

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОЗВИТКУ ЗЕЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК ЧИННИК ЕКОНОМІЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА СТАЛОГО ЗРОСТАННЯ: КОНЦЕПТУАЛЬНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОЦІНЮВАННЯ

Вступ. У сучасних умовах трансформації глобальної економіки та посилення екологічних викликів питання переходу до сталої енергетичної моделі набуває особливої ваги. Стрімке вичерпання природних ресурсів, поглиблення кліматичних змін, загрози енергетичній безпеці та зростання соціально-економічної нестабільності актуалізують потребу у прискореному розвитку зеленої енергетики як ключового інструменту досягнення цілей сталої економіки. Для України, яка водночас реалізує курс на післявоєнну відбудову, інтеграцію до ЄС та декарбонізацію економіки, інтенсифікація розвитку відновлюваної енергетики є стратегічно важливою не лише в екологічному, але й у соціально-економічному та інституційному вимірах.

Водночас перехід до зеленої енергетики стикається з низкою обмежень: фрагментарністю регуляторного середовища, дефіцитом інвестицій, недостатньою інституційною спроможністю та технологічною залежністю. З огляду на це, виникає нагальна потреба у науково обґрунтованій стратегії інтенсифікації розвитку зеленої енергетики, яка б забезпечувала не лише приріст потужностей ВДЕ, але й інтеграцію їх у загальнонаціональну економічну модель на засадах ефективності, інноваційності та екологічної рівноваги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній науковій літературі дослідження розвитку зеленої енергетики та її ролі в економічній трансформації здійснювались як зарубіжними, так і українськими вченими, що заклали фундаментальні підходи до розуміння цієї проблематики. Д. Медоуз та Дж. Рандерс [1] у межах діяльності Римського клубу моделювали межі зростання світової економіки, демонструючи ризики невідновлюваного енергоспоживання та необхідність переходу до відновлюваних джерел задля запобігання глобальному екологічному колапсу. Дж. Ріфкін [2] розробив концепції «третьої промислової революції» та «зеленої трансформації» як основи поствуглецевої економіки, підкреслюючи роль відновлюваної енергетики та циф-

рових технологій у формуванні нової енергетичної системи. Значний внесок у вивчення економічних і соціальних аспектів зеленої енергетики зробили Дж. Стігліц [3] та К. Шваб [4], які акцентували увагу на ролі зеленої енергетики у структурних змінах глобальної економіки, сприянні інклюзивному зростанню та подоланні кліматичних викликів. К. Гіллінгем, Р. Невел і К. Палмер [5] досліджували політику енергоефективності, економічні механізми стимулювання розвитку ВДЕ, функціонування ринків електроенергії та вплив регуляторних інструментів на активізацію відновлюваної енергетики. А. Геддес [6], Дж. Меклінг і Н. Гоедекінг [7] і Р. Невелл М. Петерсон [8] зосередились на політичній економії декарбонізації, вивчаючи бар'єри, стимули та роль політичної волі у реалізації зеленого переходу. Прикладним аспектам інноваційної політики у зеленій енергетиці, трансферу технологій та локалізації виробництва «зелених» технологій присвячено праці Х. Ліу, Л. Клаусен, Л. Ванг, М. Чен [9]. І. Гайдучкий, С. Войтко [10] аналізували інституційні основи розвитку зеленої енергетики, державну політику підтримки ВДЕ, стратегії декарбонізації та проблеми підвищення енергоефективності. Домбровська Т. [11] визначила, що зелена енергетика — це не лише питання екології, але й ключовий елемент енергетичного суверенітету, що вимагає широкого інституційного підходу та багатофункціональної державної підтримки.

Водночас низка важливих питань лишається недостатньо дослідженою. Зокрема, бракує комплексної оцінки інтенсифікації розвитку зеленої енергетики в багаторівневому вимірі (національному, регіональному, галузевому, підприємницькому), адже більшість досліджень фокусуються або на макрорівні, або на окремих секторах. Не розроблено достатньо інтегрованих підходів для кількісного вимірювання інтенсивності трансформації. Потребують подальших досліджень системна взаємодія зелених технологій і цифрової економіки у контексті енергетичного переходу, зокрема вплив smart grid, IoT та



блокчейн-технологій на підвищення ефективності зеленої енергетики, що наразі здебільшого перебуває на рівні концепцій без належної емпіричної перевірки, особливо в українських реаліях.

Недостатньо представлено комплексні підходи до аналізу інституційних та економічних детермінант інтенсифікації розвитку відновлюваної енергетики як чинника переходу до сталого зростання. Таким чином, наукове дослідження інтенсифікації розвитку зеленої енергетики як чинника сталого економічного розвитку України є своєчасним, комплексним і відповідає стратегічним викликам національної економіки, потребам енергетичної безпеки, вимогам міжнародних зобов'язань у сфері клімату та цілям соціально-екологічної модернізації.

Мета статті - концептуалізувати та обґрунтувати науково-методологічні підходи до оцінки інтенсифікації розвитку зеленої енергетики як ключового чинника економічної трансформації та сталого зростання України, з урахуванням глобальних і національних трендів, структурних бар'єрів, екологічних і соціально-економічних обмежень, а також розробити інтегральну модель кількісного оцінювання

темтів та якості енергетичних трансформацій на основі багаторівневої індикаторної системи.

Результати дослідження. Енергетика є ключовим фактором економічного зростання і конкурентоспроможності країни. Впровадження зелених технологій у виробництві й споживанні енергії формує нову «чисту» енергетику, що здатна забезпечувати значну частку економічного приросту: так, за даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), розвиток чистої енергетики приніс близько 10% приросту світового ВВП у 2023 р. [12]. Зелене енергетичне виробництво забезпечує створення нових робочих місць і промислових потужностей, зокрема у виробництві сонячних панелей, вітроенергетичних турбін та електромобілів (табл. 1.) [13]. При цьому ефективне використання енергії і зниження вуглецевого навантаження сприяє підвищенню продуктивності економіки, що узгоджується з концепцією «зеленого зростання», що передбачає розв'язання економічних завдань за умови збереження екосистем. Як зазначає ОЕСР, зелений ріст ґрунтується на «гармонізації економічного, соціального розвитку та збереження довкілля» [14], а підвищення ресурсоефективності призводить до динамічнішої і конкурентнішої економіки.

Таблиця 1. Параметри впливу розвитку зеленої енергетики на економічну динаміку та ринок праці: світовий вимір, 2023 р.

Показник	Значення
Внесок чистої енергетики у приріст світового ВВП	10%
Кількість створених робочих місць у секторі чистої енергетики	35 млн
у тому числі: сонячна енергетика	13 млн
у тому числі: вітроенергетика	5 млн
у тому числі: е-мобільність та батареї	10 млн
Приріст інвестицій у чисту енергетику	1,8 трлн дол.
Частка інвестицій у ВДЕ від усіх енергетичних інвестицій	60%
Обсяги виробництва сонячних панелей	> 1 ТВт встановленої потужності
Обсяги виробництва вітротурбін	> 100 ГВт введено в експлуатацію
Обсяги продажу електромобілів	14 млн одиниць
Рівень зайнятості в екосистемах «зеленої» промисловості	зростання на 12%
Питомий ВВП на одне «зелене» робоче місце	вищий на 15–20% порівняно з традиційними енергосекторами

Джерело: складено автором за [12, 13].

Енергетичний сектор є фундаментом промислового розвитку: без надійних і доступних джерел енергії неможливе зростання виробництва, інновацій та підвищення якості життя. Тому системоутворюючу роль енергетики особливо підкреслено у світових стратегіях сталого розвитку. З переходом до «зеленої» моделі розвитку роль енергетики лише зростає, оскільки енергія є одночасно майданчиком для впровадження інновацій і головним джерелом викидів парникових газів. За оцінками експертів, енергосистема потребує «масштабної трансформації» – заміни переважно викопного палива на низьковуглецеві технології при значних інвестиціях [13]. Дедалі очевидніше, що відкладене впровадження зелених технологій обходиться дорожче: кожен долар, не вкладений у декарбонізацію до 2020 року, в пода-

льшому потребуватиме у 4,3 раза більше для компенсації підвищених викидів [13]. Водночас перехід на відновлювані енергоресурси створює нові ринки і напрями зростання, сприяючи зайнятості й інноваціям (у 2023 р. понад 36 млн осіб працювали в ланцюгах поставок чистої енергетики [15]).

У цьому контексті інтенсифікація розвитку означає підвищення швидкості, глибини та масштабів змін у енергетичному секторі. Теоретично її можна розглядати як форму економічної динаміки, що передбачає зростання ефективності за рахунок технологічних інновацій та оптимізації, а не простого розширення виробництва. У контексті енергетики інтенсифікація полягає у пришвидшенні переходу до «зелених» технологій і реалізації екологічно значущих проєктів. При цьому можна виділити кіль-

кісні та якісні критерії і показники інтенсивності змін: частка відновлюваної енергії, темпи зниження вуглецевого інтенсиву, зростання інвестицій у чисті технології, показники енергоефективності (наприклад, зниження енергоємності ВВП), а також інституційні індекси (готовність до змін, якість регулювання). ОЕСР пропонує серед таких індикаторів енергетичну інтенсивність за секторами, частку ВДЕ в загальному енергоспоживанні, а також внесок у «зелені» R&D та екологічні інновації [13].

З огляду на це, оцінка інтенсивності розвитку потребує не лише абстрактного теоретичного осмислення, а й емпіричного підтвердження — на основі реальних статистичних зрушень. Період 2019–2023 років демонструє саме таку динаміку: численні глобальні показники свідчать про прискорене зростання відновлюваних джерел енергії, що вказує на нарощування глибини та швидкості структурних зрушень в енергетичному секторі. Зокрема частка ВДЕ у виробництві електроенергії глобально зросла з 27% у 2019 році до майже 30% у 2022 році, що стало новим рекордом [16]. Однак у загальному кінцевому споживанні енергії прогрес відбувався повільніше: частка сучасних ВДЕ (без традиційної біомаси) залишилася на рівні 13% у 2021–2022 роках, лише трохи підвищившись з 11% кінця 2010-х [17]. Це свідчить, що більшість успіхів зосереджено в електроенергетиці, тоді як сектори тепла і транспорту значно відстають (лише 10% тепла і 3–4% палива з ВДЕ станом на 2023 р. [18]).

За останні роки встановлена потужність ВДЕ у світі суттєво зросла. Сукупна потужність відновлюваної електрогенерації зросла з близько 2,5 ТВт (трлн Вт) у 2019 році до 3,37 ТВт на кінець 2022 року [19]. Це більш ніж на 30% приріст за три роки. Основний внесок здійснили сонячна та вітрова енергетика: лише в 2022 році в світі введено рекордні 160 ГВт нових потужностей ВДЕ, з них 100 ГВт — у Китаї. Вітрова і сонячна енергетика нині складають майже чверть встановлених генеруючих потужностей планети [20]. Прискорення встановлення ВДЕ підтверджують і цільові міжнародні зобов'язання: понад 130 країн оголосили плани потроїти глобальні потужності ВДЕ до 2030 року та прискорити енергоефективність [18].

