

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра управління імені Олега Балацького

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Ігор РЕКУНЕНКО
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

зі спеціальності **073 Менеджмент,**
(код та назва)

«Менеджмент організацій і адміністрування» програми
(освітньо-професійної / освітньо-наукової) (назва програми)

на тему: **ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЄЮ НА
НАЦІОНАЛЬНОМУ РІВНІ**

Здобувача групи **М.мз-32с**
(шифр групи)

Желіби Вадима Вячеславовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

Желіба Вадим Вячеславович
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник _____ доцент Матвєєва Юлія Анатоліївна
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра управління імені Олега Балацького

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ігор РЕКУНЕНКО

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 2025 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістра

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності спеціальності **073 Менеджмент,**

(код та назва)

«Менеджмент організацій і адміністрування» програми
(освітньо-професійної / освітньо-наукової) (назва програми)

Здобувача групи **М.мз-32с** **Желіби Вадима Вячеславовича**

1. Тема роботи «Діджиталізація як інструмент управління енергетичною ефективністю та декарбонізацією на національному рівні» затверджена наказом наказом №1330-VI від 22 січня 2025 р.
2. Термін подання здобувачем закінченої роботи 27.01.2025 р.
3. Мета кваліфікаційної роботи: Аналіз та розробка рекомендацій щодо використання діджиталізації як інструменту підвищення енергетичної ефективності та декарбонізації на національному рівні.
4. Об'єкт дослідження: процеси управління енергетичною ефективністю та декарбонізацією на національному рівні.
5. Предмет дослідження: діджиталізація як інструмент управління енергетичною ефективністю та зниження викидів вуглецю.
6. Кваліфікаційна робота виконується на підставі статистичної звітності, періодичних видань, монографій, електронних ресурсів, зокрема БД Scopus, Google trends.
7. Орієнтовний план кваліфікаційної роботи, терміни подання розділів керівникові та зміст завдань для виконання поставленої мети.

№ пор.	Назва розділу	Термін подання
I	ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ, ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ	09.12.2024 р
II	ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ НА НАЦІОНАЛЬНОМУ РІВНІ	23.12.2024 р
III	ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ В УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЄЮ	13.01.2025 р.

Зміст завдань для виконання поставленої мети кваліфікаційної роботи:

У розділі 1 студент повинен оволодіти теоретичними знаннями з теми, виявити відмінності між поняттями цифровізація, «цифрова трансформація», «діджиталізація»; визначити особливості використання інструментів діджиталізації з метою підвищення енергетичної ефективності та декарбонізації.

У розділі 2 студент повинен обґрунтувати взаємозв'язок між діджиталізацією та декарбонізацією на базі індексного методу.

У розділі 3 студент повинен надати рекомендації для ефективного впровадження цифрових технологій у сфері енергетики в Україні.

8. Консультації щодо виконання роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада керівника/консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1			
2			
3			

9. Дата видачі завдання 04.09.2025 р.

Керівник кваліфікаційної роботи_доцент **Матвєєва Ю.А.**

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Завдання до виконання одержав

Желіба В.В.

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

(підпис)

Анотація

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Діджиталізація як інструмент управління енергетичною ефективністю та декарбонізацією на національному рівні» зосереджена на аналізі та розробці рекомендацій для застосування цифрових технологій з метою підвищення енергетичної ефективності та зниження викидів вуглецю в умовах сьогодення.

На основі кореляційно-регресійного аналізу в дослідженні виявлено помірні зв'язки між діджиталізацією та декарбонізацією.

Використання інструментарію Google trends дозволило виявити рівень популярності запитів digitization, digitalization та digital transformation серед світової громадськості за останні 5 років. Найбільш популярним є запит «цифрова трансформація». Другим за популярністю є запит «діджиталізація». Цифровізація на третьому місці за рівнем зацікавленості. Виявляють особливий інтерес до тематики діджиталізація країни: Фінляндія, Угорщина, Норвегія.

Під час дослідження тематик «діджиталізація» та «декарбонізація» у взаємозв'язку, який забезпечили програмні інструменти: БД Scopus® та VOSviewer (версія 1.6.16) було виявлено 5 кластерів досліджень за ключовими термінами, що сформовані з найбільшою кількістю взаємозв'язків: 1) декарбонізація та діджиталізація; 2) енергія; 3) енергетична ефективність; 4) інвестиції та інновації в енергетиці; 5) сталий розвиток.

