як результат будівництва, експлуатації або аварійних ситуацій на об'єктах енергетики);
- кумулятивний вплив кількох об'єктів енергетики у регіоні може носити синергетичний характер (окремі об'єкти мають незначний негативний ефект, їх сумарний вплив на екосистеми, гідрологічні системи та атмосферні процеси може бути катастрофічним);
- руйнування природних середовищ існування та зниження екологічної стійкості регіону.

Урахування та детальний аналіз ризиків є необхідною передумовою для розробки ефективних методів управління ними та забезпечення успішності енергетичного переходу.

Метод експертних оцінок дозволяє проаналізувати імовірність виникнення ризиків та ступінь впливу їх на проєкт. Відповідно до методу якісна та кількісна оцінка ризиків проєктів енергетичного переходу представлена у таблицях 1, 2.

Таблиця 1

Якісна оцінка ризиків проєктів енергетичного переходу

№	Найменування груп ризиків	Імовірність виникнення	Втрати від настання ризиків
1	Технологічні	висока	результати діяльності
2	Інфраструктурні	середня	результати діяльності
3	Фінансові	середня	перевитрати капіталу
4	Інвестиційні	висока	перевитрати капіталу
5	Політичні	середня	результати діяльності
6	Регуляторні	середня	результати діяльності
7	Соціальні	низька	результати діяльності
8	Екологічні	висока	результати діяльності

Таблиця 2

Кількісна оцінка ризиків проєктів енергетичного переходу

№	Найменування груп ризиків	Усереднена імовірність виникнення ризиків (0 ÷ 1)	Усереднений вплив від настання ризиків (0 ÷ 1)
1	Технологічні	0,5	0,7
2	Інфраструктурні	0,7	0,9
3	Фінансові	0,6	0,7
4	Інвестиційні	0,5	0,7
5	Політичні	0,6	0,8
6	Регуляторні	0,6	0,8
7	Соціальні	0,4	0,6
8	Екологічні	0,4	0,5

Узагальнюючи результати аналізу ризиків, формують матрицю імовірності та впливу настання ризикових подій (таблиця 3).

Таблиця 3

Матриця імовірності та впливу від настання ризиків

Імовірність виникнення (0 ÷ 1)	Вплив від настання ризиків (0 ÷ 1)				
	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
0.8 ÷ 1.0					2
0.6 ÷ 0.8				3	
0.4 ÷ 0.6				1, 4	5, 6
0.2 ÷ 0.4			8	7	
0.0 ÷ 0.2					

Відповідно до результатів, ми бачимо, що процес впровадження та реалізації енергетичного переходу зустрічає певні бар'єри на своєму шляху, для подолання яких необхідні креативні гнучкі стратегії управління.

Наприклад, метод динамічного аналізу ризиків (DRA), автори дослідження [25] виділяють його як концепцію, що враховує змінні сценарії та наслідки ризиків у часі.

Динамічний аналіз ризиків, як передовий підхід, дозволяє в режимі реального часу враховувати зміни та обставини, оновлювати та інтегрувати мінливі рівні ризику в загальний профіль ризиків [26].

Це система постійного прогнозування та адаптації, яка працює в режимі реального часу, а ризики не просто фіксуються, а моделюються та прогнозуються завдяки цифровим двійникам енергосистем.

А застосування штучного інтелекту і машинного навчання, які аналізують великі обсяги даних, дозволяють прогнозувати ризики на європейських енергетичних ринках, що створює можливості оцінки та мінімізації потенційних загроз [27], приймати більш обґрунтовані управлінські рішення та використовувати ефективні інструменти управління [28].

«Використовуючи машинне навчання, нейронні мережі та моделювання на основі даних, штучний інтелект може надавати практичні відомості для оптимізації ланцюгів постачання, прогнозування попиту, оцінки ризиків та планування сталого розвитку» [29].

Цифровізація енергетичного сектору суттєво змінює підходи до управління ризиками в умовах турбулентності економіки та технологічного оновлення. Цифрові інструменти формують основу для впровадження гнучкої архітектури в енергосистему, такі як, SmartGrid, що передбачають децентралізоване управління, двосторонній обмін енергією та взаємодію між учасниками ринку.

