

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-13>

УДК 620.91:504.05(4+477)

«ЗЕЛЕНИЙ» ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПЕРЕХІД ЯК ДРАЙВЕР НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ ЕКОНОМІКИ: ДОСВІД ЄС

«GREEN» ENERGY TRANSITION AS A DRIVER OF A LOW-CARBON ECONOMY: THE EU EXPERIENCE

Глущенко Андрій Миколайовичкандидат економічних наук, докторант,
Академія праці, соціальних відносин і туризму
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1897-4837>**Glushchenko Andrii**

Academy of Labour, Social Relations and Tourism

Актуальність теми зумовлена потребою України адаптувати свою енергетичну політику до вимог Європейського Союзу (далі – ЄС), зокрема в умовах інтеграції до ENTSO-E та впровадження механізму прикордонного вуглецевого коригування (СВАМ – Carbon Border Adjustment Mechanism). З'ясовано, що основними драйверами енергетичного переходу в ЄС є поєднання політичної підтримки, технічної модернізації генерації, фінансових стимулів та прозорого кліматичного регулювання. Запропоновано рекомендації для України, що враховують як зовнішні зобов'язання, так і внутрішні перешкоди. Практична цінність статті полягає у формуванні цілісного підходу до адаптації успішного європейського досвіду декарбонізації в електроенергетиці України, що може бути використаний у розробленні стратегій сталого розвитку, енергетичної безпеки та відповідності міжнародним кліматичним вимогам.

Ключові слова: відновлювана енергетика; енергетичний перехід; декарбонізація; вуглецеве регулювання; зелена трансформація; Європейський Союз; Scope 2; ENTSO-E; кліматична політика; енергетична безпека України.

The article explores the essence and key drivers of the «green» energy transition in the European Union, with a particular focus on the decarbonization of the electricity sector as a foundation for a low-carbon economy. The relevance of the topic stems from Ukraine's urgent need to align its energy policy with EU requirements, especially in the context of integration into ENTSO-E and the implementation of the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). The aim of the study is to systematize European practices of electricity decarbonization and substantiate recommendations for their adaptation in Ukraine. The research methodology involves structural-logical analysis, comparative analysis, graphical and SWOT analysis to identify the strengths and weaknesses of the national system, as well as threats and opportunities for green transformation. The results reveal that the main drivers of the EU's energy transition include the interplay of political support at the EU institutional level, technological modernization of generation infrastructure, targeted financial instruments, and the implementation of transparent climate regulation mechanisms, including greenhouse gas emissions reporting standards. An analytical review of the dynamics of renewable energy development in the EU during 2004–2023 is provided, highlighting the key technological directions and the structure of renewable electricity generation in 2023. The article summarizes the main policy directions of EU decarbonization and evaluates the effectiveness of respective mechanisms in member states. Based on a SWOT analysis, recommendations for Ukraine are developed, taking into account both the country's external commitments within the framework of European integration and internal limitations, including price caps on the electricity market, underdeveloped energy storage systems, and fragmented climate regulation. The practical value of this study lies in forming an integrated approach to adapting successful European decarbonization experience to the Ukrainian electricity sector, which can be applied in developing sustainable development strategies, enhancing energy security, and ensuring compliance with international climate obligations.

Keywords: renewable energy; energy transition; decarbonization; carbon regulation; green transformation; European Union; Scope 2; ENTSO-E; climate policy; energy security of Ukraine.

Постановка проблеми. У сучасних умовах міжнародного тиску на скорочення парникових викидів особливого значення набуває декарбонізація енергетики як одного з основних джерел вуглецевого сліду [1]. Європейський Союз реалізує комплексний підхід до «зеленої» трансформації електроенергетики, поєднуючи розвиток ВДЕ, інституційну інтеграцію, механізми кліматичної політики (зокрема, СВМ) та звітність за викидами Scope 2. Для України, яка інтегрується в європейський енергоринок і долає наслідки вугільної залежності та воєнних дій, важливо адаптувати ефективні європейські практики [2]. Прозора вуглецева звітність, оптимізація енергоміксу та інституційна модернізація є передумовами кліматичної адаптації та економічної стійкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання декарбонізації енергетичного сектору та розвитку ВДЕ широко досліджуються в контексті енергетичної безпеки та кліматичної політики. На перевагах вітрової енергетики порівняно з сонячною, зважаючи на регіональні обмеження останньої, наголошують Г. Осума (G. Osuma) та Н. Юсуф (N. Yusuf) [3]. Роль атомної енергетики як елемента низьковуглецевого міксу розглядають М. Пападопулу та співавтори (M. Papadoulou et al.) [4]. Ефективність раннього впровадження ВДЕ та накопичувальних технологій для зниження витрат енергетичного переходу обґрунтовують М. Вікторія та колеги (M. Victoria et al.) [5]. Водночас М. Дж. Пресно (M. J. Presno), М. Ландахо (M. Landajo) та П. Фернандес Гонсалес (P. Fernández González) [6] демонструють нерівномірність прогресу серед країн ЄС, де Велика Британія та Данія досягли стабільних результатів, а Німеччина, Ірландія та східноєвропейські держави відстають.