Базуючись на найкращих практиках світового досвіду для України було визначено основні рекомендації щодо впровадження цифрових технологій у сфері енергетики за напрямками: 1) Розвиток Smart Grid технологій, 2) використання штучного інтелекту та Big Data; 3) цифровізація управління енергетичними об'єктами; 4) інтеграція відновлюваних джерел енергії з цифровими технологіями; 5) кібербезпека енергетичної інфраструктури; 6) розвиток ринку гнучких енергосервісів; 7) підтримка інноваційних стартапів у сфері енергетики; 8) навчання та підготовка фахівців.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ, ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ	8
1.1 Сутнісно-змістовна основа діджиталізації.....	8
1.2 Визначення енергетичної ефективності та її значення для сталого розвитку.....	13
1.3 Стратегії та інструменти декарбонізації	18
РОЗДІЛ 2 ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ НА НАЦІОНАЛЬНОМУ РІВНІ	23
2.1 Діджитал інструменти управління енергетичною ефективністю.....	23
2.2 Діджиталізація у декарбонізації: сучасні підходи та практики.....	26
2.3 Інтеграція цифрових технологій у національну енергетичну політику.....	31
РОЗДІЛ 3 ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ В УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЄЮ	34
3.1 Перспективи розвитку діджиталізації у сфері енергетики.....	34
3.2 Інноваційні рішення для підвищення енергоефективності та зменшення викидів вуглецю.....	41
3.3 Рекомендації для ефективного впровадження цифрових технологій у сфері енергетики.....	44
ВИСНОВКИ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	49

ВСТУП

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Діджиталізація як інструмент управління енергетичною ефективністю та декарбонізацією на національному рівні» присвячена аналізу та розробці рекомендацій щодо використання діджиталізації як інструменту підвищення енергетичної ефективності та декарбонізації на національному рівні в сучасних умовах. Дана робота спрямована на науково-методичне обґрунтування наявності кореляційних зв'язків між діджиталізацією та декарбонізацією, аналіз зарубіжних практик використання інструментів діджиталізації з метою декарбонізації економіки та формування рекомендацій щодо ефективного впровадження цифрових технологій у сфері енергетики України.

Кваліфікаційна робота викладена на 53 сторінках, 9 таблиць, 13 рисунків, 40 використаних джерел.

Об'єктом дослідження є процеси управління енергетичною ефективністю та декарбонізацією на національному рівні.

Предметом дослідження є діджиталізація як інструмент управління енергетичною ефективністю та зниження викидів вуглецю.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є аналіз та розробка рекомендацій щодо використання діджиталізації як інструменту підвищення енергетичної ефективності та декарбонізації на національному рівні.

Відповідно до поставленої мети було сформовано наступні завдання кваліфікаційної роботи магістра:

- дослідити сутність та зміст понять: діджиталізація, енергетична ефективність, декарбонізація;
- виявити основні діджитал інструменти управління енергетичною ефективністю;
- встановити взаємозв'язки між параметрами діджиталізації та декарбонізації;
- проаналізувати рівень енергетичної ефективності та діджиталізації в країнах G7, ЄС та в Україні;

- обґрунтувати перспективи розвитку діджиталізації у сфері енергетики;
- надати рекомендації для ефективного впровадження цифрових технологій у сфері енергетики в Україні.

Під час дослідження були використані методи та інструменти: системно-структурний та абстрактно-логічний аналіз – при визначенні сутності понять «цифровізація»; «діджиталізація», «цифрова трансформація», «декарбонізація», «енергетична ефективність»; еволюційно-часовий аналіз та аналіз міжкластерних зав'язків на базі БД Scopus® та VOSviewer (версія 1.6.16) – при ідентифікації нових та малодосліджених напрямків наукового пошуку в галузі енергетичного менеджменту; Google trends-аналіз – при визначенні найбільш популярного запиту серед: digitization, digitalization та digital transformation; кореляційно-регресійний аналіз – при встановленні взаємозв'язків між параметрами декарбонізації та діджиталізації.