У рамках концепції Industry 4.0 цифрові технології виступають основою для побудови кіберсистем управління в енергетиці, в яких ризики моделюються як динамічні змінні внутрішньої структури процесів, що дозволяє розробляти превентивні механізми їх запобігання через самонавчальні алгоритми та системи зворотного зв'язку.

Висновки

Досягнення цілей сталого розвитку вимагає комплексного підходу до енергетичної галузі, де відновлювані джерела енергії відіграють центральну роль, забезпечуючи зниження залежності від викопного палива та скорочення викидів парникових газів. Ефективність цього переходу визначається технологічними інноваціями у виробництві, накопиченні та інтеграції енергії, а також політичною та економічною підтримкою, яка сприяє залученню інвестицій і стабільності розвитку сектору.

Разом із цим процес супроводжується технологічними, фінансовими, регуляторними та соціальними ризиками, що потребують ретельного аналізу та управління.

Для забезпечення сталого розвитку необхідно поєднувати наукові дослідження, інженерні рішення, політичні стратегії та соціальні аспекти, враховуючи довгострокові перспективи та забезпечуючи ефективне планування переходу до стійкої енергетики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. IEA, IRENA, UNSD, WorldBank, WHO. 2025. Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. World Bank, Washington DC. © World Bank. License: Creative Commons Attribution—Non Commercial 3.0 IGO (CC BY-NC 3.0 IGO). URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/fc78dc81-8167-4c41-b8a6-e3386fecf957/TrackingSDG7TheEnergyProgressReport%2C2025.pdf>. (дата звернення 06.09.2025).
2. Does increasing environmental policy stringency enhance renewable energy consumption in OECD countries? / Hassan M. Et al. *Energy Economics*. 2024. №129. P. 39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107198>.
3. Assessing China's efforts to pursue the 1.5°C warming limit / H. Duan et al. *Science*. 2021. №372. P. 378–385. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aba8767>.
4. Mangrove reforestation provides greater blue carbon benefit than afforestation for mitigating global climate change / S. Song et al. *Nature Communications*. 2023. Article number 14:756. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36477-1>.
5. Comparing linear and circular supply chains: A case study from the construction industry / M. H. A. Nasir et al. *Int. J. Prod. Econ.* 2017. Vol. 183. P. 443–457. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.008>.
6. Climate change mitigation potential of carbon capture and utilization in the chemical industry / A. Kästelhön et al. *PNAS*. 2019. №116 (23). P. 11187–11194. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1821029116>.
7. Kern F., Rogge K. S. The pace of governed energy transitions: agency, international dynamics and the global Paris agreement accelerating decarbonisation processes? *ERSS*. 2016. Vol. 22. P. 13–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.016>.
8. Awodumi O. B., Adewuyi A. O. The role of non-renewable energy consumption in economic growth and carbon emission: Evidence from oil producing economies in Africa. *Energy Strategy Rev.* 2020. Vol. 27. P. 100434. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100434>.
9. Li W., Cao N., Xiang Z. Drivers of renewable energy transition: The role of ICT, human development, financialization, and R&D investment in China. *Renewable Energy*. 2023. Vol. 206. P. 441–450.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.027>.

10. UNEP. Emissions Gap Report (EGR) 2022: The Closing Window – Climate crisis calls for rapid transformation of societies. 2022. URL: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022> (дата звернення 06.09.2025).

11. Sociotechnical transitions for deep decarbonization / F. W. Geels et al. *Science*. 22 Sep 2017. Vol 357, Issue 6357. P. 1242-1244. DOI: 10.1126/science.aao3760.

12. Hirsh R., Jones C. History's contributions to energy policy. *ERSS*. 2014. Vol. 1. P. 106–111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.02.010>.

13. Drivers of green energy transition / F. Muhire et al. *Green Energy & Resources*. 2024. Volume 2, Issue 4. P. 100105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gerr.2024.100105>.