Глобальні інвестиції у чисту енергетику досягли рекордних обсягів. Згідно з МЕА, капіталовкладення у відновлювану енергетику зросли з 282 млрд дол. у 2019 році до майже 600 млрд дол. у 2022 році (у 2023 році понад 650 млрд дол.). Відновлювані джерела вперше залучили більше інвестицій, ніж викопне паливо або атомна енергія [21]. Зростання інвестицій відбулося попри труднощі з ланцюгами постачання та інфляцією — завдяки зниженню вартості технологій і політичній підтримці розвитку ВДЕ.

Водночас динаміка енергоефективності та вуглецевої інтенсивності залишається недостатньою.

Глобальна енергоємність (споживання первинної енергії на одиницю ВВП) покращувалася в середньому лише на 1,8% на рік у 2010–2020 рр., а в 2020 році — лише на 0,6%, найгірший показник за останні десятиліття. Після пандемії темпи дещо відновилися (1,9% покращення у 2021 р.), але все ще далекі від потрібних 3–4% на рік для досягнення цілей сталого розвитку [22]. Вуглецева інтенсивність світової економіки (викиди CO₂ на одиницю ВВП) скорочується повільно — приблизно на 1,9%/рік в середньому у 2010-х, а в 2022 р. покращення становило близько 2% [23]. Через зростання споживання енергії та залишкову залежність від викопного палива глобальні викиди CO₂ енергетичного сектору все ще рекордно високі (14,8 млрд т у 2022 р. [16]), що не відповідає траєкторії їх різкого зниження до 2030 року.

У 2019–2023 рр. міжнародна політика значно посилила підтримку енергетичної трансформації. Багато країн встановили нові стратегії та цілі розвитку ВДЕ. За даними REN21, станом на кінець 2022 року 128 країн мали загальнонаціональні цільові показники щодо ВДЕ (31 країна — мету 100% ВДЕ), а 156 країн запровадили регуляторні політики підтримки «зеленої» енергетики [20]. Зокрема, ЄС у 2023 р. підвищив обов'язкову ціль частки ВДЕ до 42,5% в кінцевому споживанні до 2030 р. (проти 22% на 2022 р.). США ухвалили у 2022 р. Закон «Про зниження інфляції» з безпрецедентними податковими стимулами для чистої енергетики. Китай у своїй 14-й п'ятирічці (2022) поставив мету довести частку ВДЕ в генерації до 33% вже у 2025 р. Індія оголосила на COP26 ціль — 500 ГВт ВДЕ та 50% «зеленої» електроенергії до 2030 р. (проти 23% у 2022) [16]. Такі кроки свідчать про сильну політичну підтримку трансформації: уряди створюють стимули, підвищують квоти та впроваджують аукціони на ВДЕ, реформують мережі під інтеграцію сонця і вітру тощо. Водночас міжнародні організації (МЕА, IRENA, ОЕСР) наголошують на необхідності прискорити відмову від вугілля та посилити регуляторні заходи, щоб розгортання ВДЕ не нівелювалося зростанням використання викопного палива.

Таблиця 2 узагальнює ключові кількісні індикатори глобальної трансформації енергетики між 2019 та 2022 роками, що демонструють значний прогрес за ці роки.

Таблиця 2. Кількісні параметри інтенсифікації розвитку ВДЕ у світі (2019–2022)

Глобальний показник	2019	2022
Частка ВДЕ в виробництві електроенергії	27%	30%
Сукупна встановлена потужність ВДЕ, ГВт	2 500 ГВт	3 372 ГВт
Інвестиції у відновлювану енергетику, дол. млрд	282 млрд	600 млрд

Джерело: складено автором за [16].

Зведені у таблиці 2 кількісні індикатори не лише відображають масштаб і темпи глобальних змін, але й підтверджують, що активізація політичної підтримки сприяє реальному зростанню частки ВДЕ, нарощуванню потужностей і притоку інвестицій. У цьому контексті особливо важливо розглянути, наскільки ці тенденції корелюють із національними процесами енергетичної трансформації, зокрема в країнах, що перебувають на етапі структурної перебудови своїх енергетичних систем.

Україна у 2019–2021 роках стала прикладом стрімкої регіональної динаміки у сфері «зеленої» генерації. Частка ВДЕ в структурі виробництва електроенергії зросла з орієнтовно 8% у 2019 році до понад 13% у 2021 році, фактично перевищивши цільові орієнтири, визначені Енергетичною стратегією України до 2030 року [24]. Така позитивна динаміка вказує на здатність національної політики адаптуватися до глобального порядку денного та успішно трансформуватися у напрямі кліматичної нейтральності.

За словами заступника Міністерства, у 2020 році частка досягла 12,4%, а в 2021-му перевищила 13%. (Для порівняння: без врахування великих ГЕС частка лише вітрової та сонячної генерації зросла з 3,3% у 2019 р. до 6,8% у 2020 р. [25]).

Нарощування встановлених потужностей було стрімким. Протягом одного 2019 року в Україні ввели в експлуатацію рекордні 4,5 ГВт нових ВДЕ-потужностей, що відповідає інвестиціям 3,7 млрд євро [26]. Сукупна потужність відновлюваної енергетики (без великих ГЕС) зросла приблизно з 5–6 ГВт на кінець 2019 р. до 9,5 ГВт на початок 2022 р. [27]. За даними НКРЕКП, станом на початок 2022 року загальна потужність об'єктів ВДЕ, що працювали за «зеленим» тарифом, становила 9 517,9 МВт (з урахуванням домашніх СЕС). Тобто за три роки потенціал відновлюваної генерації фактично потроївся. Основний приріст забезпечили сонячні електростанції (особливо у 2019 р.), частка яких домінує: потужність промислових СЕС сягнула 6,4 ГВт, а вітроелектростанцій – 1,5 ГВт на кінець 2021 р. Окремо вражає розвиток домогосподарських СЕС: спрощені умови та прив'язаний тариф стимулювали встановлення понад 1200 МВт сонячних панелей у приватному секторі (станом на кінець 2021 р.), тоді як на початку 2019 р. цей сегмент лише зароджувався.

Внаслідок швидкого зростання інвестицій та потужностей у 2018–2019 рр. сукупні вкладення у ВДЕ в Україні перевищили 6 млрд дол. за два роки, а загальний обсяг іноземних і вітчизняних інвестицій у сектор на кінець 2019 р. оцінювався майже в 10 млрд дол. [28]. Такий приплив капіталу зробив Україну одним з лідерів Європи за темпами розвитку сонячної енергетики у 2019 році. Таблиця 3 підсумовує деякі ключові кількісні показники трансформації енергетики України.

Таблиця 3. Прогрес трансформації енергетики України за базовими показниками (2019–2021 рр.)

Показник	2019	2021
Частка ВДЕ в генерації електроенергії	8%	>13%
Встановлена потужність ВДЕ (без великих ГЕС)	6 ГВт	9,5 ГВт
Річний обсяг інвестицій у ВДЕ	3,7 млрд євро	(спад після 2019 р.)

Джерело: складено автором за [28].

Зазначимо, що після пікового 2019 року темпи введення нових об'єктів дещо сповільнились: у 2020–2021 рр. інвестори стикнулися з проблемою виплат за «зеленим» тарифом та очікуванням переходу до аукціонної моделі, тому нові проекти запускалися обережніше. Тим не менш, виробництво електроенергії з ВДЕ у 2021 році зросло ще на 15% проти 2020-го – до 12,8 млрд кВт·год [29], що еквівалентно приблизно 8% від загального обсягу генерації за рік (без урахування великих ГЕС). Якщо ж врахувати гідроенергетику, загальна «чиста» генерація перевищила 15% у структурі виробництва електроенергії України у 2021 році [30].

Стрімке розгортання ВДЕ в Україні стало можливим завдяки цілеспрямованій державній політиці та підтримці. Ще з 2014 р. діяла одна з найвищих у Європі ставок «зеленого» тарифу, що гарантувала інвесторам привабливу ціну за кожен кіловат-годину з ВДЕ. Це стимулювало хвилю проектів, особливо сонячних електростанцій, кульмінацією якої став 2019 рік. Водночас держава розробила стратегічні документи: Енергетична стратегія України до 2035 року (затверджена 2017) передбачала довести частку ВДЕ в електроенергетиці до 25% у 2035 р. [24]. Цю мету, як було зазначено вище, фактично наблизили на 5 років раніше – і Міністерство пропонувало зафіксувати амбітніший орієнтир 25% вже до 2030 р. В ході інтеграції до європейського енергоринок Україна взяла на себе зобов'язання, аналогічні країнам ЄС: було розроблено Національний план дій з відновлюваної енергетики до 2020 р. (ціль – 11% ВДЕ в кінцевому споживанні, фактично досягнуто 9% [31]) і велася підготовка НПДВЕ-2030.

У 2019 році було здійснено важливу законодавчу реформу: запроваджено аукціонну систему підтримки ВДЕ замість фіксованого тарифу (закон №2712-VIII від 25.04.2019). Перші аукціони планувалися з 2020 р., що мало знизити ціну підтримки, але й забезпечити стабільні квоти розвитку галузі. Хоча запуск аукціонів затримався, нормативна база була підготована (постанова КМУ №1175 від 27.12.2019 про порядок проведення аукціонів). Також у лютому 2022 р., буквально за кілька днів до війни, прийнято Закон №2046-IX про розвиток систем зберігання енергії – важливий крок для інтеграції високої частки ВДЕ в мережу. Регулятор

(НКРЕКП) і системний оператор «Укренерго» працювали над правилами приєднання ВДЕ, гарантіями походження зеленої електроенергії тощо. Ці інституційні заходи відображаються і в міжнародних рейтингах: за індексом сприятливості політики RISE (Світовий банк) Україна у 2021 р. набрала 70 балів зі 100 у категорії «Відновлювана енергетика», що трохи вище середнього рівня по регіону Європи та Центральної Азії [32]. Це означає наявність в Україні основних елементів якісної регуляторної підтримки ВДЕ (стратегії, законодавство, стимули, планування розвитку мереж тощо), хоч і лишаються прогалини, наприклад, з фінансовими гарантіями та гнучкістю мереж.

