

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Каразінський інститут міжнародних відносин
та туристичного бізнесу»
Кафедра міжнародних економічних відносин та логістики

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: **«ОСОБЛИВОСТІ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО
СПІВРОБІТНИЦТВА ЄС ТА УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ
УМОВАХ»**

Виконав:
студент 2 курсу групи УОз-61 спеціальності
«Міжнародні економічні відносини»
освітньої програми «Міжнародні економічні
відносини» другого (магістерського) рівня
вищої освіти



М.НЕГОДА

Керівник:



д.е.н, проф.
І.МАТЮШЕНКО

Рецензент:

к.е.н., доцент
О.КОТ

Харків – 2025 року

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут «Каразінський інститут міжнародних відносин та туристичного бізнесу»

Кафедра міжнародних економічних відносин та логістики

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 292 Міжнародні економічні відносини

Освітня програма «Міжнародні економічні відносини»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анна ЗАЙЦЕВА
підпис ініціали, прізвище

“ _____ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ)

НЕГОДИ Михайла Сергійовича

1. Тема роботи **«Особливості цифровізації екологічного співробітництва ЄС та України в сучасних умовах»**

керівник роботи: д.е.н., проф. Матюшенко І. Ю.

затверджені наказом по університету 4001-5/3271 від 15.09.2025 р.

2. Строк подання студентом роботи 15.11.2025 р.

3. Перелік питань, які потрібно: дослідити сутність і еволюцію понять «цифровізація» та «екологічне співробітництво»; визначити теоретичні засади поєднання цифрових та екологічних трансформацій у міжнародних економічних відносинах; розробити методичний підхід до оцінки цифровізації у сфері екологічного співробітництва в сучасних умовах; проаналізувати досвід ЄС у створенні політичних та інституційних механізмів цифрової екологічної взаємодії; охарактеризувати стан і тенденції цифровізації екологічного сектору України в умовах євроінтеграції; провести порівняльну оцінку цифрової екологічної трансформації в ЄС та Україні; виконати моделювання впливу цифровізації на екологічну ефективність у контексті співпраці України та ЄС;

визначити стратегічні пріоритети, можливості та ризики розвитку цифрових технологій у сфері екологічної політики України.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1.	Теоретико-методичні передумови дослідження цифровізації екологічного співробітництва між країнами
2.	Особливості цифровізації екологічного співробітництва ЄС та України
3.	Перспективи цифровізації екологічного співробітництва ЄС та України в сучасних умовах

5. Дата видачі завдання 01.12.2024 р.

Студент



Михайло НЕГОДА

Керівник роботи



Ігор МАТЮШЕНКО

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1. Теоретико-методичні основи дослідження цифровізації екологічного співробітництва між країнами.....	8
1.1. Сутність і еволюція понять «цифровізація» та «екологічне співробітництво».....	8
1.2. Теоретичні засади поєднання цифрових та екологічних трансформацій у міжнародних економічних відносинах.....	13
1.3. Методичні підходи до оцінки цифровізації у сфері екологічного співробітництва між країнами.....	18
Висновки до першого розділу.....	23
Розділ 2. Особливості цифровізації екологічного співробітництва ЄС та України.....	26
2.1. Політичні та інституційні механізми цифрової екологічної взаємодії: досвід ЄС.....	26
2.2. Стан і тенденції цифровізації екологічного сектору України в умовах євроінтеграції.....	31
2.3. Порівняльна оцінка цифрової екологічної трансформації в ЄС та Україні.....	35
Висновки до другого розділу.....	52
Розділ 3. Перспективи цифровізації екологічного співробітництва ЄС та України в сучасних умовах.....	54
3.1. Моделювання впливу цифровізації на екологічну ефективність у контексті співпраці України та ЄС.....	54
3.2. Перспективи розвитку цифрових технологій у сфері екологічного співробітництва ЄС та України	66
Висновки до третього розділу.....	77
Висновки.....	80
Список використаних джерел.....	87
Додатки.....	100

Обґрунтування актуальності обраної теми. У сучасних умовах глобальних екологічних викликів та цифрової трансформації економічних систем питання цифровізації екологічного співробітництва між Європейським Союзом та Україною набуває особливої актуальності. Цифрові технології стають ключовим інструментом для підвищення ефективності управління природними ресурсами, моніторингу стану довкілля, забезпечення прозорості екологічних даних і прийняття науково обґрунтованих рішень у сфері сталого розвитку. В умовах реалізації Європейського зеленого курсу та прагнення України до інтеграції у європейський екологічний простір цифровізація виступає не лише технічним, а й стратегічним чинником зміцнення партнерства. Розвиток цифрової екосистеми у сфері екологічного співробітництва дозволяє створювати спільні бази даних, екологічні платформи, системи супутникового моніторингу, а також інструменти для прогнозування кліматичних змін і скорочення викидів парникових газів. Для України це відкриває можливості для підвищення якості екологічного управління, адаптації національного законодавства до європейських стандартів та активної участі у проєктах «зеленої» цифрової трансформації.

Водночас актуальність дослідження зумовлена необхідністю виявлення особливостей інтеграції цифрових рішень у систему екологічної політики України, визначення бар'єрів і перспектив розвитку цього процесу в контексті євроінтеграції. Важливо також проаналізувати, яким чином цифрові інновації сприяють досягненню цілей сталого розвитку, реалізації принципів «зеленого» зростання та формуванню спільного цифрово-екологічного простору між ЄС і Україною. Таким чином, дослідження особливостей цифровізації екологічного співробітництва ЄС та України має ще й практичне значення, оскільки сприяє виробленню нових підходів до екологічного управління, посиленню екологічної безпеки та інтеграції України в європейський цифровий і «зелений» простір.

Ступінь вивчення проблеми. Теоретико-методологічні, прикладні аспекти та інструменти цифровізації екологічного співробітництва країн ЄС

та України вивчали багато іноземних та вітчизняних вчених, зокрема такі як:⁶ М. Портер, Р. Костанца, Н. Стерн, Дж. Сакс, Дж. Стігліц, Г. Дейлі, Д. Медоуз, К. Рейворт, Т. Джексон, У. Бек, К. Шваб, Дж. Ріфкін, П. Хокен, Е. Гідденс, М. Мацукато, Я. Тінберген, Дж. Елкінгтон, Д. Пірс, Р. Солоу, Р. Флорида, Г. Йонас, Е. Дюфло, К. Фрей, В. Нордгаус, К. Фріман — а також українські дослідники: А. Мазаракі, А. Колот, А. Філіпенко, І. Сотник, О. Прокопенко, Т. Хаустова, Л. Шинкарук, В. Власюк, І. Грищенко, С. Квіт, Г. Карпушина, О. Коваленко, В. Гейць, О. Шубравський, Н. Лук'яненко та інші. Іноземні автори зосереджують увагу на глобальних викликах кліматичних змін, переході до низьковуглецевої економіки та ролі інновацій у досягненні цілей сталого розвитку. Вітчизняні ж науковці досліджують питання адаптації європейського досвіду цифровізації до українських реалій, формування екологічної політики та інституційного забезпечення «зеленої» трансформації економіки України в контексті євроінтеграційних процесів. В той же час вивчення проблеми цифровізації екологічного співробітництва країн ЄС та України в сучасних умовах до тепер вивчено недостатньо, що обумовлює актуальність даної роботи.

Мета роботи полягає у дослідженні європейського досвіду цифровізації екологічного співробітництва з виявленням тенденцій та перспектив для України в сучасних умовах.

Досягнення мети дослідження передбачає постановку наступних *завдань*:

- дослідити сутність і еволюцію понять «цифровізація» та «екологічне співробітництво»;
- визначити теоретичні засади поєднання цифрових та екологічних трансформацій у міжнародних економічних відносинах;
- розробити методичний підхід до оцінки цифровізації у сфері екологічного співробітництва в сучасних умовах;
- проаналізувати досвід ЄС у створенні політичних та інституційних механізмів цифрової екологічної взаємодії;
- охарактеризувати стан і тенденції цифровізації екологічного сектору України в умовах євроінтеграції;

- провести порівняльну оцінку цифрової екологічної трансформації в ЄС та Україні;
- виконати моделювання впливу цифровізації на екологічну ефективність у контексті співпраці України та ЄС;
- визначити стратегічні пріоритети, можливості та ризики розвитку цифрових технологій у сфері екологічної політики України.

Об’єктом дослідження кваліфікаційної роботи є розвиток цифровізації екологічного співробітництва країн ЄС.

Предмет дослідження – визначення особливостей та розробка рекомендацій для цифровізації екологічного співробітництва ЄС та України в сучасних умовах.

Використані методи дослідження пов'язані з застосуванням синтезу історичного і логічного методів забезпечує характер дослідження динамічних рядів. Використано порівняльний метод, статистичний метод для обробки кількісних даних, зведення їх у таблиці. Для розрахунку використовувався тренд-аналіз, кореляційно-регресійний аналіз. Інформаційною базою дослідження виступили літературні джерела українських та іноземних видань, звіти та окремі спеціальні дослідження низки міжнародних організацій, Світового банку, статистичні матеріали.

Апробація результатів дослідження. Результати дослідження були апробовані у доповіді: «Особливості цифровізації екологічного співробітництва ЄС та України в сучасних умовах» на XX науково-практичної конференції молодих вчених «Актуальні проблеми світового господарства і міжнародних економічних відносин» (м. Харків, 28.02.2025 р.).

Робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків; містить 80 сторінок тексту, 5 таблиць, 16 рисунків, 1 додаток. Список джерел включає 71 найменування, зокрема 54 електронних джерела.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА МІЖ КРАЇНАМИ

1.1. Сутність і еволюція понять «цифровізація» та «екологічне співробітництво»

Сучасна економічна наука переживає трансформаційний період, у якому дві ключові тенденції — цифровізація та екологічне співробітництво — стають основою глобальних політик розвитку. Цифрові технології створюють передумови для інновацій, відкритості даних і сталого зростання, тоді як екологічне співробітництво формує нову архітектуру міжнародних економічних відносин, орієнтованих на декарбонізацію, ресурсоефективність та соціальну відповідальність [17;111;123]. Огляд наукової літератури щодо сутності й еволюції понять «цифровізація» та «екологічне співробітництво» вказує на їх міждисциплінарний характер і поступове зближення у площині сталого розвитку та кліматичної політики. Між цими напрямками формується інтегрована парадигма «зелено-цифрової трансформації» [43;59].

Поняття *цифровізації* розвивалося від технологічної до системної економічної категорії. У 1950-70-х рр. цифрові інновації трактувалися як фактор підвищення продуктивності [135]. З 1980-х років з'явилися концепції інформаційної та мережевої економіки (М. Кастельс [16], М. Портер [124]). У двохтисячних роках формується підхід до *цифрової економіки* як системи, де дані є головним ресурсом, а мережеві платформи — новими координаторами ринку [15;134]. Поступово виникла *парадигма цифрової трансформації*, яка охоплює соціальні, правові та інституційні аспекти.

К. Шваб [110] у «The Fourth Industrial Revolution» описує симбіоз фізичного, біологічного й цифрового світів; Е. Бріньйолфссон і Е. МакАфі [140] вказують, що цифровізація змінює логіку виробництва й праці, породжуючи «економіку алгоритмів». На рівні економічної теорії це підтримують неінституціональні підходи (О. Вільямсон, Д. Норт) [101], які пояснюють, як ІКТ знижують трансакційні витрати.

Цифровізація має також постіндустріальний вимір: концепції ⁹ *економіки знань* [13], *економіки участі* [116] і *економіки даних* [23] підкреслюють роль інформації як нового виробничого фактора, а інфраструктури даних — як бази суспільних благ.

У табл. 1.1 наведено порівняння теоретичних підходів до визначення цифровізації.

Таблиця 1.1

Теоретичні підходи до цифровізації

Теоретичний підхід	Основні представники	Ключові положення	Практичне значення
Інформаційна економіка	М. Кастельс, Ф. Махлуп	Інформація — новий фактор виробництва	Розвиток цифрових ринків, знансєвих активів
Неоінституціональний	Д. Норт, О. Вільямсон	Цифровізація знижує трансакційні витрати	Підвищення ефективності управління
Теорія інновацій	Й. Шумпетер, М. Портер	Інновації як рушій цифрового розвитку	Підтримка кластерів, стартапів
Платформена економіка	Е. Брінйолфссон, Н. Паркс	Платформи — нові координатори ринку	Розвиток gig-економіки, маркетплейсів
Концепція цифрової трансформації	К. Шваб, М. Тапскотт	Злиття фізичного, біологічного й цифрового	Політика «цифрового переходу»

Складено автором за [13;15-16;23;101;110;116;124;134-135;140].

В академічному дискурсі розрізняють «оцифрування» (digitization) як перетворення аналогових сигналів у цифрові дані й «цифровізацію» (digitalization) як ширший соціотехнічний процес змін бізнес-моделей, управлінських практик і суспільних відносин завдяки ІКТ (Brennen & Kreiss; Parviainen et al.) [14;121]. Ці підходи доповнюються концептами «цифрових інфраструктур» і «конвергенції технологій», що пояснюють масштабованість і перетин секторів через платформи, хмарні сервіси та дані (Tilson, Lyytinen & Sørensen; Yoo et al.) [141;161]. У політико-економічному вимірі цифровізація дедалі частіше розглядається як інструмент досягнення Цілей сталого розвитку ООН, зокрема через підвищення ресурсоефективності, прозорості ланцюгів поставок і екологічного моніторингу [111;116;151].

Поняття *екологічного співробітництва* розвивалося у межах міжнародної екологічної економіки. Так, класичні праці Р. Костанци, Г. Дейлі [88] заклали основи екологічної економіки, що розглядає економіку як підсистему біосфери. У 1990-х рр. формується теорія *екологічної модернізації* (А. Гідденс, Й. Хубер) [90], що обґрунтовує сумісність економічного зростання та охорони довкілля через інновації. Пізніше виникають *концепції сталого розвитку* [150], *зеленої економіки* [146] і *низьковуглецевого зростання* [98]. У рамках цих підходів екологічне співробітництво інтерпретується як сукупність механізмів узгодження політик, обміну даними, технічної допомоги й трансферу технологій між державами [137]. Вагомий внесок зроблено в межах програм ООН, ЄС та ОЕСР [103;109;126;130], які інтегрують цифрові рішення у екологічну політику. У табл. 1.2 наведено порівняння теоретичних підходів до екологічного співробітництва.

Таблиця 1.2

Теоретичні підходи до екологічного співробітництва

Теоретичний підхід	Основні представники	Ключові положення	Практичне значення
Екологічна економіка	Р. Костанца, Г. Дейлі	Економіка — підсистема біосфери	Інтеграція еко-факторів у ВВП
Екологічна модернізація	А. Гідденс, Й. Хубер	Інновації — засіб зменшення впливу	«Зелені» технології, екоінновації
Сталий розвиток	Г. Брунтланд, Д. Медоуз	Баланс економіки, суспільства, природи	Цілі сталого розвитку ООН
Зелена економіка	Дж. Сакс, К. Рейворт	Економічне зростання + екологічна рівновага	«Зелене» оподаткування, фінансування
Кліматичне врядування	Н. Стерн, Д. Пірс	Глобальна координація скорочення викидів	Паризька угода, СВМ ЄС

Складено автором за [88;90;98;103;109;126;130;137;146; 150].

Європейський Союз інституціалізує зв'язок «цифрове-зелене» у парадигмі «подвійного переходу»: Європейський зелений курс, Цифровий компас-2030, пакет циркулярної економіки та єдина цифрова ринкова архітектура задають нормативну рамку для інтеграції даних, екосистем відкритих державних даних і оперативної сумісності екологічної інформації [44;56;60]. Ключову роль відіграють інституційні ініціативи щодо даних: програма Copernicus, Директива INSPIRE та концепція Спільної системи екологічної інформації (SEIS), які

формують технічні стандарти обміну, метадані, інтероперабельність¹¹ геопросторових ресурсів і прозорість для учасників транскордонної взаємодії.

Більше того, поняття *«екологічного співробітництва»* еволюціонувало від координації охорони довкілля в межах окремих регіональних угод до багаторівневої системи глобального врядування кліматом, біорізноманіттям і ресурсами, де ключовими є механізми прозорості даних, сумісності методик і цифрових інструментів спостереження та звітності. Від Паризької угоди й рамкових документів ООН-ООН-ЄЕК (наприклад, Оргуської конвенції) до стратегій ЄС — цифрові ресурси стають умовою довіри, контролю та підзвітності під час спільних екологічних дій, у тому числі транскордонного моніторингу повітря, вод і відходів [21;31;46; 72].

«Цифровий твіністий» вимір екологічної політики проявляється в широкому застосуванні дистанційного зондування Землі, сенсорних мереж, реєстрів викидів, блокчейн-рішень для відстеження «зелених» фінансових потоків і смарт-контрактів у вуглецевих ринках, а також у використанні штучного інтелекту для моделювання сценаріїв декарбонізації. Економічні теорії «зеленої» трансформації та екологічної модернізації підкреслюють стратегічну комплементарність інновацій, регуляторних сигналів і ринкових стимулів.

Підхід Портера – ван дер Лінде аргументує, що правильно сконструйовані екологічні регулювання можуть прискорювати інновації й підвищувати конкурентоспроможність; нові цифрові інструменти роблять ці регулювання більш таргетованими, а моніторинг — менш транзакційно витратним [125]. Концепції «потрійної нижньої лінії», «економіки пончика», «процвітання без зростання» та «низьковуглецевого зростання» формують критерії оцінки ефектів цифровізації — чи сприяє вона екодизайну, заміщенню матеріальних потоків інформаційними, подовженню життєвого циклу продукції, розвитку сервісних моделей «product-as-a-service» і циркулярних платформ [37;97;127;147].

Окремий пласт літератури зосереджено на ризиках і компромісах цифровізації для довкілля: «ефект відскоку», зростання споживання енергії дата-центрів, електронні відходи, цифровий розрив, кібербезпека екологічної критичної інфраструктури. Згідно з оглядами OECD та IPCC, чистий ефект

залежить від структури енергетичного міксу, темпів декарбонізації ІТ-сектору¹², енергоефективності алгоритмів і політики екодизайну пристроїв. Тому стратегічні напрями досліджень концентруються на «зеленій цифровізації» (greening by digital) і «де-карбонізації цифрового» (greening of digital): перша акцентує прикладне використання ІКТ для скорочення викидів в енергетиці, транспорті, АПК, друга — на зниженні екологічного сліду ІКТ-індустрії.

Водночас міждержавне екологічне співробітництво все частіше проектується як «data-centric governance», де правила доступу, сумісності й якості даних є невіддільними від матеріальних заходів політики. Таким чином, еволюція понять «цифровізація» та «екологічне співробітництво» рухається від інструментальних визначень до інтегрованої парадигми «цифрово-зеленої» трансформації. З погляду теорії політики, це означає перехід від координації технічних стандартів до узгодження регуляторних режимів і спільного управління даними. З погляду економіки інновацій — зшивання цифрових і зелених технологічних траєкторій через ринки даних, відкриту науку та стандарти інтероперабельності.

Механізми екологічного співробітництва ЄС-Україна чітко закріплено в Угоді про асоціацію, яка передбачає імплементацію acquis у сферах якості повітря, управління відходами, водної політики, промислового забруднення, клімату та доступу до інформації. «Подвійний перехід» в українському контексті спирається на *Концепцію розвитку цифрової економіки та суспільства* (2018), законодавство про національну інфраструктуру геопросторових даних, оновлений національно визначений внесок у межах Паризької угоди та *Стратегію державної екологічної політики до 2030 року* [1-2;6]. На перетині політик створюється цифрова екосистема екомоніторингу (державні реєстри, відкриті дані, геопортали, підключення до європейських систем гармонізованих показників), що забезпечує сумісність із європейськими практиками звітності та верифікації, зокрема для участі у єдиному ринку «зелених» товарів та послуг і в механізмах СВМ.

Таким чином, огляд показав, що цифровізація та екологічне співробітництво — це взаємодоповнювані процеси, які мають спільне

теоретичне підґрунтя: інституційну координацію, інформаційну прозорість¹³ і орієнтацію на інновації. У сучасних умовах вони формують єдиний контур політики «подвійного переходу», де економічне зростання узгоджується з екологічною безпекою завдяки цифровим інструментам управління, моделювання й верифікації..

В українському контексті цифровізація екологічного співробітництва в межах ЄС реалізується через розбудову *інтегрованої системи моніторингу довкілля*, використання відкритих даних і гармонізацію з директивами INSPIRE та SEIS. Це сприяє створенню «економіки даних» у сфері довкілля, де цифрові ресурси стають основою екологічного врядування. Для ЄС та України це відкриває можливості поглибленої інтеграції в єдині екосистеми спостереження, звітності та верифікації, прискорює наближення до європейських цілей кліматичної нейтральності та водночас ставить вимоги до розвитку кадрів, інституційних спроможностей і правових гарантій етики даних.

1.2. Теоретичні засади поєднання цифрових та екологічних трансформацій у міжнародних економічних відносинах

Поєднання цифрової та екологічної трансформацій — так звана «подвійна» або *twin transition* — дедалі частіше розглядається як нова парадигма розвитку міжнародних економічних відносин. Вона ґрунтується на взаємодоповнюваності двох процесів: прискореного впровадження цифрових технологій та системної екологізації виробництва, споживання і фінансів. Із позицій теорії міжнародної економіки це поєднання формує нові правила доступу до ринків, структурує глобальні ланцюги доданої вартості, змінює конфігурацію потоків прямих іноземних інвестицій, а також ускладнює інституційне середовище завдяки появі «зелених» таксономій, стандартів даних і цифрових інфраструктур для вимірювання впливів [25;111;157]. Теоретично проблему доцільно аналізувати через синтез інституційної економіки, еколого-економічних підходів, еволюційної теорії інновацій та соціотехнічних переходів, доповнений методологією міжнародної політичної економії та сучасними підходами до

вимірювання сталості (ESG, впливові інвестиції, таксономії «зелених»¹⁴ активностей) [37;69;117;143].

Еколого-економічна школа (Г. Дейлі, Р. Костанца) виходить із обмеженості біофізичних меж планети та потреби внутрішньої узгодженості економічних процесів із природним відтворенням екосистемних послуг; відтак екологічні зовнішні ефекти мають бути інтегровані в ціноутворення та інвестиційні рішення через коригувальні податки, квоти, ринки вуглецю, «зелені» стандарти звітності [22;25].

Концепція «планетарних меж» Й. Рокстрьома поглиблює ці засади, вказуючи на нелінійність екологічних ризиків та необхідність превентивних політик, що водночас створює нові стимули для інновацій у «чистих» технологіях [129].

Еволюційно-інноваційний підхід (Й. Шумпетер, маріанська школа місійно-орієнтованих інновацій) розглядає «зелену» трансформацію як процес творчого руйнування, де регуляторні місії мобілізують фінанси, науку і підприємництво для досягнення суспільно-значущих цілей, а дані та цифрова аналітика виконують роль координаційної тканини між акторами [102;133].

Теорія соціотехнічних переходів (Ф. Гілс та ін.) пояснює, як нові технологічні ніші (ВДЕ, водень, «розумні» мережі) прориваються крізь інерцію домінантних режимів завдяки узгодженню технологічних, ринкових і політичних інституцій; тут цифрові платформи скорочують транзакційні витрати координації, прискорюючи масштабування «зелених» рішень [86].

Розглянемо механізми комплементарності, а саме як *цифровізація* підсилює «зелені» зрушення.

Дані та вимірювання: цифрові сенсори, «інтернет речей» (IoT), супутникове спостереження та аналітика великих даних роблять видимими раніше «приховані» екстерналії (викиди, втрати енергії, деградацію ґрунтів), перетворюючи їх на керовані змінні інвестиційних моделей. Це зменшує інформаційні асиметрії між інвесторами і підприємствами та підвищує якість оцінки ризиків перехідного періоду (policy risk, carbon risk) [69;157].

Операційна ефективність і декарбонізація: AI/ML-підходи забезпечують оптимізацію енергоспоживання, прогнозне обслуговування, цифрові двійники активів, динамічне керування навантаженнями в «розумних» мережах (smart grids). Для глобальних ланцюгів це означає зниження питомої енергоемності й вуглецевого сліду одиниці продукції, що прямо впливає на дисконтні ставки у «зелених» проєктах та вартість капіталу [37;91;111].

Ринки та фінанси: токенизація активів, цифрові реєстри вуглецю, смарт-контракти і перевірні дані (verifiable data) спрощують верифікацію сталих показників, зменшують витрати на аудит і підвищують прозорість «зелених» облігацій і перехідних фінансових інструментів. Цифрові платформи сприяють появі нових форм участі домогосподарств і МСП у «зелених» інвестиціях (краудфінансування, енергетичні кооперативи) [92;117].

Інституційні стандарти: європейська таксономія сталих видів діяльності, корпоративна звітність за CSRD/ESRS, розбудова публічних дата-реєстрів (викиди, відходи, водокористування) підштовхують транснаціональні корпорації до цифрової гармонізації ланцюгів постачання – від маркування (product passport) до наскрізного простежування (end-to-end traceability) [24;52; 143].

Розглянемо теоретичну модель «подвійної трансформації» у міжнародних відносинах. Аналітично *twin transition* можна подати як систему зі зворотними зв'язками, де *цифрові інфраструктури (D)* впливають на *економічні стимули (S)* та *екологічні результати (E)* через три канали:

- інформаційний (зниження невизначеності і транзакційних витрат);
- технологічний (підвищення ресурсної продуктивності);
- інституційний (узгодження правил і метрології сталості).

У динаміці це описується еволюційним відбором бізнес-моделей: моделі з вищою «цифрово-зеленою» сумісністю демонструють кращу пристосованість до регуляторних шоків і зміни споживчих уподобань, що корелює з нижчою вартістю капіталу і вищою стійкістю до глобальних порушень ланцюгів [86;133;159].

В той же час існують певні обмеження й ризики «цифрово-зеленого» синтезу, коли поєднання цифровізації та екологізації не є автоматично позитивним:

- *енергетичний слід ІКТ* (центри обробки даних, майнінг, генеративні моделі) може нівелювати частину «зелених» вигащів у короткостроковому періоді, якщо енергомікс залишається «вуглецевим» [91];
- *ефект рикошету (rebound)*: продуктивні вигащів здешевлюють споживання, стимулюючи додатковий попит (наприклад, на логістику «останньої милі») [69; 129];
- *цифрова нерівність і кіберризик*: асиметрії доступу до даних та інфраструктур посилюють глобальні диспропорції; кіберінциденти у критичних енергетичних системах мають системний характер [157].
- *greenwashing і метрики*: неоднорідність стандартів розкриття і верифікації створює простір для маніпуляцій; цифрові реєстри покликані це зменшити, однак потребують інституційної довіри [24; 38].

