

УДК 330.303.4:338.2

Житкевич Олена Валеріївна*кандидат економічних наук, докторант
Київський національний економічний
університет імені Вадима Гетьмана
ORCID: 0000-0003-2042-8795***Тасенко Денис Віталійович***студент
Київського національного економічного
університету імені Вадима Гетьмана
ORCID: 0009-0000-8370-7172*<https://doi.org/10.25313/3083-7782-2026-6-34>

ОСНОВИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗВИТКУ КРАЇН ТА ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ

Анотація. Вступ. Енергетика є базовою умовою функціонування економіки, тому стан енергетичної системи безпосередньо впливає на можливості економічного зростання країни. Водночас енергетичний розвиток визначається не лише обсягами виробництва чи споживання енергії, а й структурою енергоспоживання, рівнем енергоефективності, розвитком відновлюваних джерел енергії та вуглецевою інтенсивністю економіки. Залежність від вугілля, нафти й газу спричиняє зростання викидів парникових газів, тому країни активно впроваджують відновлювані джерела енергії та реалізують політику декарбонізації. Проте темпи й особливості такого переходу суттєво відрізняються залежно від рівня економічного розвитку, ресурсного забезпечення, інвестиційних можливостей і державної політики. Аналіз розвитку відновлюваної енергетики у взаємозв'язку з показниками енергоспоживання та вуглецевої інтенсивності дає змогу виявити групи країн зі схожими енергетичними профілями. Тому застосування методів багатовимірного аналізу, зокрема кластеризації, є доцільним для порівняння країн і формування рекомендацій щодо розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Мета. Метою цієї роботи є розкриття теоретичних основ енергетичного розвитку, його роль в економіці країни та зв'язок з екологізацією економічного розвитку, а також охарактеризувати сутність вуглецевої інтенсивності та значення відновлюваної енергетики у переході до низьковуглецевої моделі розвитку країн.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) міжнародні та національні політичні документи з питань енергетичного переходу, декарбонізації, розвитку відновлюваної енергетики та сталого розвитку; 2) статистичні та аналітичні звіти міжнародних організацій щодо споживання енергії, відновлюваної енергетики, вуглецемісткості та енергоефективності; 3) наукові публікації вітчизняних та зарубіжних дослідників, присвячені розвитку енергетики, низьковуглецевому переходу, відновлюваній енергетиці, вуглецемісткості та багатовимірному аналізу енергетичних систем країн.

У процесі дослідження було використано такі наукові методи: теоретичного узагальнення та систематизації (для узагальнення концептуальних підходів до розвитку енергетики, відновлюваної енергетики, енергоефективності, вуглецемісткості та декарбонізації національних економік); аналізу та синтезу (для виявлення взаємозв'язків між економічним зростанням, розвитком енергетики, екологічною стійкістю та переходом до низьковуглецевої економіки, а також для розробки концептуальної моделі потенціалу декарбонізації); формалізації (для представлення потенціалу декарбонізації як багатовимірної функції, що інтегрує економічні, технологічні, енергетичні, інституційні та фактори сталого розвитку); логічного узагальнення (для формулювання теоретичних висновків та обґрунтування методологічної бази).



Copyright © The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms
of the Creative Commons Attribution License 4.0
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Результати. У статті розкрито теоретичні основи енергетичного розвитку країн та його роль у забезпеченні економічного зростання, підвищенні конкурентоспроможності та формуванні передумов сталого розвитку. Обґрунтовано взаємозв'язок між розвитком енергетичних систем, підвищенням енергоефективності, декарбонізацією економіки та екологізацією господарської діяльності. Розглянуто сутність енергетичного переходу, значення відновлюваних джерел енергії, вуглецевої інтенсивності та екологізації економіки як взаємопов'язаних складових сучасної моделі низьковуглецевого розвитку. Показано, що ефективний енергетичний розвиток має поєднувати економічну результативність, технологічну модернізацію, енергетичну безпеку та екологічну відповідальність. Обґрунтовано доцільність комплексного врахування економічних, енергетичних та екологічних характеристик під час дослідження особливостей розвитку країн світу.

Перспективи. Подальші дослідження мають бути зосереджені на емпіричній оцінці потенціалу декарбонізації країн з використанням багатовимірних статистичних методів, включаючи алгоритми кластеризації. Особливу увагу слід приділити вибору та валідації показників, порівнянню методів кластеризації та інтерпретації визначених груп країн (центрів декарбонізації). Такі дослідження сприятимуть удосконаленню методологічних підходів до оцінки розвитку енергетики та потенціалу декарбонізації, а також нададуть практичні рекомендації щодо розробки диференційованої енергетичної та кліматичної політики, спрямованої на прискорення переходу до низьковуглецевого та сталого економічного розвитку.

Ключові слова: декарбонізація, екологічні екстерналії, стале фінансування, кластеризація, машинне навчання, кліматичне врядування.

Постановка проблеми. Енергетика є базовою умовою функціонування економіки, тому стан енергетичної системи безпосередньо впливає на можливості економічного зростання країни. Водночас енергетичний розвиток визначається не лише обсягами виробництва чи споживання енергії, а й структурою енергоспоживання, рівнем енергоефективності, розвитком відновлюваних джерел енергії та вуглецевою інтенсивністю економіки.