Політична підтримка розвитку в Україні загалом була сильною протягом 2019–2021 років. Уряд та парламент стабільно декларували пріоритетність розвитку зеленої енергетики для енергобезпеки і виконання міжнародних зобов'язань щодо клімату. До позитивних кроків відносяться: інтеграція України до енергомережі континентальної Європи (ENTSO-E) у 2022 р., що відкриває можливості для експорту/імпорту зеленої електроенергії; запуск програм підтримки енергоефективності (Фонд енергоефективності для ЖКГ тощо); приєднання України до європейської ініціативи Європейського зеленого курсу. На початку 2022 року український уряд анонсував ціль досягти 25% ВДЕ в електроенергетиці вже до 2030 р. і навіть постав перспективу 50% до 2035 р. [30]. Ці амбіції ще більше актуалізувалися після початку повномасштабної війни: пошкодження енергетичної інфраструктури (близько 30% промислових СЕС і 90% ВЕС постраждали або тимчасово зупинились внаслідок війни [30]) продемонструвало *вразливість* старої енергосистеми. У відповідь на це формується консенсус про необхідність «зеленого» відновлення: децентралізовані ВДЕ-проекти, накопичувачі енергії та енергоефективність розглядаються як інструмент підвищення стійкості та незалежності енергосектору. Політична риторика чітко підтримує цю трансформацію – від президента до місцевої влади декларується курс на очищення енергетики від викопного палива в повоєнний період.

Таким чином, період 2019–2023 років означувався для України суттєвим прогресом у розвитку відновлюваної енергетики за цілою низкою критеріїв. Країна істотно наростила частку ВДЕ в своєму енергобалансі, утричі збільшила встановлені потужності та залучила значні інвестиції. Одночасно було започатковано важливі інституційні зміни: оновлено стратегії, удосконалено законодавчу базу та регуляторні механізми, закріплено політичну підтримку курсу на енергетичну трансформацію. Випробування 2022 року лише підкреслили інтенсивність та незворотність цих трансформаційних змін, заклавши підґрунтя для ще більш прискореного переходу до відновлюваної енергетики у подальші

роки. Внесок ВДЕ у енергобезпеку й декарбонізацію України вже зріс, і, за оцінками експертів, попри війну до 2040 року частка зеленої електроенергії може зрости до 28% (проти 15% у 2022) з потенціалом стати нетто-експортером чистої електрики до ЄС [33]. Це свідчить, що трансформація набирає обертів і матиме довгостроковий вплив як на національному, так і на глобальному рівнях.

Поняття *інтенсивного розвитку* часто сприймається як синонім прогресу, однак із погляду сталого розвитку воно має не лише позитивні, а й потенційно деструктивні наслідки. Інтенсивність розвитку має природні, технологічні та соціально-економічні обмеження, що вимагають ретельного балансування між швидкістю модернізації та здатністю системи адаптуватися до змін.

Надмірне прискорення процесів гіперіндустріалізації, особливо в енергетичному секторі, супроводжується підвищенням споживання природних ресурсів, деградацією земель, зменшенням біорізноманіття та накопиченням відходів. Ще у 1972 році Римський клуб у доповіді «Межі зростання» [34] за допомогою системної динаміки моделював сценарії, за якими неконтрольоване економічне зростання призводить до перевищення планетарних меж і колапсу екосистем. У цих моделях доведено, що незбалансоване нарощування виробництва без урахування здатності природи до самовідновлення неминує веде до кризи ресурсів і погіршення якості життя.

В умовах енергетичного переходу ці ризики лише загострюються. Наприклад, виробництво сонячних панелей, вітротурбін та акумуляторів потребує значних обсягів рідкоземельних металів, літію, кобальту, що концентруються у вразливих до геополітичних конфліктів регіонах. Отже, ресурсна вартість зеленої енергетики не є нульовою й має бути предметом довгострокового планування.

Інтенсифікація без виваженої оцінки супроводжується екологічними загрозами — зростанням викидів (особливо в перехідний період), забрудненням водних і земельних ресурсів, деградацією природних середовищ існування (зокрема при масовому будівництві ГЕС, ВЕС, транспортної інфраструктури).

Суттєві також техногенні ризики: зростання навантаження на електромережі, нестача гнучких потужностей для балансування ВДЕ, загроза аварій (наприклад, при інтенсивній експлуатації атомних станцій без модернізації або неконтрольованій установці СЕС без систем накопичення). Досвід аварійної зупинки електропостачання у Техасі (2021), Чилі (2022) чи часті «blackout» у країнах Африки демонструють, що швидкість розгортання ВДЕ має супроводжуватись інфраструктурною готовністю.

Крім технічних, інституційні бар'єри також здатні гальмувати або дестабілізувати перехід: відсутність комплексного регулювання, конфлікти

інтересів, недовіра суспільства до реформ, корупція в процесі видачі дозволів або розподілу тарифних стимулів. Дослідження Світового банку (RISE Index) та IEA підкреслюють, що інституційна спроможність — один із ключових детермінантів успішної енергетичної трансформації.

У цьому контексті актуальним стає поняття помірної інтенсифікації, що поєднує динаміку розвитку з принципами екологічної, економічної та соціальної стійкості. Як зазначають дослідники екоеконіки [35, 36], сталий розвиток вимагає не максимізації темпів, а оптимізації процесів — впровадження інноваційних технологій, ресурсоефективних практик, циркулярної економіки та змін у поведінці споживачів.

Інтенсифікація трансформації енергетики повинна відбуватись не шляхом форсованого нарощування темпів, а через поетапне, структурно збалансоване нарощування потужностей і управлінських механізмів. Умовно це можна представити як перехід від гіперіндустріалізації до ресурсоефективної економіки, що є ядром сучасних концепцій зеленої трансформації, зокрема «European Green Deal», «Net Zero by 2050» та національних кліматичних стратегій.

Для комплексного аналізу і оцінки енергетичної трансформації потрібен міждисциплінарний підхід, який враховує економічні, екологічні, технічні і соціальні аспекти. Енергетика виступає сегментом на стику економіки (інвестиції, промисловість, ринки), екології (викиди, ресурси) та соціології (сприйняття змін, рівень добробуту, зайнятість). Це означає використання теорій економіки росту, екологічної економіки та технічних наук спільно. Наприклад, фокус на «зелених технологіях» потребує оцінки не лише капіталовкладень, а й впливу на якість повітря, а «зелена зайнятість» — аналізу ринку праці.

У цьому контексті доцільний системно-аналітичний підхід: інтеграція макроекономічного аналізу (національний рівень), мезо- (галузеві ланцюги, регіони) та мікро- (окремі підприємства, домогосподарства) рівнів. Це дозволяє зіставляти, наприклад, загальні індикатори енергетичної ефективності з показниками окремих галузей і підприємств. Методи оцінки інтенсифікаційних процесів включають комбінацію якісних і кількісних інструментів:

SWOT/PEST-аналіз інтенсифікаційного потенціалу. Аналізувати сильні та слабкі сторони, можливості та загрози енергетичного розвитку (SWOT), а також макросередовище (PEST: політичні, економічні, соціальні, технологічні чинники). Наприклад, виявлення політичних стимулів для ВДЕ (можливості) та бар'єрів у вигляді корупції чи застарілої інфраструктури (загрози).

Індикаторний підхід. Використання статистичних та композитних індексів. Наприклад, Індекс інноваційності (Global Innovation Index), Індекс сталого розвитку (SDG Index), національні енергетичні

індекси (IEA, IRENA). Спеціалізовані ресурси, як-от *Green Energy Tracker*, відстежують показники розвитку відновлюваних джерел та скорочення емісій у реальному часі.

Сценарне моделювання. Використання інтегрованих моделюючих систем (наприклад, моделі Integrated Resource Planning – IRP або моделі Stockholm Environment Institute – SEI) для прогнозування впливу різних політик на енергетичний баланс, інвестиції та викиди. Це включає варіанти сценаріїв (business-as-usual, кліматичні стрес-тести, амбітні сценарії Net Zero).

БОВ-аналіз (Background–Opportunity–Breakthrough). Оцінка фону (існуюча ситуація), можливостей (потенційних технологій або ринків) та «проривних» рішень, здатних суттєво змінити динаміку галузі.

Системна динаміка. Використовує концепцію нелінійних зворотних зв'язків (наприклад, моделі Дж. Форрестера чи дослідників інституту Вупперталя) для моделювання довгострокових циклів енергетичних систем, що враховують накопичення капіталу, технологічні інновації та екологічні обмеження. Ці моделі ілюструють, як вибір стратегії (енергетична політика, інвестиції) «накопичує імпульс» чи створює «регуляторні петлі», які формують динаміку трансформації.

Перехід до зеленої енергетики та низьковуглецевої економіки є стратегічним пріоритетом як для світу, так і для України. Виконання Паризької кліматичної угоди та впровадження Європейського зеленого курсу зумовлюють необхідність прискорити розбудову зеленої енергетики. Україна, будучи членом Енергетичного Співтовариства та кандидатом на вступ до ЄС, взяла на себе амбітні зобов'язання: скоротити викиди парникових газів на 65% до 2030 року порівняно з 1990 р. [37] і досягти кліматичної нейтральності до 2060 р. На кліматичному саміті COP26 Україна також зобов'язалася поступово вивести з експлуатації вугільну генерацію до 2035 року [19]. Водночас частка відновлюваних джерел у енергобалансі країни поки залишається відносно малою — лише близько 5% від загального первинного постачання енергії [38]. У виробництві електроенергії ситуація дещо краща за рахунок атомної енергетики: понад половину електрики генерує атоКанам, а ще 12% у 2020 р. — відновлювані джерела (включно з великою гідроенергетикою) [39]. Для порівняння, середній показник ЄС — близько 30% відновлюваної енергії у структурі споживання енергії [40]. Таким чином, інтенсифікація «зеленої» трансформації є нагальним завданням: вона означає прискорений розвиток відновлюваної енергетики, підвищення енергоефективності та декарбонізацію господарства з одночасним забезпеченням енергобезпеки та інвестиційної привабливості сектора.

Разом з тим, виклики трансформації в Україні унікальні. Енергетична система історично базувалася на викопному паливі та атомній генерації,

що зумовило високу енергоємність економіки (0,25 тони нафтового еквіваленту на 1000 дол. ВВП за ПКС у 2015 р., що більш ніж удвічі перевищує світовий середній рівень [41]) і значну частку вуглецевоємних галузей. Війна, розв'язана росією, завдала суттєвих збитків енергетичній інфраструктурі, але водночас висвітлила нові аспекти зеленої енергетики – її роль у зміцненні енергобезпеки та стійкості. Зокрема, децентралізовані ВДЕ виявилися більш живучими до атак, ніж централізована генерація: навіть після втрати 500 МВт вітропарків у 2014–2015 рр., найбільша приватна енергокомпанія ДТЕК не тільки не відмовилася від курсу на енергоперехід, а й ввела в експлуатацію нову Тилігульську ВЕС під час повномасштабної війни [42]. Це підкреслює, що

розвиток зеленої енергетики – не лише питання екології, але й національної безпеки та післявоєнного відновлення.