14. Targeting energy savings? Better on primary than final energy and less on intensity metrics / M. Rodríguez et al. *Energy Economics*. 2023. Vol. 125. P. 106797. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106797>.

15. EIA. Annual Energy Outlook 2020 with projections to 2050. 81 p. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/aeo2020%20full%20report.pdf> (дата звернення 06.09.2025).

16. Böhringer C., Rivers N. The energy efficiency rebound effect in general equilibrium. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2021. Vol. 109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102508>.

17. Making the case for supporting broad energy efficiency programmes: Impacts on household incomes and other economic benefits / G. Figus et al. *Energy Policy*. 2017. Vol. 111. P. 157–165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.09.028>.

18. Vasylyukivskyi D., Sysiuk V. European mechanisms for energy efficiency and prospects for their implementation in Ukraine. *Economy and Society*. 2024. №66. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-44>.

19. Directive (EU) 2018/2001. 190 p. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj> (дата звернення 06.09.2025).

20. Directive (EU) 2018/2002. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2002/oj> (дата звернення 06.09.2025).

21. Innovation In The Energy Sector: The Transition To Renewable Sources As A Strategic Step Towards Sustainable Development / Y. Lukashevych et al. *African Journal of Applied Research*. 2024. Vol. 10 (1). P. 43–56. DOI: <http://doi.org/10.26437/ajar.30.06.2024.03>.

22. Production and characterization of coffee husk fuel briquettes as an alternative energy source / A. Tesfaye et al. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022. Volume 2022, Issue 1. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/9139766>.

23. Cabinet of Ministers of Ukraine. National Energy and Climate Plan 2030. 2024. 375 p. [In Ukrainian]. URL: <https://me.gov.ua/view/bb0b9ef5-ea96-4b8a-8f2f-471faf32c9df> (дата звернення 06.09.2025).

24. Government support to renewable energy R&D: drivers and strategic interactions among EU Member States / J. Grafström et al. *Economics of Innovation and New Technology*. 2023. Vol. 32 (1). P. 1–24. DOI: <https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1857499>.

25. Liu W., Cao N., Xiang Z. Drivers of renewable energy transition: The role of ICT, human development, financialization, and R&D investment in China. *Renewable Energy*. 2023. Vol. 206. P. 441–450. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.027>.

26. Paltrinieri N., Khan F. I. Dynamic risk analysis—Fundamentals. *Methods in Chemical Process Safety*. 2020. Vol. 4. P. 35–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.mcps.2020.04.001>.

27. A comprehensive review on dynamic risk analysis methodologies / A. Raveendran et al. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2022. Vol. 76. P. 104734. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104734>.

28. Intelligent risk management systems in european energy markets / O. Poplavskyi et al. *Optoelectronic Information-Power Technologies*. 2024. Vol. 1. №47. P. 233–239. DOI: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2024-47-1-233-239>.

29. Wei Liu. Energy Project Management with Artificial Intelligence. *International Journal of Electric Power and Energy Studies*. 2024. Vol. 2. №2. DOI: <https://doi.org/10.62051/ijepes.v2n2.02>.

30. Zülfikaroglu S. AI-Driven Strategic Management and Decision Making for Energy Sector. *Next Frontier For Life Sciences and AI*. 2024. Vol. 8. №1. DOI: <https://doi.org/10.62802/q7rkdb54>.

Стаття надійшла до редакції 16.09.2025.

Стаття пройшла рецензування 24.11.2025.

Семко Інга Борисівна – канд. техн. наук, доц., доцент кафедри електротехнічних систем.
Черкаський державний технологічний університет.

Бедрій Дмитро Іванович – д-р техн. наук, доц., старший дослідник, в. о. директора, професор кафедри Менеджменту і маркетингу, e-mail: dimi7928@gmail.com.

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення», Одеська державна академія будівництва та архітектури.

Семко Олександр Вікторович - PhD, асистент кафедри електротехнічних систем.
Черкаський державний технологічний університет.

Наукові праці ВНТУ, 2025, № 4