Отже, теоретична рамка подвійної трансформації повинна включати інструменти «вбудованого» управління ризиками: декарбонізацію ІКТ-інфраструктур, повний життєвий цикл оцінок (LCA) цифрових рішень, політику відкритих і перевірних даних, багаторівневу кіберстійкість [37-38; 91].

Розглянемо наслідки «цифрово-зеленого» синтезу для міжнародних економічних відносин і політики. На глобальному рівні цифрово-зелені стандарти стають некласичними торговельними бар'єрами (вимоги до звітності, вуглецеве коригування на кордоні, сталі маркери походження), що переформатовує конкурентні переваги країн і корпорацій [52; 159].

Водночас виникають нові колективні блага — відкриті екологічні дані, загальні протоколи вимірювання, транскордонні мережі «розумних» систем.

Економічна теорія міжнародного співробітництва підказує, що оптимальні механізми — це поєднання клубних угод (між сумісними юрисдикціями) і багатостороннього узгодження мінімальних стандартів, закріплених у міжнародних організаціях [102;117].

Для транснаціональних корпорацій теоретичні висновки такі: максимізація¹⁷ міжчасової корисності інвестиційного портфеля потребує *спільної оптимізації* фінансових і нематеріальних активів (дані, моделі, алгоритми), де цифрові активи стають комплементарними до «зелених» капіталовкладень і знижують імовірність блокувань у майбутніх регуляторних режимах [37;92;143]. Для держав — раціональне поєднання місійно-орієнтованих програм (енергетичний перехід, декарбонізація промисловості) з інвестиціями у відкриті дані, стандарти інтероперабельності та людський капітал цифрово-зеленої економіки [102;133].

Методичне поєднання трансформацій вимагає гібридних індикаторів і моделей:

- композитні індекси цифрово-зеленої зрілості (поєднання показників DESI/EEA/інтенсивності викидів);
- економіко-рівноважні моделі CGE з енергетичними та даними-пов'язаними секторами;
- багаторівневі панельні регресії для ідентифікації причинно-наслідкових зв'язків між цифровою інфраструктурою та «зеленими» результатами (викиди, енергоємність, продуктивність ресурсів);
- мережевий аналіз ланцюгів постачання з простежуваністю вуглецевого сліду [69;111;117;145].

Критично важливо також запроваджувати відкриті формати даних (machine-readable), онтології сталості та протоколи перевірюваності для реплікації результатів [24;28;145].

Таким чином, теоретичні засади поєднання цифрових і екологічних трансформацій у міжнародних економічних відносинах відбивають перехід від неокласичної логіки статичних порівняльних переваг до динамічної логіки *інституційно-даних-комплементарності*. Цифрові технології роблять екологічні впливи вимірюваними і керованими, а «зелені» імперативи задають попит на цифрові рішення, що знижують транзакційні та екологічні витрати.

Усе це змінює міжнародну конкурентоспроможність, архітектуру правил торгівлі та інвестицій, вимоги до звітності й верифікації. Подальший розвиток теорії має спиратися на інтегровані моделі, здатні оцінювати системні ефекти та

компроміси подвійної трансформації, а також на інституційну інженерію¹⁸ відкритих, інтероперабельних і достовірних даних для глобальної координації.

1.3. Методичні підходи до оцінки цифровізації у сфері екологічного співробітництва між країнами

Сучасна глобальна економіка характеризується посиленням взаємозалежності між країнами, у тому числі у сфері екологічного співробітництва. Водночас цифровізація стає ключовим чинником, який формує нові інструменти та підходи до моніторингу, управління й оцінки спільних екологічних ініціатив. Необхідність розроблення методичних підходів до оцінки рівня цифровізації екологічного співробітництва зумовлена потребою у створенні єдиної системи індикаторів, яка дозволить порівнювати ефективність екологічних політик різних держав, оцінювати результати цифрових ініціатив та визначати напрями їх подальшого удосконалення.

Методологічні засади оцінки цифровізації у сфері екологічного співробітництва ґрунтуються на системному та інтегрованому підходах. Системний підхід дозволяє розглядати цифровізацію як складову частину ширшої системи екологічного управління, у якій взаємодіють економічні, правові, технологічні та соціальні підсистеми. Інтегрований підхід передбачає поєднання кількісних і якісних методів аналізу, що дає можливість оцінити не лише рівень упровадження цифрових інструментів, а й їхній реальний вплив на якість екологічного управління [4].

Іншим важливим аспектом є врахування просторового та часово-динамічного виміру цифровізації. Це дозволяє досліджувати не лише рівень розвитку цифрової екосистеми на певний момент часу, а й тенденції її еволюції в межах регіонів і міжнародних об'єднань. У цьому контексті особливу роль відіграють панельні дослідження, що поєднують статистичні спостереження, економетричні моделі та експертні оцінки.

Для оцінювання рівня цифровізації екологічного співробітництва пропонується використовувати багатовимірну систему індикаторів, що охоплює

такі компоненти: технологічну, інституційну, фінансову, інформаційну та соціальну: ¹⁹

- *технологічна* компонента включає показники розвитку цифрової інфраструктури, наявності екологічних інформаційних систем, рівня автоматизації процесів збору та аналізу даних [117];

- *інституційна* компонента передбачає наявність національних стратегій цифрової трансформації екологічної політики, законодавчих актів, що регулюють електронне врядування у сфері довкілля, та міждержавних угод про обмін екологічними даними;

- *фінансова* компонента відображає обсяг інвестицій у цифрово-екологічні проекти, зокрема в цифрові сервіси управління природними ресурсами та екологічний моніторинг;

- *інформаційна* компонента враховує відкритість екологічних даних, рівень інтеграції національних баз у міжнародні екологічні платформи, а також наявність аналітичних інструментів для оцінки впливу цифрових рішень на довкілля [145];

- *соціальна* компонента вимірює цифрову грамотність працівників екологічних органів, рівень суспільної залученості до екологічного моніторингу через цифрові додатки (citizen science) та розвиток інклюзивних практик у сфері цифрової екологічної політики [59].

Одним із ефективних методичних інструментів оцінки цифровізації є побудова індексів. Наприклад, може застосовуватися *Індекс цифрової зрілості екологічного співробітництва* (Environmental Digital Cooperation Index), який визначається за формулою інтегрального середнього значення за всіма компонентами цифрової екосистеми. Для кількісної оцінки доцільно використовувати методи нормалізації даних, вагового середнього та багатофакторного аналізу. Для якісної оцінки — методи експертного опитування, SWOT-аналізу та контент-аналізу стратегічних документів [3].

Важливою частиною методики є забезпечення доступності та достовірності екологічних і цифрових даних. Для цього рекомендується формувати спільні стандарти відкритих даних (open data), сумісні онтології

цифрової екології, а також використовувати міжнародні платформи, такі як 20 Європейська обсерваторія сталого розвитку або Глобальна екологічна база даних UNEP. Цифрові інструменти, як-от системи Copernicus, дозволяють забезпечити високоточний моніторинг та інтеграцію даних про довкілля у процес прийняття політичних рішень [20].

В роботі запропоновано структурувати оцінку за шістьма змістовими блоками, кожен із яких репрезентує окрему складову цифрової екологічної трансформації. Такий підхід дозволяє забезпечити системність і порівнянність результатів, а також виявити ключові закономірності формування цифрово-екологічної синергії в межах ЄС і в Україні,

1. Складова «Цифровізація» – рівень цифрової інтеграції, доступ до інтернету, розповсюдження цифрових технологій серед населення (Digital Adoption / ICT Index).

2. Складова «Інновації» – технологічний потенціал, інтенсивність інноваційних інвестицій (R&D, % ВВП).

3. Складова «Екологічна сталість» – якість екологічної політики, динаміка зеленого енергетичного переходу (екологічна ефективність і частка ВДЕ (%)).

4. Складова «Результативність» – ефективність екологічної політики та вплив цифровізації на скорочення викидів (рівень викидів CO₂ per capita).

5. Складова «Інституційне середовище» – якість державного управління, здатність реалізовувати цифрово-екологічні стратегії (Government Effectiveness Index (WGI)).

6. Складова «Інтегральний результат» – узагальнена оцінка прогресу в досягненні Цілей сталого розвитку (SDG Index як узагальнена метрика сталого розвитку).

Запропонована система складових охоплює як кількісні параметри цифровізації, енергетики та інновацій, так і якісні характеристики інституційного розвитку й екологічної ефективності. Вибрані індикатори забезпечують міжнародну порівнянність, використовуються у звітах провідних світових організацій (World Bank, OECD, UNDP, SDSN, Yale University) та мають відкриті статистичні серії принаймні за останні п'ять–сім років.

З метою виявлення економічного впливу цифровізації на динаміку «зеленої» економіки пропонується побудова системи регресійних моделей для трьох груп країн, виокремлених у підрозділі 2.3 за рівнем цифрово-екологічної зрілості:

- група I – країни з високим рівнем цифрово-екологічної трансформації ($\geq 0,75$);
- група II – країни із середнім рівнем ($0,55-0,74$);
- група III – країни з низьким рівнем ($\leq 0,54$), до якої належить і Україна.

Для забезпечення реплікованості обчислень і мінімізації статистичних обмежень використано усереднені дані за 2018–2023 рр. для кожної країни. Це дозволяє сформувати збалансовану перехресну вибірку, де кожен рядок відповідає окремій країні, а всі змінні мають однорічні середні значення, що відображають структурний рівень цифровізації та екологічних результатів.

Для побудови моделей обрано шість статистичних показників, які найбільш повно відображають взаємозв'язок між рівнем цифровізації та результатами розвитку «зеленої» економіки.

Вибір показників ґрунтується на їхній репрезентативності, наявності повних рядів даних для всіх країн ЄС та України за 2018–2023 рр. і методологічній сумісності у межах системи Eurostat, World Bank та звітів Європейської комісії.

У ролі залежних змінних (Y) використано два ключові індикатори, що відображають результати «зеленої» трансформації.

– перший показник – частка відновлюваної енергії у кінцевому енергоспоживанні (REshare) – характеризує прогрес енергетичного переходу та ефективність політики декарбонізації. Він безпосередньо демонструє, наскільки країна спроможна замінювати традиційні енергоресурси відновлюваними джерелами, що є базовим елементом «зеленої» економіки.

– другий показник – мінус натуральний логарифм викидів парникових газів на душу населення ($-\ln \text{CO}_2\text{pc}$) – відображає екологічну ефективність економічної діяльності. Використання логарифма із негативним знаком дає змогу інтерпретувати вищі значення як кращі екологічні результати (менші викиди), забезпечуючи зіставність зі зростанням позитивних факторів цифровізації.

Серед незалежних змінних (X) обрано два показники, що характеризують рівень розвитку цифрової економіки.

- індекс цифрової економіки та суспільства (DESI) є інтегральним індикатором, який поєднує аспекти цифрової інфраструктури, людського капіталу, використання інтернет-технологій бізнесом і розвиток електронних публічних послуг. Він відображає загальний ступінь цифрової зрілості країни, тобто потенціал використання технологій для сталого розвитку.

- другим цифровим чинником є витрати на дослідження та розробки у секторі ІКТ (RnD_ICT_GDP) у % до ВВП. Цей показник дає уявлення про інноваційну активність у сфері цифрових технологій і визначає можливості генерування технологічних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності та екологічної продуктивності.

Для коректності економетричного аналізу до моделі включено дві контрольні змінні (Z), які враховують загальні макроекономічні та структурні умови розвитку.

- валовий внутрішній продукт на душу населення (GDPpc), який використовується як індикатор економічної спроможності країни та рівня доступу до інвестиційних ресурсів, що створюють основу для фінансування як цифрових, так і екологічних проектів. Очікується, що зростання цього показника позитивно корелює з переходом до більш екологічних моделей виробництва.

- другий контрольний показник – первинна енергоємність економіки (Energy_intensity) – характеризує ефективність використання енергетичних ресурсів. Висока енергоємність свідчить про більшу залежність від традиційних енергоносіїв і технологічну відсталість, тому вплив цього чинника на результати «зеленої» економіки очікується негативним.

У сукупності обрані показники формують логічну модель оцінювання впливу цифровізації на розвиток «зеленої» економіки в країнах ЄС та Україні.

Таким чином, запропонований методичний підхід до оцінки цифровізації у сфері екологічного співробітництва між країнами ґрунтується на поєднанні кількісних і якісних методів, що враховують не лише рівень розвитку цифрової інфраструктури, а й ефективність її використання для досягнення екологічних

цілей. Методичний підхід забезпечує комплексний аналіз впливу цифрових²³ технологій на трансформацію екологічного управління, сприяє формуванню доказової політики та підвищенню ефективності міжнародної взаємодії у сфері сталого розвитку.

Висновки до розділу 1.

Показано, що цифровізація та екологічне співробітництво — це взаємодоповнювані процеси, які мають спільне теоретичне підґрунтя: інституційну координацію, інформаційну прозорість і орієнтацію на інновації, а також формують єдиний контур політики *«подвійного переходу»*, де економічне зростання узгоджується з екологічною безпекою завдяки цифровим інструментам управління, моделювання й верифікації. В українському контексті цифровізація екологічного співробітництва в межах ЄС реалізується через розбудову *інтегрованої системи моніторингу довкілля*, використання відкритих даних і гармонізацію з директивами INSPIRE та SEIS. Це сприяє створенню «економіки даних» у сфері довкілля, де цифрові ресурси стають основою екологічного врядування. Для ЄС та України це відкриває можливості поглибленої інтеграції в єдині екосистеми спостереження, звітності та верифікації, прискорює наближення до європейських цілей кліматичної нейтральності та водночас ставить вимоги до розвитку кадрів, інституційних спроможностей і правових гарантій етики даних.

Доведено, що теоретичні засади поєднання цифрових і екологічних трансформацій у міжнародних економічних відносинах відбивають перехід від неокласичної логіки статичних порівняльних переваг до динамічної логіки *інституційно-даних-комплементарності*. Цифрові технології роблять екологічні впливи вимірюваними і керованими, а «зелені» імперативи задають попит на цифрові рішення, що знижують транзакційні та екологічні витрати. Усе це змінює міжнародну конкурентоспроможність, архітектуру правил торгівлі та інвестицій, вимоги до звітності й верифікації. Подальший розвиток теорії має спиратися на інтегровані моделі, здатні оцінювати системні ефекти та

компроміси подвійної трансформації, а також на інституційну інженерію²⁴ відкритих, інтероперабельних і достовірних даних для глобальної координації.

Запропоновано методичний підхід до оцінки цифровізації у сфері екологічного співробітництва між країнами, який ґрунтується на поєднанні кількісних і якісних методів, що враховують не лише рівень розвитку цифрової інфраструктури, а й ефективність її використання для досягнення екологічних цілей. Методичний підхід забезпечує комплексний аналіз впливу цифрових технологій на трансформацію екологічного управління, сприяє формуванню доказової політики та підвищенню ефективності міжнародної взаємодії у сфері сталого розвитку.

Методичний підхід включає структурування оцінки цифровізації у сфері екологічного співробітництва за шістьма змістовими блоками, кожен із яких репрезентує окрему складову цифрової екологічної трансформації, а саме: «Цифровізація» – рівень цифрової інтеграції, доступ до інтернету, розповсюдження цифрових технологій серед населення; «Інновації» – технологічний потенціал, інтенсивність інноваційних інвестицій; «Екологічна сталість» – якість екологічної політики, динаміка зеленого енергетичного переходу; «Результативність» – ефективність екологічної політики та вплив цифровізації на скорочення викидів; «Інституційне середовище» – якість державного управління, здатність реалізовувати цифрово-екологічні стратегії; «Інтегральний результат» – узагальнена оцінка прогресу в досягненні Цілей сталого розвитку. Такий підхід дозволяє забезпечити системність і порівнянність результатів, а також виявити ключові закономірності формування цифрово-екологічної синергії в межах ЄС і в Україні.

З метою виявлення економічного впливу цифровізації на динаміку «зеленої» економіки запропонована система регресійних моделей для трьох груп країн, виокремлених за рівнем цифрово-екологічної зрілості, а саме: група I – країни з високим рівнем цифрово-екологічної трансформації ($\geq 0,75$); група II – країни із середнім рівнем ($0,55-0,74$); група III – країни з низьким рівнем ($\leq 0,54$), до якої належить і Україна. Для забезпечення реплікованості обчислень і мінімізації

статистичних обмежень будуть використано усереднені дані за 2018–2023 рр. ²⁵ для кожної країни.

У ролі залежних змінних (Y) використано два ключові індикатори результатів «зеленої» трансформації: частка відновлюваної енергії у кінцевому енергоспоживанні (REshare); мінус натуральний логарифм викидів парникових газів на душу населення ($-\ln \text{CO}_2\text{pc}$), що відображає екологічну ефективність економічної діяльності та забезпечує зіставність зі зростанням позитивних факторів цифровізації. Серед незалежних змінних (X) обрано два показники, що характеризують рівень розвитку цифрової економіки, а саме: індекс цифрової економіки та суспільства (DESI); витрати на дослідження та розробки у секторі ІКТ (RnD_ICT_GDP) у % до ВВП. Для коректності економетричного аналізу до моделі включено дві контрольні змінні (Z), які враховують загальні макроекономічні та структурні умови розвитку, а саме: валовий внутрішній продукт на душу населення (GDPpc); первинна енергоємність економіки (Energy_intensity). У сукупності обрані показники формують логічну модель оцінювання впливу цифровізації на розвиток «зеленої» економіки в країнах ЄС та Україні.

2.1. Політичні та інституційні механізми цифрової екологічної взаємодії: досвід ЄС

У сучасних умовах глобальних викликів цифровізація стає важливим інструментом реалізації екологічної політики та посилення міжнародного співробітництва у сфері сталого розвитку. Європейський Союз відіграє провідну роль у формуванні політичних та інституційних механізмів цифрової екологічної взаємодії, поєднуючи цілі «зеленого курсу» з можливостями цифрової трансформації [45;62]. Політика ЄС у цій сфері спрямована на досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року, створення «розумної» інфраструктури, забезпечення прозорості екологічних процесів і підвищення стійкості економічних систем.

Політичні механізми цифрової екологічної взаємодії в ЄС.

Такі механізми Європейського Союзу формуються в межах стратегії «подвійного переходу» — поєднання цифрової трансформації та зеленої економіки. Цей підхід закладено у *European Green Deal* (2019) та деталізовано в стратегії *2030 Digital Compass*, де цифрові технології розглядаються як ключовий фактор сталого розвитку та реалізації кліматичних цілей [45;62].

ЄС вважає цифровізацію інструментом підвищення прозорості, підзвітності та ефективності екологічного врядування; впровадження цифрових платформ, баз даних та аналітичних систем дозволяє автоматизувати процеси моніторингу довкілля, прискорити обмін інформацією між державами-членами та забезпечити доступ громадськості до екологічних даних [71]. Інтеграція принципів «цифрової зеленості» (digital greenness) у всі сфери економічної діяльності передбачає використання смарт-мереж, цифрових близнюків (digital twins) та блокчейн-технологій для контролю викидів CO₂, підвищення енергоефективності й розвитку розподілених генераційних систем [47; 112].

Цифровізація екологічної політики ЄС охоплює також механізми²⁷ регулювання та моніторингу стандартів: *EU Environmental Data Portal*, створений під егідою European Environment Agency (EEA), акумулює понад 500 індикаторів і забезпечує єдину базу для ухвалення рішень щодо клімату, водних та земельних ресурсів [39].

Нормативні ініціативи — такі як *EU Climate Data Regulation* та *План дій з цифрового екологічного переходу* (2022) — гармонізують підходи до застосування великих даних, штучного інтелекту та цифрової інтероперабельності в екологічному керуванні [40].

У межах *European Digital Agenda for Sustainability* поєднано «зелену» та цифрову стратегії у інтегрований політичний цикл; Єврокомісія координує цей процес, залучаючи держави-члени, бізнесові об'єднання та громадські організації, створюючи механізми публічно-приватного партнерства у цифрово-екологічному врядуванні [66].

Одна з важливих ініціатив — *European Climate Pact*, що поєднує цифрові платформи й участь громадян у моніторингу довкілля; створено мобільні додатки та онлайн-портали для збору даних громадськістю (*citizen science*), що підвищує екологічну обізнаність і підзвітність органів влади [74].

Компонент цифрової дипломатії представлений через *European External Action Service* (EEAS) — ЄС просуває модель «цифрової зеленої дипломатії», інтегруючи екологічні стандарти в цифрову політику зовнішніх відносин, що підсилює стандарти глобального екологічного сортування та цифрового обміну [79].

Отже, політичні механізми цифрової екологічної взаємодії в ЄС є багаторівневими, поєднують законодавчу, стратегічну, координаційну та дипломатичну функції; їхня ефективність визначається здатністю ЄС забезпечити узгодженість політик, гармонізацію цифрових технологій і одночасне досягнення кліматичних цілей без шкоди для конкурентоспроможності [148].

Інституційні механізми реалізації цифрової екологічної політики ЄС.

Інституційна система ЄС у сфері цифрової екологічної взаємодії базується на багаторівневій моделі врядування, що поєднує європейські інституції, національні органи влади, бізнес і наукові центри. Вона забезпечує цілісність реалізації політики сталого розвитку та цифрової трансформації [34].

Ключовим координатором виступає Європейська комісія, діяльність якої спрямовується через генеральні директорати: DG Environment, DG Climate Action, DG Connect і DG Energy. Спільна робота цих підрозділів гарантує узгодження технічних стандартів, показників екологічної ефективності та цифрової інтероперабельності даних [29].

Європейське агентство з навколишнього середовища (EEA) виконує функцію центру моніторингу та збору даних, адмініструючи систему EIONET та EU Environmental Data Portal. Ці структури формують відкриту цифрову екосистему обміну даними між державами-членами [36].

Вагому роль відіграє Європейський інвестиційний банк (EIB), який фінансує цифрово-зелені проєкти в межах *Climate Bank Roadmap 2021–2025*, зокрема проєкти *Green Data Europe* і «*Digital Infrastructure for Climate Action*» [35].

Два ключові інструменти підтримки цифрової екологічної трансформації — *Digital Europe Programme* та *Horizon Europe* — забезпечують фінансування для створення нових цифрових рішень, у тому числі для штучного інтелекту у сфері клімату, екологічного моніторингу та управління викидами [64].

Інституційне підґрунтя доповнюють Європейське агентство з цифрових послуг (EDSB), яке координує стандарти кібербезпеки та захисту даних, а також Європейський кліматичний пакт, що виступає платформою співпраці урядів, бізнесу і громадськості [67].

Важливим механізмом міждержавної взаємодії є *Механізм координації цифрової політики (Digital Policy Coordination Mechanism)*, який забезпечує інтеграцію національних цифрових стратегій у єдину інституційну архітектуру ЄС [65].

Особливу роль відіграють Європейська мережа «зелених» цифрових інноваційних хабів (*Green Digital Innovation Hubs*) та платформи

міжінституційного діалогу — *European Data Space for Environment і Digital Europe Governance Forum*, що забезпечують кооперацію урядів, академічних установ і громадськості у розробленні політик цифрової екологізації [30].²⁹

Отже, інституційні механізми цифрової екологічної політики ЄС являють собою інтегровану систему фінансових, управлінських, аналітичних і технічних інструментів, що забезпечують стабільність цифрово-зеленого переходу. Їхня особливість полягає у поєднанні централізованої координації з багаторівневою участю, що робить ЄС світовим лідером у сфері цифрової екологічної взаємодії [41].

Проведемо *порівняльний аналіз досвіду провідних країн ЄС з питань цифрово-зеленої трансформації*.

Реалізація цифрово-зеленої трансформації у провідних економіках ЄС демонструє різні інституційні моделі, проте спільними залишаються пріоритети прозорості даних, стандартизації цифрових рішень та прискорення декарбонізації енергетики й промисловості [45;62].

Німеччина поєднує цифрову модернізацію промисловості з декарбонізацією важких секторів, розгортаючи смарт-мережі та цифрові платформи енергоуправління на рівні земель і муніципалітетів [47;82;112]. Франція концентрується на державному хабі кліматичних даних і застосуванні ШІ для оцінки ризиків, інтегруючи супутникові спостереження та національні реєстри забруднення у єдині аналітичні сервіси для політики й громадян [39;40;104]. Нідерланди системно цифровізують циркулярну економіку, масштабуючи облік потоків відходів та вторинної сировини і застосовуючи IoT/хмарну аналітику для оборотних ланцюгів вартості [108;112]. Швеція робить ставку на поєднання smart-grid і «зелених» датацентрів, поєднуючи високу частку ВДЕ з цифровими стандартами енергоефективності та кіберстійкості інфраструктури [112;139]. Данія інституціалізувала «розумні» міста, використовуючи мережі сенсорів, цифрових двійників і мобільні застосунки для управління трафіком, будівлями та локальними енергосистемами, що знижує викиди у містах і підвищує якість даних для прийняття рішень [66;105].

У табл. А.1. Додатку А наведено порівняння цифрово-зеленої інтеграції³⁰ у провідних країнах ЄС (Німеччині, Франції, Нідерландах, Швеції, Данії) у 2023 – 2025 рр. [35-36;39;64;74; 79].

Проведемо порівняльний аналіз досвіду країн Центрально-Східної Європи (Польща, Чехія, Румунія) з питань цифрово-зеленої трансформації.

Країни ЦСЄ пришвидшують цифрово-зелену інтеграцію завдяки структурним фондам, доступу до програм *Digital Europe* і *Horizon Europe*, а також модернізації енергетики й міської інфраструктури, однак стикаються з викликами інвестиційної ємності та нерівномірності цифрової зрілості регіонів [34;64]. Польща розгортає цифрові сенсорні системи для контролю якості повітря та мережі smart-метрів, підтримуючи промислову енергоефективність і декарбонізацію теплогенерації [105]. Чехія фокусується на цифрових двійниках у промисловості (Industry 4.0) та енергоаудитах з аналітикою ШІ, пришвидшуючи підвищення енергоефективності підприємств [107]. Румунія просуває smart-city платформи та хмарні рішення для моніторингу міських викидів і транспорту, поєднуючи цифрову модернізацію із «зеленими» ІТ-послугами [106].