Практичне значення кваліфікаційної роботи магістра полягає в тому, що окремі положення висвітлені в роботі, опубліковані в тезах доповідей Міжнародних науково-практичних конференціях «Управлінські парадигми сталого розвитку та інклюзивного економічного зростання», 29 - 30 листопада 2023 року «Особливості промоції зелених енергетичних інновацій у світовій практиці» [15]; «Стратегії та інструменти декарбонізації» (2024) [39]; наукових фахових статтях: «Елементи організаційного механізму та стимулювання трансферу енергетичних інновацій». Управління змінами та інновації, (11), 7-14 [16]; The role of digitalization in energy efficiency management and transition to a carbon-neutral economy [40]. Роботу виконано в рамках НДР 0122U000769 «Трансфер зелених інновацій в енергетиці України: мультиплікативна стохастична модель переходу до вуглецево-нейтральної економіки».

Ключові слова: ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ, ЦИФРОВІЗАЦІЯ, ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА, ЕНЕРГОІННОВАЦІЇ, ЦИФРОВИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, БЛОКЧЕЙН В ЕНЕРГЕТИЦІ.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ, ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ

1.1. Сутнісно-змістовна основа діджиталізації

Діджиталізація – це процес цифрової трансформації, який передбачає інтеграцію цифрових технологій у всі сфери економіки та державного управління, що призводить до фундаментальних змін у тому, як функціонують організації, забезпечується ефективність державних послуг та створюється цінність для громадян [1].

Діджиталізація має суттєвий вплив на основні аспекти життя та організації праці в постмодерністському суспільстві, яке стає дедалі глобалізованішим і оцифрованішим. У цьому контексті для організацій стає критично важливим своєчасно та ефективно планувати процес цифрової трансформації, щоб зберегти свою гнучкість і конкурентоспроможність на ринку. Отже, глибоке розуміння діджиталізації та її супутніх концепцій є надзвичайно важливим [2]. Наше дослідження фокусується на діджиталізації в енергетичному контексті, розглядаючи її вплив на підвищення енергетичної ефективності, оптимізацію ресурсів і зниження викидів вуглецю.

У сучасному цифровому ландшафті, який швидко розвивається, такі терміни, як діджиталізація, цифровізація та цифрова трансформація, часто використовуються як синоніми. Проте кожне поняття має різні значення та наслідки для компаній та організацій. Розуміння відмінностей між цими термінами має важливе значення для ефективного використання цифрових технологій.

Таким чином, розглянемо відмінності між поняттями діджиталізація, цифровізація та цифрова трансформація, адже це взаємопов'язані, але різні терміни, які використовуються для опису процесів, пов'язаних з інтеграцією цифрових технологій. Кожен з цих термінів має свій специфічний зміст і контекст використання, рис. 1.1.

Сутність понять «цифровізація», «діджиталізація», та «цифрова трансформація»		
<p>Цифровізація (digitization) – це процес перетворення інформації з аналогового формату в цифровий. Це, по суті, початковий етап більш широкої цифрової трансформації. Головною метою діджиталізації є забезпечення легкості доступу до інформації та спрощення її управління [3].</p>	<p>Діджиталізація (digitalization) – це процес інтеграції цифрових технологій для трансформації існуючих бізнес-процесів, операцій та корпоративної культури. На відміну від цифровізації, яка зосереджена лише на перетворенні даних у цифрову форму, діджиталізація передбачає впровадження цифрових інструментів та рішень, спрямованих на підвищення ефективності, продуктивності та якості</p>	<p>Цифрова трансформація (digital transformation) — це ширший і стратегічний процес, який передбачає радикальні зміни в бізнес-моделях, організаційних структурах та стратегіях завдяки впровадженню цифрових технологій. Цифрова трансформація охоплює не лише впровадження нових технологій, але й зміну мислення, культури та підходів до управління. Вона спрямована на створення нових цінностей та конкурентних переваг.</p>
Резюме щодо відмінностей понять «цифровізація», «діджиталізація», та «цифрова трансформація»		
цифровізація є початковим етапом перетворення даних	діджиталізація спрямована на покращення бізнес-процесів за допомогою цифрових технологій	цифрова трансформація включає глибокі зміни в бізнес-моделях та організаційній культурі через інтеграцію цих технологій