На значенні структури генерації для скорочення викидів наголошують Д. Г. Думітреску (D. G. Dumitrescu), А. Хоробець (A. Horobet), К. Д. Тудор (C. D. Tudor) та Л. Белашчу (L. Belsău) [7], підкреслюючи роль гідро- та вітроенергетики й важливість інвестицій у відповідну інфраструктуру. Проблеми подвійного обліку Scope 2 в європейських компаніях, що ускладнюють порівняння кліматичних стратегій через відмінності в підходах до звітності, виявляють С. Стахельшайд (S. Stachelscheid) та А. Дутці (A. Dutzi) [8]. У стратегічному вимірі Green Deal Р. Нагай та співавтори (R. Nagaj et al.) [9] доводять, що підвищення енергоефективності та зростання частки ВДЕ у фінальному споживанні є основними чинниками

зниження викидів, що підсилює значення перебудови енергетичного міксу.

Результативність політик держав ОЕСР щодо циркулярної економіки з урахуванням ВДЕ аналізують М. Д. С. Новейрі (M. J. S. Noveiri), М. Шабані (M. Shabani) та С. Кордростамі (S. Kordrostami) [10], виявляючи значну варіативність ефективності. Перспективи «зеленого» водню як джерела низьковуглецевої енергії обґрунтовують В. Сакхтімуруган та колеги (V. Sakthimurugan et al.) [11], які доводять переваги електролізу із застосуванням ВДЕ для важкодекарбонізованих секторів з урахуванням майбутнього скорочення витрат і зростання енергоефективності. Поведінкові аспекти досягнення кліматичних цілей досліджують М. С. Різзаті та співавтори (M. C. P. Rizzati et al.) [12], які з'ясували, що «зелені» переваги споживачів та виробників потребують поєднання з економічними стимулами (податки, торгівля квотами) для забезпечення ефективної декарбонізації. Економетричний аналіз викидів CO₂ у країнах ЄС, ураховуючи демографічні та політичні чинники, здійснюють А. Якимчук (A. Yakymchuk) та М. А. Ратай (M. A. Rataj) [13]. Науковці стверджують, що зростання економіки й збільшення кількості населення істотно впливають на динаміку викидів, однак ефективна регуляторна політика здатна пом'якшити цей вплив без шкоди для макроекономічної стабільності.

Отже, наукові дослідження охоплюють різні виміри енергетичного переходу – від оцінки ефективності ВДЕ та техніко-економічного моделювання до інституційних та поведінкових аспектів. До основних чинників успіху належать технологічні інновації, інституційна спроможність, фінансові стимули та послідовна політична підтримка.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри значну увагу до європейського досвіду, залишаються нерозв'язаними питання адаптації цих підходів до умов країн із нестабільним економічним середовищем, енергетичною вразливістю та високим вуглецевим слідом, зокрема України. Недостатньо вивченими є шляхи гармонізації національної енергетичної політики з вимогами ЄС, ефективного використання механізмів державної підтримки, а також практичних сценаріїв зменшення викидів у вітчизняній генерації. У цьому контексті поточне дослідження має прикладну цінність, оскільки сприяє виявленню потенціалу використання європейських практик для побудови

обґрунтованої та адаптивної стратегії «зеленої» трансформації електроенергетичного сектору України.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є дослідження основних напрямів декарбонізації енергетичного сектору Європейського Союзу в контексті розвитку відновлюваних джерел енергії, а також аналіз ефективності політик скорочення викидів та виокремлення викликів для України на шляху до низьковуглецевої трансформації.

Завдання статті:

- визначити основні технологічні, поведінкові, інституційні та політичні чинники, що впливають на ефективність енергетичного переходу в ЄС;
- проаналізувати практичні механізми декарбонізації електроенергетики;
- обґрунтувати можливості адаптації європейського досвіду до українських умов у контексті зміцнення енергетичної незалежності та кліматичної стійкості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Енергетичний сектор відіграє важливу роль у кліматичній трансформації Європи, оскільки його декарбонізація визначає траєкторію досягнення кліматичної нейтральності економіки в цілому. Для реалізації цілей Паризької угоди необхідним є повне усунення викидів CO₂ в електроенергетиці до середини XXI століття [4]. Оскільки електроенергія забезпечує функціонування основних секторів економіки, її трансформація формує основу низьковуглецевого розвитку. Результати моделювання підтверджують економічну доцільність ранньої декарбонізації, яка дозволяє уникнути надмірних витрат у довгостроковій перспективі та забезпечити поступове скорочення викидів [5].

Водночас досягнення кліматичних цілей потребує уніфікованого підходу до оцінювання непрямих викидів (Scope 2), що пов'язані зі споживанням енергії. Відсутність стандартизованих методик їхнього розрахунку ускладнює порівняння кліматичних стратегій між країнами та компаніями, а також знижує прозорість екологічної звітності, що є особливо актуальним у контексті складних глобальних ланцюгів постачання [8].