У такому контексті постає завдання розробити концептуальну модель оцінки інтенсифікації розвитку зеленої енергетики. Це необхідно для системного вимірювання прогресу, визначення «вузьких місць» та пріоритетів політики. Нижче представлено авторський підхід, що базується на багаторівневій оцінці за ключовими напрямками трансформації, інтегральному індексі інтенсифікації та опорі на перевірені дані міжнародних організацій (OECD, IRENA, WEC, UNEP, IEA) і Держстату України (рис. 1).

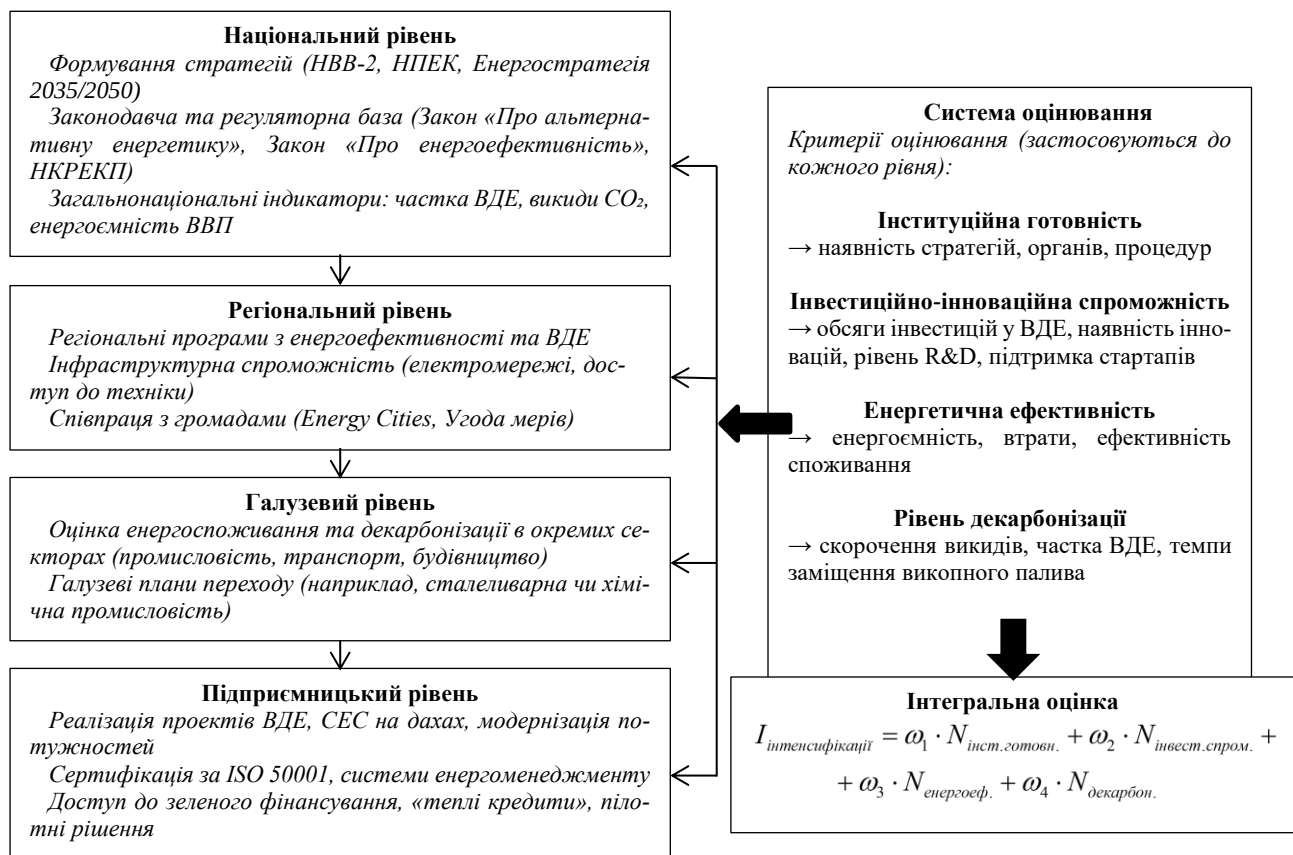


Рисунок 1. Концептуальна блок-схема багаторівневої моделі оцінки інтенсифікації розвитку зеленої енергетики

Джерело: складено автором.

Модель передбачає оцінювання процесів на чотирьох рівнях: національному, регіональному, галузевому та підприємницькому. Такий багаторівневий підхід відповідає європейським практикам багаторівневого врядування енергетичним переходом, де стратегічні цілі встановлюються на національному рівні та рівні ЄС, регіони й громади реалізують політику на місцях, галузі економіки трансформуються відповідно до технологічних особливостей, а бізнес та домогосподарства виступають безпосеред-

німи носіями змін. *Національний рівень* включає формування державної політики: стратегії та плани (наприклад, Енергетична стратегія до 2035 р., Національний план з енергетики та клімату, НБВ2), закони і регуляції, а також загальнонаціональні показники (частка ВДЕ, викиди CO₂, енергоємність ВВП тощо). *Регіональний рівень* охоплює діяльність обласних адміністрацій та місцевого самоврядування: регіональні плани енергоефективності, проекти ВДЕ на місцях, ініціативи громад (наприклад, учать

міст у «Угоді мерів» щодо клімату). *Галузевий рівень* фокусується на трансформації окремих секторів економіки – передусім енергетики (електроенергетика, теплова енергетика, транспорт), але також промисловості, ЖКГ, агросектора – з погляду впровадження чистих технологій. *Підприємницький рівень* – це рівень окремих суб'єктів господарювання: енергетичних компаній, промислових підприємств, домогосподарств як виробників і споживачів енергії. Саме на цьому мікрорівні відбувається практична реалізація проектів – будівництво ВЕС, СЕС, біогазових установок, утеплення будівель, модернізація виробництв тощо.

Взаємозв'язок рівнів носить двосторонній характер. Згори донизу спускаються цілі, нормативи та підтримка (фінансова, методична) – наприклад, державні стимули для ВДЕ чи вимоги директив ЄС імплементуються на місцях. Знизу догори – агрегуються фактичний прогрес та ініціативи: успішні локальні проекти можуть масштабуватися, бізнес генерує попит на зміни в політиці. Така багаторівнева перспектива дозволяє комплексно оцінити інтенсифікацію трансформації, виявивши, на якому рівні є відставання. Наприклад, національна стратегія може бути амбітною (висока готовність націнституцій), але реалізація гальмуватиметься на рівні окремих регіонів чи підприємств; або навпаки – активність бізнесу випереджає дії регуляторів.

Інтенсифікація «зеленої» трансформації проявляється у кількох ключових вимірах. Запропонована модель визначає чотири критерії оцінки (показники інтенсивності змін), які застосовуються на кожному з вищезгаданих рівнів (тобто формують своєрідну матрицю «рівень × критерій» для аналізу). До критеріїв віднесено:

Інституційна готовність. Відображає спроможність інституцій забезпечувати та підтримувати «зелений» перехід. Тут враховується наявність і якість стратегічних документів, нормативно-правова база, інституційна структура та управлінська спроможність. На національному рівні це, наприклад, наявність Енергостратегії, Національного плану з енергетики та клімату, законодавства про ВДЕ та енергоефективність, регуляторні органи (НКРЕКП тощо) та їх ефективність. На регіональному – існування регіональних програм (скажімо, програм підвищення енергоефективності для громад), місцевих фондів енергоефективності, спроможність громад впроваджувати проекти. На рівні галузей – наявність галузевих планів декарбонізації (наприклад, плани «зеленої» металургії чи агросектору). На рівні підприємств – внутрішні політики сталого розвитку, підготовка кадрів, наявність відділів енергоменеджменту тощо. Інституційну готовність можна оцінювати якісно (аналіз політики) або через індекси. Наприклад, за індексом *Regulatory Indicators for Sustainable Energy (RISE)* Світового Банку (який оці-

нює політику щодо ВДЕ, енергоефективності та енергетичного доступу) Україна демонструвала прогрес у створенні нормативної бази для ВДЕ та ЕЕ, але все ще має прогалини у впровадженні і забезпеченні правового захисту інвесторів [43]. В контексті *WEF Energy Transition Index* ключовим чинником є *readiness* (готовність до переходу), що для України означає посилення інституційної спроможності реалізувати заявлені реформи.

Інвестиційно-інноваційна спроможність. Цей критерій характеризує фінансово-економічні та технологічні аспекти інтенсифікації: обсяги інвестицій у зелену енергетику, доступність фінансування, участь приватного капіталу, рівень розвитку «зелених» технологій, інновацій та локалізації виробництва. Оцінюються як агреговані показники (сума інвестицій у ВДЕ за рік, доларах або % ВВП; кількість реалізованих проектів; обсяг введених потужностей), так і якісні (наявність стимулів для інвестицій, ризики для інвесторів). За даними *Climatescope 2021* від BNEF, Україна посіла 21-ше місце серед країн, що розвиваються, за умовами для чистої енергетики (глобально 48-е), набравши 1,74 бали з 5 можливих [37]. Це вказує на *помірну інвестиційну привабливість* сектору – суттєві проекти реалізуються, але присутні ризики. Позитивним є те, що частка іноземних інвесторів у встановлених ВДЕ-потужностях сягнула 35% (2021) [29], тобто ринок досить відкритий. За 2018–2019 рр. в Україну прийшов справжній інвестиційний бум у ВДЕ завдяки «зеленому» тарифу: встановлена потужність ВДЕ зросла в рази. Проте надмірно щедрі тарифи спричинили накопичення боргів ДП «Гарантований покупець» перед інвесторами (1,2 млрд дол. боргу на кінець 2020 р. [43]), що вимагало перегляду підтримки. Уряд пішов на реструктуризацію умов (Меморандум 2020 р., добровільне зниження тарифів на 15% та запровадження аукціонів) [29]. *Інноваційна складова* оцінюється за рівнем впровадження новітніх технологій: розвиток систем накопичення енергії (в Україні закон про накопичувачі ухвалено 2021 р.), smart-grid, водневої енергетики (поки на рівні планів). Також враховується науково-дослідний потенціал та кількість патентів чи пілотних проектів у зеленій енергетиці. Загалом, інвестиційно-інноваційна спроможність України оцінюється як така, що зростає, але потребує подальшого зміцнення: фінансові ресурси обмежені, вартість капіталу вища ніж у ЄС через ризики, однак є підтримка від МФО (ЄБРР, Світового банку тощо) та зацікавленість бізнесу у відновлюваних проєктах.