У табл. А.2. Додатку А наведено порівняння цифрово-зеленої інтеграції у країнах-лідерах Центральної та Східної Європи (ЦСЄ) у 2023 – 2025 рр. [34-36;65;74;105-107].

Таким чином, провідні країни ЄС демонструють зрілу інтеграцію цифрових та екологічних політик через стандартизовані дані, смарт-енергетику, циркулярні цифрові платформи і залучення громадян, що забезпечує вищу частку ВДЕ, кращу цифрову зрілість та стійке скорочення викидів на душу населення [35;39;62;64;112]. Країни Центрально-Східної Європи доганяють завдяки програмам фінансування й інституційному наближенню до стандартів ЄС, концентруючись на міських smart-рішеннях, енергоефективності промисловості та якості повітря, хоча потребують прискорення цифрової зрілості та масштабування інвестицій у смарт-мережі й циркулярну економіку [34;36;65;74;105-107].

2.2. Стан і тенденції цифровізації екологічного сектору України в умовах євроінтеграції

Вектор євроінтеграції зумовлює для України необхідність синхронізувати екологічну політику з цифровим порядком денним ЄС, поєднуючи відкриті дані, платформенні рішення й аналітику для управління довкіллям, ресурсами та кліматичними ризиками. Цифрові інструменти пришвидшують виявлення порушень, зменшують транзакційні витрати контролю, підвищують прозорість та підзвітність, а також створюють основу для «зеленого» відновлення та інвестицій у відповідності до європейських рамок політики (Європейський зелений курс, «Fit for 55», REPowerEU, «Цифрове десятиліття») [42;53-55]. Умови воєнної агресії парадоксально підсилили попит на цифрові екомоніторингові рішення (від супутникових даних до мереж датчиків), що дозволяють оперативно оцінювати шкоду довкіллю, планувати відновлення та підвищувати стійкість екосистем [5;58;63].

Нормативно-інституційні засади цифровізації довкілдової політики в контексті євроінтеграції.

Європейський зелений курс і відповідні законодавчі ініціативи (Європейський кліматичний закон, пакет «Fit for 55», дорожня карта REPowerEU) створюють інтегровану рамку для декарбонізації, енергоефективності та електрифікації, в якій цифрові рішення виступають інфраструктурою управління даними, ризиками та інвестиційними потоками [53-55].

Паралельно політика «Цифрового десятиліття до 2030 року» замінила традиційний DESI в блоці моніторингу на дорожні карти з чотирьох вимірів (навички, інфраструктура/конективність, цифровізація бізнесу, е-урядування) та спільні траєкторії досягнення цілей, що релевантно для екологічних сервісів (е-звітність, портали даних, міжвідомчі інтерфейси) [42].

Для України принципово важливою стала асоціація до програми *Digital Europe* (2022), що відкрила доступ до фінансування проєктів у

високопродуктивних обчисленнях, штучному інтелекті, кібербезпеці та європейських цифрових інноваційних хабах (EDIH), включно з відбором майбутніх хабів в Україні у 2024 році [5;58].

Інституційно національна цифрова екополітика оформлюється через поєднання ініціатив Міндовкілля, Мінцифри та урядових програм відновлення, де відкриті дані та міжвідомчі платформи розглядаються як базис для реалізації екологічних директив acquis.

Європейські щорічні звіти з розширення фіксують прогрес і «вузькі місця» імплементації глави «Довкілля і клімат», акцентуючи на необхідності стійких інституцій, прозорості та участі заінтересованих сторін [63]. Водночас нові політичні дискусії в ЄС (перегляд цілей на 2040 рік, коригування вимог до корпоративної звітності зі сталості) створюють змінний зовнішній регуляторний контекст, який Україна має враховувати при гармонізації стандартів і плануванні цифрових інструментів екоконтролю [85;128].

Цифрові екомоніторингові системи та платформи даних: поточний стан та архітектура.

За останні роки розвинулася багаторівнева екосистема екомоніторингу, що поєднує державні реєстри, галузеві портали, дані ЄС-проектів та громадські сенсорні мережі. Національний портал «ЕкоЗагроза» забезпечує фіксацію і кваліфікацію збитків довкіллю, інтегруючи цифрові повідомлення громадян (веб/мобільні канали), геопросторові дані, агреговані оцінки та інструменти звітності; станом на 2025 рік зафіксовано понад дві тисячі випадків, з оцінками збитків у десятки мільярдів доларів США [33-32;58].

Паралельно Міндовкілля розширює масиви відкритих наборів на державному порталі (мінімум 44 тематичних набори у 2024 році), що є інфраструктурною умовою для машинного аналізу, інтеперабельності та зовнішньої верифікації даних [9]. Громадські платформи (наприклад, SaveEcoBot) об'єднують дані державних станцій і приватних датчиків якості повітря, надаючи карти в реальному часі, історичні ряди та API, що знижує інформаційну асиметрію й підвищує екологічну підзвітність [10].

З погляду технологій ключовими є:

- *сенсорні мережі* та супутникові знімки для оперативного виявлення пожеж, витоків і забруднень;
- *інтеграційні шини даних* і хмарні DWH для злиття гетерогенних джерел (лабораторні, дистанційні, громадські);
- *алгоритми ШІ/ML* для класифікації подій та прогнозування ризиків;
- *геоінформаційні сервіси* з відкритими API;
- *цифрові двійники* інфраструктури та екосистем для сценарного аналізу відновлення;
- *кібербезпека* як обов’язковий компонент критичних систем моніторингу.

Практична потреба у швидкій інтеграції даних із різних платформ підтверджується оцінками JRC/EEA щодо модернізації державної системи моніторингу атмосферного повітря та приведення її до стандартів ЄС (гармонізовані методики, валідація, інтероперабельність) [11].

Тенденції (2023–2025 рр.): прискорення цифровізації, асиметрії та роль програм ЄС.

Після 2022 року цифрова екологічна інфраструктура набула ознак *квазікритичної*: вона забезпечує виявлення інцидентів, підтримку реагування громад і органів влади, документування екозлочинів і планування відбудови. У 2024–2025 роках Україна посилила участь у програмах *Digital Europe* (EDIH, ШІ, НРС, кібербезпека) і *REPowerEU* (акценти на децентралізацію генерації, інтеграцію ВДЕ, енергоефективність), що прямо кореспондує з цифровим моніторингом енергетичних та екологічних параметрів [5;16;55;58].

Паралельно ЄС оновив інструменти виконання «Цифрового десятиліття» через *дашборди траєкторій* і партнерське управління, що задає стандартні вимоги до вимірювання прогресу у цифровізації публічних послуг, бізнес-процесів і даних — релевантні й для екосистеми довкілля [42]. На проєктному рівні інтегруються ініціативи *EU4Environment Water and Data* (Open Environment, EcoZagroza), що підсилює операційну сумісність даних і спрощує доступ користувачів [12].

Разом з тим фіксуються *асиметрії*: великі міста й обласні центри швидше імплементують хмарні сервіси, аналітику та відкриті API, тоді як периферійні та деокуповані території стикаються з дефіцитом обладнання, зв'язку та кадрів. У державній системі моніторингу зберігаються «вузькі місця» — фрагментація каналів обміну, неоднорідність методик вимірювань, потреба у модернізації лабораторій і гарантіях якості; це підкреслюють як урядові, так і незалежні оцінки стану інтеграції з екологічним асquis [9;11;63].

Додатковим фактором невизначеності є волатильність «зеленого» регуляторного контексту в ЄС (перегляд цілей, темпів і корпоративних зобов'язань), що впливає на проєктування українських цифрових інструментів (звітність, таксономія, аудит даних) [85;128].

Ключові виклики та напрями дій для України у сфері цифровізації екологічного співробітництва наступні:

- *Інституційна спроможність і управління даними.* Потрібні стандартизовані моделі даних, еталонні словники та процедури забезпечення якості (QA/QC) для сенсорних мереж і лабораторій; ЄС-сумісні протоколи обміну (INSPIRE-сумісні сервіси), централізоване керування метаданими, реєстр джерел та аудит доступу [9;11-12].
- *Кадрова й освітня компонента.* Бракує фахівців на стику екології, даних і IT; потрібні програми підготовки «зелених» дата-аналітиків, GIS-інженерів, спеціалістів із кіберзахисту критичних еко-систем.
- *Фінансування і сталість.* Доцільне розширення участі в Digital Europe та інструментах відбудови з цифровими компонентами, а також залучення ДПП і кліматичних фондів для розгортання сенсорних мереж, дата-центрів і цифрових двійників.
- *Кібербезпека і довіра.* Екомоніторинг стає критичним сервісом, що потребує багаторівневого захисту, резервування і відмовостійкості.
- *Залучення суспільства.* Громадські карти якості повітря, сервіси фіксації екопорушень та «спільні лабораторії» посилюють локальну підзвітність і корисні як канали верифікації державних вимірювань [9-10;12;33].

35
Таким чином, Україна сформувала фундамент цифрової екологічної інфраструктури (портали, відкриті дані, громадські мережі, проєкти ЄС) і водночас стикається з асиметріями впровадження, нестачею кадрів та потребою у стандартизації й кіберзахисті. Системна інтеграція з рамками ЄС (Зелений курс, REPowerEU, «Цифрове десятиліття», Digital Europe) та розбудова інтероперабельних платформ даних дадуть змогу масштабувати моніторинг, підвищити довіру до показників, прискорити «зелене» відновлення й залучення інвестицій.

2.3. Порівняльна оцінка цифрової екологічної трансформації в ЄС та Україні

У п. 1.3 було запропоновано структурувати оцінку цифрової екологічної трансформації за шістьма змістовими блоками, кожен із яких репрезентує окрему складову цифрової екологічної трансформації. У подальшому аналізі для кожного блоку наведено реальні статистичні дані по всіх країнах ЄС та Україні за період 2018–2023 рр. (в деяких показниках до 2024 р.), що дає змогу оцінити динаміку та тенденції у процесах цифрової екологічної трансформації.

Складова 1. *Цифровізація*. Цифровізація є базовою передумовою ефективного функціонування цифрово-екологічної економіки. Саме рівень цифрової зрілості суспільства визначає здатність країн інтегрувати інноваційні рішення у сфері енергетики, довкілля, транспорту й управління природними ресурсами. Для оцінки цього виміру у дослідженні використано показник «Individuals using the Internet (% of population)», що відображає рівень цифрового залучення громадян і є доступним для всіх країн ЄС та України у щорічній динаміці, табл. 2.1, рис. 2.1.

Показник узято з бази World Bank World Development Indicators, сформованої на основі даних Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU). Він охоплює період 2018–2023 рр., тобто часовий інтервал, у якому цифрова трансформація зазнала найбільшого прискорення через розвиток мереж 5G, електронного врядування та дистанційних сервісів.

Частка користувачів Інтернету (% від населення), 2018–2023 рр.

Країна	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Австрія	89	90	92	93	94	95
Бельгія	90	91	92	93	94	95
Болгарія	65	67	73	75	78	80
Хорватія	74	77	80	83	85	87
Кіпр	85	87	90	91	92	93
Чехія	84	86	89	91	93	94
Данія	96	97	98	98	99	99
Естонія	91	92	93	94	95	96
Фінляндія	95	96	97	97	98	98
Франція	86	88	90	91	92	93
Німеччина	89	90	92	93	94	95
Греція	74	76	79	82	84	86
Угорщина	81	83	86	88	90	91
Ірландія	88	90	92	93	94	95
Італія	74	77	82	84	86	88
Латвія	84	86	89	90	92	93
Литва	84	86	89	91	92	93
Люксембург	97	97	98	99	99	99
Мальта	87	89	91	92	93	94
Нідерланди	95	96	97	98	98	99
Польща	78	80	85	87	89	91
Португалія	77	79	84	87	89	90
Румунія	71	74	78	81	83	85
Словаччина	85	86	88	89	90	91
Словенія	82	84	87	89	91	92
Іспанія	88	90	92	93	94	95
Швеція	95	96	97	98	99	99
Україна	64	70	75	78	81	83

Джерело: [96;152-153]

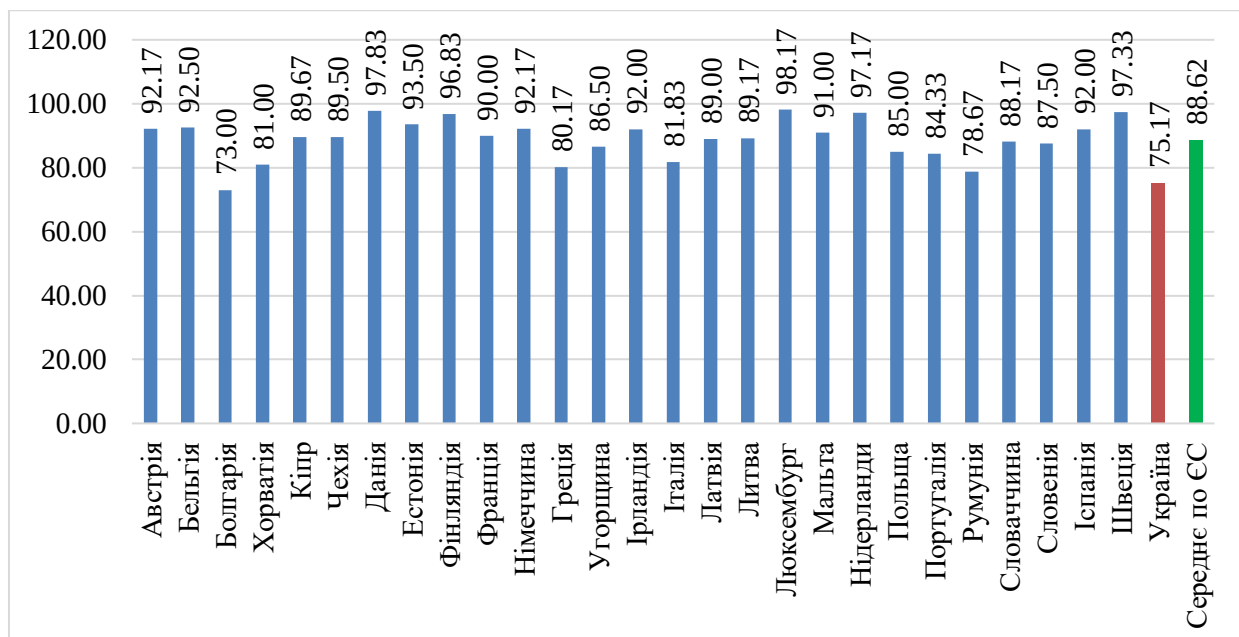


Рис. 2.1. Середній рівень цифровізації (частка користувачів Інтернету, % населення) у країнах ЄС та Україні, 2018–2023 рр. Джерело: [96;152-153]

Як видно з рис. 2.1, середній показник для ЄС становить 88,6%, що свідчить³⁷ про майже повне охоплення населення цифровими комунікаційними технологіями. Водночас Україна із середнім значенням 75,2% істотно поступається європейському рівню, проте демонструє високу позитивну динаміку за аналізований період, скоротивши розрив майже удвічі порівняно з початком досліджуваного інтервалу.

Найвищі показники цифрової інтеграції характерні для Північної та Західної Європи – Данія (97,8%), Швеція (97,3%), Фінляндія (96,8%), Люксембург (98,2%), що вказує на високий рівень зрілості цифрової інфраструктури, розвинену систему електронного врядування та доступність інтернету навіть у сільських регіонах. Ці держави формують «цифрове ядро» Європи, яке забезпечує найбільшу ефективність у сфері екологічних інновацій і впровадження «зелених» технологій.

До групи країн із вище середнього рівня цифровізації (90–95%) належать більшість держав Західної та Центральної Європи: Нідерланди, Ірландія, Німеччина, Франція, Бельгія, Австрія, Іспанія, Італія, Словенія, Чехія. Вони відзначаються стабільною інфраструктурною базою та значним поширенням електронних державних сервісів.

Помітний цифровий прогрес спостерігається у країнах «нової Європи» – Польщі, Румунії, Болгарії, Хорватії, Словаччині та Угорщині. Хоча їхні показники (73–88%) залишаються нижчими за середні по ЄС, темпи зростання в 2018–2023 рр. перевищують середньоєвропейські. Ці держави поступово скорочують структурний цифровий розрив, що створює передумови для інтеграції у єдину європейську екосистему даних і технологій.

Україна посідає місце нижче середнього рівня ЄС, проте наближається до показників країн Південно-Східної Європи. Підвищення рівня цифрової інклюзії пов'язане з активним розвитком мобільного інтернету, запуском електронного урядування (портал «Дія»), поширенням онлайн-сервісів та освітніх ініціатив з цифрової грамотності. Водночас залишається значним розрив між урбанізованими та сільськими територіями.

Можна виділити три рівні цифрової зрілості: лідери (95–99%) –

скандинавські та західноєвропейські країни; середній рівень (85–94%)³⁸ – більшість країн Центральної та Південної Європи; наздоганяючі (73–84%) – держави Східної Європи та Україна.

Складова 2. *Інновації*. Інноваційна активність є ключовою рушійною силою цифрово-екологічної трансформації, адже саме науково-дослідні розробки формують базу для впровадження технологій енергоефективності, декарбонізації та «зелених» інфраструктур.

Для оцінки цього виміру використано показник «Gross Domestic Expenditure on R&D (% of GDP)», який є офіційним міжнародним індикатором інноваційної спроможності (у базі World Bank / Eurostat). Дані охоплюють період 2018–2023 рр. і відображають як динаміку, так і міжкраїнові відмінності інноваційних моделей, табл. 2.2, рис.2.2.

Таблиця 2.2

Витрати на дослідження і розробки (% ВВП), 2018–2023 рр.

Країна	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Австрія	3,13	3,19	3,26	3,18	3,29	3,30
Бельгія	2,80	3,19	3,44	3,29	3,32	3,33
Болгарія	0,75	0,84	0,91	0,84	0,79	0,80
Хорватія	1,03	1,24	1,38	1,42	1,39	1,40
Кіпр	0,56	0,63	0,67	0,70	0,68	0,70
Чехія	1,93	1,94	1,98	2,00	2,06	2,07
Данія	2,95	2,96	2,98	3,04	3,08	3,10
Естонія	1,41	1,62	1,79	1,85	1,90	1,92
Фінляндія	2,72	2,86	2,95	3,04	3,08	3,10
Франція	2,19	2,34	2,35	2,39	2,41	2,42
Німеччина	3,09	3,13	3,14	3,07	3,11	3,12
Греція	1,18	1,27	1,51	1,53	1,56	1,60
Угорщина	1,45	1,53	1,64	1,63	1,61	1,60
Ірландія	1,22	1,23	1,25	1,26	1,27	1,28
Італія	1,44	1,45	1,53	1,53	1,53	1,54
Латвія	0,64	0,64	0,70	0,70	0,72	0,73
Литва	0,93	0,95	1,06	1,13	1,17	1,20
Люксембург	1,19	1,22	1,26	1,27	1,28	1,29
Мальта	0,55	0,57	0,60	0,62	0,63	0,64
Нідерланди	2,14	2,19	2,28	2,29	2,31	2,32
Польща	1,21	1,32	1,39	1,44	1,46	1,50
Португалія	1,37	1,55	1,65	1,70	1,73	1,75
Румунія	0,51	0,48	0,47	0,48	0,48	0,50
Словаччина	0,84	0,85	0,88	0,90	0,91	0,92
Словенія	1,94	2,05	2,08	2,14	2,20	2,22
Іспанія	1,24	1,25	1,40	1,43	1,45	1,46
Швеція	3,31	3,39	3,42	3,45	3,46	3,47
Україна	0,47	0,46	0,45	0,47	0,49	0,50

Джерело: [77;115;156]

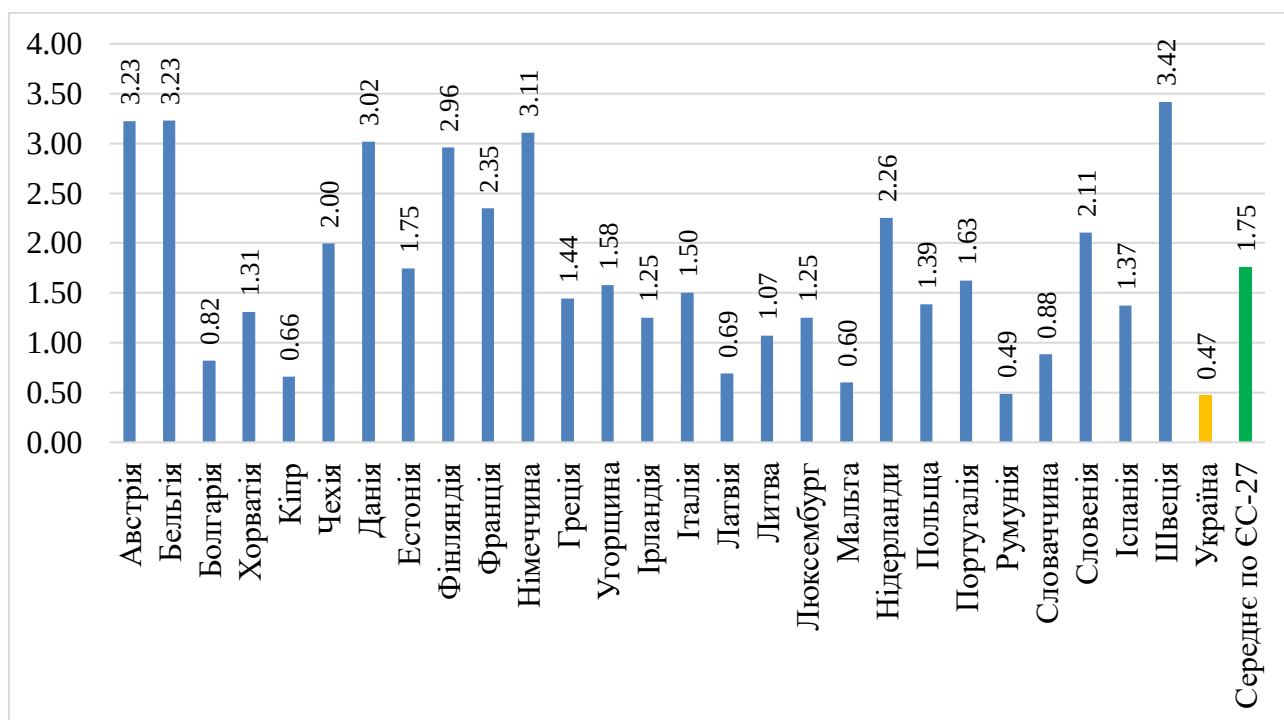


Рис. 2.2. Середній рівень витрат на дослідження і розробки (% ВВП) у країнах ЄС та Україні, 2018–2023 рр. Джерело: [77;115;156]

Порівняльна оцінка середнього рівня інвестицій у R&D підтверджує високий ступінь інноваційної поляризації між країнами Європейського Союзу та Україною (рис. 2.2). Середній показник для ЄС-27 становить 1,75% ВВП, тоді як Україна спрямовує на дослідження лише 0,47% ВВП, тобто майже у чотири рази менше від середньоєвропейського рівня.

Лідерами інноваційного розвитку є держави Північної та Західної Європи: Швеція (3,42%), Австрія (3,23%), Бельгія (3,23%), Німеччина (3,11%), Данія (3,02%), Фінляндія (2,96%). Ці країни належать до групи з високою часткою корпоративних інвестицій у науку, широкою участю бізнесу у дослідницьких програмах ЄС (Horizon Europe, EUREKA) та розвиненою системою університетських наукових центрів. Їхній інноваційний профіль є ключовою передумовою конкурентоспроможності на глобальних ринках технологій і зелених інновацій.

Середній рівень (1,5–2,5% ВВП) утримують Франція, Нідерланди, Чехія, Словенія, Естонія, де спостерігається стабільна державна підтримка інновацій і поступове нарощування приватних R&D-інвестицій.

Країни Південної та Східної Європи характеризуються суттєво нижчими⁴⁰ показниками (0,5–1,5% ВВП) – це насамперед Болгарія, Румунія, Хорватія, Словаччина, Польща, Латвія, Литва, Угорщина. Вони залишаються на етапі формування національних інноваційних систем і стикаються з браком довгострокового фінансування науки.

Україна, незважаючи на незначні абсолютні обсяги фінансування, демонструє тенденцію до стабілізації: показник R&D зріс із 0,45% у 2020 р. до 0,47% у 2023 р. Частково це пов'язано з адаптацією до європейських стандартів дослідницької політики та створенням цифрових платформ для грантової підтримки науки (Національний фонд досліджень України, участь у Horizon Europe). Однак розрив між Україною та країнами-лідерами залишається істотним.

В межах ЄС-27 чітко простежуються три типи інноваційних моделей: науково-інтенсивна модель ($R\&D > 3\%$); збалансована модель (1,5–2,5%) та розвивальна модель ($< 1\%$).

Такі відмінності в інноваційній активності прямо впливають на спроможність держав упроваджувати цифрово-екологічні технології, зокрема у сфері відновлюваної енергетики, екомоніторингу та управління ресурсами.

Складова 3. *Екологічна сталість*. Екологічна сталість виступає стратегічним виміром цифрової трансформації, адже рівень екологічної ефективності та «зеленості» енергетики відображає не лише екологічну політику держав, а й ступінь інтеграції цифрових технологій у природоохоронні процеси. Для оцінки цієї складової використано два взаємодоповнювальні індикатори:

- *Environmental Performance Index (EPI)* – інтегральний показник екологічної ефективності, який обчислюється Єльським університетом і Центром екологічних показників (Yale Center for Environmental Law & Policy) за шкалою 0–100;

- *Share of renewables in gross final energy consumption (%)* – офіційний показник Євростату, що відображає частку енергії з відновлюваних джерел у загальному кінцевому споживанні енергії.