Декарбонізація промисловості потребує інтеграції кліматичних підходів як у виробничі, так логістичні процеси, оскільки саме ланцюги постачання генерують значну частку непрямих викидів (Scope 2 і Scope 3) [14]. Їхня трансформація потребує міжгалузевої координації, оновлення технологій та інсти-

туційної підтримки. Одним з основних рішень для важкодекарбонізованих секторів є впровадження технологій, що використовують «зелений» водень, отриманий шляхом електролізу води із застосуванням ВДЕ. Ця технологія демонструє високий потенціал щодо зниження вуглецевої інтенсивності та перебуває на етапі, що наближає її до комерційної масштабованості [11].

Важливою передумовою ефективною декарбонізації є прозорий облік викидів парникових газів із розподілом за категоріями: Scope 1 (прямі викиди), Scope 2 (непрямі викиди від енергоспоживання) та Scope 3 (інші непрямі викиди в ланцюгах створення вартості) [8]. Особливу роль відіграє Scope 2 як індикатор вуглецевого сліду, що залежить від вуглецевої інтенсивності генерації електроенергії. Декарбонізація енергосистеми безпосередньо впливає на екологічну ефективність промисловості, транспорту та сфери послуг. Отже, електроенергетика постає як системоутворювальний компонент кліматичної трансформації. Упродовж останніх двадцяти років країни ЄС досягли значного зниження вуглецевої інтенсивності генерації (рис. 1), що стало можливим завдяки комплексній політиці, інноваціям та підтримці розвитку ВДЕ.

Згідно з даними Ember – “European Electricity Review 2024–2025” [15; 16], середня вуглецева інтенсивність електроенергії в ЄС знизилася з 424 г CO₂/кВт-год у 2003 році до приблизно 230 г CO₂/кВт-год у 2023 році. Така динаміка свідчить про пряму кореляцію між зростанням частки ВДЕ в енергоміксі та зменшенням непрямих викидів (Scope 2), що є критично важливим для екологічної відповідальності бізнесу й побутових споживачів.

Поступове зниження вуглецевої інтенсивності є елементом ширшої стратегії повної декарбонізації електроенергетики до 2050 року, передбаченої ініціативами European Green Deal, Fit for 55, RePowerEU та Hydrogen Strategy [3]. Особливо показовим став 2023 рік: викиди CO₂ в енергосекторі скоротилися на 19 %, уперше вітрова й сонячна генерація перевищили газову, а частка ВДЕ сягнула 47–50 % у першій половині 2024 року [15; 16].

Атомна енергетика зберігає стабілізаційну функцію в енергосистемі ЄС, генеруючи близько 24 % електроенергії. Як низьковуглецеве джерело резервного постачання вона сприяє зменшенню Scope 2 у промисловості, логістиці й будівництві. Формування збалансованого енергоміксу – із поєднанням ВДЕ,

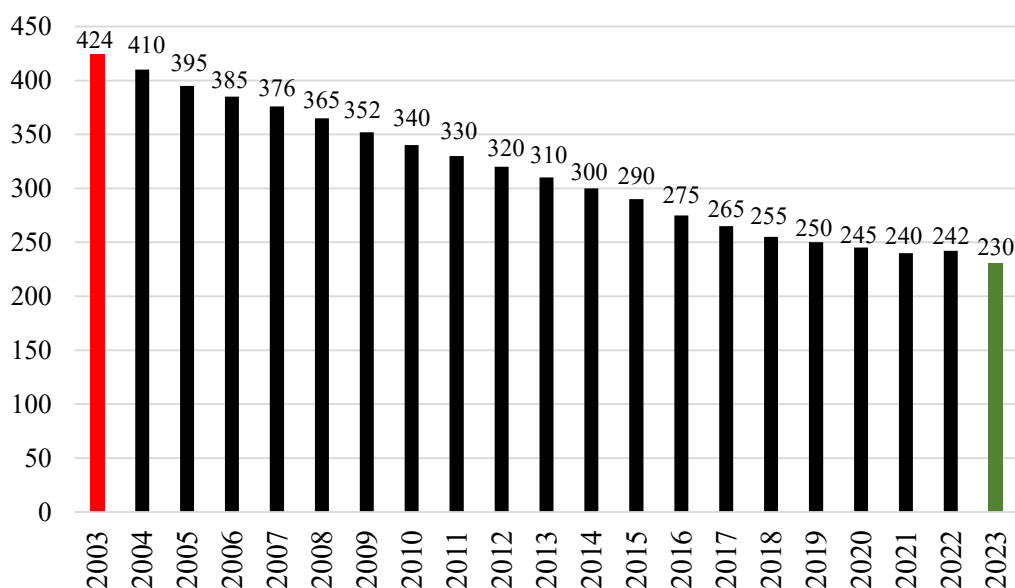


Рис. 1. Динаміка вуглецевої інтенсивності електроенергетики в ЄС у 2003–2023 рр., г CO₂/кВт-год

Джерело: створено автором на основі [15; 16]

атомної генерації та поступовим скороченням викопного палива – є основою декарбонізаційної стратегії ЄС. Реалізація European Green Deal ґрунтується на трьох пріоритетах: енергоефективність, зниження залежності від викопного палива та розширення потужностей ВДЕ [9]. Особливу роль у цьому процесі відіграє вітроенергетика, тоді як розвиток сонячної енергії потребує врахування регіональних особливостей і доступу до інвестицій [3].