Залежність від вугілля, нафти й газу спричиняє зростання викидів парникових газів, тому країни активно впроваджують відновлювані джерела енергії та реалізують політику декарбонізації. Проте темпи й особливості такого переходу суттєво відрізняються залежно від рівня економічного розвитку, ресурсного забезпечення, інвестиційних можливостей і державної політики.

Аналіз розвитку відновлюваної енергетики у взаємозв'язку з показниками енергоспоживання та вуглецевої інтенсивності дає змогу виявити групи країн зі схожими енергетичними профілями. Тому застосування методів багатовимірного аналізу, зокрема кластеризації, є доцільним для порівняння країн і формування рекомендацій щодо розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання енергетичного розвитку, відновлюваної енергетики, декарбонізації та вуглецевої інтенсивності економіки широко висвітлюються у працях українських і зарубіжних науковців. Дослідження українських учених переважно присвячені розвитку відновлюваної енергетики та її ролі в трансформації енергетичного сектору. Зокрема, А. Холод обґрунтовує значення альтернативної енергетики для формування екологічної енергетичної системи [1], І. Андрійчук, П. Наритник та У. Витвицька аналізують інноваційні, інвестиційні та управлінські чинники розвитку відновлюваної енергетики України [2], а В. Пшибельський розглядає її як чинник становлення зеленої економіки та модернізації енергетичного сектору відповідно до європейських підходів сталого розвитку [3].

Зарубіжні дослідження зосереджені на аналізі енергетичного переходу, застосуванні сучасних методів аналізу та оцінюванні низьковуглецевого розвитку. В. Дуго, Д. Гальвес-Руїс та П. Діас-Кувас використовують часовий кластерний аналіз для оцінювання сталого енергетичного розвитку європейських країн [4], тоді як А. Alotaifi та співавтори, а також К. Ukoba, О. Onisuru та Т.-С. Jen обґрунтовують застосування методів машинного навчання і кластеризації для аналізу моделей низьковуглецевого переходу та розвитку відновлюваної енергетики [5; 8]. К. Peng та співавтори розглядають низьковуглецевий перехід як багатовимірний процес із соціально-економічними та екологічними наслідками [9], а у звітах IRENA та Міжнародного енергетичного агентства енергетичний перехід трактується як системна трансформація, що охоплює розвиток відновлюваної генерації, електрифікацію, підвищення енергоефективності, модернізацію інфраструктури та скорочення викидів [6; 7].

Практичним орієнтиром для України є Національний план дій з відновлюваної енергетики до 2030 року, який визначає розвиток ВДЕ одним із пріоритетних напрямів державної енергетичної політики [10].

Незважаючи на значну кількість наукових праць, недостатньо дослідженим залишається комплексне міжкраїнове порівняння енергетичного розвитку за сукупністю економічних, енергетичних і екологічних показників. Більшість досліджень зосереджується на окремих аспектах розвитку відновлюваної енергетики, низьковуглецевого переходу або енергетичної політики окремих країн. Водночас потребує подальшого вивчення групування країн за подібністю їхніх енергетичних профілів з урахуванням рівня економічного розвитку, структури електроенергетики, частки ВДЕ, енергоємності та вуглецевої інтенсивності економі-

ки. Це зумовлює необхідність узагальнення сучасних теоретичних підходів до розуміння енергетичного розвитку, його взаємозв'язку з економічним зростанням та екологізацією економіки.

Метою статті є розкриття теоретичних основ енергетичного розвитку, його роль в економіці країни та зв'язок з екологізацією економічного розвитку, а також охарактеризувати сутність вуглецевої інтенсивності та значення відновлюваної енергетики у переході до низьковуглецевої моделі розвитку країн.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) міжнародні та національні політичні документи з питань енергетичного переходу, декарбонізації, розвитку відновлюваної енергетики та сталого розвитку; 2) статистичні та аналітичні звіти міжнародних організацій щодо споживання енергії, відновлюваної енергетики, вуглецемісткості та енергоефективності; 3) наукові публікації вітчизняних та зарубіжних дослідників, присвячені розвитку енергетики, низьковуглецевому переходу, відновлюваній енергетиці, вуглецемісткості та багатовимірному аналізу енергетичних систем країн.

У процесі дослідження було використано такі наукові методи: теоретичного узагальнення та систематизації (для узагальнення концептуальних підходів до розвитку енергетики, відновлюваної енергетики, енергоефективності, вуглецемісткості та декарбонізації національних економік); аналізу та синтезу (для виявлення взаємозв'язків між економічним зростанням, розвитком енергетики, екологічною стійкістю та переходом до низьковуглецевої економіки, а також для розробки концептуальної моделі потенціалу декарбонізації); формалізації (для представлення потенціалу декарбонізації як багатовимірної функції, що інтегрує економічні, технологічні, енергетичні, інституційні та фактори сталого розвитку); логічного узагальнення (для формулювання теоретичних висновків та обґрунтування методологічної бази).

Виклад основного матеріалу. Енергетичний розвиток країни є одним із ключових напрямів соціально-економічного розвитку, оскільки забезпечує функціонування всіх сфер господарства та визначає стабільність економіки, її виробничий потенціал і можливості довгострокового зростання [11]. У сучасних дослідженнях його розглядають не лише через виробництво чи споживання енергії, а й через доступність, надійність та ефективність енергетичних послуг, що забезпечують виробництво, транспорт, цифрову інфраструктуру та якість життя населення [12].