Країна	EPI 2024	ВДЕ 2018	ВДЕ 2019	ВДЕ 2020	ВДЕ 2021	ВДЕ 2022	ВДЕ 2023
Австрія	68,9	33,4	33,6	36,6	36,5	36,4	36,5
Бельгія	66,8	9,9	10,7	13,0	13,5	13,8	14,0
Болгарія	56,2	21,2	21,7	22,0	21,5	21,6	21,8
Хорватія	62,3	28,0	29,0	31,0	30,5	30,8	31,2
Кіпр	53,9	13,8	14,8	16,8	17,4	18,1	18,5
Чехія	65,5	15,2	15,8	16,0	16,1	16,4	16,7
Данія	67,7	35,5	37,0	41,4	43,5	44,0	45,0
Естонія	75,7	30,2	31,0	38,5	38,2	39,0	39,5
Фінляндія	73,8	41,2	43,0	44,5	45,8	46,2	47,0
Франція	67,0	16,0	17,0	19,1	19,3	19,5	20,0
Німеччина	74,5	16,7	17,3	19,1	19,2	20,0	20,5
Греція	67,3	18,0	19,0	21,0	22,0	22,3	23,0
Угорщина	59,8	13,5	13,8	14,3	14,6	15,1	15,5
Ірландія	65,8	10,7	12,0	13,6	13,8	14,3	14,5
Італія	60,3	17,8	18,2	20,4	20,7	21,0	21,2
Латвія	60,2	39,0	40,0	42,0	41,5	42,0	42,2
Литва	64,1	25,5	26,0	27,0	28,0	28,3	29,0
Люксембург	75,1	9,1	9,5	10,5	11,0	11,3	11,5
Мальта	66,9	8,0	9,0	10,1	10,4	10,6	10,8
Нідерланди	66,9	7,4	8,9	11,1	12,3	13,0	13,8
Польща	64,2	11,2	12,0	15,1	16,1	17,0	17,5
Португалія	61,9	30,5	31,6	34,7	35,5	36,1	36,8
Румунія	57,3	24,5	25,0	26,6	26,1	26,3	26,5
Словаччина	65,1	11,9	12,0	17,3	18,0	18,2	18,5
Словенія	62,4	21,5	22,0	24,5	25,1	25,3	25,5
Іспанія	64,0	17,0	18,3	21,2	22,1	22,7	23,0
Швеція	70,3	55,1	56,0	59,5	60,0	61,0	61,5
Україна	54,6	5,5	7,1	8,3	9,7	10,3	10,5

Джерело: [80;95;160]

Дані рис. 2.3 також підтверджують значну структурну неоднорідність екологічного переходу в межах ЄС та України. Середній показник для ЄС-27 становить 30,1%, що свідчить про значний прогрес у реалізації Європейського зеленого курсу та політики кліматичної нейтральності до 2050 р.

Найвищі середні значення ВДЕ (> 40%) фіксуються у країнах Північної Європи: Швеція 60,5%, Фінляндія 48,8%, Данія 44,9%, Естонія 41,7%, Австрія 40,3%, що свідчить про високий рівень енергетичної диверсифікації та цифрову інтеграцію систем обліку, контролю та управління енергоспоживанням.

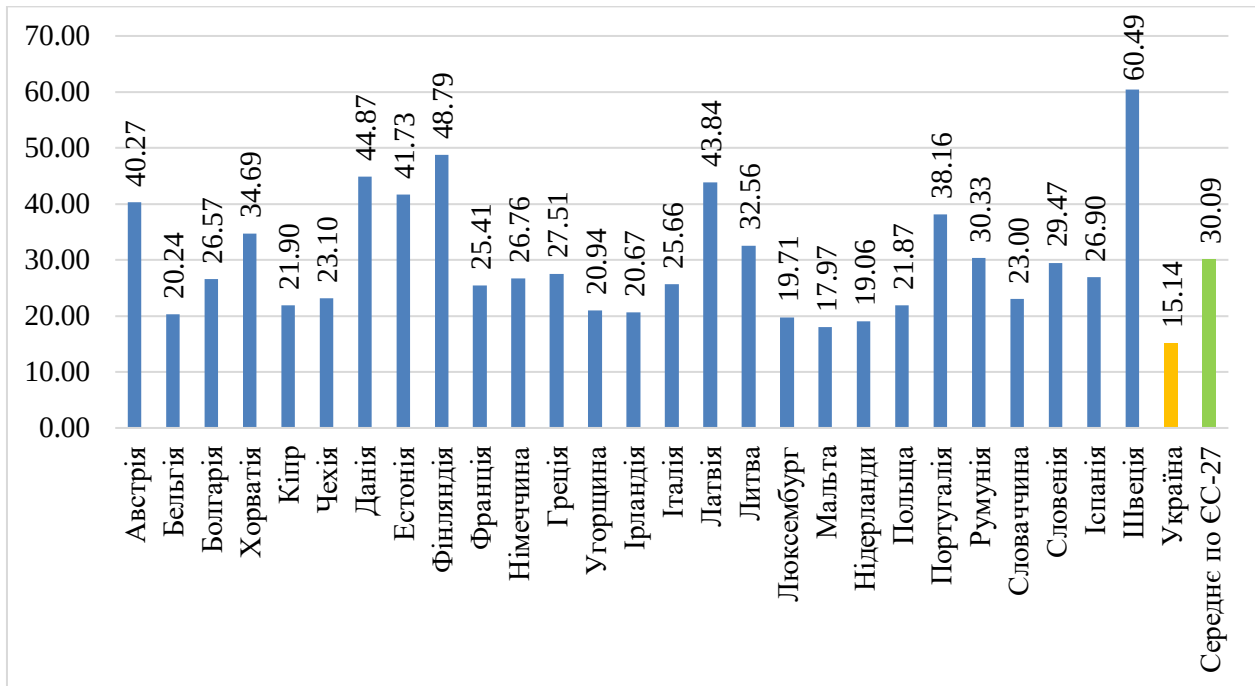


Рис. 2.3. Середні показники екологічної сталості в ЄС та Україні (ЕРІ і частка ВДЕ, 2018–2023 рр.). Джерело: [80;95;160]

Середній рівень (25–35%) характерний для більшості країн Центральної та Південної Європи – Хорватії, Латвії, Португалії, Румунії, Словенії, Іспанії. Для них притаманне поступове скорочення частки викопного палива та орієнтація на комбіновані джерела енергії (гідро-, біо-, сонячну).

Найнижчі показники (до 20%) спостерігаються у Нідерландах, Люксембурзі, Мальті, Ірландії та Кіпрі, де енергетичний перехід стримується обмеженим природно-ресурсним потенціалом та високою щільністю урбанізації.

Україна, із середнім значенням 15,1%, перебуває на початковому етапі формування «зеленої» енергетики, хоча демонструє виразну позитивну динаміку з 5,5% у 2018 р. до 10,5% у 2023 р. Така тенденція відображає розширення потужностей сонячних і вітрових електростанцій, зростання ролі біоенергетики та наближення національної енергетичної політики до стандартів ЄС. Подальше зростання частки ВДЕ потребує модернізації енергетичної інфраструктури, цифровізації обліку енергії, розширення програм підтримки «зелених» інвестицій і стабільного законодавчого поля, гармонізованого з директивами ЄС.

Складова 4. *Результативність*. Результативність цифрово-екологічної трансформації проявляється у скороченні антропогенного впливу на довкілля.

Найбільш універсальним і порівнюваним показником є обсяг викидів CO₂ на душу населення (тонн/особу), який дозволяє оцінити ефективність використання енергії, структуру виробництва та рівень декарбонізації економіки.

Показник формується за даними Our World in Data (OWID) – на основі методології Global Carbon Project та Міжнародного енергетичного агентства (IEA). Динаміка розрахована для періоду 2018–2023 рр., коли в країнах ЄС активно впроваджувалися політики енергетичного переходу, а Україна здійснювала адаптацію до кліматичних стандартів ЄС, табл. 2.4., рис. 2.4.

Таблиця 2.4

Викиди CO₂ на душу населення, тонн на особу (2018–2023 рр.)

Країна	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Австрія	7,6	7,3	6,3	6,8	6,5	6,4
Бельгія	8,4	8,2	6,9	7,4	7,0	6,9
Болгарія	6,6	6,5	5,8	6,2	6,0	5,9
Хорватія	4,3	4,2	3,3	3,7	3,5	3,4
Кіпр	6,8	6,7	5,5	6,0	5,7	5,5
Чехія	9,5	9,4	8,2	8,6	8,1	8,0
Данія	5,9	5,7	4,6	4,8	4,5	4,4
Естонія	12,0	11,5	8,9	9,1	8,5	8,3
Фінляндія	8,5	8,1	6,6	7,0	6,4	6,2
Франція	4,4	4,3	3,6	4,0	3,8	3,7
Німеччина	8,9	8,6	7,4	7,9	7,5	7,3
Греція	6,4	6,1	4,7	5,0	4,8	4,6
Угорщина	5,5	5,4	4,4	4,7	4,5	4,4
Ірландія	8,4	8,3	7,1	7,4	7,2	7,0
Італія	5,8	5,7	4,8	5,0	4,9	4,8
Латвія	4,2	4,1	3,3	3,6	3,4	3,3
Литва	4,8	4,7	3,9	4,2	4,0	3,9
Люксембург	15,1	14,8	11,8	12,2	11,5	11,3
Мальта	4,7	4,5	3,7	3,9	3,7	3,6
Нідерланди	9,8	9,5	7,8	8,3	7,7	7,5
Польща	8,5	8,4	7,0	7,5	7,1	6,9
Португалія	5,2	5,0	4,0	4,4	4,1	4,0
Румунія	4,3	4,1	3,3	3,6	3,4	3,3
Словаччина	6,6	6,5	5,5	5,9	5,6	5,5
Словенія	6,2	6,1	5,0	5,3	5,1	5,0
Іспанія	5,6	5,4	4,3	4,7	4,4	4,3
Швеція	3,6	3,5	3,0	3,1	3,0	2,9
Україна	4,1	4,0	3,3	3,6	3,1	3,0

Джерело: [94;120]

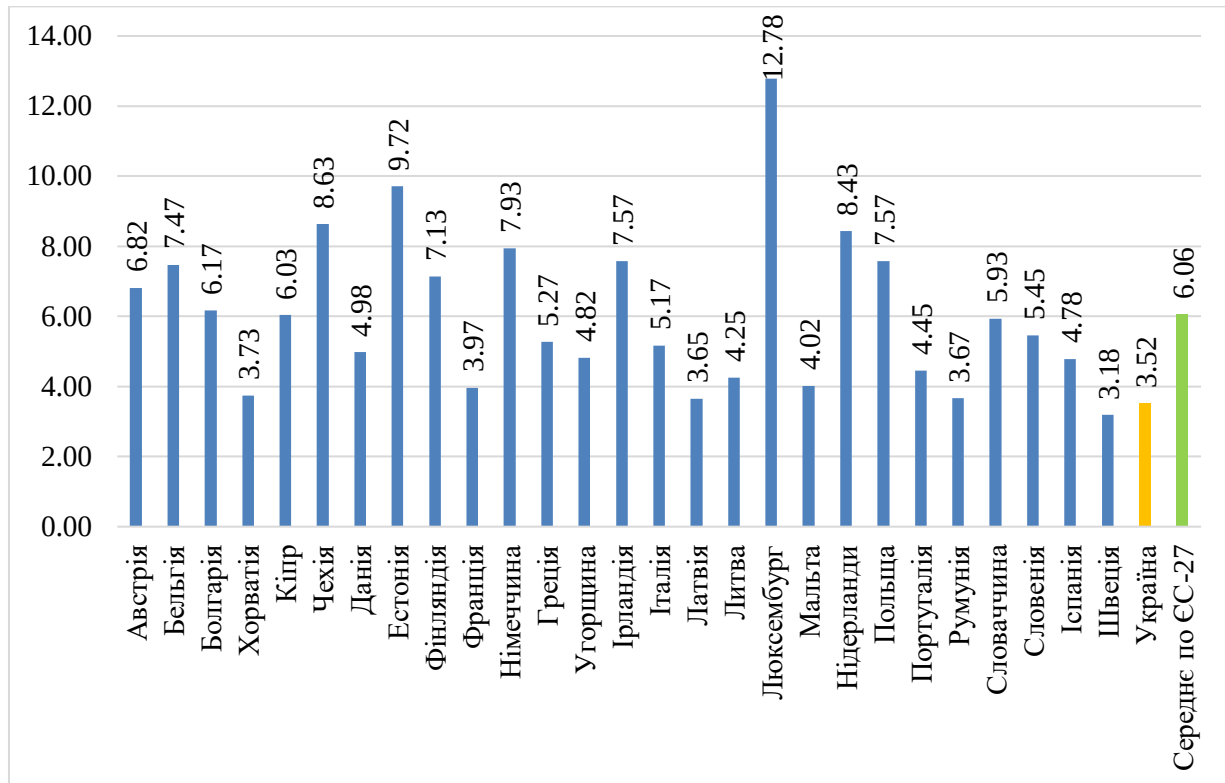


Рис. 2.4. Середній рівень викидів CO₂ на душу населення (тонн/особу) у країнах ЄС та Україні, 2018–2023 рр. Джерело: [94;120]

Середній рівень викидів CO₂ на душу населення в країнах ЄС становить 6,06 тонн/особу, що підтверджує суттєве зниження вуглецевого навантаження порівняно з попереднім десятиліттям. Цей результат відображає ефективність політики Європейського зеленого курсу, спрямованої на поступову декарбонізацію промисловості, транспорту та енергетики.

Лідерами за низьким рівнем викидів CO₂ виступають країни з високим рівнем цифровізації та великою часткою ВДЕ у структурі енергоспоживання – Швеція (3,18 т), Франція (3,97 т), Іспанія (4,78 т), Португалія (3,67 т), Мальта (4,02 т). Ці держави демонструють, що цифрові технології управління енергетичними процесами (smart grids, автоматизований облік, штучний інтелект для моніторингу споживання) є ефективним інструментом скорочення викидів.

Скандинавські країни (Данія, Фінляндія, Швеція) поєднують низький рівень CO₂ з високими індикаторами екологічної сталості, що свідчить про системність їх екологічної трансформації. Західна Європа (Франція, Італія, Іспанія, Австрія) утримує середні значення 4–6 т/особу, переважно завдяки структурним змінам у транспортній та енергетичній сферах.

Найвищі показники викидів спостерігаються у Люксембурзі (12,78⁴⁵ т), Естонії (9,72 т), Чехії (8,63 т), Нідерландах (8,43 т). У цих країнах, попри високий рівень доходів і цифрової готовності, зберігається значна частка викопного палива у промисловому виробництві та транспорті.

Україна, із середнім рівнем 3,52 т/особу, демонструє один із найнижчих показників у Європі, що пояснюється зниженням промислової активності після 2020 р., зменшенням енергоспоживання, а також впливом війни на економічну структуру. Однак у контексті довгострокових тенденцій важливо, що Україна поступово адаптує методологію обліку викидів до стандартів ЄС, бере участь у системі торгівлі квотами на викиди (EU ETS linkage plan) та впроваджує інструменти цифрового моніторингу у промисловості.

У межах цього блоку виокремлюються три групи країн: декарбонізовані (до 4 т/особу): Швеція, Франція, Іспанія, Португалія, Україна; перехідні (4–7 т/особу): більшість країн Центральної та Південної Європи; та високовуглецеві (> 8 т/особу): Люксембург, Естонія, Чехія, Нідерланди, Польща.

Складова 5. *Інституційне середовище*. Якість інституційного управління є системним чинником цифрової екологічної трансформації. Індикатор Government Effectiveness (WGI) вимірює спроможність уряду формувати та реалізовувати ефективну політику, рівень професіоналізму державної служби, стабільність регуляторних механізмів і довіру до публічних інституцій. Значення індексу подається у діапазоні від –2,5 (дуже слабе управління) до +2,5 (висока ефективність), табл. 2.5, рис. 2.5.

Середній рівень ефективності уряду в країнах Європейського Союзу становить 1,20, що свідчить про високий рівень адміністративної спроможності, сталість публічної політики та зрілість механізмів електронного врядування. У більшості держав ЄС урядові інститути активно адаптуються до нових викликів – цифровізації, екологічного переходу, геополітичної нестабільності.

Країна	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Австрія	1,52	1,54	1,53	1,55	1,56	1,57
Бельгія	1,41	1,43	1,42	1,44	1,46	1,45
Болгарія	0,13	0,15	0,19	0,20	0,23	0,25
Хорватія	0,33	0,36	0,38	0,41	0,43	0,45
Кіпр	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,85
Чехія	1,07	1,09	1,10	1,12	1,14	1,15
Данія	2,20	2,21	2,22	2,23	2,25	2,26
Естонія	1,49	1,51	1,54	1,57	1,59	1,61
Фінляндія	2,09	2,11	2,12	2,13	2,14	2,15
Франція	1,39	1,40	1,41	1,42	1,43	1,44
Німеччина	1,65	1,66	1,68	1,70	1,72	1,73
Греція	0,37	0,43	0,48	0,52	0,56	0,59
Угорщина	0,57	0,55	0,52	0,50	0,49	0,48
Ірландія	1,74	1,75	1,76	1,77	1,78	1,80
Італія	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,67
Латвія	1,03	1,04	1,06	1,08	1,09	1,10
Литва	1,16	1,18	1,20	1,22	1,24	1,25
Люксембург	1,95	1,96	1,98	1,99	2,00	2,01
Мальта	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
Нідерланди	2,00	2,01	2,02	2,03	2,05	2,06
Польща	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66
Португалія	1,09	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16
Румунія	0,22	0,23	0,25	0,26	0,28	0,30
Словаччина	0,84	0,86	0,87	0,89	0,91	0,92
Словенія	1,08	1,09	1,10	1,12	1,13	1,14
Іспанія	1,07	1,09	1,10	1,12	1,13	1,14
Швеція	2,14	2,15	2,16	2,17	2,18	2,20
Україна	-0,45	-0,43	-0,40	-0,36	-0,31	-0,25

Джерело: [99;158]

Країни Північної та Західної Європи залишаються безумовними лідерами: Данія (2,23), Фінляндія (2,12), Швеція (2,17), Нідерланди (2,03), Люксембург (1,98). Для них характерне поєднання високої довіри до влади, прозорості регулювання, ефективності державних послуг і глибокої цифрової інтеграції в державному управлінні. Саме ці держави першими запровадили системи e-governance, GovTech-інновації та відкриті дані, що стало каталізатором для цифрової та екологічної трансформації.

Середній рівень (1,0–1,5) охоплює Австрію, Бельгію, Францію, Чехію, Литву, Латвію, Португалію, Словенію, Іспанію. Їм притаманна стабільна бюрократична система з високою адміністративною якістю, але більшою політичною мінливістю. Саме ці держави поступово наближаються до північної моделі врядування завдяки реформам у сфері цифрових послуг, відкритості

даних і спрощенню регуляторних процедур.

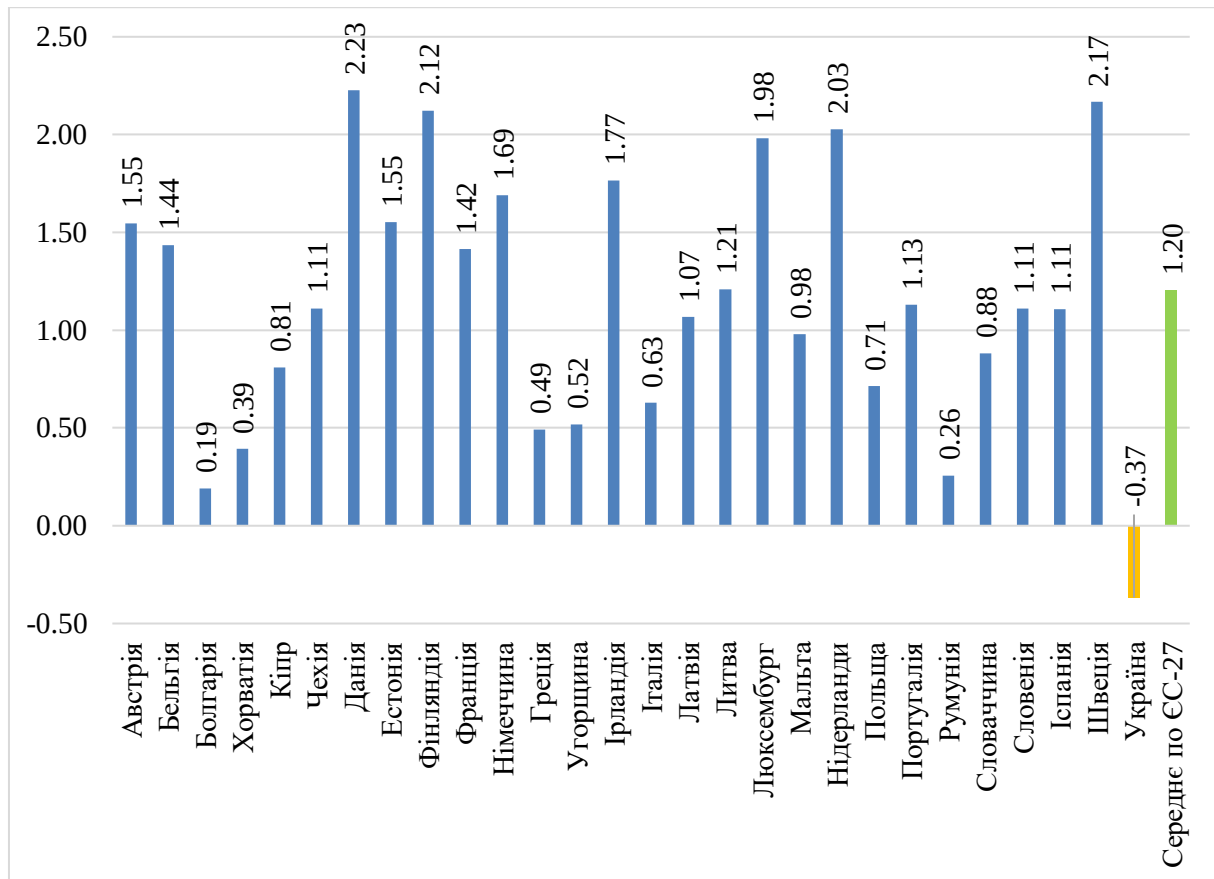


Рис. 2.5. Середній рівень ефективності уряду (Government Effectiveness Index, WGI) у країнах ЄС та Україні, 2018–2023 рр. Джерело: [99;158]

Країни Південної та Східної Європи мають нижчі показники (0,2–0,9), зокрема Греція, Угорщина, Польща, Румунія, Болгарія. Їхні проблеми часто пов'язані з корупційними ризиками, недостатньою стабільністю політичних рішень та обмеженими ресурсами державного сектору. Проте саме в цих країнах цифровізація управління стає головним інструментом підвищення ефективності.

Україна демонструє негативне, але поліпшувальне значення (-0,37), що відповідає тенденції зростання інституційної спроможності після впровадження ключових реформ у сфері е-врядування, державних фінансів та прозорості публічних закупівель. За шість років показник зріс більш ніж на 0,2 пункти, відображаючи поступову інтеграцію у європейську модель публічного управління. Особливе значення має цифрова екосистема «Дія», яка стала еталоном спрощення взаємодії громадян із державою та підвищення довіри до

публічного сектору.

Складова 6. Інтегральний результат сталого розвитку. Для узагальненої оцінки результатів цифрово-екологічної трансформації використано Індекс сталого розвитку (SDG Index) – глобальний інтегральний показник, який розробляється Sustainable Development Solutions Network (SDSN) спільно з Bertelsmann Stiftung. Індекс вимірює досягнення 17 Цілей сталого розвитку (ЦСР) ООН за шкалою 0–100, де 100 – повна відповідність цілям. Він охоплює соціальні, економічні, екологічні та інституційні компоненти, а тому найкраще відображає системний рівень збалансованого розвитку держав, табл. 2.6, рис. 2.6.

Середній рівень Індексу сталого розвитку (SDG Index) у країнах ЄС-27 становить 80,41 бала, що підтверджує провідну роль Європейського Союзу у глобальному просуванні принципів сталого розвитку. ЄС зберігає найвищі позиції у світі завдяки комплексному підходу до реалізації Цілей сталого розвитку ООН, інтеграції кліматичної, цифрової та соціальної політики.

Першу групу лідерів формують держави Північної та Західної Європи – Фінляндія (86,87), Швеція (86,53), Данія (85,57), Німеччина (84,49), Нідерланди (84,49), Естонія (83,27). Високі значення цих країн відображають системний баланс між цифровою інфраструктурою, інноваціями, екологічною ефективністю, соціальною інклюзією та якістю управління. Для них характерна стратегічна узгодженість державної політики – від «зеленої» енергетики до цифрових платформ врядування.

Другу групу країн (78–82 бали) охоплює Австрію, Францію, Чехію, Словенію, Литву, Ірландію, Португалію, Польщу, Латвію. Це країни із збалансованим розвитком, які демонструють стійке покращення завдяки цифровим реформам, модернізації промисловості та розвитку «розумних» енергетичних систем.

Таблиця 2.6

Індекс сталого розвитку (SDG Index), 2018–2024 рр.

Країна	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Австрія	79,9	80,6	81,1	81,6	81,9	82,1	82,3

Бельгія	78,1	78,9	79,4	79,9	80,2	80,4	80,6
Болгарія	70,6	71,1	71,6	72,1	72,3	72,6	72,8
Хорватія	75,8	76,1	76,6	77,0	77,3	77,5	77,7
Кіпр	76,5	77,0	77,2	77,6	77,8	78,0	78,2
Чехія	81,0	81,4	81,7	82,0	82,3	82,4	82,6
Данія	84,6	85,0	85,6	85,8	85,9	86,0	86,1
Естонія	81,3	81,8	82,0	82,4	82,6	82,8	83,0
Фінляндія	85,9	86,5	86,7	87,0	87,2	87,3	87,5
Франція	80,4	80,9	81,3	81,7	81,9	82,0	82,1
Німеччина	82,3	82,8	83,1	83,3	83,5	83,6	83,8
Греція	74,5	75,1	75,7	76,3	76,6	76,9	77,1
Угорщина	77,1	77,6	78,0	78,3	78,5	78,6	78,8
Ірландія	79,2	79,9	80,4	80,8	81,0	81,1	81,3
Італія	77,4	77,9	78,3	78,7	79,0	79,2	79,3
Латвія	78,7	79,1	79,4	79,8	80,1	80,3	80,5
Литва	79,4	79,8	80,1	80,5	80,8	81,0	81,2
Люксембург	79,3	79,9	80,5	81,0	81,3	81,5	81,6
Мальта	77,3	77,7	78,1	78,4	78,6	78,8	78,9
Нідерланди	83,8	84,1	84,4	84,6	84,7	84,8	85,0
Польща	77,8	78,4	78,7	79,1	79,4	79,6	79,7
Португалія	80,6	81,0	81,3	81,6	81,8	82,0	82,1
Румунія	73,2	73,8	74,2	74,6	74,8	75,0	75,2
Словаччина	78,5	78,9	79,3	79,6	79,9	80,0	80,2
Словенія	82,0	82,3	82,7	83,0	83,2	83,3	83,5
Іспанія	80,9	81,3	81,8	82,1	82,3	82,5	82,6
Швеція	85,6	86,0	86,5	86,7	86,8	87,0	87,1
Україна	72,4	72,8	73,1	73,4	73,7	74,0	74,3
Середнє по ЄС-27	80,2	80,7	81,2	81,6	81,9	82,1	82,3

Джерело: [131;138]

Третя група (73–77 балів) – це Південна та Східна Європа (Хорватія, Угорщина, Румунія, Болгарія), які покращують свої позиції за рахунок поступового впровадження екологічних стандартів ЄС, але ще відстають за рівнем цифрової інфраструктури, R&D-інвестицій і екологічної модернізації промисловості.