Практика окремих країн ЄС засвідчує, що структурна модернізація може поєднуватися з кліматичними пріоритетами. Зокрема, програма *Energiewende* в Німеччині сприяла досягненню скорочення викидів у будівельному секторі без втрати економічної динаміки [13]. Для держав Центральної та Південно-Східної Європи стратегічним напрямом залишається розвиток гідро- та вітроенергетики, що забезпечують найвищу ефективність декарбонізації [7]. Зменшення *Score 2*-викидів, пов'язаних із закупівлею електроенергії та тепла, безпосередньо залежить від декарбонізації електроенергетики. Це особливо актуально для енергомістких секторів, таких як промисловість, транспорт і будівництво, де непрямі викиди формують основну частину вуглецевого сліду.

Упровадження обліку *Score 2*-викидів у межах ЄС супроводжується методологічною неоднорідністю. Частина компаній дотримується підходу, що ґрунтується на розташу-

ванні (location-based), який розраховує викиди на основі середньої вуглецевої інтенсивності електроенергії в конкретному регіоні. Водночас інші компанії застосовують ринковий підхід (market-based), що дає їм змогу декларувати нульові викиди за наявності контрактів на постачання «зеленої» енергії, незалежно від її фактичного джерела [8]. Така варіативність знижує порівнюваність звітності, підвищує ризики грінвошингу ("greenwashing") та ускладнює об'єктивну оцінку прогресу. Особливого значення ця проблема набуває в промисловості, де значна частка парникових газів формується на етапах постачання, логістики та зовнішніх енергопослуг, а не безпосередньо у виробничому процесі.

Наявність фрагментарних підходів до обліку непрямих викидів, відсутність уніфікованих стандартів та обмежена прозорість даних перешкоджають системній реалізації декарбонізаційних стратегій. Ефективне формування вуглецево-нейтральних ланцюгів постачання потребує цифровізації енергомоніторингу, уніфікації оцінки *Score 2*, міжгалузевої координації та стимулювання кліматичного партнерства [14].

У цьому контексті електроенергетика, що перебуває у фазі прискореної трансформації, відіграє визначальну роль. На рис. 1 продемонстровано, що зниження вуглецевої інтенсивності електроенергії в ЄС (з 424 до 230 гCO₂/кВт-год у 2003–2023 рр.) уже забез-

печує скорочення викидів Scope 2 без зміни технологій виробництва в інших секторах.

ЄС послідовно реалізує одну з найамбітніших кліматичних стратегій, що ґрунтується на триєдиному підході: підвищення енергоефективності, масштабне впровадження ВДЕ та скорочення використання викопного палива [9]. Важливим чинником успіху є адаптація енергетичного міксу до регіональних умов: вітроенергетика демонструє високий рівень інтеграції, тоді як сонячна генерація потребує подолання інфраструктурних та географічних перешкод [3].

Приклад Німеччини в межах політики Energiewende ілюструє успішне поєднання декарбонізації та економічного зростання [13]. Сукупність технологічних інновацій, фінансо-

вих стимулів і регуляторних механізмів забезпечила стрімке зростання частки ВДЕ у структурі електроспоживання (рис. 2), що свідчить про результативність «зеленого» курсу ЄС.

Така динаміка стала можливою завдяки структурним змінам у генерації електроенергії, зокрема домінуванню вітрової, гідро- та сонячної енергетики (рис. 3). Ці результати є прямим наслідком стратегічного планування та імплементації політик, що сприяють декарбонізації.

Європейський підхід до формування низьковуглецевої енергосистеми має важливе прикладне значення для України, яка нині перебуває в активному процесі інституційної, технологічної та регуляторної інтеграції з європейською енергетичною спільнотою. Основні

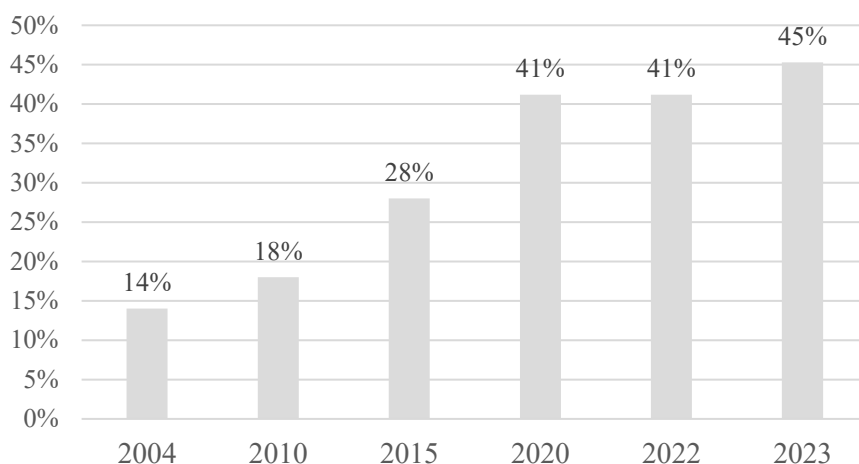


Рис. 2. Частка відновлюваної електроенергії в загальному споживанні електроенергії в ЄС у 2004–2023 рр.