Енергетична ефективність. Це показник того, наскільки інтенсивно економіка споживає енергію та які кроки робляться для підвищення ефективності. Ключовий агрегований індикатор – енергоємність ВВП (споживання енергії на одиницю ВВП). В Україні цей показник є одним з найгірших в Європі:

у 2018 р. 0,25 тое/1000 дол. (ПКС 2015) – у 2,3 раза вище світового середнього [42] і в 3–4 рази перевищує середній рівень ЄС [44]. Це відображає застарілі технології, значні втрати в мережах, низьку ефективність кінцевого споживання (наприклад, будівель) та структуру економіки. За даними Німецько-українського енергетичного партнерства, у 2020-х Україна все ще споживає на одиницю ВВП в 2,7 раза більше енергії, ніж Польща [45]. На регіональному та місцевому рівнях енергоефективність вимірюється, наприклад, у показниках споживання тепла житловим фондом, втрат тепла в мережах, ефективності ТЕС і ТЕЦ тощо. За останні роки прийнято важливі інструменти – закон про енергоефективність, Фонд енергоефективності для термомодернізації житла, будівельні норми по теплоізоляції, програми «тепліх кредитів» тощо. Однак прогрес поки що повільний: темпи зниження енергоемності економіки недостатні (близько 1% на рік у 2010-х, що нижче необхідних 3%/рік для досягнення цілей сталого розвитку). Значний потенціал енергозбереження залишається не реалізованим – як оцінює МЕА, наближення секторної енергоефективності України до рівня ЄС могло б заощадити до 27 млн тое щороку [41]. Отже, рівень енергоефективності наразі низький, але це водночас *резерв інтенсифікації*: саме заходи ЕЕ дають швидкий ефект і зменшують потребу в генерації. Тому інтегральна оцінка повинна приділяти велику вагу цьому критерію.

Рівень декарбонізації. Цей критерій відображає кінцевий результат трансформації – наскільки знизилася використання викопного палива та викиди парникових газів, наскільки зросла частка «зелених» джерел в енергетиці. Національні показники тут включають: *частку ВДЕ* у кінцевому споживанні енергії та окремо в електроенергетиці, *динаміку викидів CO₂* (абсолютно та на одиницю ВВП), *структуру встановлених генеруючих потужностей*. За оцінками, Україна вже скоротила валові викиди на 62,4% від рівня 1990 р. (станом на 2019 р.) [37] – формально перевиконавши свою початкову ціль НВВ-2030. Однак більша частина цього скорочення відбулася в 1990-х через падіння виробництва. Поточна структура енергобалансу все ще вуглецемістка: у 2019 р. 30% первинного постачання енергії забезпечувалося вугіллям, 28% газом та 24% нафтою [41]. В електроенергетиці, попри домінування безвуглецевого атома (54% генерації у 2019 р.), частка відновлюваних джерел до 2019 р. була лише 9% (включно з гідро), а станом на 2020 р. зросла до 12% і 13% у 2021 р. [29]. Це все ще значно менше, ніж у країнах ЄС, де відновлювана електроенергетика в середньому виробляє 30–35% електроенергії, а в деяких державах перевищує 50%. Але тренд позитивний: завдяки введенню нових СЕС і ВЕС, *частка ВДЕ в електрогенерації України зросла вдвічі за 2019–2020 роки*. За даними НЕК «Укренерго», ви-

робництво електроенергії з ВДЕ у 2021 р. склало 12,8 млрд кВт·год (8,1% генерації), з яких 56% – сонячні, 33% – вітрові, 8% – біоенергетика і 3% – малі ГЕС [29]. Декарбонізація також включає поступове *відведення з експлуатації старих вугільних потужностей* (в Україні працює 20 ГВт ТЕС і ТЕЦ на вугіллі/газі, багато з яких застарілі). Сюди ж належать заходи зі *«зеленого» переходу в транспорті* (електромобілі, біопаливо – їх частка поки низька) та промисловості (відмова від вугілля у металургії тощо). За *індексом екологічної сталості WEC* (складова *Energy Trilemma Index*), Україна має оцінку «В» [46] – середній рівень, що відображає певний прогрес у декарбонізації (насамперед через атомну енергетику та зменшення споживання вугілля), але все ще недостатню частку відновлюваних джерел і проблеми зі *забрудненням довкілля*. Для досягнення кліматичних цілей Україна має прискорити скорочення викидів у секторах поза електроенергетикою (тепло, транспорт, промисловість) та забезпечити зростання ВДЕ навіть у умовах післявоєнної відбудови.

Запропонована *матриця оцінки* поєднує ці критерії та рівні. Кожен із 16 елементів (перетин рівня і критерію) може бути наповнений кількісними показниками. Наприклад, на *національному рівні* для критерію декарбонізації – це частка ВДЕ у кінцевому енергоспоживанні, індекс вуглецевої інтенсивності ВВП, сумарне скорочення викидів проти базового року. На *регіональному рівні* для інвестиційного критерію – обсяг інвестицій або кількість проектів ВДЕ в конкретному регіоні, наявність «зелених» кластерів чи спеціальних програм. На *галузевому рівні* для енергоефективності – показники питомого споживання енергії на одиницю продукції в промисловості, втрати в мережах у енергетиці, ККД установок тощо. На *рівні підприємств* для інституційної готовності – наявність систем енергоменеджменту (наприклад, сертифікація ISO 50001), власні цільові показники зі скорочення викидів або енергоспоживання, відсоток ВДЕ у споживанні підприємства тощо. Таким чином, аналітична матриця дозволяє структурувати дані для оцінки: кожен показник знаходить своє місце в системі координат *«рівень–критерій»*, що допомагає виявити прогалини.

Для наочності наведемо показники з матриці та їх актуальні значення для України (табл. 4).

Наведена таблиця 4. ілюструє, що, наприклад, у критерії енергоефективності найбільша проблема на національному рівні – надвисока енергоемність економіки; у критерії інвестицій – значний стрибок введених потужностей припав на 2020 рік, після чого темпи знизилися (2021) через зміну умов підтримки та невизначеність, посилену війною. Водночас інституційна база на національному рівні розвинена (є стратегія, плани, регулятор), але на регіональному рівні планування часто фрагментарне. Декарбоніза-

Таблиця 4. Актуальні показники оцінювання інтенсифікації «зеленої» трансформації України за критеріями та рівнями

Показник (критерій)	Рівень	Значення
Частка ВДЕ в виробництві електроенергії, % (декарбонізація)	Національний	12,4% (2020); 13% (2021)
Скорочення викидів CO ₂ проти 1990, % (декарбонізація)	Національний	62,4% (станом на 2019)
Енергоємність TPES/ВВП, тое/1000 дол. (енергоефективність)	Національний	0,25 (Україна 2018); 0,11 – світ. Середнє
Частка ВДЕ у кінцевому споживанні енергії, % (декарбонізація)	Регіональний	різниться: 0–20% (оцінка) ¹
Потужність ВДЕ, введена за рік, МВт (інвестиції)	Національний	1464 МВт (2020); 845 МВт (2021)
Потужність ВДЕ, загальна, МВт (інвестиції)	Національний	9656 МВт (на кін. 2021, з домогосп.)
Частка іноземних інвесторів у ВДЕ-потужностях, % (інвестиції)	Національний	>35% (2021)
Індекс WEC Trilemma (сек'юріті / equity / sustainability)	Національний	A/C/B (43-тє місце)
Наявність затверджених планів переходу (інституції)	Національний/Регіональний	НПВЕ 2030, НВВ2 (нац); місцями – стратегій нема
Кількість домогосподарств з СЕС, шт. (інвестиції)	Підприємницький	45 тис. (2021)
Споживання тепла будівлями, кВт·год/м ² (енергоефективність)	Підприємницький	180 (оцінка, Україна); 100 – ЄС

Джерело: складено автором [46, 47, 29].

Примітка: регіональні дані по частці ВДЕ у кінцевому споживанні енергії складно отримати; наведено оцінки: у пілотних регіонах, як Дніпропетровщина або Херсонщина (лідери за потужностями ВДЕ 1,1–1,35 ГВт) [29], частка ВДЕ в електроспоживанні може сягати 15–20%, тоді як у промислових регіонах, де домінує теплова енергетика, цей показник мінімальний.

ція національно просувається (Україна вже перевищила проміжну ціль зі скорочення викидів на 2030 р. завдяки попереднім скороченням), проте саме інтенсивність поточних трансформацій (зростання ВДЕ за рік, темпи модернізації) є більш показовою для оцінки інтенсифікації, ніж досягнутий історично рівень.

Для цілісної оцінки прогресу пропонується розрахувати інтегральний індекс «інтенсифікації трансформації» – узагальнюючий показник, що агрегує всі чотири критерії в одне числове значення. Цей індекс слугуватиме *ключовим індикатором* успішності зеленого переходу, даючи змогу відстежувати динаміку в часі та порівнювати (наприклад, з іншими країнами або з цілями). Методично розрахунок індексу включає такі етапи:

Вибір показників для кожного критерію. Необхідно обрати по одному або кілька кількісних індикаторів, які найкраще характеризують відповідний

критерій. Наприклад, для інституційної готовності можна використати суб-індекси на основі експертної оцінки політики або бінарні ознаки (наявність/відсутність ключових документів); для інвестицій – обсяг інвестицій у ВДЕ на душу населення або приріст потужностей (% за рік); для енергоефективності – енергоємність ВВП чи темп її зміни; для декарбонізації – частку ВДЕ у енергопостачанні чи темп скорочення вуглецевої інтенсивності економіки.

Нормалізація показників. Оскільки обрані показники вимірюються в різних одиницях (відсотки, тонни, бали тощо), їх слід нормалізувати до безрозмірної шкали (наприклад, 0 до 1). Це можна зробити, відносивши значення до певної бази: до цільових орієнтирів (наприклад, 1,0 для частки ВДЕ = 100% або для енергоємності = рівень ЄС), або до найкращих практик серед порівнюваних країн. Можна застосувати лінійну нормалізацію: $N_x = (X_{actual} - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$, де X_{max} може бути ціль 2030 або фізична межа (100% для частки ВДЕ). Важливо визначити, чи «більше – краще» (для частки ВДЕ, інвестицій) чи «менше – краще» (для енергоємності, викидів). У другому випадку нормалізація робиться обернено.

Зважування. За замовчуванням можна надати рівні ваги всім чотирьом критеріям, тобто 0,25 кожному (якщо немає обґрунтованої причини вважати один з напрямів важливішим). Проте авторський підхід може передбачати експертне визначення ваг. Наприклад, можна надати трохи більшу вагу інвестиційному та інноваційному компоненту, якщо вважається, що саме фінансування є основою трансформації, або навпаки – підсилити вагу енергоефективності, з огляду на її крос-секторний вплив. У нашій моделі для прозорості приймаємо рівні ваги.