Україна, із середнім значенням 73,39 бала, знаходиться нижче європейського середнього, проте демонструє виразну тенденцію до зростання, особливо за такими напрямками: цифрове врядування (Digital ecosystem); інновації у сфері освіти й науки; розвиток відновлюваної енергетики; адаптація екологічного законодавства до директив ЄС.

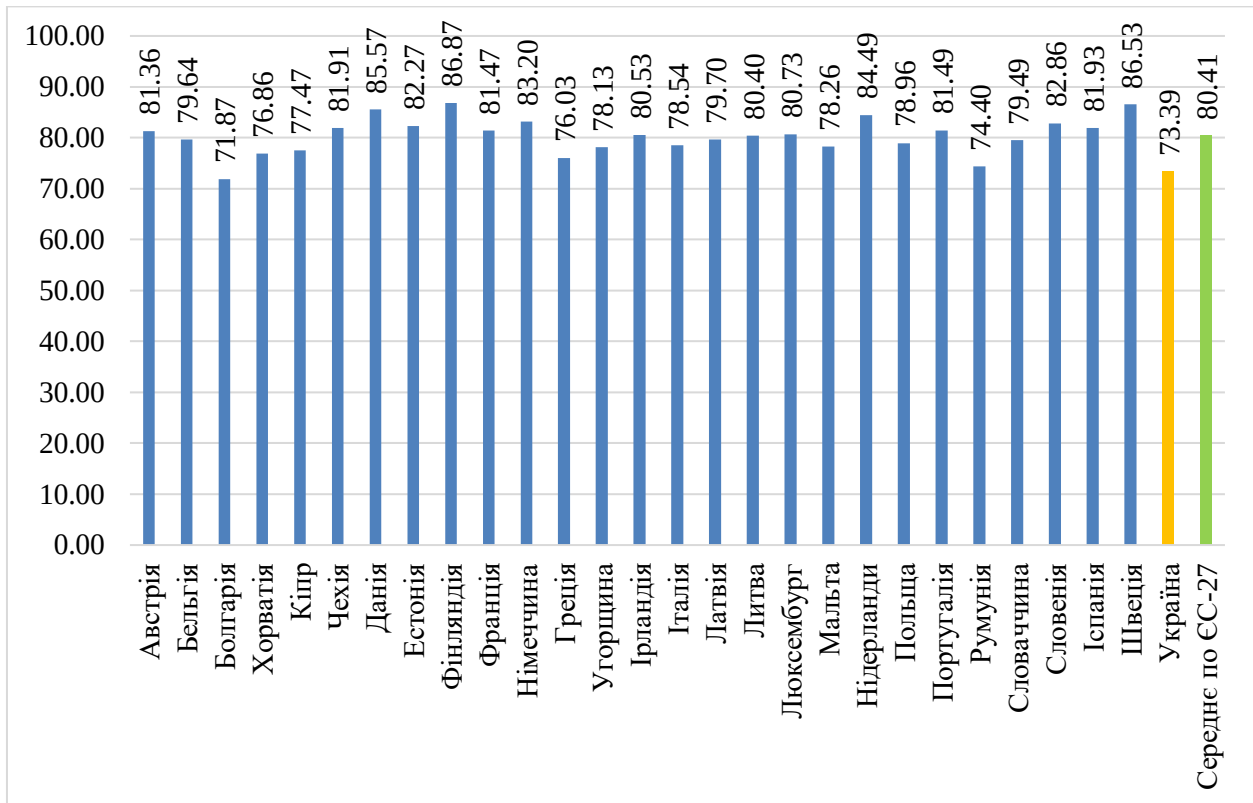


Рис. 2.6. Середній рівень Індексу сталого розвитку (SDG Index) у країнах ЄС та Україні, 2018–2024 рр. Джерело: [131;138]

Водночас індекс відображає наявність структурних викликів, зокрема у сферах енергетичної безпеки, соціальної рівності, сталого виробництва та інституційної стабільності.

Для узагальнення результатів порівняльного аналізу було побудовано класифікацію країн Європейського Союзу та України за рівнем розвитку цифрово-екологічної трансформації

Для побудови інтегральної оцінки було використано метод нормалізації за максимальним значенням (0–1) та інтервальне групування за трьома рівнями розвитку, рис. 2.7:

Група I – високий рівень ($\geq 0,75$). Найвищі показники цифрової зрілості, інноваційності, енергетичної ефективності та урядової якості. Ці країни інтегрують цифрові технології у всі рівні «зеленої» економіки, мають мінімальні CO₂-викиди (до 4 т/особу) та стабільну політику декарбонізації. Вони є ядром європейського «зеленого цифрового кластера».

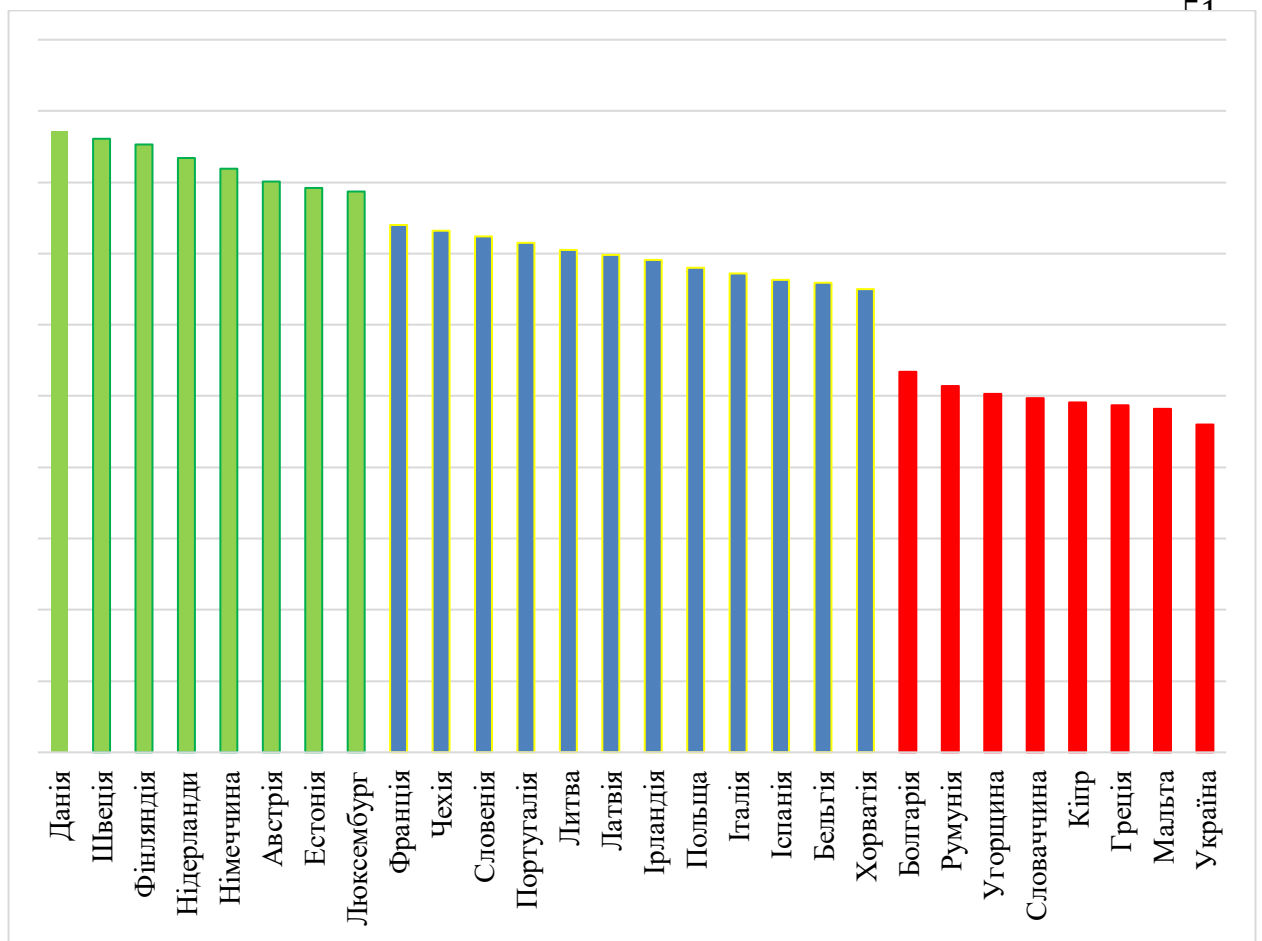


Рис. 2.7. Групування країн ЄС та України за рівнем цифрової екологічної трансформації. Розраховано автором

Група II – середній рівень (0,55–0,74). Поєднують помірно високий рівень цифровізації з активним розвитком відновлюваної енергетики та екологічних інновацій. Характеризуються збалансованим профілем, але мають вищі викиди CO₂ (4–6 т/особу) та нерівномірну інституційну ефективність. Цифровізація урядових процесів є головним драйвером переходу.

Група III – низький рівень ($\leq 0,54$). Характеризуються обмеженим фінансуванням R&D, низьким рівнем цифрової інфраструктури та невисокою часткою ВДЕ (до 20 %). Висока енергоємність економіки та нижчі показники інституційної ефективності гальмують перехід до кліматично нейтральної економіки. Україна поступово рухається в напрямі другої групи, але залишається в зоні формування цифрово-зеленої системи управління.

Результати засвідчує наявність виразної північно-південної та західно-східної асиметрії у цифрово-екологічному розвитку ЄС. Північна Європа утворює «цифрове ядро» з високим рівнем інституційної спроможності, цифровізації публічних послуг і технологічної інноваційності. Центральнo-Західна Європа перебуває на етапі зміцнення зв'язку між цифровими рішеннями, R&D та зеленою енергетикою. Південна та Східна Європа (включно з Україною) мають потенціал для прискорення трансформації, однак стикаються з викликами структурної модернізації, енергетичної залежності та недостатньої цифрової інфраструктури.

Україна посідає місце у третій групі, але демонструє динамічний рух у напрямі інтеграції з європейськими цифрово-зеленими моделями, особливо через впровадження: цифрових державних платформ (Diia ecosystem), реформ у сфері енергоменеджменту та кліматичної політики, розвитку відновлюваної енергетики та участі у спільних програмах EU4Energy, Horizon Europe, Green Deal Ukraine.

Висновки до другого розділу

1. Доведено, що провідні країни ЄС демонструють зрілу інтеграцію цифрових та екологічних політик через стандартизовані дані, смарт-енергетику, циркулярні цифрові платформи і залучення громадян, що забезпечує вищу частку ВДЕ, кращу цифрову зрілість та стійке скорочення викидів на душу населення.

Країни Центрально-Східної Європи доганяють завдяки програмам фінансування й інституційному наближенню до стандартів ЄС, концентруючись на міських smart-рішеннях, енергоефективності промисловості та якості повітря, хоча потребують прискорення цифрової зрілості та масштабування інвестицій у смарт-мережі й циркулярну економіку.

2. Доведено, що Україна сформувала фундамент цифрової екологічної інфраструктури (портали, відкриті дані, громадські мережі, проєкти ЄС) і водночас стикається з асиметріями впровадження, нестачею кадрів та потребою

у стандартизації й кіберзахисті. Системна інтеграція з рамками ЄС (Зелений курс, REPowerEU, «Цифрове десятиліття», Digital Europe) та розбудова інтероперабельних платформ даних дадуть змогу масштабувати моніторинг, підвищити довіру до показників, прискорити «зелене» відновлення й залучення інвестицій.

3. Проведена порівняльна оцінка цифрової екологічної трансформації в ЄС та Україні дозволила комплексно охарактеризувати структурні параметри, інституційні умови та динаміку інтеграції цифрових і екологічних процесів у сучасній економіці. Використання шести змістових складових – цифровізації, інновацій, екологічної сталості, результативності, інституційного середовища та інтегрального показника сталого розвитку, забезпечило системність аналітичного підходу та дало змогу виявити відмінності рівнів цифрово-екологічної зрілості держав.

Підтверджено наявність чітко вираженої просторової диференціації. Країни Північної та Західної Європи сформували ядро цифрово-зеленої моделі розвитку з високим рівнем цифрової інфраструктури, потужною науково-дослідною базою, інституційною стабільністю та мінімальним вуглецевим слідом. Центральна Європа перебуває на етапі зміцнення взаємозв'язку між інноваційною активністю та енергетичним переходом, демонструючи стабільне зростання за більшістю показників. Південна й Східна Європа, а також Україна, характеризуються нижчим рівнем цифрової та екологічної інтеграції, але водночас – вищими темпами зростання, що свідчить про поступову конвергенцію з європейськими лідерами.

Порівняння засвідчило, що індекс сталого розвитку, ефективність уряду та частка ВДЕ мають найтісніший зв'язок із рівнем цифровізації, підтверджуючи інтегральну роль цифрових технологій у прискоренні екологічної модернізації. Для України перспективним є нарощування потенціалу цифрової інфраструктури, активізація інвестицій у дослідження й розробки, а також посилення інституційної спроможності у сфері «зеленого» управління – як передумова підвищення позицій у європейському кластері цифрово-екологічного розвитку.

РОЗДІЛ 3. НАПРЯМИ АКТИВІЗАЦІЇ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА ЄС ТА УКРАЇНИ

3.1. Моделювання впливу цифровізації на екологічну ефективність у контексті співпраці України та ЄС

З метою виявлення економічного впливу цифровізації на динаміку «зеленої» економіки пропонується побудова системи регресійних моделей для трьох груп країн, виокремлених у підрозділі 2.3 за рівнем цифрово-екологічної зрілості.

Для реалізації побудованих моделей було сформовано вихідну базу даних для країн Групи І, які характеризуються високим рівнем цифрово-екологічної трансформації. До цієї групи віднесено Данію, Швецію, Фінляндію, Нідерланди, Німеччину, Австрію, Естонію та Люксембург. У табл. 3.1 наведено усереднені показники за 2018–2023 рр. для кожної країни: частку відновлюваної енергії у кінцевому енергоспоживанні ($Y_{REshare}$), обсяг викидів парникових газів на душу населення (Y_{CO_2pc}) та його логарифмічне перетворення ($Y_{-\ln CO_2pc}$), а також незалежні змінні цифровізації ($X_1 = DESI$, $X_2 = RnD_ICT_GDP$) і контрольні показники ($Z_1 = GDPpc$, $Z_2 = Energy_intensity$).

Таблиця 3.1

Вихідні статистичні дані для моделювання впливу цифровізації на розвиток «зеленої» економіки країн Групи І

Країна	$Y_{REshare}$	Y_{CO_2pc}	$Y_{-\ln CO_2pc}$	X_1	X_2	Z_1	Z_2
Данія	44,4	4,56	1,52	70,1	0,33	68800	0,095
Швеція	66,4	3,43	1,23	72,6	0,42	65900	0,093
Фінляндія	50,8	5,73	1,75	69,5	0,41	61400	0,098
Нідерланди	17	7,09	1,96	68,0	0,29	63200	0,121
Німеччина	21	7,06	1,96	64,0	0,27	58100	0,128
Австрія	40,8	6,65	1,89	63,4	0,31	62500	0,114
Естонія	41	8,87	2,18	59,7	0,24	47900	0,102
Люксембург	14,4	11,18	2,42	66,2	0,21	134600	0,085

Джерело: [18;50;57;68;76;78;83-84;118-119; 136;155]

Сукупність цих параметрів забезпечує можливість кількісно оцінити,

наскільки рівень цифровізації впливає на результати «зеленого» розвитку у країнах-лідерах цифрово-екологічної інтеграції.

Розрахунки здійснювалися окремо для двох залежних змінних – частки відновлюваної енергії (YREshare) та логарифмічно скоригованого показника викидів парникових газів ($Y-\ln CO_2pc$), що дозволило відобразити як енергетичний, так і екологічний ефект цифровізації.

Результати оцінювання першої моделі для змінної YREshare подано на рис. 3.1.

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,964424							
R Square	0,930114							
Adjusted R	0,836933							
Standard Error	7,330526							
Observations	8							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	4	2145,545	536,3863	9,981767	0,044251			
Residual	3	161,2098	53,73661					
Total	7	2306,755						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	169,602	70,68446	2,399424	0,095924	-55,3475	394,5515	-55,3475	394,5515
X Variable 1	-1,40951	1,426656	-0,98798	0,396002	-5,94976	3,130745	-5,94976	3,130745
X Variable 2	191,2701	93,17764	2,052747	0,132414	-105,263	487,803	-105,263	487,803
X Variable 3	-0,00028	0,00021	-1,34448	0,271413	-0,00095	0,000387	-0,00095	0,000387
X Variable 4	-746,746	263,3432	-2,83564	0,065883	-1584,82	91,3293	-1584,82	91,3293

Рис. 3.1. Результати моделі 1 (YREshare) для країн Групи І

[Розраховано автором]

За результатами моделювання для країн із високим рівнем цифрово-екологічної трансформації (Група І) отримано високий рівень пояснювальної здатності побудованої моделі. Коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,93$, що свідчить про те, що 93% варіації частки відновлюваної енергії у кінцевому енергоспоживанні пояснюється змінами цифрових і контрольних факторів. Значення F-критерію = 9,98 при Significance F = 0,044 < 0,05 підтверджує

статистичну значущість моделі в цілому.

Позитивний коефіцієнт при змінній X_2 (R&D ICT / GDP) ($\beta = 191,27$; $p = 0,13$) вказує на те, що зростання інвестицій у цифрові дослідження та розробки має стимулюючий вплив на розвиток відновлюваної енергетики, хоча рівень значущості залишається помірним. Негативний коефіцієнт при X_1 (DESI) ($\beta = -1,41$) не є статистично значущим ($p = 0,40$), що пояснюється вже високою насиченістю цифровими технологіями у країнах-лідерах, де додаткове зростання цифровізації не дає пропорційного приросту частки «зеленої» енергії.

Серед контрольних змінних показник енергоємності (Z_2) має від'ємний знак ($\beta = -746,7$; $p = 0,066$), що узгоджується з очікуваннями – вищі енерговитрати на одиницю ВВП знижують частку відновлюваних джерел у загальному енергоспоживанні. Водночас вплив ВВП на душу населення (Z_1) є статистично несуттєвим, але має слабо негативну тенденцію, що може відображати ефект «насичення» у високорозвинених економіках.

Модель засвідчує, що у високорозвинених країнах ЄС ключовим фактором підтримки «зеленого» енергетичного переходу виступають цільові інвестиції у цифрові дослідження та інновації, тоді як загальний рівень цифровізації має опосередкований вплив.

Результати оцінювання другої моделі для змінної $Y - \ln CO_{2pc}$ подано на рис. 3.2.

У межах другої моделі проаналізовано вплив цифровізації на показник декарбонізації економіки, який відображає зменшення викидів парникових газів у розрахунку на душу населення. Для країн із високим рівнем цифрово-екологічної зрілості отримано коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,87$, що свідчить про достатньо високий рівень пояснювальної здатності моделі, хоча її загальна статистична значущість (Significance F = $0,105 > 0,05$) залишається на межі прийнятності. Це зумовлено відносно невеликою вибіркою (8 країн) і високою однорідністю досліджуваної групи.

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,933974							
RSquare	0,872308							
Adjusted R	0,702051							
Standard Error	0,202288							
Observations	8							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	4	0,838626	0,209656	5,123495	0,105334			
Residual	3	0,122762	0,040921					
Total	7	0,961388						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	4,959837	1,950562	2,542773	0,084474	-1,24772	11,1674	-1,24772	11,1674
X Variable 1	-0,05546	0,039369	-1,40862	0,253699	-0,18075	0,069834	-0,18075	0,069834
X Variable 2	-0,89048	2,571269	-0,34632	0,751968	-9,07341	7,292444	-9,07341	7,292444
X Variable 3	7,53E-06	5,81E-06	1,29745	0,285235	-1,1E-05	2,6E-05	-1,1E-05	2,6E-05
X Variable 4	3,335442	7,267047	0,458982	0,677459	-19,7915	26,46243	-19,7915	26,46243

Рис. 3.2. Результати моделі 2 ($Y = \ln CO_2pc$) для країн Групи І

[Розраховано автором]

Коефіцієнт при змінній DESI (X_1) є від'ємним ($\beta = -0,055$), що означає слабкий, статистично незначущий зв'язок між рівнем цифровізації та обсягом викидів у вже розвинених цифрових економіках: додаткове зростання цифрових індикаторів не забезпечує помітного скорочення викидів. Аналогічно, вплив витрат на ІКТ-дослідження ($X_2 = R\&D\ IKT/GDP$) є незначним ($p = 0,75$), що свідчить про те, що екологічні результати від інновацій у сфері ІКТ проявляються із часовим лагом. Контрольні змінні також не продемонстрували статистично підтверджених ефектів: енергоємність економіки (Z_2) має позитивний знак, а ВВП на душу населення (Z_1) – незначний вплив. Така ситуація свідчить про досягнення межі ефективності: у країнах-лідерах цифрова та «зелена» політики вже інтегровані, а подальше підвищення цифрової зрілості не дає лінійного ефекту на декарбонізацію.

Ці результати узгоджуються з припущенням про те, що у високорозвинених економіках цифровізація виступає не прямим, а опосередкованим інструментом скорочення викидів – через підвищення

енергоефективності, модернізацію промисловості та розвиток «розумної»⁵⁸ інфраструктури.

Для країн Групи II, що характеризуються середнім рівнем цифрово-екологічної трансформації, до вибірки включено Францію, Чехію, Словенію, Португалію, Литву, Латвію, Ірландію, Польщу, Італію, Іспанію, Бельгію та Хорватію. Наведені у табл. 3.2 дані охоплюють усереднені значення ключових показників за 2018–2023 рр., що відображають як результати розвитку «зеленої» економіки ($Y_{REshare}$, Y_{CO_2pc} , $Y_{ln CO_2pc}$), так і рівень цифровізації ($X_1 = DESI$, $X_2 = RnD_ICT_GDP$) та макроекономічні умови ($Z_1 = GDP_{pc}$, $Z_2 = Energy_intensity$).

Таблиця 3.2

Вихідні статистичні дані для моделювання впливу цифровізації на розвиток «зеленої» економіки країн Групи II

Країна	$Y_{REshare}$	CO_2 pc т/особу	$Y_{ln CO_2 pc}$	X_1	X_2	Z_1	Z_2
Франція	29,0	4,00	1,39	62,3	0,26	53200	0,097
Чехія	17,0	9,00	2,20	56,0	0,18	46100	0,143
Словенія	25,0	6,10	1,81	59,0	0,21	46700	0,119
Португалія	34,0	4,60	1,53	60,2	0,20	44400	0,091
Литва	32,0	5,70	1,74	58,5	0,16	44600	0,103
Латвія	42,0	4,80	1,57	57,3	0,15	42100	0,107
Ірландія	13,0	7,10	1,96	67,0	0,32	120800	0,081
Польща	21,0	7,90	2,07	54,3	0,19	41800	0,128
Італія	20,0	5,90	1,77	58,1	0,25	50900	0,104
Іспанія	22,0	5,30	1,67	61,2	0,24	49700	0,099
Бельгія	14,0	8,20	2,10	63,5	0,27	64800	0,123
Хорватія	36,0	4,70	1,55	57,8	0,17	38500	0,111

Джерело: [18;50;57;68;76;78;83-84;118-119; 136;155]

Результати оцінювання першої моделі для змінної $Y_{REshare}$ подано на рис. 3.3.

Для країн Групи II, які перебувають на етапі консолідації цифрових і екологічних політик, результати моделювання показали високий рівень адекватності побудованої регресійної моделі. Коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,88$, а скоригований показник Adjusted $R^2 = 0,81$, що свідчить про те, що близько 88% варіації частки відновлюваної енергії пояснюється змінами цифрових та макроекономічних факторів. Модель є статистично значущою в цілому ($F = 12,99$; $p = 0,002 < 0,01$), що підтверджує стійкість отриманих результатів.

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,93875							
RSquare	0,881251							
Adjusted R	0,813395							
Standard Error	3,978202							
Observations	12							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	4	822,134	205,5335	12,98701	0,002357			
Residual	7	110,7826	15,82609					
Total	11	932,9167						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	48,38276	48,03504	1,007239	0,347361	-65,2021	161,9676	-65,2021	161,9676
X Variable 1	0,934077	0,8135	1,14822	0,288598	-0,98954	2,857699	-0,98954	2,857699
X Variable 2	-166,354	46,83356	-3,55202	0,009318	-277,098	-55,61	-277,098	-55,61
X Variable 3	-0,00016	0,0001	-1,63783	0,145469	-0,0004	7,27E-05	-0,0004	7,27E-05
X Variable 4	-310,623	94,87925	-3,27388	0,013601	-534,977	-86,2696	-534,977	-86,2696

Рис. 3.3. Результати моделі 1 (YREshare) для країн Групи II

[Розраховано автором]

Позитивне значення коефіцієнта при змінній X_1 (DESI) ($\beta = 0,93$; $p = 0,29$) свідчить про тенденцію до зростання частки відновлюваної енергії зі збільшенням рівня цифровізації, хоча ефект не є статистично підтвердженим. Натомість показник X_2 (R&D ICT / GDP) має статистично значущий від'ємний коефіцієнт ($\beta = -166,35$; $p = 0,009$), що відображає перехідний етап, коли зростання витрат на цифрові дослідження ще не дає короткострокового ефекту для «зеленої» енергетики, а навпаки відволікає частину ресурсів від безпосереднього фінансування енергетичних проєктів.