Джерело: створено автором на основі [17; 18; 19; 20]

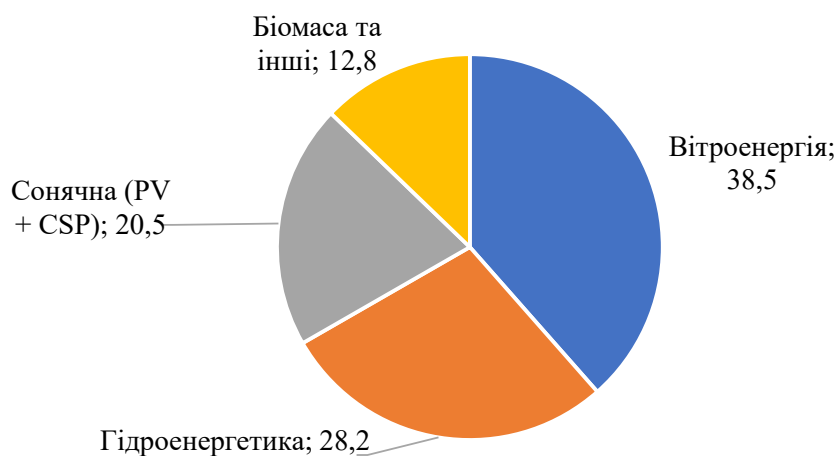


Рис. 3. Структура виробництва електроенергії з ВДЕ в ЄС у 2023 р., %

Джерело: створено автором на основі [17; 18; 19; 20]

напрями та інструменти політики декарбонізації в ЄС за рахунок викидів Scope 2 представлено в табл. 1.

Важливим етапом стало приєднання України до Об'єднаної енергосистеми Європи (ENTSO-E), що засвідчило як технічну інтеграцію в енергоринок ЄС, так і політичну орієнтацію на Європейський зелений курс. Водночас трансформація ускладнюється високою часткою вугільної генерації, недостатньою розвиненістю ВДЕ через регуляторну нестабільність та інфраструктурну зношеність [1; 2]. Додатковим зовнішнім чинником є механізм CBAM, який стимулює промисловість до скорочення викидів, зокрема Scope 2, для зниження фіскального тиску. У цьому контексті SWOT-аналіз (табл. 2) дає змогу окреслити стратегічні пріоритети, ризики та потенціал енергетичної трансформації України.

З огляду на це, пропонується система рекомендацій, спрямованих на зміцнення переваг, мінімізацію недоліків, реалізацію можливостей та нейтралізацію загроз (табл. 3). Таким чином, європейський досвід виступає не лише орієнтиром, а й стратегічною необхідністю для української енергетики в умовах зростання зовнішнього тиску та внутрішніх трансформацій.

Отже, європейський досвід є не лише орієнтиром, а й стратегічною необхідністю для української енергетики в умовах зростання зовнішнього тиску та внутрішніх трансформацій. Гармонізація з підходами ЄС є важливою для збереження економічної конкурентоспроможності, інтеграції в енергетичний ринок Європи, а також гарантування енергетичної безпеки й стійкості кліматичної політики. Успішне втілення «зеленого» переходу в Україні потребує не лише технічних рішень, а й інституційної стабільності, регуляторної прозорості та цілеспрямованої міжурядової координації. У цьому контексті досвід ЄС, зокрема Німеччини, Франції, Італії та країн Центральної Європи, може стати основою для адаптивного, економічно виправданого та соціально орієнтованого шляху декарбонізації, що відповідає як національним інтересам, так і міжнародним зобов'язанням України.

Висновки. Енергетичний сектор посідає важливе місце в декарбонізації економіки, оскільки формує основу для зниження викидів у суміжних галузях. Досвід ЄС доводить, що трансформація генерації, зростання частки ВДЕ та ефективна звітність за Scope 2 є критично важливими чинниками кліматичної стратегії. Особливе значення мають ранні заходи зі

Таблиця 1

**Основні напрями та інструменти політики декарбонізації в ЄС
за рахунок непрямих (Scope 2) викидів CO₂**

Напрямок	Основні інструменти	Приклади країн і програм	Результати
ВДЕ	Аукціони з підтримки будівництва потужностей ВДЕ, «зелені» тарифи (Feed-in Tariffs), «зелений» водень	Energiewende (DE), Іспанія, Данія	Частка ВДЕ >50%, -45% CO ₂ (20 років)
Енергоефективність	Стандарти, субсидії, Smart-споживання	Данія, Нідерланди, Франція	Зниження споживання, скорочення Scope 2
Відмова від вугілля	Планові відмови, податки, закриття ТЕС	Франція, Італія, Чехія	Різке скорочення CO ₂ , перехід на ВДЕ
Децентралізація	Малі станції, кооперативи	Нідерланди, Іспанія	Підвищення енергобезпеки
Інтеграція систем	ENTSO-E, Smart Grid, накопичувачі енергії	ЄС	Стабільність при високій частці ВДЕ
Scope 2 регулювання	CSRD, SFDR, звітність, реєстри	ЄС	Прозорість ESG, тиск на забруднювачів
Фінансові стимули	Вуглецеве ціноутворення (carbon pricing), CBAM, «зелені» фонди (Green Funds)	ЄС (Green Deal, CBAM)	Пришвидшення реалізації проєктів «зеленої» трансформації