Агрегування. Інтегральний індекс обчислюється як зважена сума (чи середньозважене) нормалізованих значень показників критеріїв:

$$I_{\text{інтенсифікації}} = \omega_1 \cdot N_{\text{інст.готовн.}} + \omega_2 \cdot N_{\text{інвест.спром.}} + \omega_3 \cdot N_{\text{енергоеф.}} + \omega_4 \cdot N_{\text{декарбон.}} \quad (1)$$

де $\omega_1, \dots, \omega_4$ – вагові коефіцієнти відповідно до значущості кожного критерію. Виконують умову:

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 = 1 \quad (2)$$

$N_{\text{інст.готовн.}}$ – нормалізоване значення інституційної готовності, що враховує наявність стратегій, регуляторних документів, інституцій та механізмів впровадження;

$N_{\text{інвест.спром.}}$ – нормалізоване значення інвестиційно-інноваційної спроможності, що охоплює обсяги інвестицій у ВДЕ, доступність фінансування, інноваційність рішень;

$N_{\text{енергоеф.}}$ – нормалізоване значення енергетичної ефективності, включає енергоємність економіки, втрати в мережах, рівень модернізації обладнання та будівель;

Н_{декарбон}. – нормалізоване значення рівня декарбонізації, яке враховує частку відновлюваних джерел, темпи скорочення викидів парникових газів та зменшення використання викопного палива.

Якщо для якогось критерію використано кілька показників, спочатку слід отримати композитну оцінку критерію (наприклад, середнє або головну компоненту), щоб представити його одним числом.

Верифікація і чутливість. Після розрахунку індексу варто перевірити його чутливість до методичних припущень: чи сильно зміниться значення при іншому виборі ваг, або при виключенні/додаванні якоїсь змінної. Також доцільно зіставити отриманий індекс з наявними інтегральними рейтингами (такими як згаданий *Climatescope* або *Energy Transition Index*), щоб впевнитися в адекватності.

Методичне обґрунтування вибору саме цих критеріїв полягає в тому, що вони охоплюють усі ключові аспекти переходу: від наявності політичної волі та інституцій (що є *передумовою*), через ресурси і технології (*рушії*), до безпосередніх результатів у вигляді зменшення викидів і збільшення чистої енергії (*наслідки трансформації*). Така структура узгоджується з підходами провідних організацій. Зокрема, Міжнародне енергетичне агентство (IEA) та OECD наголошують, що успішний енергоперехід потребує «effectiveness of governance, investment attraction, innovation, energy efficiency improvements and emissions reduction» – фактично тих самих п'яти елементів, зведених у нашій моделі до чотирьох (ми інтегрували інвестиції з інноваціями) [39]. В Індексі енергетичної трилемми WEC теж простежується близька тріада: енергобезпека (частково відображає інституційну зрілість управління ресурсами), енергоефективність/інфраструктура, екологічна сталість [30]. Наш підхід розширює ці рамки, додаючи оцінку власне *динаміки інвестицій та інновацій*. Це важливо для України, де технологічне оновлення і приплив капіталу є визначальними для прискорення «зеленого» переходу.

На основі наведеної методики розрахуємо *інтегральний індекс інтенсифікації трансформації* для України, використовуючи доступні дані 2020–2021 років. Як оціночні індикатори візьмемо: *інституційна готовність* – індекс виконання «зелених» політик (умовно 0,7 із 1, враховуючи наявність базових стратегій, але затримки в імплементації реформ); *інвестиційно-інноваційна спроможність* – відносний рівень інвестицій у ВДЕ (поставимо 0,6, зважаючи на високі темпи 2018–2019 рр., що змінились спадом у 2021, та середню позицію в *Climatescope*); *енергоефективність* – наближено 0,3 (Україна значно відстає від передових країн, потенціал економії великий); *декарбонізація* – 0,5 (помірний прогрес: значне скорочення викидів з 1990-х, але низька частка ВДЕ та залежність від викопного палива нині). Припустивши рівні ваги, отримуємо інтегральну оцінку близько 0,5–0,55 (або 50–55% від умовно досяжного рівня).

Для наочності представимо профіль України за чотирма складовими на *радар-діаграмі* (рис. 2.).

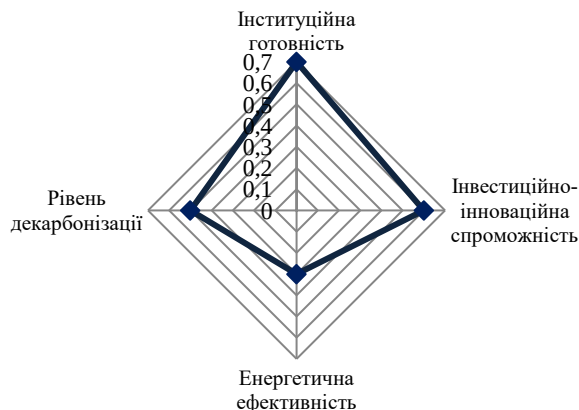


Рисунок 2. Радар-діаграма рівнів інтенсивності трансформації за ключовими критеріями зеленої енергетики в Україні

Джерело: складено автором.

Орієнтовний «профіль» України за критеріями інтенсивності зеленої трансформації (0 = найгірше, 1 = найкраща практика). Радар-діаграма побудована на основі даних про політику, інвестиції, енергоємність та декарбонізацію України.

Як видно з діаграми, найслабше «ребро» – енергоефективність (низький показник в центрі ліворуч), що підтверджує необхідність спрямувати додаткові зусилля на заходи ЕЕ (модернізацію будівель, обладнання, мереж). Депо краща ситуація з декарбонізацією – в основному завдяки атомній енергетиці та падінню споживання, але для прогресу далі потрібне масоване впровадження ВДЕ. Інституційна готовність оцінена відносно високо: Україна заклала фундамент політик (законодавство про ВДЕ діє з 2009, про ЕЕ – оновлено у 2021, є національні плани), інтегрувалась у європейські енергетичні ринки (об'єднання з ENTSO-E у 2022 р., участь у Європейській зеленій угоді) тощо. Інвестиційно-інноваційна спроможність – середня: хоча притік капіталу в ВДЕ до 2020 р. був значним, подальші інвестиції стримуються регуляторною невизначеністю і воєнними ризиками; рівень локалізації технологій поки невисокий (основне обладнання імпортується), але потенціал для інновацій є (наприклад, проекти з водневої енергетики у співпраці з ЄС, пілотні станції з накопичувачами).

Отриманий інтегральний індекс 0,5 свідчить, що інтенсивність «зеленої» трансформації України зараз можна оцінити як помірну, із тенденцією до зростання. Для порівняння, лідери переходу (країни ЄС чи, скажімо, Канада) умовно мали б індекс ближче до 0,8–0,9, а країни, що майже не розпочали зелений перехід – нижче 0,3. Тобто Україна перебуває посередині: зроблено важливі кроки, але темпи слід нарощувати. Це узгоджується з незалежними рей-

тингами: наприклад, WEF Energy Transition Index відзначає Україну в числі країн, що істотно покращили готовність до енергопереходу за останні роки (зменшення імпортозалежності, розвиток ВДЕ), але все ще зі значним відставанням від європейських показників.

Висновки. Запропонований підхід відповідає загальній логіці моніторингу, прийнятій у ЄС, але адаптований до українських реалій. У Євросоюзі кожна держава подає Національний план з енергетики та клімату (НПЕК), де визначає цілі щодо частки ВДЕ, скорочення викидів і підвищення енергоефективності. Виконання НПЕКів відстежується Єврокомісією через регулярні звіти, і фактично формується *матриця показників* (наприклад, прогрес країни X за ВДЕ, за ЕЕ, за викидами тощо). Таким чином, набір критеріїв нашої моделі корелює з основними цілями ЄС: *ВДЕ, ЕЕ, декарбонізація*, а компонент «інституційна готовність/інвестиції» відображає *належне врядування та фінансування*, на чому наголошує ЄС (принципи Just Transition, механізми підтримки інновацій, фонди модернізації). Багаторівневий аспект теж притаманний Європі: існують регіональні ініціативи (наприклад, *Coal Regions in Transition* – програма підтримки вугільних регіонів у переході, що релевантно для Донбасу), міські програми (Covenant of Mayors), та секторальні дорожні карти (скажімо, Стратегія декарбонізації сталеливарної промисловості). Усі вони можуть бути «вписані» в нашу модель на відповідних рівнях, що робить її сумісною з європейськими практиками.

Практичне застосування моделі – це створення системи моніторингу зеленого переходу України. Інтегральний індекс і супутня матриця показників можуть лягти в основу щорічного доповіді про прогрес енергетичного переходу. Такий звіт міг би презентувати як *зведений індекс*, так і детальні бали за кожним критерієм та рівнем, із порівнянням по роках. Це допоможе повідомити про прогрес суспільству і міжнародним партнерам. Більше того, індекс можна адаптувати для внутрішньої регіональної політики: обчислити окремо для областей (в цьому разі рівні змістяться: національний рівень – це показник України в цілому, регіональний – показник конкретної області, підприємницький – окремі під-

приємства регіону). Можна сформувати *рейтинг областей* за індексом інтенсифікації зеленої трансформації, що стимулюватиме конкуренцію та обмін кращими практиками між регіонами.

Насамкінець, важливо зазначити, що будь-який інтегральний показник певною мірою спрощує реальність. Тому його варто використовувати разом з детальним аналізом складових. Наприклад, якщо загальний бал не зріс за рік, необхідно бачити, який саме критерій «просів» – можливо, було зменшення інвестицій через об'єктивні причини, чи погіршення інституційної складової. Втім, комплексна оцінка інтенсифікації розвитку зеленої енергетики за запропонованою моделлю є корисним інструментом стратегічного планування. Вона дозволяє чітко визначати пріоритети: так, нинішні дані підказують, що Україні слід найперше зосередитись на підвищенні енергоефективності (де відставання найбільше) та на залученні інвестицій в відновлювану енергетику (що потребує покращення умов – прозорих аукціонів, гарантій, післявоєнних страхових механізмів). Одночасно треба підтримувати досягнутий рівень інституційної готовності (не згорати реформи, виконувати зобов'язання перед ЄС) і нарощувати *темпи* декарбонізації в усіх секторах, аби до 2030 р. наблизитися до європейських показників (частка ВДЕ в електроенергетиці 25%, викиди – мінус 65% [37], скорочення енергоємності економіки щонайменше на 50%). Така інтегрована і орієнтована на дані оцінка слугуватиме дороговказом для реалізації «зеленої» трансформації України на шляху до стійкого та енергонезалежного майбутнього.