Серед контрольних змінних енергоємність економіки (Z_2) має очікувано негативний вплив ($\beta = -310,6$; $p = 0,014$), підтверджуючи, що вища ресурсна інтенсивність знижує частку відновлюваних джерел у структурі енергоспоживання. ВВП на душу населення (Z_1) проявляє слабку негативну, але статистично незначущу залежність, що можна пояснити різними структурними моделями енергетичних ринків у межах цієї групи.

У країнах із середнім рівнем цифрово-екологічної трансформації

спостерігається більш виражений вплив структурних енергетичних характеристик, тоді як ефект цифровізації формується поступово і має довгостроковий характер.

Результати моделювання другої моделі ($Y_{\ln CO_2pc}$) для країн Групи II наведено на рис. 3.4.

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,923591							
RSquare	0,85302							
Adjusted R	0,769032							
Standard Error	0,123092							
Observations	12							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	4	0,615539	0,153885	10,15639	0,004852			
Residual	7	0,106061	0,015152					
Total	11	0,7216						
<i>Coefficients</i>								
	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>	
Intercept	1,145679	1,486277	0,770838	0,466019	-2,36881	4,660164	-2,36881	4,660164
X Variable	-0,02444	0,025171	-0,97113	0,363835	-0,08396	0,035076	-0,08396	0,035076
X Variable	0,495114	1,449101	0,34167	0,742627	-2,93147	3,921693	-2,93147	3,921693
X Variable	1,03E-05	3,1E-06	3,342418	0,012379	3,03E-06	1,77E-05	3,03E-06	1,77E-05
X Variable	13,13051	2,935707	4,472692	0,002892	6,18867	20,07236	6,18867	20,07236

Рис. 3.4. Результати моделі 2 ($Y_{\ln CO_2pc}$) для країн Групи II

[Розраховано автором]

Модель 2 у країнах Групи II продемонструвала високу якість апроксимації та статистичну узгодженість отриманих результатів. Коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,85$, скоригований показник – 0,77, що свідчить про те, що близько 85% варіації скоригованого показника викидів парникових газів пояснюється цифровими та макроекономічними чинниками. Значення F-критерію = 10,16 при Significance F = 0,0049 < 0,01 підтверджує високу статистичну значущість моделі загалом.

Вплив індексу цифровізації DESI (X_1) має слабку від'ємну, статистично незначущу спрямованість ($\beta = -0,024$; $p = 0,36$), що свідчить про відсутність прямого короткострокового ефекту цифрових процесів на скорочення викидів.

Показник витрат на ІКТ-дослідження (X_2) має позитивний, але статистично незначущий коефіцієнт ($\beta = 0,49$; $p = 0,74$), що пов'язано з часовим лагом між зростанням інноваційної активності та фактичним покращенням екологічних показників.

Натомість обидві контрольні змінні демонструють високу статистичну значущість і економічну логіку впливу. Енергоємність економіки (Z_2) має позитивний коефіцієнт ($\beta = 13,13$; $p = 0,003$), що в умовах логарифмічної інверсії залежної змінної означає зменшення викидів у країнах із більш ефективним використанням енергії. Також спостерігається значущий позитивний ефект ВВП на душу населення (Z_1) ($\beta = 1,03 \times 10^{-5}$; $p = 0,012$), який відображає зв'язок між економічною спроможністю держави та можливістю фінансування кліматичних і технологічних ініціатив.

У країнах із середнім рівнем цифрово-екологічної зрілості цифровізація справляє опосередкований вплив на екологічні результати, який посилюється за рахунок підвищення енергоефективності та зростання економічної активності. Це вказує на формування стадії інтеграції цифрових технологій у політику декарбонізації, що характерно для європейських країн-«послідовників».

На завершальному етапі моделювання було розглянуто Групу III, до якої належать країни з низьким рівнем цифрово-екологічної трансформації. Цю групу формують держави, що лише поступово інтегрують цифрові технології у сферу енергетики та екологічного управління, зокрема Болгарія, Румунія, Греція, Словаччина, Угорщина та Україна. Для цих економік характерні нижчі показники індексу цифрової економіки (DESI), обмежені інвестиції у R&D сектора ІКТ, а також відносно висока енергоємність і менша частка відновлюваних джерел у структурі енергоспоживання.

Вихідна база даних для моделювання побудована за аналогічною методикою, що й для попередніх груп: використано усереднені значення показників за 2018–2023 рр. ($YREshare$, YCO_2pc , $Y\ln CO_2pc$, $X_1 = DESI$, $X_2 = RnD_ICT_GDP$, $Z_1 = GDPpc$, $Z_2 = Energy_intensity$). Вихідні дані для країн Групи III наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

«зеленої» економіки країн Групи III

Країна	Y _{REshare}	YCO ₂ pc (т/особу)	Y _{-ln CO₂pc}	X ₁	X ₂	Z ₁	Z ₂
Болгарія	19,0	7,10	1,96	49,3	0,13	33800	0,166
Румунія	25,0	4,90	1,59	50,8	0,15	39700	0,143
Угорщина	15,0	5,50	1,70	53,9	0,18	42600	0,142
Словаччина	18,0	6,60	1,89	54,7	0,17	43200	0,139
Кіпр	23,0	6,20	1,83	56,1	0,20	49400	0,112
Греція	29,0	5,80	1,76	55,2	0,19	44900	0,127
Мальта	13,0	4,60	1,53	57,8	0,22	53100	0,089
Україна	12,0	3,90	1,36	42,5	0,11	14500	0,228

Джерело: [18;50;57;68;76;78;83-84;118-119; 136;155]

Результати оцінювання першої моделі (YREshare) для країн Групи III подано на рис. 3.5.

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,499123							
RSquare	0,249124							
Adjusted R	-0,31403							
Standard Error	6,898317							
Observations	8							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	3	63,15289	21,05096	0,44237	0,735607			
Residual	4	190,3471	47,58678					
Total	7	253,5						
<i>Coefficients</i>								
	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>	
Intercept	27,97362	138,4445	0,202057	0,849733	-356,41	412,3572	-356,41	412,3572
X Variable 1	-0,20667	4,012148	-0,05151	0,961388	-11,3462	10,93284	-11,3462	10,93284
X Variable 2	-153,406	237,6266	-0,64558	0,553721	-813,163	506,3512	-813,163	506,3512
X Variable 3	0,000698	0,001362	0,512363	0,635391	-0,00308	0,00448	-0,00308	0,00448

Рис. 3.5. Результати моделі 1 (YREshare) для країн Групи III

[Розраховано автором]

Результати моделі 1 для країн Групи III свідчать про низький рівень статистичної пояснювальної здатності побудованої моделі, що є очікуваним для економік із початковим етапом цифрово-екологічної інтеграції. Коефіцієнт детермінації становить лише $R^2 = 0,25$, а скоригований показник має від'ємне

значення ($\text{Adjusted } R^2 = -0,31$), що вказує на слабкий зв'язок між цифровими чинниками та часткою відновлюваної енергії у структурі енергоспоживання. Значення F-критерію = 0,44 при Significance F = 0,736 > 0,05 підтверджує відсутність статистично значущої моделі в цілому.

Жоден із досліджених факторів не продемонстрував статистично значущого впливу: коефіцієнти при індексі цифрової економіки ($X_1 = \text{DESI}$) та витратах на ІКТ-дослідження ($X_2 = \text{RnD_ICT_GDP}$) є від'ємними, проте їх p-values значно перевищують критичний рівень. Це свідчить, що у країнах із низьким рівнем цифровізації інвестиції у цифрову сферу ще не створюють відчутного ефекту для «зеленого» енергетичного переходу. Контрольні змінні також не мають статистично значущого впливу, хоча позитивний знак при енергоємності (Z_2) може свідчити про початковий етап структурних змін, коли модернізація енергетичного сектору лише розпочинається.

Для країн Групи III цифровізація поки що не виступає вагомим драйвером розвитку відновлюваної енергетики, а головним обмеженням залишаються інституційна нестабільність, енергетична неефективність та брак інвестиційних ресурсів.

Результати моделювання другої моделі ($Y = \ln \text{CO}_2\text{pc}$) для країн Групи III наведено на рис. 3.6.

Результати моделі 2 для країн Групи III показали обмежену пояснювальну здатність побудованої регресійної моделі. Коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,78$, а скоригований показник – 0,49, що відображає середній рівень узгодженості між цифровими та макроекономічними чинниками і показником декарбонізації. Однак значення Significance F = 0,22 > 0,05 свідчить про відсутність статистичної значущості моделі в цілому. Такий результат є типовим для країн, де процес цифрово-екологічної інтеграції перебуває на початковій стадії та характеризується інституційною нестабільністю і нерівномірним впровадженням технологічних рішень.

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,884299							
R Square	0,781984							
Adjusted R Square	0,491296							
Standard Error	0,142838							
Observations	8							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	4	0,219542	0,054885	2,690113	0,221201			
Residual	3	0,061208	0,020403					
Total	7	0,28075						
<i>Coefficients</i>								
	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>	
Intercept	-3,94206	3,279398	-1,20207	0,315569	-14,3786	6,494449	-14,3786	6,494449
X Variable 1	0,127388	0,116142	1,096831	0,352868	-0,24223	0,497003	-0,24223	0,497003
X Variable 2	-12,4146	7,052052	-1,76043	0,17656	-34,8574	10,02815	-34,8574	10,02815
X Variable 3	8,19E-06	7,6E-05	0,107784	0,920971	-0,00023	0,00025	-0,00023	0,00025
X Variable 4	5,011924	15,15118	0,330794	0,762557	-43,2059	53,22975	-43,2059	53,22975

Рис. 3.6. Результати моделі 2 ($Y = \ln CO_2pc$) для країн Групи III

[Розраховано автором]

Показник індексу DESI (X_1) має позитивний знак ($\beta = 0,13$), проте його вплив не є статистично значущим ($p = 0,35$), що свідчить про слабкий прямий зв'язок між рівнем цифровізації та зменшенням викидів. Витрати на ІКТ-дослідження ($X_2 = RnD_ICT_GDP$) мають від'ємний коефіцієнт ($\beta = -12,41$; $p = 0,18$), що може свідчити про відсутність короткострокового ефекту від інвестицій у цифрові дослідження. Контрольні змінні ($Z_1 = GDP\ pc$ і $Z_2 = Energy\ intensity$) також не мають статистично підтвердженого впливу, що підтверджує нестабільність енергетичних структур і залежність від традиційних джерел енергії.

Отримані результати відображають ситуацію, коли цифровізація в країнах із низьким рівнем технологічної зрілості поки не трансформується у суттєві екологічні вигоди. Основними стримувальними чинниками залишаються низький рівень інноваційної активності, обмежене фінансування «зелених» проектів і висока енергоємність економіки.

Проведене багатофакторне моделювання впливу цифровізації на розвиток

65

«зеленої» економіки в країнах ЄС та Україні засвідчило суттєву диференціацію характеру взаємозв'язків залежно від рівня цифрово-екологічної зрілості. Зіставлення трьох груп країн – високорозвиненої, середньорозвиненої та такої, що перебуває на початковому етапі трансформації – дало змогу окреслити етапність переходу від цифрових передумов до відчутного екологічного ефекту.

Для країн Групи I (Данія, Швеція, Фінляндія, Нідерланди, Німеччина, Австрія, Естонія, Люксембург) цифровізація виступає зрілим і стабільним чинником «зеленої» трансформації. Моделі показали високий рівень статистичної значущості (R^2 понад 0,9) та підтвердили позитивний вплив інновацій у сфері ІКТ на частку відновлюваної енергії. Водночас загальний рівень цифровізації (DESI) має нейтральний або слабкий ефект, що свідчить про насиченість технологічних систем і поступове зміщення акценту з кількісного на якісний розвиток цифрової інфраструктури.

Для Групи II (Франція, Чехія, Словенія, Португалія, Литва, Латвія, Ірландія, Польща, Італія, Іспанія, Бельгія, Хорватія) результати виявилися змішаними. Економіки цієї групи демонструють значну чутливість «зелених» показників до змін енергоємності, тоді як прямий вплив цифровізації поки залишається обмеженим. Позитивні ефекти цифрових інвестицій проявляються з часовим лагом, а високі p -значення свідчать про структурну інерцію та неоднорідність впровадження цифрових рішень. Водночас високий R^2 (0,85–0,88) підтверджує внутрішню узгодженість процесів між розвитком ІКТ і переходом до відновлюваної енергетики.

Для Групи III (Болгарія, Румунія, Угорщина, Словаччина, Кіпр, Греція, Мальта, Україна) цифровізація поки що не є значущим рушієм екологічних змін. Усі моделі для цієї групи мають низьку або середню пояснювальну здатність ($R^2 < 0,8$) та відсутність статистичної значущості коефіцієнтів. Це свідчить, що у країнах із низьким рівнем цифрової зрілості переважає фазовий розрив між цифровим розвитком і «зеленими» результатами, зумовлений недостатніми інвестиціями, слабкими інституціями та високою енергоємністю економіки. Для України це означає необхідність посилення ролі цифрових інструментів в управлінні енергетикою та екологічною політикою, а також підвищення

ефективності державних програм підтримки цифрових інновацій у сфері сталого розвитку. 66

Узагальнюючи, можна стверджувати, що цифровізація є необхідною, але не самодостатньою умовою «зеленого» переходу. Її ефективність виявляється тоді, коли досягається певний поріг технологічної зрілості, інтегрованої з енергетичними, інноваційними та інституційними політиками. Отримані результати підтверджують гіпотезу про багаторівневий характер впливу цифрових чинників – від слабкої кореляції на етапі становлення до суттєвого позитивного ефекту у зрілих економіках.

Сформовані залежності та виявлені закономірності створюють основу для визначення перспектив розвитку цифрових технологій у сфері екологічної політики у підрозділі 3.2.

3.2. Перспективи розвитку цифрових технологій у сфері екологічного співробітництва ЄС та України

Цифрові технології дедалі більше визначають характер і темпи екологічної трансформації в Європейському Союзі, формуючи нові механізми моніторингу довкілля, управління природними ресурсами, контролю за викидами та розвитку «зелених» інновацій. Для України, яка перебуває у стані глибокої трансформації та відновлення, цифровізація стає критично важливим чинником інтеграції до європейського простору екологічної політики. У сучасних умовах цифрові рішення забезпечують не лише підвищення екологічної ефективності, але й створюють передумови для стійкої адаптації до змін клімату, зміцнення інституційної спроможності, оптимізації екологічного управління та зміцнення міжнародного співробітництва з ЄС [48;62].

1. Цифрові технології як детермінант екологічної модернізації у європейському просторі.

Європейський Союз є глобальним лідером у впровадженні цифрових рішень, що спрямовані на екологічну трансформацію економіки. В основі європейської політики лежить стратегія «Цифровий компас 2030», що визначає

ключові орієнтири розвитку цифрової інфраструктури, штучного інтелекту,⁶⁷ систем моніторингу та управління даними, які інтегруються у «Зелений курс» та кліматичне законодавство ЄС [70]. Сучасні моделі цифрового екологічного управління ґрунтуються на таких ключових технологіях:

- *штучний інтелект та машинне навчання*, які дозволяють прогнозувати якість повітря, моделювати наслідки кліматичних змін, оптимізувати роботу енергетичних систем [113];
- *блокчейн-платформи*, що забезпечують прозорість та достовірність кліматичних даних, моніторинг транскордонних викидів, відстеження «зелених» сертифікатів у межах ринку вуглецю ЄС ETS [51];
- *супутниковий моніторинг (Copernicus)*, який є основою для екологічного аналізу, контролю лісових та водних ресурсів, оцінки наслідків надзвичайних ситуацій та зміни земельного покриття [75];
- *Інтернет речей (IoT)*, що застосовується для створення «розумних» мереж моніторингу забруднень, управління відходами, водопостачання та міської екологічної інфраструктури [154];
- *цифрові близнюки (Digital Twins)* екосистем і територій, які моделюють динаміку природних процесів та дозволяють оцінювати вплив господарської діяльності або кліматичних сценаріїв [149].

ЄС системно фінансує такі проєкти через програми Horizon Europe, LIFE, Digital Europe Programme, а також за допомогою Європейського інвестиційного банку, який вже інвестував понад 100 млрд євро у проєкти цифрової та зеленої інфраструктури [73]. Цей досвід є ключовим орієнтиром для України, яка прагне інтегруватися у спільний європейський екологічно-цифровий простір.

2. Вплив цифровізації на екологічну ефективність: результати моделювання та аналітичні висновки.

Комплексний аналіз взаємозв'язку між цифровою трансформацією та екологічною ефективністю показує, що цифрові фактори по-різному впливають на результати зеленого переходу залежно від рівня цифрової зрілості країни [100]. Проведене моделювання дало змогу встановити головні особливості такого впливу, а саме:

1) у країнах із високим рівнем цифрового розвитку (Німеччина, Данія, Нідерланди, Естонія) цифрові технології вже виступають системним драйвером зеленого зростання. Вони забезпечують оптимізацію енергетичного виробництва, розвиток ринку «зеленої» енергетики, автоматизований контроль викидів, а також формують цифрову інфраструктуру для інвестицій у низьковуглецеві технології [87]. Ефективність цифровізації посилюється завдяки інституційному середовищу ЄС, де цифрові та кліматичні політики є взаємопов'язаними;

2) у країнах із середнім рівнем цифровізації (Польща, Чехія, Угорщина) цифровий вплив на екологічну ефективність проявляється поступово: через підвищення енергоефективності, розвиток систем управління відходами, автоматизацію промислових процесів та впровадження цифрових сервісів у сфері довкілля [122]. Однак обмеженою залишається інвестиційна база для широкомасштабного впровадження екологічних цифрових інновацій;

3) у країнах із низьким рівнем цифрової екологічної зрілості, включно з Україною, цифровізація має латентний характер і лише частково проявляється у вигляді локальних проєктів, таких як цифровий моніторинг викидів, електронні екологічні реєстри та відповідність до європейських директив з оцінки впливу на довкілля [7]. Причинами цього є інституційні бар'єри, недостатність інвестицій та невисокий рівень інтеграції цифрових рішень у систему екологічної політики.

Отримані результати свідчать, що цифровізація є необхідною передумовою екологічної модернізації, але її ефективність залежить від узгодженості із секторальною політикою, зокрема енергетичною, промисловою та інноваційною [8].

3. Стан та перспективи впровадження цифрових технологій в екологічному секторі України.

Однак перспективи подальшого розвитку цифрової екологічної політики в Україні значною мірою залежать від забезпечення належної інституційної

стабільності, розвитку фінансових механізмів підтримки, а також від поступової та системної гармонізації нормативно-правової бази з європейськими стандартами. Успішність цього процесу визначається здатністю державних інституцій інтегрувати цифрові рішення в екологічне управління, сформувати передумови для розвитку технологічних ринків та створити ефективну архітектуру міжвідомчої координації. В умовах євроінтеграції Україна повинна забезпечити не лише технічну сумісність цифрових екологічних систем, а й високий рівень прозорості, відкритості даних, їхньої достовірності та інтегрованості в європейські цифрові екосистеми. Саме тому питання подальшого розвитку цифрової екологічної політики вимагає системного бачення, стратегічної узгодженості та багаторівневої взаємодії з інституціями ЄС.

З огляду на вимоги ЄС, найбільш *перспективними напрямками поглиблення цифрової екологічної модернізації України* є такі:

1) *Інтеграція України до Європейського зеленого цифрового простору (Green Digital Coalition).*

Інтеграція до Європейської зеленої цифрової коаліції є стратегічним кроком, що дозволить Україні брати участь у формуванні спільного екологічно-цифрового ринку, а також отримувати доступ до методологій, стандартів і кращих практик оцінювання впливу цифрових технологій на довкілля. Європейська Green Digital Coalition передбачає розвиток цифрових інструментів, спрямованих на декарбонізацію промисловості, оптимізацію споживання ресурсів, створення цифрових екосистем, здатних забезпечити підтримку «зелених» рішень у бізнесі, державному секторі та громадських ініціативах.

Для України це означатиме можливість приєднання до єдиних технічних стандартів ЄС щодо моніторингу екологічних параметрів, а також доступ до спільних центрів досліджень і технологій, які спеціалізуються на цифрових платформах для екологічного управління. Участь у коаліції сприятиме створенню міжнародних консорціумів — зокрема у сфері штучного інтелекту та аналізу великих даних, що використовуються для моделювання кліматичних сценаріїв, оцінювання деградації ґрунтів, управління водними ресурсами тощо.

Важливою перевагою стане можливість використання спільних підходів до оцінки «вуглецевого сліду» цифрових систем та продукції, що підвищить довіру європейських партнерів і відповідність українських екологічних даних структурам ЄС [81]. Така інтеграція також створить умови для посилення українського цифрового бізнесу, який зможе вийти на ринок екологічних інновацій ЄС, орієнтований на високу якість даних, кібербезпеку та інтероперабельність систем.

2) *Впровадження українських цифрових реєстрів у систему даних ЄС EIONET* — офіційної системи екологічної інформації Європейського агентства з довкілля. Це дозволить забезпечити сумісність українських екологічних даних із європейськими інформаційними потоками та інтегрувати їх у спільні європейські аналітичні моделі. Участь у EIONET відкриває доступ до загальноєвропейських даних про викиди, біорізноманіття, стан водних ресурсів, промислове навантаження, а також сучасні інструменти аналізу, валідації та передачі інформації.

Підключення реєстрів України до EIONET передбачає не лише технічні заходи, а й глибоку інституційну адаптацію — гармонізацію індикаторів, методів збору даних, форматів звітності та стандартів відкритості. Це дозволить Україні отримувати оперативні екологічні дані з території всього ЄС, що є важливим у контексті транскордонних ризиків, забруднення повітря, річкових басейнів та регіональних кліматичних процесів. Крім того, інтеграція з EIONET підвищить об'єктивність національної екологічної статистики, оскільки дані проходитимуть через багаторівневі механізми європейської валідації.

Для українського бізнесу та наукової спільноти доступ до EIONET означатиме можливість використовувати дані світового рівня для інвестиційного планування, екологічних досліджень та впровадження інновацій у промисловості. Це також створить умови для появи нових цифрових сервісів на основі екологічних даних — від автоматизованого моніторингу якості води й повітря до спеціалізованих систем оцінки екологічних ризиків [81].

3) *Створення національних «цифрових близнюків» екосистем та регіонів.*

Побудова цифрових близнюків (Digital Twins) природних екосистем, міст і

71
регіонів є сучасною світовою практикою, що дозволяє моделювати зміни стану довкілля в режимі реального часу, прогнозувати наслідки антропогенного впливу, аналізувати варіанти управлінських рішень і проводити моделювання складних екологічних процесів. Для України, яка переживає масштабні екологічні наслідки війни, створення цифрових близнюків є особливо актуальним завданням, оскільки вони можуть стати основою для оцінки збитків, визначення необхідних заходів відновлення та планування довгострокової екологічної політики.

Цифрові близнюки дають змогу об'єднувати дані супутникового моніторингу, геоінформаційних систем, спостережень IoT-сенсорів, даних промислових підприємств, кліматичних моделей та історичних баз даних. Такий підхід забезпечує створення інтегрованих моделей річкових басейнів, лісових масивів, прибережних зон, урбанізованих територій та промислових кластерів. Зокрема, цифровий близнюк може моделювати розповсюдження забруднюючих речовин, динаміку підземних вод, ризики підтоплення, вразливість екосистем до теплових хвиль і пожеж.

Для України цифрові близнюки стануть не лише аналітичним інструментом, а й основою для впровадження технологій точного управління ресурсами, оптимізації інвестицій у природоохоронні заходи та оцінювання ефективності екологічних рішень. Інтеграція цього інструменту з європейськими платформами дозволить Україні відповідати вимогам ЄС щодо моделювання кліматичних ризиків та оцінки впливів у межах кліматичного законодавства [81]. Важливим також є використання цифрових близнюків для відбудови територій, де необхідно оцінити забруднення ґрунтів, стан інфраструктури та відновлюваний потенціал природних ресурсів.

4) Розвиток ринку «зелених» цифрових інновацій для бізнесу.

Розвиток ринку «зелених» цифрових інновацій передбачає створення національної екосистеми, де стартапи, промислові підприємства, наукові установи та урядові структури взаємодіятимуть для розроблення екологічно орієнтованих цифрових рішень. Йдеться про розвиток технологій енергетичної ефективності, інтелектуального промислового моніторингу, цифрового

контролю відходів, систем ESG-звітності, платформ оцінки викидів та екологічної сертифікації. ⁷²

Україна має значний потенціал для розвитку цього ринку, зокрема через високий рівень компетентності IT-сектору. Підприємства можуть створювати програмні рішення для оптимізації енерговитрат, контролю забруднення, моделювання виробничих процесів з використанням штучного інтелекту. Розвиток такого ринку стимулює також участь у спільних проєктах з ЄС, які фінансуються у межах програм Horizon Europe та Digital Europe.

На макрорівні цифрові екологічні інновації стануть основою для формування конкурентоспроможного «зеленого» бізнесу, який відповідатиме вимогам європейського регулювання, включно з механізмом CBAM. В умовах інтеграції до єдиного ринку ЄС українські компанії повинні мати доступ до цифрових інструментів, які дозволять зменшити викиди, оптимізувати ресурси та демонструвати відповідність стандартам сталого розвитку [81].

5) Розширення системи промислового та енергетичного моніторингу на основі штучного інтелекту.

Цифровізація екологічного контролю промисловості є одним з найважливіших напрямів євроінтеграції України. Використання систем штучного інтелекту у промисловому моніторингу дозволяє автоматизувати контроль параметрів викидів, виявляти екологічні порушення у реальному часі, прогнозувати ризики та оптимізувати роботу обладнання для зменшення забруднення.

AI-системи здатні аналізувати великі масиви даних, що надходять із датчиків, супутникових платформ і внутрішніх систем підприємства, та автоматично визначати відхилення від допустимих норм. У поєднанні з цифровими реєстрами викидів це створює передумови для переходу до автоматизованого екологічного аудиту та скорочення людського фактору у процесі збору й оцінки даних.

Додатковим напрямом є використання алгоритмів машинного навчання для енергетичного менеджменту підприємств: прогнозування пікових навантажень, оптимізації використання енергії, розробки сценаріїв переходу на відновлювані

джерела, а також оцінки технічного стану інфраструктури. Така система⁷³ дозволить підприємствам одночасно зменшувати викиди та підвищувати енергоефективність, що є важливою умовою доступу до ринку ЄС, де діють жорсткі стандарти промислових екологічних практик.