Джерело: узагальнено автором на основі [3; 5; 7; 9; 13]

Таблиця 2

**SWOT-аналіз «зеленої» трансформації електроенергетики України
в контексті євроінтеграції**

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
- високий потенціал вітрової та сонячної енергії; - приєднання до ENTSO-E; - диверсифікована структура генерації, зокрема висока частка атомної енергії; - політична підтримка кліматичної трансформації; - розвинена інженерна школа; - наявність ресурсної бази для виробництва «зеленого» водню.	- традиційна залежність від вугільної генерації; - зношена мережна інфраструктура; - недостатній розвиток систем накопичення енергії; - фінансова нестабільність сектору (хронічні борги за розрахунками на ринку електроенергії); - регуляція цін за рахунок прайс-кепів; - регуляторна турбулентність; - відсутність єдиної системи обліку викидів Scope 2.
Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
- фінансова підтримка ЄС через фонди декарбонізації, ЄІБ тощо; - розвиток власної генерації на основі ВДЕ; - інтеграція до Єдиного європейського ринку електроенергії (market coupling); - реагування на СВМ в ЄС; - розвиток водневих коридорів на кшталт H₂ Corridor Ukraine-EU, які дадуть можливість постачати зелений водень до країн ЄС; - технологічна співпраця з європейськими енергетичними компаніями.	- тривалі воєнні ризики, які перешкоджають інвестиціями; - висока country-risk premium, яка призводить до здорожчання боргового фінансування; - конкуренція з дешевим імпортом електроенергії, особливо у години її перевиробництва у Центральній Європі; - погіршення гідрології Дніпра через зміни клімату; - ймовірна політична нестабільність після завершення війни, що ускладнюватиме реалізацію реформ.

Джерело: створено автором

Таблиця 3

**Рекомендації для України з урахуванням європейського досвіду
енергетичного переходу**

Сфера	Рекомендація	Очікуваний ефект / обґрунтування
Кліматична політика	Гармонізація стандартів із Green Deal, розробка національного плану кліматичної нейтральності	Забезпечення відповідності вимогам СВМ, участь у нових ринках ЄС
Енергетичні технології	Пріоритетний розвиток ВДЕ: сонячні та вітрові проекти з локалізацією виробництва	Зниження вуглецевої інтенсивності Scope 2, посилення енергетичної безпеки
Регулювання викидів	Уніфікація обліку Scope 2 відповідно до практик ЄС, створення бази звітності	Підвищення прозорості ESG-звітів, залучення міжнародного капіталу в проекти декарбонізації
Інфраструктурна інтеграція	Завершення повної інтеграції в ENTSO-E і європейський ринок електроенергії	Посилення стабільності енергосистеми, експорт «зеленої» електроенергії в ЄС
Фінансування та інвестиції	Залучення коштів із фондів ЄС та міжнародних фінансових інституцій для модернізації мереж та генерації (зокрема через інструменти як EU4Energy)	Стимулювання трансформації енергетичного сектору без надмірного тиску на держбюджет і приватний сектор
Навчання та компетенції	Розвиток освітніх програм у сфері енергоменеджменту, кліматичної звітності, енергетичного права	Підготовка кадрів для управління енергетичним переходом, зменшення залежності від зовнішніх консультантів

Джерело: узагальнено автором на основі [3; 5; 7; 9; 13]

зменшення викидів, розвиток вітроенергетики та інституційна узгодженість політик. SWOT-аналіз засвідчив як переваги України (ресурсний потенціал, інтеграція до ENTSO-E), так і вразливості (застарілі мережі, високий рівень заборгованості на ринку електроенергії). У цьому контексті перспективним є використання зовнішнього фінансування для переорієнтації на низьковуглецеві рішення.

З огляду на виклики й можливості, сформульовано пропозиції щодо адаптації європейського досвіду: упровадження прозорої системи вуглецевого обліку, стимулювання

розвитку ВДЕ генерації, перегляд національних енергетичних стратегій з урахуванням принципів «Європейського зеленого курсу».