Рисунок 1.1 – Сутність понять «цифровізація», «діджиталізація», та «цифрова трансформація»

Джерело: репрезентовано автором на основі аналізу літературних джерел [3]

До прикладів цифровізації можна віднести такі аспекти: цифрування документів у бібліотеках, де паперові книги скануються та перетворюються у PDF-файли для зберігання та доступу в цифрових архівах, перетворення

аналогових фотографій на цифрові зображення шляхом сканування, перетворення звичайних бухгалтерських книг у електронні таблиці, що зберігаються в комп'ютерних базах даних. Також можна навести такі приклади діджиталізації: автоматизація процесів, аналітика великих даних та використання хмарних обчислень. До прикладів цифрової трансформації слід навести: компанії, що змінюють свої бізнес-моделі на основі цифрових технологій (такі як перехід від традиційних магазинів до онлайн-платформ).

На базі використання інструментарію Google trends [4] нами було досліджено та проаналізовано популярність таких запитів, як цифровізація/digitization, діджиталізація/digitalization та цифрова трансформація/digital transformation серед світової громадськості. Результати дослідження репрезентовано на рис. 1.2

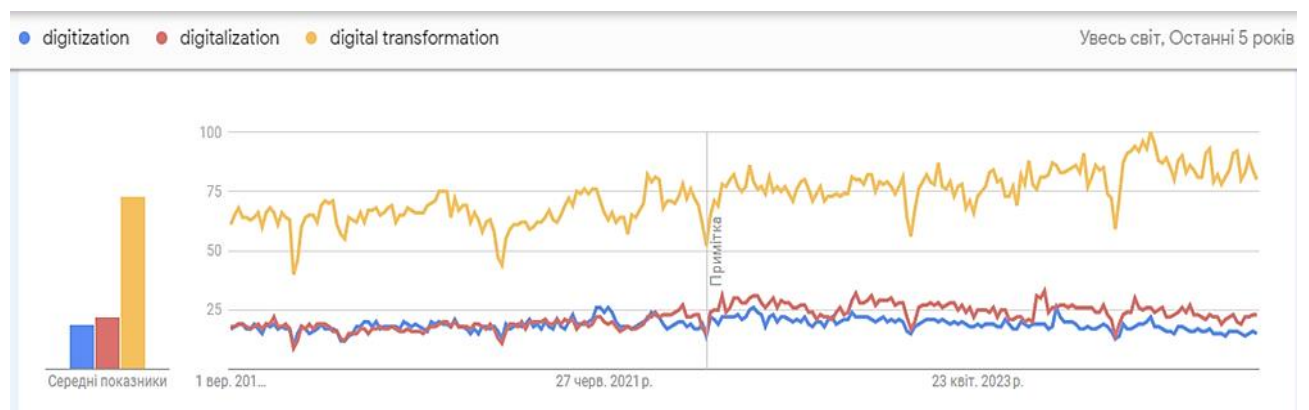


Рисунок 1.2 – Рівень популярності запитів digitization, digitalization та digital transformation серед світової громадськості за останні 5 років.

Джерело: сформовано авторами на базі програмного інструментарію Google trends [4]

Рисунок 1.2 відображає найвищий рівень зацікавленості серед громадськості до цифрової трансформації. Приблизно на одному рівні визначено рівень зацікавленості до діджиталізації та цифровізації. Зокрема визначено країни, за якими виявлено найбільший інтерес до тематик, що досліджуються, табл. 1.1

Таблиця 1.1 – Країни лідери за рівнем інтересу до тематик цифровізація, діджиталізація та цифрова трансформація

Цифрова трансформація		Діджиталізація		Цифровізація	
Країна	%	Країна	%	Країна	%
Австралія	88	Фінляндія	54	Непал	61
Велика Британія	86	Угорщина	45	Кенія	39
Південна Корея	85	Норвегія	44	Ямайка	38
Ірландія	85	Румунія	43	Гана	36
Нова Зеландія	85	Гана	41	Танзанія	34

Джерело: сформовано авторами на основі Google trends [4]

Основні принципи, компоненти, мета та задачі діджиталізації відображено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3. – Основні принципи, компоненти, мета та задачі діджиталізації

Джерело: репрезентовано автором на основі даних [3], [5]