Рівень розвитку енергетики безпосередньо впливає на конкурентоспроможність країни, собівартість продукції, інвестиційну привабливість та економічну стійкість. Водночас енергія є базовим фактором виробництва, однак економічне зростання визначається не обсягами енергоспоживання, а ефективністю використання ресурсів і технологічним рівнем економіки [13; 14].

Сучасне розуміння енергетичного розвитку пов'язане з енергетичним переходом — переходом від викопного палива до низьковуглецевої моделі, що передбачає розвиток відновлюваної енергетики, підвищення енергоефективності, декарбонізацію та модернізацію енергетичної інфраструктури. Такий перехід впливає не лише на довкілля, а й на інвестиції, структуру економіки та її конкурентоспроможність [15].

Одним із центральних напрямів досліджень є взаємозв'язок між енергоспоживанням і економічним зростанням. Його характер залежить від рівня розвитку країни, структури економіки, технологічного потенціалу та державної політики. Важливими чинниками енергетичного розвитку також є диверсифікація джерел енергії, технологічне оновлення та адаптація енергетичних систем до змін попиту [16–18].

Ключовим показником якості енергетичного розвитку є енергоефективність, яка відображає здатність економіки створювати більшу додану вартість за менших витрат енергії. Її підвищення сприяє модернізації виробництва, зменшенню виробничих витрат і екологічного навантаження, а також зміцненню економічної стійкості країни [19]. Водночас вплив енергетики на економічне зростання є неоднаковим для різних держав і визначається особливостями їхньої економічної структури, інституцій та енергетичної політики [20].

Важливою складовою сучасного енергетичного розвитку є енергетична стійкість і безпека, що передбачають надійне енергопостачання, диверсифікацію ресурсів, розвиток внутрішнього виробництва та здатність енергетичної системи функціонувати в умовах криз [21].

Особливе значення набуває розвиток відновлюваної енергетики, який сприяє скороченню залежності від викопного палива, зменшенню викидів парникових газів, розвитку інновацій та підвищенню енергетичної незалежності. Ефективність такого розвитку залежить від модернізації електромереж, інвестицій, державного регулювання та інтеграції нових джерел генерації [22].

Отже, енергетичний розвиток є комплексним процесом, що охоплює виробництво, постачання, споживання, енергоефективність, енергетичну безпеку та екологічну трансформацію. Його якість визначається не лише обсягами виробництва енергії, а й технологічною модернізацією, ефективністю використання ресурсів, розвитком відновлюваної енергетики та здатністю забезпечувати стаке економічне зростання. Водночас вплив відновлюваної енергетики на економіку залежить від особливостей розвитку окремих країн, що потребує адаптації енергетичної політики до національних умов [23].

Екологізація економіки передбачає інтеграцію екологічних вимог у систему економічного розвитку, державного управління та інвестиційної політики. Вона змінює підхід до економічного зростан-

ня, розглядаючи природні ресурси та якість довкілля як основу довгострокової стабільності, тому оцінка розвитку має враховувати не лише економічні результати, а й екологічні наслідки [24].

Поєднання економічного розвитку та охорони довкілля пояснюється концепцією екологічної кривої Кузнеця, згідно з якою на ранніх етапах розвитку забруднення зростає, а на вищих рівнях доходів може зменшуватися завдяки технологічній модернізації та екологічній політиці. Водночас цей процес не є автоматичним і потребує цілеспрямованих державних заходів та інвестицій у чисті технології [25].

Практичним напрямом екологізації є декарбонізація, яка охоплює скорочення використання викопного палива та викидів парникових газів у всіх секторах економіки. Для України й світу вона є складовою технологічної, економічної та інституційної трансформації [26]. Екологізація також є невід'ємною складовою сталого розвитку, оскільки забезпечує раціональне використання ресурсів і довгострокову стабільність економічного зростання [27].

На рівні підприємств екологізація реалізується через впровадження ресурсозберігаючих технологій, модернізацію виробництва та екологічний менеджмент, що сприяє зниженню енергоємності та вуглецевої інтенсивності економіки [28, 30]. Водночас розвиток відновлюваної енергетики є одним із ключових інструментів скорочення викидів, хоча його ефективність залежить від рівня енергоефективності, модернізації електромереж, накопичення енергії та державної підтримки [29].

Низьковуглецева економіка передбачає поєднання економічного зростання зі скороченням викидів за рахунок інновацій, ефективного використання ресурсів і розвитку чистої енергетики. Сьогодні ця концепція стала важливим напрямом економічної політики, що визначає конкурентоспроможність, інвестиційну привабливість та інтеграцію країн у світову економіку [31, 32]. Особливе значення відновлювана енергетика має для держав із високою вуглецевою інтенсивністю, однак успішність такого переходу залежить від інвестицій, інфраструктури та державної політики [33].

Екологізація охоплює не лише виробництво, а й споживання, державне управління, освіту та поведінку населення, формуючи систему стимулів для ресурсозбереження та екологічної відповідальності [34]. Міжнародні дослідження свідчать, що лише окремим країнам вдалося поєднати економічне зростання зі скороченням викидів, тому більш інформативними показниками є вуглецева інтенсивність, енергоємність та частка відновлюваної енергетики [35].

Для України екологізація є важливою умовою європейської інтеграції та модернізації економіки через розвиток ВДЕ, підвищення енергоефективності й скорочення викидів [36]. Ці процеси підтримуються розвитком зеленої економіки, яка охоплює відновлювану енергетику, енергоефективне будівництво, екологічний транспорт, зелені фінанси та інші напрями структурної модернізації [37]. Їх реалізація потребує застосування фінансових інструментів декарбонізації, зокрема зелених облігацій, ESG-інвестицій і кліматичних фондів [38].