Перспективи подальших досліджень пов'язані з аналізом непрямих викидів (Scope 2 і Scope 3) у промисловості, оцінкою можливостей упровадження «зеленого» водню у виробничі процеси, цифровізацією вуглецевого обліку та формуванням прозорої звітності. Актуальним залишається дослідження шляхів адаптації української енергетичної політики до вимог Європейського зеленого курсу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Симоненко О., Циганов С. Концепція низьковуглецевої моделі розвитку економіки: теоретичний вимір механізмів переходу. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка*. 2024. № 1 (224). С. 123–129. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2667.2024/224-1/14>
2. Цапко-Піддубна О. Енергетичний перехід в часи геополітичної нестабільності. *Економіка та суспільство*. 2022. № 43. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-43-34> (дата звернення: 09.07.2025).
3. Osuma G., Yusuf N. Towards an optimal renewable energy mix for the European Union: Enhancing energy security and sustainability. *Journal of the Knowledge Economy*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13132-024-02586-5> (date of access: 09.07.2025).
4. Papadopoulou M., Passalacqua R., di Valdalbero D. R., Steele E. R. Decarbonising the EU power sector: a technological and socio-economic analysis and the role of nuclear. *arXiv*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.01121> (date of access: 09.07.2025).
5. Victoria M., Zhu K., Brown T., Andresen G. B., Greiner M. Early decarbonisation of the European energy system pays off. *Nature Communications*. 2020. Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20015-4> (date of access: 09.07.2025).
6. Presno M. J., Landajo M., Fernández González P. GHG emissions in the EU-28: A multilevel club convergence study of the Emission Trading System and Effort Sharing Decision mechanisms. *Sustainable Production and Consumption*. 2021. Vol. 27. P. 998–1009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.032> (date of access: 09.07.2025).
7. Dumitrescu D. G., Horobeț A., Tudor C. D., Balașcu L. Renewables and decarbonisation: Implications for energy policy in the European Union. *Amfiteatru Economic*. 2023. Vol. 25. № 63. P. 345–361. URL: https://www.researchgate.net/publication/371434368_Renewables_and_Decarbonisation_Implications_for_Energy_Policy_in_the_European_Union (date of access: 09.07.2025).
8. Stachelscheid S., Dutzi A. Almost 10 years of dual reporting of Scope 2: chaos or comparability? *Carbon Management*. 2025. Article: 2459920. DOI: <https://doi.org/10.1080/17583004.2025.2459920> (date of access: 09.07.2025).
9. Nagaj R., Gajdzik B., Wolniak R., Grebski W. W. The impact of deep decarbonization policy on the level of greenhouse gas emissions in the European Union. *Energies*. 2024. Vol. 17. № 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17051245> (date of access: 09.07.2025).
10. Noveiri M. J. S., Shabani M., Kordrostami S. Assessing circular economy performance of OECD countries: A double-frontier multi-period DEA with flexible measures. *Renewable Energy*. 2025. Vol. 246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122851> (date of access: 09.07.2025).
11. Sakthimurugan V., Lakshmikanth G., Balaji N., Roopashree R., Kumar D., Devarajan Y. Green hydrogen revolution: Advancing electrolysis, market integration, and sustainable energy transitions towards a net-zero future. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104849> (date of access: 09.07.2025).
12. Rizzati M. C. P., Ciola E., Turco E., Bazzana D., Vergalli S. Beyond green preferences: Demand-side and supply-side drivers in the low-carbon transition. *Environmental and Resource Economics*. 2025. Vol. 88. № 5. P. 1239–1295. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10640-025-00965-3> (date of access: 09.07.2025).
13. Yakymchuk A., Rataj M. A. Economic analysis of fossil CO₂ emissions: A European perspective on sustainable development. *Energies*. 2025. Vol. 18. № 8. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18082106> (date of access: 09.07.2025).

14. Steiner B., Münch C., Beckmann M., von der Gracht H. Developing net-zero carbon supply chains in the European manufacturing industry – a multilevel perspective. *Supply Chain Management*. 2024. Vol. 29. № 7. P. 164–181. DOI: <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2024-0372> (date of access: 09.07.2025).
15. EU Electricity Trends. Chapter 2. *Ember: website*. 2024. URL: <https://ember-energy.org/latest-insights/european-electricity-review-2024/eu-electricity-trends/> (date of access: 09.07.2025).
16. Carbon intensity of energy production. *Our World in Data: website*. 2023. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/co2-per-unit-energy> (date of access: 09.07.2025).
17. Share of electricity production from renewables. *Our World in Data: website*. 2024. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/share-electricity-renewables> (date of access: 09.07.2025).
18. Ember: Warming's 2024 share of global power demand rise was covered with fossil fuels. *Balkan Green Energy News: website*. 2025. URL: <https://balkangreenenergynews.com/ember-warnings-2024-share-of-global-power-demand-rise-was-covered-with-fossil-fuels/> (date of access: 09.07.2025).
19. Renewable energy hits 32% of global electricity in 2024, states Ember report. *Energy Monitor: website*. 2025. URL: <https://www.energymonitor.ai/news/renewable-energy-hits/> (date of access: 09.07.2025).
20. Renewables made up 44.7% of EU electricity production leading in power generation in 2023. *Baltic Wind: website*. 2024. URL: <https://balticwind.eu/renewables-made-up-44-7-of-eu-electricity-production-leading-in-power-generation-in-2023/> (date of access: 09.07.2025).