Проведене дослідження дозволило сформувати методичну основу для кількісної оцінки інтенсифікації трансформацій у сфері зеленої енергетики шляхом розробки багаторівневої індикаторної моделі з інтегральним індексом. Такий підхід забезпечує цілісне бачення динаміки змін на різних рівнях управління. Подальше дослідження зосереджується на аналізі інституційного та нормативно-правового забезпечення зеленої енергетики в міжнародному та національному контекстах, як ключового чинника реалізації сталих енергетичних перетворень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Meadows, D. H., et al. *Limits to Growth: The 30-Year Update*. Chelsea Green, 2004. <https://doi.org/10.1002/sres.609>
2. Rifkin J. *The Green New Deal: Why the Fossil Fuel Civilization Will Collapse by 2028, and the Bold Economic Plan to Save Life on Earth*. St. Martin's Press, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-41008-0>
3. Stiglitz J. E. *Wanted: A Global Green New Deal*. Project Syndicate, 2019. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3374825>
4. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. Cologny (Switzerland): World Economic Forum, 2016. 184 с. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-38827-8>
5. Gillingham K., Newell R.G., Palmer K., et al. Energy Efficiency Economics and Policy. *Annual Review of Resource Economics*. 2009. No. 1. P. 597-620. <https://doi.org/10.1146/annurev.resource.102308.124234>
6. Geddes A. Why Do Countries Intervene in the Renewable Energy Sector? A Case of Normative Divergence. *Renewable Energy Law: An International Assessment*. Cambridge University Press, 2016. P. 63-164. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107478028.006>
7. Meckling J., Goedeke N. Coalition cascades: The politics of tipping points in clean energy transitions. *Policy Studies Journal*. 2023. Vol. 51. Iss. 4. P. 715-739. <https://doi.org/10.1111/psj.12507>
8. Newell P., Paterson M. *Climate capitalism: Global warming and the transformation of the global economy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

9. Liu H., Clausen L. R., Wang L., Chen, M. (2023). Pathway toward cost-effective green hydrogen production by solid oxide electrolyzer. *Energy and Environmental Science*. Vol. 16. P. 2090–2111. <https://doi.org/10.1039/d3ee00232b>
10. Войтко С., Гайдучий І. Енергетичні кризи та енергомисткість як складова міжнародного співробітництва. *Міжнародне науково-технічне співробітництво: принципи, механізми, ефективність*, 2023. С. 76-77.
11. Домбровська Т. М. Конвергенція глобальної енергетичної безпеки: принципи і стратегічні пріоритети. *Управління змінами та інновації*. 2023. № 7. С. 96-102. <https://doi.org/10.31520/2616-6218.7.2023.96-102>
12. Cozzi L., T. Gül, T. Spencer P. Levi, Clean energy is boosting economic growth. IEA. 2024, 18 April. URL: <https://www.iea.org/commentaries/clean-energy-is-boosting-economic-growth>
13. Energy. OECD Green Growth Studies. OECD Publishing, 2012. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264115118-en>
14. Основні засади впровадження моделі «зеленої» економіки в Україні : навч. посіб. / Т.П. Галушкіна, Л.А. Мусіна, В.Г. Потапенко та ін. ; за наук. ред. Т.П. Галушкіної. Київ: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 154 с.
15. Clean energy accounted for 10% of global GDP growth in 2023. IEA. URL: <https://www.iea.org/commentaries/clean-energy-is-boosting-economic-growth>
16. Electricity. IEA. URL: <https://www.iea.org/energy-system/electricity>
17. REN21 Report shows renewables' progress limited to power sector. *Slovakat*. 2020, June 16. URL: <https://slovakat.net/ren21-renewables-2020-gsr/#:~:text=,Policies%20are%20needed>
18. Renewables 2024 global status report. Renewable energy in energy supply. REN21. 2024. URL: https://www.ren21.net/gsr-2024/modules/energy_supply/01_global_trends/#:~:text=RENEWABLE%20ENERGY%20IN%20ENERGY%20SUPPLY,to%20reach%20almost%201
19. Rangelova K., Jones D. Why does 'tripling renewables' mean building at least 1,500 GW per year by 2030? *EMBER*. 2023, 17 Nov. URL: <https://ember-energy.org/latest-insights/why-does-tripling-renewables-mean-building-at-least-1500-gw-per-year-by-2030/#:~:text=...%20ember,in%202030%3B%20IEA%20NZE>
20. Renewables 2023 global status report. A comprehensive annual overview of the state of renewable energy. REN21. 2023. URL: <https://www.ren21.net/gsr-2023/>
21. This is how much the global clean energy investments rose by. *World Economic Forum*. 2020. URL: <https://www.weforum.org/stories/2020/06/global-clean-energy-investment-research/#:~:text=,from%202018>
22. Basic Energy Access Lags Amid Renewable Opportunities. New Report Shows. *World Bank Group*. 2023. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/06/06/basic-energy-access-lags-amid-renewable-opportunities-new-report-shows#:~:text=,3>
23. World Energy & Climate Statistics. Global CO2 intensity is contracting slowly (-1.5% in 2023), even slower than in 2020. *Yearbook*. 2024. URL: <https://yearbook.enerdata.net/co2/world-CO2-intensity.html>
24. Міненерго: частка ВДЕ в Україні у 2021 році сягне планових показників 2030 року. *Українська енергетика*. 2021, 20 квіт. URL: <https://surl.li/wumcza>
25. Частка «зеленої» енергетики в Україні за рік зросла вдвічі. *Українська енергетика*. 2021, 15 квіт. URL: <https://surl.li/whoxgy>
26. Results of Ukrainian renewable energy market in 2019. *Getmarket*. 2020, 8 Jan. URL: <https://getmarket.com.ua/en/news/results-of-ukrainian-renewable-energy-market-in-2019/#:~:text=Results%20of%20Ukrainian%20renewable%20energy,7%20billion>
27. Інформація про врахування зауважень та пропозицій громадян і організацій до проекту розпорядження Кабінету Міністрів України «Про Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року». *Держенерго-ефективності України*. URL: <https://surl.li/qajqbj>
28. Kozakevich O. Why Ukraine's once thriving renewable energy sector could be at dire risk of failure. *Factor This*. 2020, 30 Apr. URL: <https://www.renewableenergyworld.com/solar/why-ukraines-once-thriving-renewable-energy-sector-could-be-at-dire-risk-of-failure/>
29. Конеченков А. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни / за ред. В. Омельченка. *Розумков центр*. 2022, 11 листоп. 2022 URL: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny/#:~:text=%D0%B2%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%20razumkov>
30. Ukraine's Green Fightback: Rising from the Ashes with Renewable Energy. *Electricity Today T&D Magazine*. URL: <https://www.electricity-today.com/news/renewable-energy-news/ukraines-green-fightback#:~:text=built%20in%20a%20conflict%20zone%2C,supplying%20clean%20energy%20to%20thousands>
31. Звіт про результати стимулювання та використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел, в Україні за 2019-2020 рр. URL: <https://surl.li/pvixhp>
32. Regulatory Indicators for Sustainable Energy. URL: <https://rise.esmap.org/>
33. Ukraine's share of green energy is projected to grow by nearly 100% by 2040. URL: <https://ubn.news/ukraines-share-of-green-energy-is-projected-to-grow-by-nearly-100-by-2040/#:~:text=Balint%20Silhavy%2C%20a%20senior%20expert,with%20potential%20for%20further%20growth>
34. Meadows D.H. et al. The Limits to Growth. – New York: Universe Books, 1972. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14925.79841>
35. Sachs J. D. The Age of Sustainable Development. Columbia University Press, New York, 2015. URL: <https://doi.org/10.7312/sach17314>
36. Jackson T. *Prosperity without Growth*. 2011, 9 Jan. <https://doi.org/10.4324/9781315764028>
37. With a cumulative score of 1.74, Ukraine ranks number 21 among emerging markets and number 48 in the global ranking. *Climatescope*. URL: <https://2021.global-climatescope.org/markets/ua/>
38. Ukraine energy profile Market design. IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/ukraine-energy-profile/market-design>
39. Trypolska G., Kryvda O., Kurbatova T., Andrushchenko O., Suleymanov Ch., Brydun Ye. Impact of New Renewable Electricity Generating Capacities on Employment in Ukraine in 2021-2030. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2021. Vol. 11. Iss. 6. P. 98-105. <https://doi.org/10.32479/ijeep.11635>
40. Ukraine energy profile Market design. IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/ukraine-energy-profile/market-design>
41. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Ukraine Energy Profile. URL: <https://surl.li/vamqcg>

42. Keeping renewables clean: the lessons to be learnt from Ukraine's green energy transition. *Weforum*. 2024. URL: <https://www.weforum.org/stories/2024/12/renewables-ukraine-green-energy-transition/#:~:text=At%20DTEK%2C%20Ukraine%E2%80%99s%20largest%20private,its%20size%20to%20500%20MW>
43. OECD Energy Investment Policy Review of Ukraine. OECD Publishing, Paris. 2021. <https://doi.org/10.1787/6e6e58c6-en>
44. Facts & Figures. *Енергетичне Партнерство*. URL: <https://energypartnership-ukraine.org/facts-figures/#:~:text=Ukraine%20Facts%20%26%20Figures%20>
45. Investment opportunity of energy sector. *Ukraineinvest*. URL: <https://ukraineinvest.gov.ua/wp-content/uploads/2024/11/energy-sector-of-ukraine2-1.pdf#:~:text=,3>
46. World Energy Trilemma Index 2021. *World Energy Council*. 2021. URL: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-index-2021>
47. Energy Efficiency 2022 Report. *IEA*. 2022. <https://doi.org/10.1787/27649533-en>

Надійшла до редакції 28.08.2025 р.

Прийнята до друку 15.09.2025 р.