Важливу роль у зниженні вуглецевої інтенсивності відіграють інновації, зокрема цифрові системи управління енергоспоживанням, розумні мережі, накопичувачі енергії, електротранспорт і сучасні виробничі технології, що дають змогу зменшувати викиди без втрати економічної ефективності [39].

З огляду на багатофакторний характер енергетичної трансформації, потенціал декарбонізації країни доцільно розглядати як інтегральну характеристику, що формується під впливом взаємопов'язаних економічних, технологічних, інституційних та екологічних чинників. Теоретично потенціал декарбонізації визначається структурою та вуглецевою інтенсивністю національної економіки, рівнем інтеграції відновлюваної енергетики, технологічним та інноваційним потенціалом, ефективністю кліматичної політики і якістю інституцій, доступністю сталого фінансування та зелених інвестицій, геополітичними умовами, станом енергетичної безпеки, а також здатністю економічної системи адаптуватися до ризиків кліматичних змін.

Формально потенціал декарбонізації країни може бути представлений як багатовимірною функцією, що враховує основні економічні, енергетичні, технологічні та інституційні чинники:

$$D_i = f(I_i, R_i, T_i, S_i, C_k), \quad (1)$$

де D_i — потенціал декарбонізації i -ї країни;

I_i — вуглецева інтенсивність економіки;

R_i — рівень інтеграції відновлюваної енергетики;

T_i — технологічний та інноваційний потенціал;

S_i — показники сталого розвитку;

C_k — рівень коопераційної кліматичної політики у кластері k .

У запропонованій моделі (1) набуває показник C_k , який відображає інтенсивність співробітництва країн у межах відповідного кластера. Він характеризує ступінь гармонізації кліматичної політики, розвиток транскордонної енергетичної співпраці, механізми поширення екологічних технологій та координацію фінансових інструментів підтримки зеленого переходу. За таких умов інвестиційні процеси та потенціал декарбонізації визначаються не лише внутрішніми характеристиками окремої країни, а й ефектами

взаємодії між державами зі схожими структурними особливостями економіки. Це дозволяє враховувати синергетичний вплив міжнародного співробітництва, узгодженості кліматичної політики та технологічних міжкраїнових ефектів.

Отже, запропонована функція демонструє, що потенціал декарбонізації не може оцінюватися лише за рівнем викидів або окремими екологічними показниками. Його визначення потребує комплексного врахування економічних, фінансових, інституційних, технологічних, енергетичних і геополітичних характеристик. У подальшому дослідженні цей потенціал розглядається як латентна багатовимірна характеристика, оцінювання якої здійснюється за допомогою методів зниження розмірності та кластерного аналізу, що дає змогу виявити групи країн зі схожими моделями енергетичного розвитку та потенціалом декарбонізації.

Таким чином, екологізація економіки та енергетичний розвиток формують єдину систему взаємопов'язаних процесів, спрямованих на зниження вуглецевої інтенсивності, розвиток відновлюваної енергетики та забезпечення переходу до сталого й низьковуглецевого розвитку. Запропонований теоретичний підхід до оцінювання потенціалу декарбонізації розширює традиційне розуміння енергетичного розвитку та створює методологічну основу для подальшого порівняльного аналізу країн із використанням багатовимірних статистичних методів.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведене дослідження підтвердило, що енергетичний розвиток є складним багатовимірним процесом, який не може оцінюватися лише за окремими показниками, зокрема часткою відновлюваних джерел енергії чи загальним обсягом енергоспоживання. Для об'єктивного міжкрайового порівняння необхідно враховувати рівень економічного розвитку, структуру енергетичного балансу, залежність від викопного палива, енергоефективність, розвиток низьковуглецевих джерел електроенергії та екологічну результативність економіки. У роботі розкрито сутність енергетичного розвитку, його роль в економіці та взаємозв'язок з екологізацією. Встановлено, що сучасний енергетичний розвиток визначається не лише обсягами виробництва й споживання енергії, а й підвищенням енергоефективності, диверсифікацією джерел енергії, модернізацією енергетичної системи та зниженням екологічного навантаження. Також охарактеризовано сутність вуглецевої інтенсивності та роль відновлюваної енергетики у переході до низьковуглецевої моделі розвитку.

Подальші дослідження мають бути зосереджені на емпіричній оцінці потенціалу декарбонізації країн з використанням багатовимірних статистичних методів, включаючи алгоритми кластеризації. Особливу увагу слід приділити вибору та валідації показників, порівнянню методів кластеризації та інтерпретації визначених груп країн (центрів декарбонізації).

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ВНЕСОК АВТОРІВ: Усі автори зробили внесок порівну.