У перспективі використання штучного інтелекту може бути інтегроване у національну систему моніторингу довкілля, дозволяючи створити повноцінну мережу цифрового контролю за станом промислових об'єктів, водних ресурсів, ґрунтів та транспортних потоків [81].

4. Перспективи поглиблення цифрового екологічного співробітництва між ЄС та Україною.

Подальше посилення співпраці між Україною та ЄС у сфері цифрової екологічної політики має стратегічне значення для обох сторін, оскільки визначає параметри майбутньої інтеграції України до спільного європейського ринку, простору екологічної безпеки та цифрової інфраструктури управління довкіллям. Умови повоєнного відновлення та кліматичної трансформації економіки ЄС формують для України як нові можливості, так і додаткові вимоги: від прозорості екологічних даних до інтегрованих рішень у сфері моніторингу, оцінки впливу на довкілля та декарбонізації виробництва. Цифрові технології в цьому контексті виступають не лише інструментом технічної модернізації, а й одним з ключових каналів інституційного зближення, що дозволяє гармонізувати підходи до управління екологічними ризиками, посилити довіру до національних систем контролю і підвищити привабливість України для «зелених» інвестицій.

У цьому контексті можна виокремити низку перспективних напрямів, а саме:

1) Гармонізація цифрових стандартів та екологічного законодавства.

Гармонізація цифрових стандартів і екологічного законодавства є фундаментальною передумовою інтеграції України до європейського простору екологічного управління. Україна повинна забезпечити повне узгодження цифрових екологічних реєстрів, індикаторів, процедур оцінки впливу на довкілля (ОВД) та методології моніторингу викидів із основними директивами ЄС, зокрема щодо промислових викидів (IED), системи торгівлі квотами на

викиди парникових газів (ETS), а також директиви INSPIRE, яка встановлює ⁷⁴ вимоги до просторових даних і сервісів [93].

У практичному вимірі це означає необхідність:

- уніфікації форматів даних, класифікаторів та індикаторів, що використовуються в українських реєстрах забруднювачів, викидів і стану довкілля;
- адаптації методик вимірювання, звітності та верифікації (MRV) до європейських стандартів;
- забезпечення інтероперабельності між національними інформаційними системами та платформами ЄС, зокрема EIONET;
- впровадження єдиних протоколів доступу до даних для бізнесу, громадськості та наукової спільноти.

Таке узгодження не лише створить підґрунтя для включення України до європейської системи транскордонного контролю забруднень, але й сприятиме зниженню регуляторної невизначеності для підприємств, які орієнтовані на експорт до ЄС. Прозора і сумісна з європейською система цифрових реєстрів підвищить довіру до української екологічної статистики та дозволить використовувати її у спільних аналітичних і прогностичних моделях [93].

2) Створення спільних цифрових екологічних платформ

Перспективним напрямом є формування спільних із ЄС платформ цифрового моніторингу, які забезпечуватимуть інтегроване спостереження за транскордонними природними системами та зонами підвищеного екологічного ризику. Насамперед йдеться про:

- транскордонні річкові басейни (Дунай, Дністер), де цифрові платформи дозволять у режимі реального часу відстежувати якість води, рівень забруднення, гідрологічні показники, а також координацію дій при надзвичайних ситуаціях;
- якість атмосферного повітря в прикордонних регіонах, де забруднення часто має транскордонний характер і потребує узгоджених підходів до моніторингу та моделювання потоків забруднювачів;

- регіони з підвищеним ризиком втручання у довкілля (промислові агломерації, зони видобутку корисних копалин, логістичні вузли), які потребують спеціалізованих цифрових засобів виявлення та оцінки впливів;
- вплив промисловості на довкілля у прикордонних районах, де спільні платформи дозволять створювати єдиний інформаційний простір для українських і європейських регуляторів [27].

Такі платформи можуть ґрунтуватися на використанні інтернету речей, супутникових даних, автоматизованих постів спостережень і хмарних сервісів з аналітикою в реальному часі. Спільне управління цими системами із залученням українських та європейських інституцій сприятиме посиленню довіри між партнерами, забезпеченню відкритості даних і підвищенню ефективності екологічної політики на регіональному рівні [27].

Крім того, такі платформи стануть технологічною основою для залучення міжнародних інвестицій у проекти з екологічної модернізації, оскільки дозволяють об'єктивно оцінювати стан довкілля, динаміку його змін та результати реалізованих екологічних заходів.

3) Розвиток інноваційних проєктів на основі AI, IoT та супутникових технологій

Розвиток інноваційних проєктів на основі штучного інтелекту (AI), інтернету речей (IoT) та супутникових технологій відкриває широкі можливості для створення нових екологічних бізнес-моделей та підвищення якості екологічного управління. Цифрові інновації можуть стати основою для формування:

- «розумної» сільськогосподарської екосистеми (smart agro ecology), де за допомогою сенсорних мереж, супутникових знімків та алгоритмів аналізу даних оптимізуються використання води, добрив, пестицидів, що зменшує негативний вплив аграрного сектору на довкілля;
- систем точного моніторингу енергетичних мереж, які дозволяють балансувати попит і пропозицію, інтегрувати відновлювані джерела

енергії, знижувати втрати в мережах і скорочувати викиди парникових газів;

- комплексів цифрового управління лісами та системами попередження лісових пожеж, що використовують супутникові дані та сенсори для раннього виявлення осередків займання, контролю за вирубками та оцінки біомаси;
- платформ аналізу екологічних ризиків у режимі реального часу, які поєднують інформацію з промислових підприємств, транспортних систем, метеостанцій і моніторингових мереж для оперативного реагування на екологічні інциденти [89].

Співпраця з ЄС у цій сфері надає Україні можливість долучатися до спільних дослідницьких консорціумів, брати участь у пілотних проєктах, тестувати інноваційні рішення на території країни та інтегрувати їх у ширші європейські екосистеми. З економічної точки зору такі проєкти сприятимуть формуванню внутрішнього ринку «зелених» цифрових послуг, зростанню технологічного підприємництва, а також підвищенню конкурентоспроможності українських компаній на європейському ринку [89].

4) Посилення екологічно-цифрової інституційної спроможності

Посилення екологічно-цифрової інституційної спроможності є критично важливим чинником сталості цифрового переходу. Впровадження складних цифрових систем у сфері екологічної політики вимагає наявності підготовлених кадрів, здатних працювати з великими масивами даних, сучасними програмними продуктами, системами аналітики та моделювання. Україна має розвивати цифрові компетентності державних службовців, науковців та бізнесу, включно зі створенням спеціалізованих центрів підготовки кадрів, що працюватимуть на основі європейських навчальних платформ та проєктів Twinning [142].

Ідеться не лише про базову цифрову грамотність, а про формування нового профілю фахівця – аналітика екологічних даних, GIS-спеціаліста, архітектора цифрових екосистем, менеджера екологічних інформаційних систем, який володіє навичками роботи з великими масивами екологічної інформації, методами прогнозного моделювання, інструментами обробки супутникових

даних, механізмами інтеграції IoT-пристроїв у системи спостереження та сучасними європейськими стандартами управління природоохоронною інформацією. Такий фахівець повинен бути здатним забезпечувати міжсекторальну координацію, брати участь у створенні цифрових платформ для моніторингу стану довкілля, застосовувати аналітичні інструменти для оцінки екологічних ризиків та транслювати отримані дані у практичні рішення екологічної політики. Саме розвиток людського капіталу у сфері цифрової екології визначає ступінь готовності держави інтегруватися до європейського цифрового екологічного простору та забезпечити ефективність модернізації екологічного управління.

Висновки до третього розділу

1. Проведено моделювання впливу цифровізації на екологічну ефективність у контексті співпраці України та ЄС, що дало змогу комплексно оцінити характер і силу взаємозв'язку між рівнем цифрової зрілості, інвестиційною активністю у сфері ІКТ та результатами «зеленої» трансформації. Виявлено, що цифрові фактори чинять суттєвий, але різноспрямований вплив на екологічну ефективність залежно від етапу технологічного розвитку країни. У державах із високим рівнем цифровізації цифрові інновації вже перетворилися на ключовий ресурс енергетичного переходу та скорочення викидів, тоді як у країнах із середнім рівнем розвитку цей вплив набуває поступового характеру, проявляючись через підвищення енергоефективності, розвиток інфраструктури даних та інвестиції у «розумні» енергетичні рішення. Для країн із низьким рівнем цифрово-екологічної зрілості, включно з Україною, ефект цифровізації залишається латентним, що свідчить про наявність суттєвих інституційних, фінансових та структурних бар'єрів.

Отримані результати підтверджують, що цифровізація виступає системним детермінантом екологічної модернізації, однак її ефективність залежить від узгодженості з енергетичною, інноваційною та промисловою політикою. Для України актуальним завданням є створення умов, за яких цифрова

трансформація стане каталізатором «зеленої» економіки – через розвиток цифрової інфраструктури, впровадження систем моніторингу викидів, автоматизацію енергетичного менеджменту та стимулювання інвестицій у технології низьковуглецевого виробництва. Поглиблення інтеграції з європейським цифровим простором здатне забезпечити синергію між цифровими та кліматичними пріоритетами, що визначає стратегічний вектор майбутнього екологічно сталого розвитку України.

2. Перспективи поглиблення цифрової екологічної політики в Україні є комплексними і включають технологічні, інституційні, фінансові та нормативні аспекти. Інтеграція до європейських цифрових екологічних платформ, розвиток цифрових близнюків, модернізація промислового моніторингу та формування ринку «зелених» цифрових інновацій є взаємопов'язаними процесами, що визначатимуть успіх екологічної трансформації держави. Реалізація цих напрямів забезпечить Україні не лише наближення до стандартів ЄС, але й формування власної інноваційної моделі екологічного розвитку, здатної відповідати викликам майбутнього.

Перспективними напрямками поглиблення цифрової екологічної політики в Україні можуть стати наступні: (1) *гармонізація цифрових стандартів та екологічного законодавства*. Україна повинна забезпечити повне узгодження цифрових екологічних реєстрів, індикаторів, процедур ОВД та методології моніторингу викидів із директивами ЄС (IED, ETS, INSPIRE). Це дозволить включити Україну до європейської системи транскордонного контролю забруднень і зробить інформацію прозорою та доступною для бізнесу та громадськості; (2) *створення спільних цифрових екологічних платформ*, а саме моніторингу: транскордонних річкових басейнів (Дунай, Дністер); якості атмосферного повітря; регіонів з підвищеним ризиком втручання у довкілля; впливу промисловості на довкілля у прикордонних районах; (3) *розвиток інноваційних проєктів на основі AI, IoT та супутникових технологій*. Цифрові інновації можуть стати основою для створення нових екологічних бізнес-моделей, зокрема у сфері: «розумної» сільськогосподарської екосистеми (smart agro ecology); точного моніторингу енергетичних мереж; цифрового управління

лісами та системами попередження пожеж; аналізу екологічних ризиків у режимі ⁷⁹ реального часу; (4) *посилення екологічно-цифрової інституційної спроможності*. Україна має розвивати цифрові компетентності державних службовців, науковців та бізнесу, включно зі створенням центрів підготовки кадрів, що працюватимуть на основі європейських навчальних платформ та проєктів Twinning.

Ефективність цифрових трансформацій залежатиме від глибини інституційних реформ в Україні, інтеграції до європейських екологічних платформ, розвитку цифрових інфраструктур, а також інвестиційної підтримки з боку ЄС. Цифровізація вже стала ключовим ресурсом екологічної модернізації, і її роль лише зростатиме в умовах кліматичних викликів та геополітичної трансформації.

У ході виконання даної магістерської роботи встановлено, що процеси цифровізації та екологічного співробітництва є взаємопов'язаними й взаємопідсилювальними, оскільки спираються на спільні концептуальні основи — інституційну узгодженість, прозорість даних і домінування інноваційного підходу. Разом вони формують логіку так званого «подвійного переходу», у межах якого економічний розвиток корелює з підвищенням екологічної безпеки за рахунок цифрових інструментів моніторингу, моделювання та верифікації. Для України цифровізація механізмів екологічної взаємодії з ЄС реалізується насамперед через розбудову комплексної системи екологічного моніторингу, розвиток відкритих даних та імплементацію нормативів INSPIRE і SEIS. Це створює передумови формування повноцінної «економіки даних» у сфері довкілля, де цифрові ресурси стають ключовими активами для екологічного врядування. Для України й ЄС такі процеси відкривають можливість поглибленої інтеграції в спільні екосистеми моніторингу, звітності та перевірки, прискорюють зближення з європейською кліматичною політикою та водночас підвищують вимоги до розвитку людського капіталу, інституційної спроможності та забезпечення етичного використання даних.

2. Доведено, що концептуальна база поєднання цифрових і екологічних трансформацій у міжнародних економічних відносинах відображає перехід від неокласичної парадигми статичних порівняльних переваг до моделі «інституції — дані — комплементарність», яка ґрунтується на динамічних міжсекторальних взаємозв'язках. Цифрові технології роблять екологічні процеси вимірюваними, відстежуваними й керованими, тоді як екологічні вимоги створюють попит на цифрові рішення, що здатні зменшувати транзакційні витрати, підвищувати ефективність управління й мінімізувати негативний вплив на довкілля. Це трансформує структуру міжнародної конкурентоспроможності, правила торгівлі та інвестицій, а також систему глобальної звітності. Подальший розвиток теоретичного підґрунтя має базуватися на інтегративних моделях, здатних враховувати комплексні ефекти та компроміси подвійної трансформації, а також на розробці інституційних рішень щодо відкритості, сумісності та достовірності

екологічних і цифрових даних у глобальній координації.

3. Запропоновано методичний підхід до оцінювання рівня цифровізації у сфері екологічного співробітництва між державами, який базується на поєднанні кількісних та якісних індикаторів, що характеризують не лише рівень розвиненості цифрової інфраструктури, а й результативність її використання для досягнення екологічних цілей. Методичний підхід передбачає структурування оцінювання цифровізації за шістьма ключовими блоками, кожен з яких репрезентує окремий вимір цифрової екологічної трансформації. Зокрема: «Цифровізація» — ступінь цифрової інтеграції, поширеність інтернет-доступу, рівень використання цифрових сервісів населенням; «Інновації» — технологічний потенціал країни, масштаби інвестицій в інновації; «Екологічна сталість» — якість екологічної політики, динаміка переходу до відновлюваної енергетики; «Результативність» — ефективність цифрових рішень у зниженні викидів та інших екологічних ефектів; «Інституційне середовище» — спроможність державного управління реалізовувати цифрово-екологічні стратегії; «Інтегральний результат» — узагальнена оцінка руху до Цілей сталого розвитку. Такий підхід забезпечує системність, порівнянність та аналітичну глибину, дозволяючи виявити основні закономірності формування цифрово-екологічної синергії в ЄС та Україні.

З метою визначення економічних ефектів цифровізації на трансформацію «зеленої» економіки запропоновано систему регресійних моделей для трьох типів країн, класифікованих за рівнем цифрово-екологічної зрілості. До першої групи віднесено держави з високим рівнем інтеграції цифрових і екологічних інновацій ($\geq 0,75$), до другої — країни із середнім рівнем розвитку ($0,55-0,74$), до третьої — держави з низьким рівнем цифрово-екологічної трансформації ($\leq 0,54$), серед яких і Україна. Для підвищення точності оцінок застосовано усереднені показники за 2018–2023 роки.

У якості залежних змінних обрано два ключові індикатори прогресу: частку відновлюваних джерел енергії у кінцевому споживанні (REshare), а також мінус натуральний логарифм викидів парникових газів на душу населення ($-\ln \text{CO}_2\text{pc}$), що відображає зростання екологічної результативності.

Незалежні змінні представлені індексом DESI та часткою витрат на R&D⁸² у секторі ІКТ (RnD_ICT_GDP). До моделі також включено дві контрольні змінні — ВВП на душу населення (GDPpc) та первинну енергоємність економіки (Energy_intensity), що дозволяє мінімізувати структурні викривлення та забезпечити коректність економетричного аналізу. У сукупності ці показники формують логічну та репліковану модель оцінювання впливу цифровізації на екологічну трансформацію країн ЄС та України. Розроблена методика забезпечує цілісне оцінювання впливу цифрових технологій на системну трансформацію екологічного управління, дозволяє посилити доказову основу політики та підвищити ефективність міжнародної взаємодії у сфері сталого розвитку.

4. У ході дослідження підтверджено, що найбільш розвинені держави ЄС демонструють високий рівень інтеграції цифрових та екологічних політик, який проявляється у створенні стандартизованих екологічних даних, функціонуванні смарт-енергетичних систем, розвитку цифрових платформ циркулярної економіки та активному залученні громадян до прийняття екологічно орієнтованих рішень. Застосування єдиних протоколів збору та обміну даними, широке впровадження IoT-рішень у сфері довкілля, а також формування екосистеми «розумних мереж» забезпечує високий рівень керованості екологічних процесів та підвищує якість державного регулювання. У результаті провідні країни ЄС відзначаються стабільно вищою часткою відновлюваних джерел енергії у структурі енергоспоживання, значно кращим рівнем цифрової зрілості (зокрема за компонентами DESI), а також довгостроковим і стійким скороченням викидів парникових газів на душу населення. Ці країни формують стратегічне ядро європейської цифрово-зеленої моделі, де цифровізація виступає системним механізмом удосконалення екологічної політики, прискорення енергетичного переходу та оптимізації промислової діяльності.

Водночас держави Центрально-Східної Європи демонструють значні темпи зближення з політичними і технічними стандартами ЄС, передусім за рахунок цільових програм фінансування, структурних реформ та інституційного вирівнювання з нормами ЄС. Їхній прогрес зосереджується переважно у таких

сферах, як розвиток міських smart-рішень, підвищення енергоефективності⁸³ промисловості, модернізація систем контролю якості повітря та запровадження інструментів автоматизованого екологічного моніторингу. Попри наявний прогрес, країни цього регіону все ще мають потребу у прискоренні формування цифрової інфраструктури та масштабуванні інвестицій у смарт-мережі, відновлювану енергетику й циркулярні моделі виробництва, що забезпечить більш рівномірне зближення з європейськими лідерами.

5. Доведено, що Україна створила основу для цифрової екологічної інфраструктури — сформовано системи відкритих даних, інструменти громадського моніторингу, цифрові портали екологічної звітності та запущено низку спільних проєктів із ЄС, які сприяють інтеграції в європейський цифровий простір довкілля. Водночас процес упровадження цифрових технологій залишається нерівномірним і супроводжується низкою викликів: від недостатньої кількості висококваліфікованих кадрів до фрагментарності цифрових екологічних реєстрів, обмеженості ресурсів та значних ризиків у сфері кібербезпеки. Характерною проблемою залишається також відсутність уніфікованих стандартів даних та узгоджених форм звітності, що ускладнює їх подальшу інтеграцію до європейських систем моніторингу.

Поглиблення цифрово-екологічної співпраці з ЄС — зокрема через узгодження політики відповідно до положень Європейського зеленого курсу, програм REPowerEU, «Цифрового десятиліття» та інструментів Digital Europe — здатне забезпечити якісний стрибок у розвитку цифрових екологічних сервісів. Інтеграція інтероперабельних платформ даних дозволить масштабувати системи моніторингу викидів, підвищити надійність екологічних індикаторів, покращити прозорість державної екологічної політики та сприяти прискоренню «зеленого» відновлення економіки. У перспективі це може стати важливим чинником залучення міжнародних інвестицій та підвищення довіри з боку європейських партнерів.

6. Комплексна порівняльна оцінка цифрової екологічної трансформації в країнах ЄС і в Україні дала змогу всебічно охарактеризувати структурні параметри, інституційні передумови та особливості взаємодії цифрових та

екологічних політик у сучасних економічних системах. Аналітичний підхід, ⁸⁴ що включає шість змістових складових (цифровізацію, інновації, екологічну сталість, результативність, інституційне середовище та інтегральний індекс сталого розвитку), забезпечує багатовимірне бачення процесів цифрово-екологічної синергії та дозволяє зіставляти рівень цифрово-зеленої зрілості держав.

Отримані результати підтвердили наявність чітко вираженої просторової диференціації в межах Європи. Країни Північної та Західної Європи сформували ядро цифрово-зеленої моделі розвитку, що характеризується високотехнологічною інфраструктурою, розвиненою системою екологічних інновацій, стабільними державними інститутами та низьким рівнем вуглецевого сліду. Центральноевропейський регіон перебуває на етапі активної модернізації — тут спостерігається посилення зв'язку між інноваційною діяльністю, модернізацією промисловості та енергетичним переходом. Натомість Південна та Східна Європа, а також Україна, демонструють скромніші значення більшості цифрових та екологічних індикаторів, але водночас — вищі темпи зростання, що у перспективі свідчить про процес поступової конвергенції з європейськими лідерами.

Порівняння показало, що індекс сталого розвитку, ефективність державного управління та частка відновлюваної енергетики мають найбільш тісний зв'язок із рівнем цифровізації. Це засвідчує ключову роль цифрових технологій у прискоренні екологічної модернізації, підвищенні прозорості політики та вдосконаленні механізмів управління довкіллям. Для України перспективним напрямом є укріплення цифрової інфраструктури, нарощування інвестицій у наукові дослідження й технологічний розвиток, а також підвищення інституційної спроможності екологічних органів. Реалізація цих завдань стане важливою передумовою для просування України в європейському кластері цифрово-екологічного розвитку та успішного формування національної цифрової екологічної моделі.

7. Проведене моделювання дало змогу встановити характер впливу цифровізації на екологічну результативність у площині взаємодії України та

85
Європейського Союзу. Застосований аналітичний підхід дозволив комплексно оцінити силу та напрямок взаємозв'язку між рівнем цифрової зрілості, масштабами інвестицій у сферу ІКТ та фактичними показниками «зеленої» модернізації. Отримані дані свідчать про те, що цифрові чинники відіграють вагому, хоча й неоднорідну роль залежно від технологічного розвитку країни. У державах з високою цифровою спроможністю цифрові технології вже стали ключовою передумовою енергетичного переходу, оптимізації ресурсокористування та системного зниження викидів. У країнах із середнім рівнем цифровізації позитивний вплив проявляється поступово, передусім через модернізацію інфраструктури даних, підвищення енергоефективності й розвиток технологій «розумної енергетики». Натомість у країнах із низьким рівнем цифрово-екологічної зрілості, включаючи Україну, ефект цифровізації залишається прихованим та обмеженим інституційними, фінансовими та структурними перешкодами.

Результати дослідження засвідчують, що цифрова трансформація виступає системною складовою екологічної модернізації, проте її реальна ефективність наряду залежить від узгодженості цифрової політики з інноваційною, енергетичною та промисловою стратегіями держави. Для України пріоритетним завданням є створення передумов, за яких цифровізація зможе стати рушійною силою розвитку «зеленої» економіки завдяки розбудові цифрової інфраструктури, впровадженню систем моніторингу викидів, автоматизації енергетичного менеджменту та стимулюванню інвестицій у низьковуглецеві технології. Поглиблене включення України до європейського цифрового простору може забезпечити синергію між цифровими інструментами та екологічними цілями, формуючи стратегічну основу для екологічно стійкого майбутнього держави.

8. Перспективи розвитку цифрової екологічної політики в Україні мають багатовимірний характер та охоплюють технологічні, інституційні, нормативно-правові й фінансові складові. Інтеграція до європейських цифрових екологічних систем, формування національних цифрових близнюків, модернізація промислових систем контролю та становлення ринку «зелених» цифрових

інновацій є взаємопов'язаними компонентами, які визначатимуть trajectory⁸⁶ екологічної трансформації. Їх реалізація забезпечить не лише глибше наближення України до стандартів ЄС, але й створить умови для формування власної моделі екологічного розвитку, здатної відповідати довгостроковим технологічним і екологічним викликам.

До ключових напрямів поглиблення цифрової екологічної політики в Україні належать: (1) *гармонізація цифрових стандартів і екологічного законодавства*, що передбачає уніфікацію цифрових екологічних реєстрів, індикаторів, процедур оцінки впливу на довкілля та методів обчислення викидів відповідно до директив ЄС (IED, ETS, INSPIRE). Це створить передумови для включення України до європейської системи транскордонного контролю забруднень та підвищить прозорість екологічної інформації для суспільства та бізнесу; (2) *створення спільних цифрових екологічних платформ*, зокрема для моніторингу річкових басейнів (Дунаю, Дністра), атмосферного повітря, зон екологічного ризику та промислового впливу у прикордонних регіонах; (3) *розвиток інноваційних проєктів, заснованих на AI, IoT та супутникових технологіях*, які можуть стати основою нових бізнес-моделей у сферах smart agro ecology, точного моніторингу енергетичних мереж, цифрового управління лісовими ресурсами й системами попередження пожеж, а також у сфері аналізу екологічних ризиків у режимі реального часу; (4) *посилення інституційної спроможності у сфері цифрової екології*, що передбачає розвиток цифрових навичок державних службовців, науковців і бізнес-сектора, а також створення центрів підготовки фахівців на основі європейських освітніх платформ та інструментів Twinning.

Ефективність реалізації цих напрямів безпосередньо залежатиме від якості інституційних реформ, рівня інтеграції до європейських цифрових екологічних платформ, масштабів розвитку цифрової інфраструктури та обсягів фінансової підтримки з боку ЄС. В умовах посилення кліматичних загроз та геополітичних змін цифровізація стає одним із ключових рушіїв екологічної модернізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Верховна Рада України. Про національну інфраструктуру геопросторових даних: Закон України від 13.04.2020 № 554-IX.⁸⁷
2. Верховна Рада України. Про основні засади державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII.
3. Вишневський О. Ф. Цифровізація екологічної політики в умовах глобальної трансформації. Економіка та держава. 2023. № 10. С. 19–25.
4. Геєць В. М., Дорогунцов С. І. Зелене зростання: європейський і національний виміри. Економіка України. 2020. № 2. С. 14–25.
5. ІННОВАЦІЙНІ хаби в Україні, ЄС «Цифрова Європа». 01.08.2024. URL: <https://clotex.khmn.edu.ua/en/innovacijni-haby-v-ukrayini-yes-czyfrova-yeuropa/> (дата звернення: 09.11.2025).
6. Кабінет Міністрів України. Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки: Розпорядження КМУ від 17.01.2018 № 67-р.
7. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Національний реєстр викидів. Київ, 2023.
8. Міністерство цифрової трансформації України. Стратегія цифрової держави 2023–2030. Київ, 2023.
9. Уряд України. Попри війну Міндовкілля продовжує відкривати доступ до екоінформації (44 набори на порталі відкритих даних). 10.06.2024. URL: <https://www.kmu.gov.ua/en/news/popry-viinu-mindovkillia-prodovzhuie-vidkryvaty-dostup-do-ekolohichnoi-informatsii-na-portali-vidkrytykh-danykh-sohodni-opublikovano-44-dovkillievych-nabory> (дата звернення: 09.11.2025).
10. SaveEcoBot. Air quality map & datasets (моніторинг якості повітря, API). 2024–2025. URL: <https://www.saveecobot.com/en/maps> (дата звернення: 09.11.2025).
11. Joint Research Centre (JRC). Status of Environment and Climate in Ukraine (JRC Technical Report). Luxembourg: Publications Office of the EU, 2025. URL: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path//shared_folder/doc_pub/JRC141480.pdf (дата звернення: 09.11.2025).
12. EU4Environment Water and Data. Ukraine: Open Environment & EcoZagroza portals (дані, open data). 2023–2025. URL: <https://eu4waterdata.eu/en/where-we->

work/ukraine/data.html (дата звернення: 09.11.2025).