REFERENCES:

1. Symonenko O., & Tsyhanov S. (2024) Kontsepsiia nyzkovuhletsevoi modeli rozvytku ekonomiky: teoretychnyi vymir mekhanizmiv perekhodu [The concept of a low-carbon model of economic development: a theoretical dimension of transition mechanisms]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Ekonomika*, vol. 1, no. 224, pp. 123–129. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2667.2024/224-1/14> (in Ukrainian).
2. Tsapko-Piddubna O. (2022) Enerhetychnyi perekhid v chasy heopolitychnoi nestabilnosti [Energy transition in times of geopolitical instability]. *Ekonomika ta suspilstvo*, no 43. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-43-34> (in Ukrainian) (accessed July 9, 2025).
3. Osuma G., & Yusuf N. (2025) Towards an optimal renewable energy mix for the European Union: Enhancing energy security and sustainability. *Journal of the Knowledge Economy*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13132-024-02586-5> (accessed July 9, 2025).
4. Papadopoulou M., Passalacqua R., di Valdalbero D. R., & Steele E. R. (2021) Decarbonising the EU power sector: a technological and socio-economic analysis and the role of nuclear. *arXiv*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.01121> (accessed July 9, 2025).
5. Victoria M., Zhu K., Brown T., Andresen G.B., & Greiner M. (2020) Early decarbonisation of the European energy system pays off. *Nature Communications*, vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20015-4> (accessed July 9, 2025).
6. Presno M. J., Landajo M., & Fernández González P. (2021) GHG emissions in the EU-28: A multilevel club convergence study of the Emission Trading System and Effort Sharing Decision mechanisms. *Sustainable Production and Consumption*, vol. 27, pp. 998–1009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.032> (accessed July 9, 2025).
7. Dumitrescu D. G., Horobeț A., Tudor C. D., & Belășcu L. (2023) Renewables and decarbonisation: Implications for energy policy in the European Union. *Amfiteatru Economic*, vol. 25, no. 63, pp. 345–361. Available at: https://www.researchgate.net/publication/371434368_Renewables_and_Decarbonisation_Implications_for_Energy_Policy_in_the_European_Union (accessed July 9, 2025).
8. Stachelscheid S., & Dutzi A. (2025) Almost 10 years of dual reporting of Scope 2: chaos or comparability? *Carbon Management*, 2459920. DOI: <https://doi.org/10.1080/17583004.2025.2459920> (accessed July 9, 2025).
9. Nagaj R., Gajdzik B., Wolniak R., & Grebski W. W. (2024) The impact of deep decarbonization policy on the level of greenhouse gas emissions in the European Union. *Energies*, vol. 17, no. 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17051245> (accessed July 9, 2025).
10. Noveiri M. J. S., Shabani M., & Kordrostami S. (2025) Assessing circular economy performance of OECD countries: A double-frontier multi-period DEA with flexible measures. *Renewable Energy*, vol. 246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122851> (accessed July 9, 2025).
11. Sakthimurugan V., Lakshmikanth G., Balaji N., Roopashree R., Kumar D., & Devarajan Y. (2025) Green hydrogen revolution: Advancing electrolysis, market integration, and sustainable energy transitions towards a net-zero future. *Results in Engineering*, vol. 26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104849> (accessed July 9, 2025).

12. Rizzati M.C.P., Ciola E., Turco E., Bazzana D., & Vergalli S. (2025) Beyond green preferences: Demand-side and supply-side drivers in the low-carbon transition. *Environmental and Resource Economics*, vol. 88, no. 5, pp. 1239–1295. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10640-025-00965-3> (accessed July 9, 2025).
13. Yakymchuk A., Rataj M. A. (2025) Economic analysis of fossil CO₂ emissions: A European perspective on sustainable development. *Energies*, vol. 18, no. 8. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18082106> (accessed July 9, 2025).
14. Steiner B., Münch C., Beckmann M., & von der Gracht H. (2024) Developing net-zero carbon supply chains in the European manufacturing industry – A multilevel perspective. *Supply Chain Management*, vol. 29, no. 7, pp. 164–181. DOI: <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2024-0372> (accessed July 9, 2025).
15. EU Electricity Trends. Chapter 2 (2024) *Ember: website*. Available at: <https://ember-energy.org/latest-insights/european-electricity-review-2024/eu-electricity-trends/> (accessed July 9, 2025).
16. Carbon intensity of energy production (2023) *Our World in Data: website*. Available at: <https://ourworldindata.org/grapher/co2-per-unit-energy> (accessed July 9, 2025).
17. Share of electricity production from renewables (2024) *Our World in Data: website*. Available at: <https://ourworldindata.org/grapher/share-electricity-renewables> (accessed July 9, 2025).
18. Ember: Warming's 2024 share of global power demand rise was covered with fossil fuels (2025) *Balkan Green Energy News: website*. Available at: <https://balkangreenenergynews.com/ember-warnings-2024-share-of-global-power-demand-rise-was-covered-with-fossil-fuels/> (accessed July 9, 2025).
19. Renewable energy hits 32% of global electricity in 2024, states Ember report (2025) *Energy Monitor: website*. Available at: <https://www.energymonitor.ai/news/renewable-energy-hits/> (accessed July 9, 2025).
20. Renewables made up 44.7% of EU electricity production leading in power generation in 2023 (2024) *Baltic Wind: website*. Available at: <https://balticwind.eu/renewables-made-up-44-7-of-eu-electricity-production-leading-in-power-generation-in-2023/> (accessed July 9, 2025).