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Література

1. Kholod A. Alternative energy as a driver of transformation processes in the energy sector. *Visnyk of Sumy State University. Economy Series*. 2024. № 1. С. 17–26. DOI: <https://doi.org/10.21272/1817-9215.2024.1-02>
2. Андрійчук І., Наритник П., Витвицька У. Інноваційні чинники розвитку відновлюваної енергетики України. *Економіка та суспільство*. 2025. № 81. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-81-122>
3. Пшибельський В. В. Відновлювана енергетика як драйвер становлення зеленої економіки України. *Інноваційна економіка*. 2024. № 4. С. 166–171. URL: <https://inneco.org/index.php/innecoua/article/view/1370> (дата звернення: 31.03.2026).
4. Dugo V., Gálvez-Ruiz D., Díaz-Cuevas P. The sustainable energy development dilemma in European countries: A time-series cluster analysis. *Energy, Sustainability and Society*. 2025. Vol. 15. Art. 36. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13705-025-00536-w>
5. Alotaiq A. Global low carbon transitions in the power sector: A machine learning clustering approach using archetypes. *Journal of Economy and Technology*. 2024. Vol. 2. P. 95–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.03.002>
6. International Renewable Energy Agency. World Energy Transitions Outlook 2024: 1.5 °C Pathway. Abu Dhabi: IRENA, 2024. URL: <https://www.irena.org/Publications/2024/Nov/World-Energy-Transitions-Outlook-2024> (дата звернення: 02.04.2026).
7. International Energy Agency. World Energy Outlook 2024. Paris: IEA, 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024> (дата звернення: 02.04.2026).

8. Ukoba K., Onisuru O.R., Jen T.-C. Harnessing machine learning for sustainable futures: Advancements in renewable energy and climate change mitigation. *Bulletin of the National Research Centre*. 2024. Vol. 48. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-024-01254-7>
9. Peng K. та ін. The global power sector's low-carbon transition may enhance sustainable development goal progress. *Nature Communications*. 2023. Vol. 14. Art. 3144. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38987-4>
10. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 13.08.2024 р. № 761-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/761-2024-%D1%80> (дата звернення: 31.03.2026).
11. Затонацька Т.Г., Іваницький М.В. Енергетичний сектор України: сучасний стан та подальші перспективи. *Ефективна економіка*. 2024. № 4. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.4.26>
12. Toman M., Jemelkova B. Energy and Economic Development: An Assessment of the State of Knowledge. Discussion Paper 03–13. Washington, DC: Resources for the Future, 2003. URL: <https://media.rff.org/documents/RFF-DP-03-13.pdf> (дата звернення: 31.03.2026).
13. Біла С.О., Шваюк Ю.Е. Роль енергетичного сектору у зростанні конкурентоспроможності національної економіки: світовий досвід та реалії України. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2016. № 10(1). С. 30–35. URL: http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/10_1_2016ua/8.pdf (дата звернення: 03.04.2026).
14. Stern D.I. The Role of Energy in Economic Growth. USAEE-IAEE Working Paper No. 10–055. 2010. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.1715855>
15. Денисюк С.П. Енергетичний перехід — вимоги якісних змін у розвитку енергетики. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 1(55). С. 7–28. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2019.182171>
16. Ozturk I. A literature survey on energy-growth nexus. *Energy Policy*. 2010. Vol. 38, No. 1. P. 340–349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.024>
17. Олексюк В. Енергетична диверсифікація як фактор економічного зростання. *Mechanism of an Economic Regulation*. 2013. № 4(62). С. 174–182. URL: <https://mer-journal.sumy.ua/index.php/journal/article/view/557> (дата звернення: 31.03.2026).
18. Grubler A. та ін. Energy and economy. Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future / ed. by T.B. Johansson et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. P. 385–422. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511793677.012>
19. Кизим М.О., Хаустова В.С., Шпілевський В.В., Крячко Є.М. Енергоефективність економіки України за видами економічної діяльності. *Проблеми економіки*. 2023. № 2. С. 41–55. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-2-41-55>
20. Omri A. An international literature survey on energy-economic growth nexus: Evidence from country-specific studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 38. P. 951–959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.084>
21. Дугінець Г., Таран М. Енергетична стійкість європейських країн: досвід для України. *Економіка та суспільство*. 2024. № 65. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-118>
22. Bhuiyan M.A. та ін. Renewable energy consumption and economic growth nexus: A systematic literature review. *Frontiers in Environmental Science*. 2022. Vol. 10. Art. 878394. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.878394>
23. Dogan E., Altinoz B., Madaleno M., Taskin D. The impact of renewable energy consumption to economic growth: A replication and extension of Inglesi-Lotz (2016). *Energy Economics*. 2020. Vol. 90. Art. 104866. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104866>
24. Дороніна І.І. Екологізація економіки та роль держави: ретроспективний аналіз наукових підходів. *Наукові записки Інституту законодавства Верховної Ради України*. 2020. № 6. С. 100–107.
25. Dinda S. Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*. 2004. Vol. 49, No. 4. P. 431–455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
26. Гнедіна К., Сорока А. Декарбонізація економіки як чинник забезпечення кліматично нейтрального майбутнього: сучасні виклики і перспективи в Україні та світі. *Економіка та суспільство*. 2023. № 54. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-76>
27. Непеїна Г.В. Екологізація економіки як один зі шляхів реалізації моделі сталого розвитку України. *Екологічні науки*. 2019. № 3. URL: <http://www.ecoj.dea.kiev.ua/archives/2019/3/31.pdf> (дата звернення: 04.04.2026).
28. Burke P.J., Shahiduzzaman M., Stern D.I. Carbon dioxide emissions in the short run: The rate and sources of economic growth matter. *Global Environmental Change*. 2015. Vol. 33. P. 109–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.04.012>
29. Rahman M.M., Sultana N., Velayutham E. Renewable energy, energy intensity and carbon reduction: *Experience of large emerging economies*. *Renewable Energy*. 2022. Vol. 184. P. 252–265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.068>
30. Джусов О.А., Красніков П.Д. Сталий розвиток, екологічний менеджмент та альтернативна енергетика. *Економічний простір*. 2019. № 150. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/150-16>
31. Chen J. та ін. Evaluation and drivers of global low-carbon economies based on satellite data. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2022. Vol. 9. Art. 153. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01171-y>