До цілей діджиталізації належать: 1) Підвищення ефективності та продуктивності. Автоматизація процесів знижує витрати та підвищує продуктивність організацій, дозволяючи їм швидко адаптуватися до змін ринку. 2) Покращення якості обслуговування клієнтів: Цифрові технології забезпечують оперативність і персоналізацію послуг, що підвищує задоволеність клієнтів. 3) Забезпечення доступності та інклюзивності: Діджиталізація робить послуги доступними для ширшої аудиторії, включаючи людей з обмеженими можливостями та віддалені регіони. 4) Інноваційність та конкурентоспроможність: Впровадження нових технологій сприяє розробці інноваційних продуктів і послуг, підтримуючи конкурентні позиції на ринку. 5) Оптимізація використання ресурсів: Ефективне використання енергетичних, матеріальних і людських ресурсів сприяє стійкому розвитку. 6) Підвищення прозорості та безпеки. Використання технологій, таких, як блокчейн, що забезпечують прозорість і безпеку операцій, знижуючи ризики шахрайства.

Також стисло охарактеризуємо принципи діджиталізації: 1) Принцип цілісності передбачає, що всі частини цифрових систем повинні бути взаємопов'язаними та функціонувати як єдине ціле. 2) Принцип поетапності означає, що діджиталізація повинна здійснюватися поступово, з розділенням на етапи, кожен з яких має свої цілі та завдання. 3) Принцип лідирування передбачає, що діджиталізація має відбуватися під керівництвом, яке забезпечує контрольований і якісний перехід економічної системи на новий рівень. 4) Принцип інноваційності полягає у впровадженні новітніх цифрових технологій та підтримку наукових досліджень і освіти для розвитку нових цифрових продуктів. 5) Принцип адаптивності передбачає використання гнучких цифрових технологій, які можуть швидко адаптуватися до змін внутрішнього і зовнішнього середовища. 6) Принцип простоти (доступності). Діджиталізація повинна бути адаптивною до змін у технологічному середовищі, бізнес-процесах і вимогах ринку. Це передбачає можливість швидкої адаптації до нових технологічних рішень, масштабування та модернізації систем, а також

впровадження інновацій. 7) Інтероперабельність – це один із ключових принципів діджиталізації полягає у забезпеченні сумісності між різними системами, платформами та технологіями. Інтероперабельність дозволяє різним інформаційним системам ефективно взаємодіяти між собою, що сприяє оптимізації процесів, обміну даними та підвищенню загальної ефективності. 8) Ефективність означає, що діджиталізація спрямована на підвищення ефективності процесів шляхом автоматизації рутинних завдань, скорочення часу на виконання операцій та мінімізації помилок. Цей принцип допомагає організаціям знижувати витрати, покращувати продуктивність та забезпечувати більш якісне обслуговування клієнтів. 9) Безпека даних. Діджиталізація передбачає обробку великої кількості даних, забезпечення їхньої безпеки є критично важливим. Принцип безпеки даних включає захист інформації від несанкціонованого доступу, збереження конфіденційності, цілісності та доступності даних, а також дотримання вимог законодавства щодо обробки особистих даних.

1.2 Визначення енергетичної ефективності та її значення для сталого розвитку

Згідно джерела [6] енергоефективність часто вважається «першим паливом» на шляху до чистої енергії, оскільки є одним з найшвидших і найбільш економічних способів зменшення викидів CO₂. Вона сприяє зниженню витрат на енергоспоживання та підвищенню енергетичної безпеки. Енергоефективність є важливим чинником у зменшенні попиту на енергію в контексті досягнення цілей з нульовими викидами до 2050 року (NZE), в поєднанні з іншими взаємопов'язаними заходами, такими як електрифікація, зміни в поведінці, діджиталізація та раціональне використання матеріалів.

Енергоефективність є одним з головних заходів для зниження енергетичного попиту в сценарії досягнення чистих нульових викидів до 2050 року. Більшість ініціатив, спрямованих на покращення енергоефективності,

також забезпечують економію для споживачів, зменшуючи витрати на енергію та допомагаючи мінімізувати вплив несподіваних коливань цін.