REFERENCES

1. Meadows, D. H., et al. (2004). *Limits to Growth: The 30-Year Update*. Chelsea Green. <https://doi.org/10.1002/sres.609>
2. Rifkin, J. (2019). *The Green New Deal: Why the Fossil Fuel Civilization Will Collapse by 2028, and the Bold Economic Plan to Save Life on Earth*. St. Martin's Press. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-41008-0>
3. Stiglitz, J. E. (2019). *Wanted: A Global Green New Deal*. Project Syndicate. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3374825>
4. Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-38827-8>
5. Gillingham, K., Newell, R. G., Palmer, K., et al. (2009). Energy Efficiency Economics and Policy. *Annual Review of Resource Economics*, 1, 597–620. <https://doi.org/10.1146/annurev.resource.102308.124234>
6. Geddes, A. (2016). Why Do Countries Intervene in the Renewable Energy Sector? A Case of Normative Divergence. In *Renewable Energy Law: An International Assessment* (pp. 63–164). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107478028.006>
7. Meckling, J., & Goedeking, N. (2023). Coalition cascades: The politics of tipping points in clean energy transitions. *Policy Studies Journal*, 51(4), 715–739. <https://doi.org/10.1111/psj.12507>
8. Newell, P., & Paterson, M. (2010). *Climate capitalism: Global warming and the transformation of the global economy*. Cambridge University Press.
9. Liu, H., Clausen, L. R., Wang, L., & Chen, M. (2023). Pathway toward cost-effective green hydrogen production by solid oxide electrolyzer. *Energy and Environmental Science*, 16, 2090–2111. <https://doi.org/10.1039/d3ee00232b>
10. Voytko, S., & Haydutskiy, I. (2023). Energy crises and energy intensity as a component of international cooperation. *Mizhnarodne naukovo-tekhniche spivrobitnytstvo: pryntsyipy, mekhanizmy, efektyvnist*, 76–77. [in Ukrainian].
11. Dombrovska, T. M. (2023). Convergence of global energy security: Principles and strategic priorities. *Upravlinnya zminamy ta innovatsiyi*, 7, 96–102. <https://doi.org/10.31520/2616-6218.7.2023.96-102> [in Ukrainian].
12. Cozzi, L., Gül, T., Spencer, T., & Levi, P. (2024, April 18). Clean energy is boosting economic growth. *IEA*. <https://www.iea.org/commentaries/clean-energy-is-boosting-economic-growth>
13. OECD Publishing. (2012). *Energy*. OECD Green Growth Studies. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264115118-en>
14. Halushkina, T. P., Musina, L. A., Potapenko, V. H., et al. (2017). Fundamental principles for the implementation of a "green" economy model in Ukraine. *Instytut ekolohichnoho upravlinnya ta zbalansovanoho pryrodo-korystuvannya*. [in Ukrainian].
15. IEA. (n.d.). Clean energy accounted for 10% of global GDP growth in 2023. Retrieved September 23, 2025, from <https://www.iea.org/commentaries/clean-energy-is-boosting-economic-growth>
16. IEA. (n.d.). Electricity. Retrieved September 23, 2025, from <https://www.iea.org/energy-system/electricity>
17. Slokat. (2020, June 16). REN21 Report shows renewables' progress limited to power sector. <https://slocat.net/ren21-renewables-2020-gsr/#:~:text=Policies%20are%20needed>
18. REN21. (2024). *Renewables 2024 global status report*. Renewable energy in energy supply. https://www.ren21.net/gsr-2024/modules/energy_supply/01_global_trends/#:~:text=RENEWABLE%20ENERGY%20IN%20ENERGY%20SUPPLY,to%20reach%20almost%201
19. Rangelova, K., & Jones, D. (2023, November 17). Why does 'tripling renewables' mean building at least 1,500 GW per year by 2030? *EMBER*. <https://ember-energy.org/latest-insights/why-does-tripling-renewables-mean-building-at-least-1500-gw-per-year-by-2030/#:~:text=...%20ember,in%202030%3B%20IEA%20NZE>
20. REN21. (2023). *Renewables 2023 global status report*. A comprehensive annual overview of the state of renewable energy. <https://www.ren21.net/gsr-2023/>
21. World Economic Forum. (2020). This is how much the global clean energy investments rose by. <https://www.weforum.org/stories/2020/06/global-clean-energy-investment-research/#:~:text=,from%202018>
22. World Bank Group. (2023, June 6). *Basic Energy Access Lags Amid Renewable Opportunities*. New Report Shows. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/06/06/basic-energy-access-lags-amid-renewable-opportunities-new-report-shows#:~:text=,3>
23. Yearbook. (2024). *World Energy & Climate Statistics*. Global CO2 intensity is contracting slowly (-1.5% in 2023), even slower than in 2020. <https://yearbook.enerdata.net/co2/world-CO2-intensity.html>
24. Minenerho. (2021, April 20). Ministry of Energy: The share of renewables in Ukraine in 2021 will reach the planned targets for 2030. *Ukrayins'ka enerhetyka*. <https://surl.li/wumcza> [in Ukrainian]
25. Ukrayins'ka enerhetyka. (2021, April 15). The share of "green" energy in Ukraine has doubled in a year. <https://surl.li/whoxgy> [in Ukrainian].
26. Getmarket. (2020, January 8). Results of Ukrainian renewable energy market in 2019. <https://getmarket.com.ua/en/news/results-of-ukrainian-renewable-energy-market-in-2019/#:~:text=Results%20of%20Ukrainian%20renewable%20energy,7%20billion>
27. Derzhenerhoefektyvnosti Ukrayiny. (n.d.). Information on the consideration of comments and proposals from citizens and organizations on the draft order of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On the National Action Plan for the Development of Renewable Energy for the period until 2030". <https://surl.li/qajqbj> [in Ukrainian].

28. Kozakevich, O. (2020, April 30). Why Ukraine's once thriving renewable energy sector could be at dire risk of failure. *Factor This*. <https://www.renewableenergyworld.com/solar/why-ukraines-once-thriving-renewable-energy-sector-could-be-at-dire-risk-of-failure/>
29. Konechenkov, A. (2022, November 11). The renewable energy sector of Ukraine before, during and after the war. Rozumkov tsentr. <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny#:~:text=%D0%B2%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%20razumkov> [in Ukrainian]
30. Ukraine's Green Fightback: Rising from the Ashes with Renewable Energy. (n.d.). Electricity Today T&D Magazine. <https://www.electricity-today.com/news/renewable-energy-news/ukraines-green-fightback#:~:text=built%20in%20a%20conflict%20zone%2C,supplying%20clean%20energy%20to%20thousands>
31. Derzhenerhoefektyvnosti Ukrayiny. (n.d.). Report on the results of stimulating and using energy produced from renewable sources in Ukraine for 2019-2020. <https://surl.li/pvixhp> [in Ukrainian].
32. RISE. (n.d.). Regulatory Indicators for Sustainable Energy. Retrieved September 23, 2025, from <https://rise.esmap.org/>
33. UBN. (n.d.). Ukraine's share of green energy is projected to grow by nearly 100% by 2040. <https://ubn.news/ukraines-share-of-green-energy-is-projected-to-grow-by-nearly-100-by-2040/#:~:text=Balint%20Silhavy%2C%20a%20senior%20expert,with%20potential%20for%20further%20growth>
34. Meadows, D. H. (1972). *The Limits to Growth*. Universe Books. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14925.79841>
35. Sachs, J. D. (2015). *The Age of Sustainable Development*. Columbia University Press. <https://doi.org/10.7312/sach17314>
36. Jackson, T. (2011, January 9). *Prosperity without Growth*. <https://doi.org/10.4324/9781315764028>
37. Climatescope. (n.d.). With a cumulative score of 1.74, Ukraine ranks number 21 among emerging markets and number 48 in the global ranking. <https://2021.global-climatescope.org/markets/ua/>
38. IEA. (n.d.). Ukraine energy profile Market design. <https://www.iea.org/reports/ukraine-energy-profile/market-design>
39. Trypolska, G., Kryvda, O., Kurbatova, T., Andrushchenko, O., Suleymanov, Ch., & Brydun, Ye. (2021). Impact of New Renewable Electricity Generating Capacities on Employment in Ukraine in 2021-2030. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(6), 98–105. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.11635>
40. IEA. (n.d.). Ukraine energy profile Market design. <https://www.iea.org/reports/ukraine-energy-profile/market-design>
41. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (n.d.). Ukraine Energy Profile. <https://surl.li/vamqcg>
42. Weforum. (2024). Keeping renewables clean: the lessons to be learnt from Ukraine's green energy transition. <https://www.weforum.org/stories/2024/12/renewables-ukraine-green-energy-transition/#:~:text=At%20DTEK%2C%20Ukraine%E2%80%99s%20largest%20private,its%20size%20to%205000%20MW>
43. OECD Publishing. (2021). *OECD Energy Investment Policy Review of Ukraine*. <https://doi.org/10.1787/6e6e58c6-en>
44. Enerhetychne Partnerstvo. (n.d.). Facts & Figures. <https://energypartnership-ukraine.org/facts-figures/#:~:text=Ukraine%20Facts%20%26%20Figures%20>
45. Ukraineinvest. (n.d.). Investment opportunity of energy sector. <https://ukraineinvest.gov.ua/wp-content/uploads/2024/11/en-energy-sector-of-ukraine2-1.pdf#:~:text=,3>
46. World Energy Council. (2021). *World Energy Trilemma Index 2021*. <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-index-2021>
47. IEA. (2022). *Energy Efficiency 2022 Report*. <https://doi.org/10.1787/27649533-en>

Received: 28.08.2025

Accepted: 15.09.2025

Дармограй Д. В. Інтенсифікація розвитку зеленої енергетики як чинник економічної трансформації та сталого зростання: концептуальні та методологічні основи оцінювання.

У статті проаналізовано теоретико-методологічні основи та сучасні підходи до оцінки інтенсифікації розвитку зеленої енергетики в контексті сталого економічного розвитку. Обґрунтовано багаторівневу модель оцінювання процесів трансформації енергетичного сектору з виділенням інституційного, інвестиційно-інноваційного, енергоефективного та декарбонізаційного критеріїв. Показано взаємозв'язок рівнів оцінки (національного, регіонального, галузевого, підприємницького) та запропоновано інтегральний індекс інтенсивності трансформації як інструмент моніторингу.

Ключові слова: зелена енергетика, сталій розвиток, енергетична трансформація, інтенсифікація розвитку, відновлювані джерела енергії, енергоефективність, декарбонізація.

Darmohrai D. V. Intensification of green energy development as a driver of economic transformation and sustainable growth: conceptual and methodological foundations for assessment.

The article analyzes the theoretical and methodological foundations as well as modern approaches to assessing the intensification of green energy development in the context of ensuring economic transformation and sustainable growth. It systematizes conceptual approaches to defining the economic nature of the processes of intensification of the energy sector's development under climate challenges and the global transition to a low-carbon economy. A multi-level model for assessing energy transformation processes is substantiated, providing evaluation based on four key criteria: institutional readiness, investment and innovation capacity, energy efficiency, and the level of decarbonization. The study identifies the features of evaluation at the national, regional, sectoral, and enterprise levels, and highlights their interconnection through mechanisms of policy formation, project implementation, and results monitoring. An integral index of transformation intensity is proposed as a tool for comprehensive monitoring of progress towards climate neutrality and enhancing the resilience of the economy. The paper offers recommendations for the practical application of the developed model for strategic planning and assessing the effectiveness of green transition policies in Ukraine, particularly in the context of post-crisis recovery. The main barriers and opportunities for accelerating energy transformation are defined, and the importance of synergy between state regulation, market mechanisms, and technological innovations in achieving decarbonization goals is emphasized. The results of the study can be used for the development of national and regional renewable energy development programs, the creation of energy transition management mechanisms, and the monitoring of progress towards sustainable development goals, as well as for advancing the scientific foundations of managing green transformation in Ukraine.

Keywords: green energy, sustainable development, energy transformation, development intensification, renewable energy sources, energy efficiency, decarbonization.