32. Горбач В.В. Концепція низьковуглецевого розвитку: періодизація становлення в науці та суспільстві. *Приазовський економічний вісник*. 2025. № 1. DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-4263/2025-1-2>
33. Mirziyoyeva Z., Salahodjaev R. Renewable energy and CO₂ emissions intensity in the top carbon intense countries. *Renewable Energy*. 2022. Vol. 192. P. 507–512. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.137>
34. Цимбаленко Я.Ю. Екологізація соціально-економічної системи як основа сталого розвитку економіки. *Економіка та держава*. 2015. № 2. URL: http://www.economy.in.ua/pdf/2_2015/6.pdf (дата звернення: 31.03.2026).
35. Freire-González J., Padilla Rosa E., Raymond J. Ll. World economies' progress in decoupling from CO₂ emissions. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Art. 20480. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71101-2>
36. Печенюк А.В. Перспективи екологізації економіки України в умовах європейської інтеграції. *Інноваційна економіка*. 2023. № 1. DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2023.1.14>
37. Peng J., Hu X., Fan X., Wang K., Gong H. The impact of the green economy on carbon emission intensity: Comparisons, challenges, and mitigating strategies. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, No. 14. Art. 10965. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151410965>
38. Горбач В. Фінансові інструменти декарбонізації: механізми зелених облігацій та ESG-інвестицій. *Економіка та суспільство*. 2025. № 75. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-75-33>
39. Tudor C., Sova R. On the impact of GDP per capita, carbon intensity and innovation for renewable energy consumption: Worldwide evidence. *Energies*. 2021. Vol. 14, No. 19. Art. 6254. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14196254>

References

1. Kholod, A. (2024). Alternative energy as a driver of transformation processes in the energy sector. *Visnyk of Sumy State University. Economy Series*, (1), 17–26. <https://doi.org/10.21272/1817-9215.2024.1-02>
2. Andriichuk, I., Narytnyk, P., & Vytvytska, U. (2025). *Innovatsiini chynnyky rozvytku vidnovliuvanoi enerhetyky Ukrainy* [Innovative factors in the development of renewable energy in Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo*, 81. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-81-122> [in Ukrainian].
3. Pshybelskyi, V. V. (2024). *Vidnovliuvana enerhetyka yak draiver stanovlennia zelenoi ekonomiky Ukrainy* [Renewable energy as a driver of the green economy development in Ukraine]. *Innovatsiina ekonomika*, (4), 166–171. <https://inneco.org/index.php/innecoua/article/view/1370> [in Ukrainian].
4. Dugo, V., Gálvez-Ruiz, D., & Díaz-Cuevas, P. (2025). The sustainable energy development dilemma in European countries: A time-series cluster analysis. *Energy, Sustainability and Society*, 15, Article 36. <https://doi.org/10.1186/s13705-025-00536-w>
5. Alotaqi, A. (2024). Global low carbon transitions in the power sector: A machine learning clustering approach using archetypes. *Journal of Economy and Technology*, 2, 95–127. <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.03.002>
6. International Renewable Energy Agency. (2024). *World energy transitions outlook 2024: 1.5 °C pathway*. IRENA. <https://www.irena.org/Publications/2024/Nov/World-Energy-Transitions-Outlook-2024>
7. International Energy Agency. (2024). *World energy outlook 2024*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>
8. Ukoba, K., Onisuru, O. R., & Jen, T.-C. (2024). Harnessing machine learning for sustainable futures: Advancements in renewable energy and climate change mitigation. *Bulletin of the National Research Centre*, 48. <https://doi.org/10.1186/s42269-024-01254-7>
9. Peng, K., et al. (2023). The global power sector's low-carbon transition may enhance sustainable development goal progress. *Nature Communications*, 14, Article 3144. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38987-4>
10. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2024, August 13). *Pro zatverdzhennia Natsionalnoho planu dii z vidnovliuvanoi enerhetyky na period do 2030 roku ta planu zakhodiv z yoho vykonannia (Rozporiadzhennia № 761-r)* [On approval of the National Renewable Energy Action Plan until 2030 and the implementation plan (Order No. 761-r)]. <https://zakon.rada.gov.ua/go/761-2024-%D1%80> [in Ukrainian].
11. Zatonatska, T. H., & Ivanytskyi, M. V. (2024). *Enerhetychnyi sektor Ukrainy: Suchasnyi stan ta podalshi perspektyvy* [Ukraine's energy sector: Current state and future prospects]. *Efektivna ekonomika*, (4). <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.4.26> [in Ukrainian].
12. Toman, M., & Jemelkova, B. (2003). *Energy and economic development: An assessment of the state of knowledge* (Discussion Paper 03–13). Resources for the Future. <https://media.rff.org/documents/RFF-DP-03-13.pdf>
13. Bila, S. O., & Shvaiuk, Yu. E. (2016). *Rol enerhetychnoho sektoru u zrostanti konkurentospromozhnosti natsionalnoi ekonomiky: Svitovyi dosvid ta realii Ukrainy* [The role of the energy sector in increasing the competitiveness of the national economy: Global experience and Ukrainian realities]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo*, 10(1), 30–35. http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/10_1_2016ua/8.pdf [in Ukrainian].
14. Stern, D. I. (2010). *The role of energy in economic growth* (USAEI-IAEE Working Paper No. 10–055). SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1715855>