Енергетичні ресурси є основою для розвитку країн, оскільки вони забезпечують необхідні умови для різних аспектів життя. Для забезпечення сталого розвитку та ефективної участі в глобальній конкуренції країни повинні оптимально використовувати енергію. Країни, які впроваджують заходи з підвищення енергоефективності, досягають економічного прогресу та зміцнюють свої позиції на міжнародній арені [7].

Одним з параметрів, що відображає рівень енергетичної ефективності є Індекс світової енергетичної трилеми (World Energy Trilemma Index, (WETI)).

Індекс світової енергетичної трилеми дає уявлення про відносну енергетичну ефективність країни з точки зору енергетичної безпеки, енергетичної справедливості та екологічної стійкості, рис. 1.4.



Рисунок 1.4. – Методологія Індексу світової енергетичної трилеми

Джерело: репрезентовано автором на основі даних [8], [9]

Індекс демонструє проблеми, з якими стикаються країни при балансуванні енергетичної трилеми та вказує на потенційні можливості для покращення досягнення енергетичних цілей як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі. Його основною метою є надання інформації для політиків, енергетичних керівників, а також для інвесторів і представників фінансового сектору. Рейтинги індексу дозволяють порівнювати країни за трьома основними вимірами, а також аналізувати історичні показники для оцінки динаміки ефективності кожної країни з часом [8]. Світовий індекс енергетичної трилеми слугує інструментом для оцінки прогресу та допомагає лідерам енергетичного сектору ефективно справлятися з конкурентними вимогами. Цей індекс аналізує та оцінює продуктивність інтегрованих енергетичних систем у 120 країнах [9]. За результатами оцінки ефективності реалізації енергетичної політики країнами світу за Індексом енергетичної трилеми у 2023 році провідні позиції посіли такі енергоефективні країни, як: Данія, Швеція, Фінляндія, Швейцарія, Канада, Австрія, Франція, Німеччина, Естонія, Велика Британія, Норвегія, Нова Зеландія, США, табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Енергоефективні країни, що зайняли провідні позиції у 2023 році за Індексом енергетичної трилеми

Джерело: сформовано автором на основі даних [10]

Ранг Індексу (WETI))	Країна	Трілемна оцінка	Складові Індексу енергетичної трилеми		
			енергетична безпека	розподіл енергетичних ресурсів	екологічність (енергетична сталість)
1	Данія	83,2	72,2	95,8	83,5
1	Швеція	83,1	73,4	93,4	85
2	Фінляндія	82,7	75,9	92,3	80,8
3	Швейцарія	82,1	64,5	98,1	85,7
4	Канада	81	76,6	96,2	72,8
5	Австрія	80,9	71,8	95,3	78,6
6	Франція	80,6	69,4	93,7	83,2
7	Німеччина	80,2	72,9	94,4	76,6
7	Естонія	80,2	69,9	94,8	78,5
8	Велика Британія	80	67,7	95,7	79,2
8	Норвегія	79,9	62,7	94,4	84,3
9	Нова Зеландія	79,6	68,2	95,4	76,4
10	США	78,6	72,7	97,3	69

У вигляді картограми репрезентовано рейтинг країн за Індексом енергетичної трилеми, рис. 1.5. При цьому необхідно зазначити, що деякі країни у 2023 році не були включені в аналіз та дослідження Світовою радою з енергетики, у тому числі й Україна. У 2021 році для України індекс розраховувався Світовою радою з енергетики. Країна займала 43 місце (трилемна оцінка склала 58,7) у рейтингу [11]. У 2022 році цей індекс знизився до 31 пункту (57,9), що свідчить про певні зміни в енергетичному секторі країни.