13. Benkler Y. *The Wealth of Networks*. New Haven : Yale UP, 2006.
14. Brennen S., Kreiss D. *Digitalization // The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*. Hoboken : Wiley, 2016.
15. Brynjolfsson E., McAfee A. *The Second Machine Age*. New York : W.W. Norton, 2014.
16. Castells M. *The Power of Identity*. Oxford : Blackwell, 1997.
17. Castells M. *The Rise of the Network Society*. Oxford : Willy-Blackwell, 2010. 656 p.
18. Concerted Action on the Renewable Energy Directive (CA-RES). Luxembourg: renewable energy share and national developments, 2023. CA-RES Network, 2024. URL: https://www.ca-res.eu/news/details?tx_news_pi1%5Bnews%5D=96
19. Copernicus EMS. *War Damage Assessment in Ukraine*. Brussels, 2023.
20. Copernicus Programme. European Space Agency. 2023. URL: <https://www.copernicus.eu/>.
21. Copernicus Programme. *User Guide*. Luxembourg : Publications Office of the EU, 2015.
22. Costanza R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital // *Nature*. 1997. Vol. 387, No. 6630. P. 253–260.
23. Costanza R., Daly H. *Ecological Economics*. Washington : Island Press, 1992.
24. CSRD/ESRS. *European Sustainability Reporting Standards: Overview*. Brussels : EU, 2023. URL: <https://www.efrag.org/> (дата звернення: 09.11.2025).
25. Daly H. E. *Steady-State Economics*. 2nd ed. Washington, DC : Island Press, 1991.
26. Danish Climate Ministry. *Smart Green Cities Programme*. Copenhagen, 2023.
27. Danube and Dniester Environmental Monitoring Programme. EU–ENI, 2024.
28. DESA UN. *Global Indicator Framework for the SDGs (Update)*. New York : UN, 2023. URL: <https://unstats.un.org/> (дата звернення: 09.11.2025).
29. DG Environment. *Annual Activity Report*. Brussels: European Commission, 2022.
30. Digital Europe Governance Forum. *Annual Policy Report*. Brussels, 2023.
31. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European

Community (INSPIRE).

- 32.EcoZagroza (Міндовкілля України). 2 364 cases of damage... (оцінка збитків). 2025. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/en/news/109> (дата звернення: 09.11.2025).
- 33.EcoZagroza (Міндовкілля України). Briefing on environmental damage... (випадки/механізми повідомлень). 2023–2025. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/en/news/103> (дата звернення: 09.11.2025).
- 34.EEA. Greenhouse gases — data viewer. Copenhagen: EEA, 2025. URL: <https://www.eea.europa.eu> (дата звернення: 09.11.2025).
- 35.EEA. Renewable energy shares of EU Member States and their 2030 trajectories. Copenhagen: EEA, 2025.
- 36.EIB. Investment Report 2024/2025. Luxembourg: EIB, 2025. DOI: 10.2867/8065730.
- 37.Elkington J. Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. Oxford : Capstone, 1997.
- 38.ENISA. Cybersecurity of Smart Grids. Athens : European Union Agency for Cybersecurity, 2021. URL: <https://www.enisa.europa.eu/> (дата звернення: 09.11.2025).
- 39.EU Environmental Data Portal. Environmental Indicators Database. Copenhagen: EEA, 2023.
- 40.EU Regulation on Climate Data Governance. Brussels: Official Journal of the EU, 2022.
- 41.European Climate Pact. Citizen Engagement Platform. Brussels: EC, 2023.
- 42.European Commission / DG CNECT. Digital Decade (DESI) Trajectories Dashboard. Brussels, 2024–2025. URL: <https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/datasets/dd-trajectories> (дата звернення: 09.11.2025).
- 43.European Commission. 2030 Digital Compass : COM(2021) 118 final. Brussels : EC, 2021.
- 44.European Commission. 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade : COM(2021) 118 final. Brussels : EC, 2021.
- 45.European Commission. 2030 Digital Compass: The European Way for the Digital Decade. Brussels, 2021.

46. European Commission. A new Circular Economy Action Plan : COM(2020) 98 final. Brussels : EC, 2020.
47. European Commission. Action Plan on Digitalising the Energy System. Brussels, 2021.
48. European Commission. Digital Compass 2030: The European Way for the Digital Decade. Brussels, 2021.
49. European Commission. Digital Decade country monitoring — 2024. Brussels: EC, 2024.
50. European Commission. Digital Economy and Society Index (DESI) 2023 Country Reports. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>
51. European Commission. EU Emissions Trading System (ETS) Report 2024. Brussels, 2024.
52. European Commission. EU Taxonomy for Sustainable Activities: Technical Screening Criteria. Brussels, 2023. URL: <https://finance.ec.europa.eu/> (дата звернення: 09.11.2025).
53. European Commission. European Green Deal. Brussels, 2019–2025. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (дата звернення: 09.11.2025).
54. European Commission. REPowerEU Plan. Brussels, 2025. URL: https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu_en (дата звернення: 09.11.2025).
55. European Commission. REPowerEU roadmap (6 May 2025). Brussels, 2025. URL: https://energy.ec.europa.eu/strategy/repowereu-roadmap_en (дата звернення: 09.11.2025).
56. European Commission. Shaping Europe's Digital Future. Brussels : EC, 2020.
57. European Commission. Share of energy from renewable sources in Europe, 2023. Eurostat News Release, 19 December 2024. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20241219-3>
58. European Commission. Supporting Ukraine through digital (association to the Digital Europe Programme). Brussels, 2022–2025. URL: <https://digital->

strategy.ec.europa.eu/en/policies/support-ukraine (дата звернення: 09.11.2025).⁹¹

59. European Commission. The European Green Deal : COM(2019) 640 final. Brussels : EC, 2019.
60. European Commission. The European Green Deal : COM(2019) 640 final. Brussels : EC, 2019.
61. European Commission. The European Green Deal. Brussels, 2019.
62. European Commission. The European Green Deal. Brussels, 2019.
63. European Commission. Ukraine Report 2025 (Communication on EU enlargement policy). Brussels, 2025. URL: https://enlargement.ec.europa.eu/document/download/17115494-8122-4d10-8a06-2cf275eecd7_en (дата звернення: 09.11.2025).
64. European Commission/JRC. Digital Economy and Society Index (DESI) — Dashboard. Brussels: EC/JRC, 2024. URL: <https://composite-indicators.jrc.ec.europa.eu> (дата звернення: 09.11.2025).
65. European Council. Digital Policy Coordination Mechanism Framework. Brussels, 2023.
66. European Digital Agenda for Sustainability. Brussels: European Commission, 2022.
67. European Digital Services Board. Guidelines on Data Security and Sustainability. Brussels, 2022.
68. European Environment Agency (EEA). Primary energy consumption and energy efficiency indicators in Europe 2018–2023. Copenhagen: EEA, 2024. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps>
69. European Environment Agency. Digitalisation and sustainability in Europe. Copenhagen : EEA, 2023. URL: <https://www.eea.europa.eu/> (дата звернення: 09.11.2025).
70. European Environment Agency. Digitalisation and sustainability in Europe. Copenhagen: EEA, 2023.
71. European Environment Agency. Europe's Environment — The Eighth Environment Action Programme. Copenhagen, 2022.
72. European Environment Agency. Sharing environmental information system (SEIS):

Implementation outlook. Copenhagen : EEA, 2015.

73. European Investment Bank. Digital and Green Investment Report 2024. Luxembourg: EIB, 2024.
74. European Investment Bank. EIB Group Sustainability Report 2024. Luxembourg: EIB, 2024. URL: <https://www.eib.org> (дата звернення: 09.11.2025).
75. European Space Agency. Copernicus Climate Change Service. ESA, 2024.
76. Eurostat. Energy intensity of the economy (nrg_ind_ei). Statistical Database of the European Union. Luxembourg: Eurostat, 2024. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ei/default/table?lang=en
77. Eurostat. Gross domestic expenditure on R&D (GERD) by sector of performance and by country (% of GDP) [Електронний ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rd_e_gerdtot/default/table
78. Eurostat. Research and development expenditure in the ICT sector (rd_e_ict). Statistical Database of the European Union. Luxembourg: Eurostat, 2024. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rd_e_ict/default/table?lang=en
79. Eurostat. Share of energy from renewable sources (nrg_ind_ren). Luxembourg: Eurostat, 2025. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat> (дата звернення: 09.11.2025).
80. Eurostat. Share of energy from renewable sources in gross final energy consumption (%) [Електронний ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ren/default/table
81. EU–Ukraine Digital for Green Cooperation Roadmap. Brussels–Kyiv, 2024.
82. Federal Ministry for the Environment (Germany). Digital Green Transition Framework. Berlin, 2021.
83. Federal Statistical Office of Germany (Destatis). CO₂ emissions per capita, EU countries, 2023. Statistisches Bundesamt (DESTATIS). Wiesbaden, 2024. URL: https://www.destatis.de/EN/Themes/Countries-Regions/International-Statistics/Data-Topic/Tables/BasicData_CO2.html
84. Federal Statistical Office of Germany (Destatis). Renewable energy share in gross final energy consumption in Germany. Statistisches Bundesamt (DESTATIS), 2024. URL: <https://www.destatis.de/Europa/EN/Topic/Environment-energy/RenewablesEnergy.html>

85. Financial Times. EU countries weaken 2040 climate plan in eleventh-hour deal.⁹³
2025. URL: <https://www.ft.com> (дата звернення: 09.11.2025).
86. Geels F. W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective // Research Policy. 2002. Vol. 31, No. 8–9. P. 1257–1274.
87. German Federal Environment Agency. Digitalisierung und Umweltschutz 2024. Berlin, 2024.
88. Giddens A. The Politics of Climate Change. Cambridge : Polity, 2009.
89. Horizon Europe. Green Digital Innovation Calls 2024. Brussels, 2024.
90. Huber J. Ecological Modernisation // Environmental Politics. 2000. Vol. 9(1).
91. IEA. Data Centres and Data Transmission Networks. Paris : International Energy Agency, 2022. URL: <https://www.iea.org/> (дата звернення: 09.11.2025).
92. IFC. Green Bonds: Impact Report. Washington, DC : International Finance Corporation, 2021. URL: <https://www.ifc.org/> (дата звернення: 09.11.2025).
93. INSPIRE Directive Implementation Progress Report. EC, 2023.
94. International Energy Agency (IEA). CO₂ Emissions from Fuel Combustion Statistics [Електронний ресурс]. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics>
95. International Energy Agency (IEA). Renewables Data Explorer [Електронний ресурс]. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics>
96. International Telecommunication Union (ITU). ICT Development Index Database [Електронний ресурс]. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>
97. Jackson T. Prosperity without Growth. 2nd ed. London : Routledge, 2017.
98. Jackson T. Prosperity without Growth. London : Routledge, 2017.
99. Kaufmann D., Kraay A., Mastruzzi M. The Worldwide Governance Indicators: Methodology and Analytical Issues. – World Bank Policy Research Working Paper No. 5430, 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/215645597_The_Worldwide_Governance_Indicators_Methodology_and_Analytical_Issues
100. Lane, M., Schmitt, M. Digitalisation and Environmental Sustainability. OECD Working Papers, 2023.

101. Machlup F. The Production and Distribution of Knowledge. Princeton : UP,⁹⁴
1962.
102. Mazzucato M. Mission Economy: A Moonshot Guide to Changing Capitalism.
London : Allen Lane, 2021.
103. Mazzucato M. Mission Economy. London : Allen Lane, 2021.
104. Ministry for Ecological Transition (France). National Data Hub for Climate.
Paris, 2022.
105. Ministry of Climate and Environment (Poland). Green Digital Poland 2030.
Warsaw, 2022.
106. Ministry of Environment (Romania). Smart Environment Romania 2030.
Bucharest, 2022.
107. Ministry of Industry and Trade (Czech Republic). Digital Czech Industry 4.0.
Prague, 2021.
108. Netherlands Digital Agency. Smart Circular Economy Strategy. The Hague,
2023.
109. Nordhaus W. The Climate Casino. New Haven : Yale UP, 2013.
110. North D., Williamson O. Institutions and Economic Performance // J. Econ.
Perspectives. 1993.
111. OECD. Digitalisation and the Environment. Paris : OECD Publishing, 2020.
DOI: 10.1787/4f5f9c50-en.
112. OECD. Digitalisation and the Green Transition. Paris: OECD Publishing, 2022.
DOI: 10.1787/9789264438033-en.
113. OECD. Digitalisation and the Green Transition. Paris: OECD Publishing, 2022.
DOI:10.1787/aa01a9f2-en.
114. OECD. Green Budgeting in OECD Countries 2024. Paris: OECD, 2024.
115. OECD. Main Science and Technology Indicators (MSTI) [Электронный
ресурс]. URL: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB
116. OECD. OECD Digital Economy Outlook 2020. Paris : OECD, 2020.
117. OECD. Sustainable Finance and the Role of Data. Paris : OECD Publishing,
2022. DOI: 10.1787/5e4a7d3b-en.
118. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).

Environment at a Glance Indicators 2023. – Paris: OECD Publishing, 2023. – URL: <https://stats.oecd.org>

119. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Main Science and Technology Indicators 2023. Paris: OECD Publishing, 2023. URL: <https://stats.oecd.org>
120. Our World in Data. CO₂ emissions per capita (Global Carbon Project, 2024) [Электронный ресурс]. URL: <https://ourworldindata.org/co2-emissions>
121. Parviainen P., Tihinen M., Kääriäinen J., Teppola S. Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice // International Journal of Information Systems and Project Management. 2017. Vol. 5(1). P. 63–77.
122. Polish Ministry of Climate and Environment. Digital Environmental Monitoring Strategy 2024–2030. Warsaw, 2024.
123. Digitalisation and the Environment. Paris : OECD Publishing, 2020. DOI: 10.1787/4f5f9c50-en.
124. Porter M., van der Linde C. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship // JEP. 1995. Vol. 9 (4). P. 97–118.
125. Porter M., van der Linde C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship // Journal of Economic Perspectives. 1995. Vol. 9(4). P. 97–118.
126. Raworth K. Doughnut Economics. London : Random House, 2017.
- 127.** Raworth K. Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist. London : Random House, 2017.
128. Reuters. EU proposes cutting back sustainability laws for companies. 26.02.2025. URL: <https://www.reuters.com> (дата звернення: 09.11.2025).
129. Rockström J. et al. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity // Ecology and Society. 2009. Vol. 14, No. 2. Art. 32.
130. Sachs J. The Age of Sustainable Development. New York : Columbia UP, 2015.
131. Sachs J., Lafortune G., Fuller G., Drumm E. The Sustainable Development Goals and COVID-19: Sustainable Development Report 2024. – Cambridge University Press, 2024. URL: <https://www.unsdsn.org/resources/sdg-academy-2024-annual->

[report/?gad_source=1&gad_campaignid=13253704546&gbraid=0AAAAABdu6wWJYrbYV5-LviTNx28ILWRLO&gclid=CjwKCAjwjffHBhBuEiwAKMb8pG9ng65FqLLumAP1NFKMesi90HDvhcYsOdz9HeIZqwWsrt8dErqEPRoCsXUQAvD_BwE](https://www.gad_source=1&gad_campaignid=13253704546&gbraid=0AAAAABdu6wWJYrbYV5-LviTNx28ILWRLO&gclid=CjwKCAjwjffHBhBuEiwAKMb8pG9ng65FqLLumAP1NFKMesi90HDvhcYsOdz9HeIZqwWsrt8dErqEPRoCsXUQAvD_BwE)

132. SaveEcoBot Initiative. Environmental Monitoring in Ukraine. Київ, 2024.
133. Schumpeter J. A. Capitalism, Socialism and Democracy. 3rd ed. New York : Harper & Row, 1950.
134. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva : WEF, 2016.
135. Solow R. A Contribution to the Theory of Economic Growth // QJE. 1956. Vol. 70 (1). P. 65–94.
136. Statistics Netherlands (CBS). Energy from renewable sources rises to 17 percent in 2023. CBS News, 10 June 2024. URL: <https://www.cbs.nl/en-gb/news/2024/23/energy-from-renewable-sources-rises-to-17-percent>
137. Stern N. The Economics of Climate Change. Cambridge : Cambridge UP, 2007.
138. Sustainable Development Solutions Network (SDSN). Sustainable Development Report 2024: Transforming Goals into Action. – Paris: SDSN & Bertelsmann Stiftung, 2024. URL: <https://files.unsdsn.org/sustainable-development-report-2024.pdf>
139. Swedish Energy Agency. Smart Grid and Green Data Centres. Stockholm, 2022.
140. Tapscott D. Blockchain Revolution. New York : Penguin, 2016.
141. Tilson D., Lyytinen K., Sørensen C. Research commentary – Digital infrastructures: the missing IS research agenda? // Information Systems Research. 2010. Vol. 21(4). P. 748–759.
142. Twinning Programme. Strengthening Digital Environmental Governance in Partner Countries. Brussels,
143. UNCTAD. World Investment Report 2023: Investing in Digital Economy. Geneva : United Nations, 2023. DOI: 10.18356/9789210027086.
144. UNDP Ukraine. Digital Solutions for Post-War Environmental Recovery. Kyiv, 2024.
145. UNEP. Measuring Circularity: Indicators for a Resource-Efficient and Green Economy. Nairobi : United Nations Environment Programme, 2022.

146. UNEP. Towards a Green Economy. Nairobi : UNEP, 2011.
- 147.** UNEP. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. Nairobi : UNEP, 2011.
148. United Nations Environment Programme. Digital Transformation for Climate Neutrality. Nairobi: UNEP, 2022.
149. United Nations. Digital Twins for Climate Resilience. New York: UN, 2024.
150. United Nations. Our Common Future. New York : Oxford UP, 1987.
151. United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York : UN, 2015.
152. World Bank Data. Individuals using the Internet (% of population), Indicator code: IT.NET.USER.ZS [Электронный ресурс]. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/IT.NET.USER.ZS>
153. World Bank. Digital Adoption Index (DAI) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2016/Digital-Adoption-Index>
154. World Bank. Digital Development Report 2023: Data for Green Transformation. Washington, 2023.
155. World Bank. GDP per capita, PPP (current international \$). World Development Indicators, 2024. Washington, D.C.: The World Bank Group. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD>
156. World Bank. Research and development expenditure (% of GDP) [Электронный ресурс]. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>
157. World Bank. World Development Report 2021: Data for Better Lives. Washington, DC : World Bank, 2021.
158. World Bank. Worldwide Governance Indicators (WGI): Government Effectiveness [Электронный ресурс]. URL: <https://www.worldbank.org/en/publication/worldwide-governance-indicators>
159. WTO. World Trade Report 2022: Climate Change and International Trade. Geneva : World Trade Organization, 2022.
160. Yale University; Columbia University. Environmental Performance Index 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://epi.yale.edu/>

161. Yoo Y., Henfridsson O., Lyytinen K. Research commentary – The new⁹⁸ organizing logic of digital innovation // Organization Science. 2010. Vol. 21(6). P. 724–740.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1

Порівняння цифрово-зеленої інтеграції у провідних країнах ЄС (Німеччині, Франції, Нідерландах, Швеції, Данії) у 2023 – 2025 рр.

Показник	Провідні країни ЄС				
	Німеччина	Франція	Нідерланди	Швеція	Данія
1	2	3	4	5	6
1) Частка ВДЕ у кінцевому споживанні енергії, % (Eurostat)	високі двозначні значення з висхідним трендом [10; 15]	високі двозначні значення з висхідним трендом [10; 15]	частка зростає, значний внесок сонця/вітру [10;15; 51]	одна з найвищих в ЄС [5; 15]	одна з найвищих в ЄС [5; 15]
2) DESI/цифрова зрілість (останнє доступне видання)	вище середнього рівня ЄС [16]	близько середнього/вище середнього [16]	провідні позиції [16]	провідні позиції [16]	провідні позиції [16]
3) Викиди ПП на душу населення, тренд	спадний тренд 2022–2023 [12; 7]	спадний тренд 2022–2023 [12; 7]	спадний тренд 2022–2023 [12; 7]	низькі/спадні [7]	низькі/спадні [7]
4) Обсяг/частка «зелених» інвестицій (EIB, загальноєвропейський контекст)	активне залучення до програм ЄІБ [9; 14]	активне залучення [9; 14]	активне залучення [9; 14]	активне залучення [9; 14]	активне залучення [9; 14]
5) Цифрові енергосистеми (smart-grids, цифрові близнюки)	масштабування в енергетиці/промисловості [4; 5; 21]	цифрові двійники/ІІІ в енергетиці [4; 22]	smart-мережі для інтеграції ВДЕ [4; 23]	smart-grid як ядро системи [24]	smart-міста та розподілені мережі [25]
6) Е-урядування даними доквілля (портали/відкриті дані)	інтеграція з EEA/EIONET [6; 14]	нац. хаб кліматичних даних [22]	відкриті API циркулярної економіки [23]	розширені відкриті дані [6; 24]	муніципальні платформи даних [25]
7) Цифрова підтримка циркулярної економіки	фабрики даних/облік потоків [23]	екодизайн/цифрові паспорти [7]	флагманські рішення «Smart Circular Economy» [23]	розширена РОЕ/моніторинг ресурсів [5]	міські цикли повторного використання [25]

Продовження табл. А.1

1	2	3	4	5	6
8) Екомоніторинг (супутники/IoT)	супутникові/наземні мережі [6; 21]	супутникові реєстри [22]	IoT-логістика/викиди [23; 51]	IoT-моніторинг [24]	міські мережі сенсорів [25]
9) Стандарти кібербезпеки /даних у довідці	узгодження з EDSB [13; 17]	узгодження з EDSB [13; 17]	узгодження з EDSB [13; 17]	узгодження з EDSB [13; 17]	узгодження з EDSB [13; 17]
10) Залучення громадян (citizen science/Clima te Pact)	пілоти/локальні платформи [9; 21]	широкі кампанії/застосунки [9; 22]	залучення через міські сервіси [9; 23]	активні ініціативи [9; 24]	активні ініціативи [9; 25]
11) Інституційна координація (DGs, міжрівнева)	сильна міжгалузева координація [13]	сильна/централізована [13]	висока/мережева [13]	висока/мережева [13]	висока/мережева [13]
12) Фокус політики (стратегічний пріоритет)	декарбонізація промисловості [21]	оцінка ризиків/дані [22]	циркулярність/логістика [23]	енергоефективність/ЦОД [24]	міська мобільність/енергетика [25]

Джерело: сформовано автором за даними Eurostat/EEA/EC DESI/EI [10; 15; 6; 16; 9; 14]

Таблиця А.2

Порівняння цифрово-екологічних механізмів у країнах-лідерах ЦСЄ (Польща, Чехія, Румунія) у 2023 – 2025 рр.

Показник	Провідні країни ЦСЄ		
	Польща	Чехія	Румунія
1	2	3	4
1) Частка ВДЕ у кінцевому споживанні енергії, % (Eurostat)	двозначні значення зі стабільним приростом [10; 15]	двозначні значення, зростання повільніше [10; 15]	двозначні значення із прискоренням [10; 15]
2) DESI/цифрова зрілість (останнє видання)	нижче середнього ЄС, позитивна динаміка [16; 30]	близько середнього ЄС [16; 30]	нижче середнього, динаміка позитивна [16; 30]
3) Викиди ПГ на душу населення, тренд	спадний після 2022 р. [12; 7]	спадний [12; 7]	спадний [12; 7]
4) Участь у програмах ЕІВ/«зелені» інвестиції	активні проєкти модернізації [9; 14]	активні проєкти промислової ефективності [9; 14]	інфраструктурні/муніципальні проєкти [9; 14]

1	2	3	4
5) Smart-grids/цифрові метери	масштабування у містах/регіонах [4; 26]	пілоти з цифровими двійниками мереж [4; 27]	smart-міська генерація/метеринг [4; 28]
6) Е-урядування екоданими	регіональні платформи якості повітря [6; 26]	галузеві реєстри ефективності [6; 27]	міські відкриті дані/вікиди [6; 28]
7) Циркулярна економіка (цифровізація)	відстеження відходів/РОЕ [5; 26]	виробничі цифрові ланцюги [5; 27]	міські рішення/хмарні сервіси [5; 28]
8) Кібербезпека/дані (стандарти EDSB)	імплементация стандартів ЄС [13; 17]	імплементация стандартів ЄС [13; 17]	імплементация стандартів ЄС [13; 17]
9) Citizen science/кліматичний пакт	локальні кампанії/сенсори [9; 26]	проекти з громадами/університетами [9; 27]	муніципальні платформи залучення [9; 28]
10) Пріоритет політики	якість повітря/теплогенерація [26]	промислова ефективність [27]	міська мобільність/енергоуправління [28]
11) Інституційна координація	міжміністерська, за підтримки ЄК [18; 26]	міжміністерська, акцент на індустрії [18; 27]	міжміністерська, муніципальний акцент [18; 28]
12) Доступ до фінансування/фондів ЄС	структурні фонди/ЄІБ [9; 14]	структурні фонди/ЄІБ [9; 14]	структурні фонди/ЄІБ [9; 14]

Джерело: сформовано автором за даними Eurostat/EEA/EC DESI/EI [9; 12; 14; 18; 26–28].