15. Denysiuk, S. P. (2019). *Enerhetychnyi perekhid — vymohy yakisnykh zmin u rozvytku enerhetyky* [Energy transition: Requirements for qualitative changes in energy development]. *Enerhetyka: Ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*, 1(55), 7–28. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2019.182171> [in Ukrainian].
16. Ozturk, I. (2010). A literature survey on energy-growth nexus. *Energy Policy*, 38(1), 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.024>
17. Oleksiuk, V. (2013). *Enerhetychna dyversyfikatsiia yak faktor ekonomichnoho zrostantia* [Energy diversification as a factor of economic growth]. *Mechanism of an Economic Regulation*, 4(62), 174–182. <https://mer-journal.sumy.ua/index.php/journal/article/view/557> [in Ukrainian].
18. Grubler, A., Johansson, T. B., Mundaca, L., Nakicenovic, N., Pachauri, S., Riahi, K., Rogner, H.-H., & Strupeit, L. (2012). Energy and economy. In T. B. Johansson, A. Patwardhan, N. Nakicenovic, & L. Gomez-Echeverri (Eds.), *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future* (pp. 385–422). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511793677.012>
19. Kyzym, M. O., Khaustova, V. Ye., Shpilievskiy, V. V., & Kriachko, Ye. M. (2023). *Enerhoefektyvnist ekonomiky Ukrainy za vydamy ekonomichnoi diialnosti* [Energy efficiency of Ukraine's economy by types of economic activity]. *Problemy ekonomiky*, (2), 41–55. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-2-41-55> [in Ukrainian].
20. Omri, A. (2014). An international literature survey on energy-economic growth nexus: Evidence from country-specific studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 951–959. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.084>
21. Duhinets, H., & Taran, M. (2024). *Enerhetychna stiikist yevropeiskyyh krain: Dosvid dlia Ukrainy* [Energy resilience of European countries: Experience for Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo*, 65. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-118> [in Ukrainian].
22. Bhuiyan, M. A., Zhang, Q., Khare, V., Mikhaylov, A., Pinter, G., & Huang, X. (2022). Renewable energy consumption and economic growth nexus: A systematic literature review. *Frontiers in Environmental Science*, 10, Article 878394. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.878394>
23. Dogan, E., Altinoz, B., Madaleno, M., & Taskin, D. (2020). The impact of renewable energy consumption on economic growth: A replication and extension of Inglesi-Lotz (2016). *Energy Economics*, 90, Article 104866. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104866>
24. Doronina, I. I. (2020). *Ekolohizatsiia ekonomiky ta rol derzhavy: Retrospektyvnyi analiz naukovykh pidkhodiv* [Greening the economy and the role of the state: A retrospective analysis of scientific approaches]. *Naukovi zapysky Instytutu zakonodavstva Verkhovnoi Rady Ukrainy*, (6), 100–107. [in Ukrainian].
25. Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431–455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
26. Hnedina, K., & Soroka, A. (2023). *Dekarbonizatsiia ekonomiky yak chynnyk zabezpechennia klimatychno neitralnoho maibutnoho: Suchasni vyklyky i perspektyvy v Ukraini ta sviti* [Decarbonization of the economy as a factor in ensuring a climate-neutral future: Current challenges and prospects in Ukraine and the world]. *Ekonomika ta suspilstvo*, 54. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-76> [in Ukrainian].
27. Niepieina, H. V. (2019). *Ekolohizatsiia ekonomiky yak odyn zi shliakhiv realizatsii modeli staloho rozvytku Ukrainy* [Greening the economy as one of the ways to implement the sustainable development model of Ukraine]. *Ekolohichni nauky*, (3). <http://www.ecoj.dea.kiev.ua/archives/2019/3/31.pdf> [in Ukrainian].
28. Burke, P. J., Shahiduzzaman, M., & Stern, D. I. (2015). Carbon dioxide emissions in the short run: The rate and sources of economic growth matter. *Global Environmental Change*, 33, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.04.012>
29. Rahman, M. M., Sultana, N., & Velayutham, E. (2022). Renewable energy, energy intensity and carbon reduction: Experience of large emerging economies. *Renewable Energy*, 184, 252–265. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.068>
30. Dzhusov, O. A., & Krasnikov, P. D. (2019). *Stalyi rozvytok, ekolohichniy menedzhment ta alternatyvna enerhetyka* [Sustainable development, environmental management and alternative energy]. *Ekonomichniy prostir*, 150. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/150-16> [in Ukrainian].
31. Chen, J., Gao, M., Cheng, S., Xu, Y., Song, M., Liu, Y., Hou, W., & Wang, S. (2022). Evaluation and drivers of global low-carbon economies based on satellite data. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9, Article 153. <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01171-y>
32. Horbach, V. V. (2025). *Kontseptsiiia nyzkovuhletsevoho rozvytku: Periodyzatsiia stanovlennia v nautsi ta suspilstvi* [The concept of low-carbon development: Periodization of its evolution in science and society]. *Pryazovskyi ekonomichnyi visnyk*, (1). <https://doi.org/10.32782/2522-4263/2025-1-2> [in Ukrainian].
33. Mirziyoyeva, Z., & Salahodjaev, R. (2022). Renewable energy and CO₂ emissions intensity in the top carbon-intensive countries. *Renewable Energy*, 192, 507–512. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.137>
34. Tsymbalenko, Ya. Yu. (2015). *Ekolohizatsiia sotsialno-ekonomichnoi systemy yak osnova staloho rozvytku ekonomiky* [Greening the socio-economic system as the basis for sustainable economic development]. *Ekonomika ta derzhava*, (2). http://www.economy.in.ua/pdf/2_2015/6.pdf [in Ukrainian].
35. Freire-González, J., Padilla Rosa, E., & Raymond, J. Ll. (2024). World economies' progress in decoupling from CO₂ emissions. *Scientific Reports*, 14, Article 20480. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71101-2>

36. Pecheniuk, A. V. (2023). *Perspektyvy ekolohizatsii ekonomiky Ukrainy v umovakh yevropeiskoi intehratsii* [Prospects for the greening of Ukraine's economy under European integration]. *Innovatsiina ekonomika*, (1). <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2023.1.14> [in Ukrainian].

37. Peng, J., Hu, X., Fan, X., Wang, K., & Gong, H. (2023). The impact of the green economy on carbon emission intensity: Comparisons, challenges, and mitigating strategies. *Sustainability*, 15(14), Article 10965. <https://doi.org/10.3390/su151410965>

38. Horbach, V. (2025). *Finansovi instrumenty dekarbonizatsii: Mekhanizmy zelenykh obligatsii ta ESG-investytsii* [Financial instruments for decarbonization: Mechanisms of green bonds and ESG investments]. *Ekonomika ta suspilstvo*, 75. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-75-33> [in Ukrainian].

39. Tudor, C., & Sova, R. (2021). On the impact of GDP per capita, carbon intensity and innovation for renewable energy consumption: Worldwide evidence. *Energies*, 14(19), Article 6254. <https://doi.org/10.3390/en14196254>

Дата першого надходження статті до видання: 02.05.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.05.2026

Дата публікації: 31.05.2026

Zhytkevych Olena

*PhD in Economics, Doctoral Student
Kyiv National Economic University named
after Vadym Hetman*

Tasenko Denys

*Student of the
Kyiv National Economic University named
after Vadym Hetman*

FOUNDATIONS OF ENERGY DEVELOPMENT OF COUNTRIES AND ECOLOGIZATION OF THE ECONOMY

Summary. Introduction. Modern market relations are the most productive form of entrepreneurial activity, characterized by globalization of economic processes and competitive environment. This leads to changes in incentive programs for employees working in the main place of work. The introduction of innovative approaches in the long-term production relationship between employee and employer helps the latter to implement a positive social policy in terms of increasing remuneration for work, which is the main source of income and incentive to improve economic efficiency. In the management system, the cost of employee remuneration is one of the most difficult to regulate and coordinate the elements of enterprise costs, as they change in real terms. There is a need to determine the role and place of costs for remuneration of employees in the system of analysis, accounting and management accounting in the enterprise.

Purpose. The purpose of the study is to reveal conceptual approaches to the construction of accounting and analysis of remuneration of employees to develop a typology of such costs and their identification in the objects of accounting from the standpoint of forms of payments and relationships in the process of enterprise activities that differentiate accounting and analytical procedures at the level of the business entity.

Materials and methods. The materials of the study are: 1) international and national policy documents on energy transition, decarbonization, renewable energy development, and sustainable development; 2) statistical and analytical reports of international organizations on energy consumption, renewable energy, carbon intensity, and energy efficiency; 3) scientific publications of domestic and foreign researchers devoted to energy development, low-carbon transition, renewable energy, carbon intensity, and multidimensional analysis of countries' energy systems.

In the process of the research, the following scientific methods were used: theoretical generalization and systematization (to summarize the conceptual approaches to energy development, renewable energy, energy efficiency, carbon intensity, and the decarbonization of national economies); analysis and synthesis (to identify the interrelationships between economic growth, energy development, environmental sustainability, and the transition to a low-carbon economy, as well as to develop the conceptual model of decarbonization potential); formalization (to represent the decarbonization potential as a multidimensional function that integrates economic, technological, energy, institutional, and sustainability factors); logical generalization (to formulate theoretical conclusions and justify the methodological framework).

Results. and its role in ensuring economic growth, competitiveness, and sustainable development. The relationship between energy system development, energy efficiency improvement, economic decarbonization, and the ecologization of economic activity is substantiated. The study considers the essence of the energy transition and highlights the importance of renewable energy, carbon intensity, and the ecologization of the economy as interconnected components of

a modern low-carbon development model. It is shown that effective energy development should combine economic efficiency, technological modernization, energy security, and environmental responsibility. The paper also substantiates the importance of considering economic, energy, and environmental characteristics jointly when analysing the development patterns of countries.

Discussion. Further research should focus on the empirical assessment of countries' decarbonization potential using multidimensional statistical methods, including clustering algorithms. Particular attention should be devoted to the selection and validation of indicators, comparison of clustering techniques, and interpretation of the identified country groups (decarbonization hubs). Such research will contribute to improving methodological approaches to evaluating energy development and decarbonization potential, as well as provide practical recommendations for designing differentiated energy and climate policies aimed at accelerating the transition toward low-carbon and sustainable economic development.

Key words: decarbonization, environmental externalities, sustainable financing, clustering, machine learning, climate governance.