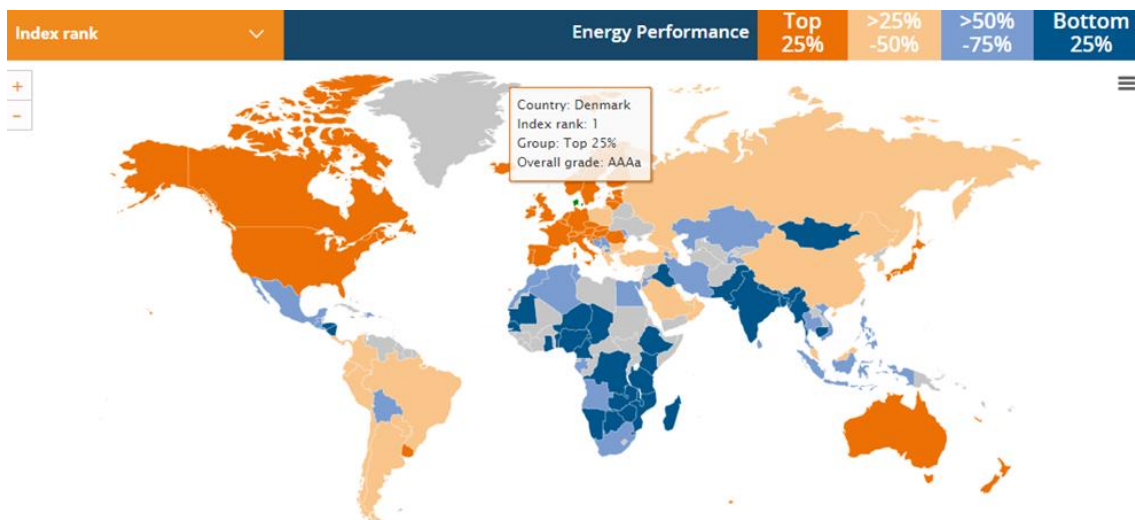


Рисунок 1.5. – Картограма енергоефективні країни за Індексом енергетичної трилеми у 2023 році [10]

З урахуванням того, що значна кількість праць науковців концентрує увагу на досвіді країн G7 нами вважається за доцільне в дослідженні проаналізувати енергоефективні країн G7, табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Енергоефективність країн G7 у 2023 році за Індексом енергетичної трилеми

Джерело: сформовано автором на основі даних [10]

Ранг Індексу енергетичної трилеми	Країни-члени G7	Трилемна оцінка	Складові Індексу енергетичної трилеми		
			енергетична безпека	розподіл енергетичних ресурсів	екологічність (енергетична сталість)
4	Канада	81	76,6	96,2	72,8
6	Франція	80,6	69,4	93,7	83,2

Продовження табл. 1.2

7	Німеччина	80,2	72,9	94,4	76,6
25	Італія	74,3	66,4	8,93	73,6
23	Японія	75	61,1	94	71,4
8	Велика Британія	80	67,7	95,7	79,2
10	США	78,6	72,7	97,3	69

На базі отриманих даних таблиці 1.3 можна зробити такі висновки: Канада та Франція мають найвищі трілемні оцінки, завдяки високим показникам у всіх трьох складових, хоча обидві країни мають простір для поліпшення екологічності (Канада) та енергетичної безпеки (Франція). США та Німеччина виділяються високим розподілом енергетичних ресурсів, але США мають дещо нижчу екологічність. Японія стикається з найбільшими викликами щодо енергетичної безпеки, тоді як Італія має відносно низькі показники у всіх трьох складових.

Ці дані показують, що кожна країна має свої сильні та слабкі сторони в енергетичній політиці, і баланс між енергетичною безпекою, розподілом ресурсів та екологічністю може суттєво відрізнитися.

Також в дослідженні проаналізовано досвід країн ЄС, табл 1.4

Таблиця 1.4 – Енергоефективність країн ЄС у 2023 році за Індексом енергетичної трилеми

Джерело: сформовано автором на основі даних [10]

Країна	Трілемна оцінка	Країна	Трілемна оцінка
Австрія	80,9	Нідерланди	77,6
Бельгія	77,1	Німеччина	80,2
Болгарія	69,2	Польща	70,7
Греція	70,5	Португалія	76,7
Данія	83,2	Румунія	75,1
Естонія	80,2	Словаччина	76,6
Ірландія	76,3	Словенія	78,4
Іспанія	77,8	Угорщина	77,3
Італія	74,3	Фінляндія	82,7
Кіпр	65,8	Франція	80,6
Латвія	76,3	Хорватія	77,3
Литва	75	Чехія	78
Люксембург	77,3	Швеція	83,1

Ситуація з індексом енергетичної трилеми в країнах ЄС варіюється, що відображає різні підходи до енергетичної політики, рівня забезпеченості ресурсами та екологічних стандартів:

Найвищі оцінки: Данія (83,2), Швеція (83,1), Фінляндія (82,7), Австрія (80,9), Франція (80,6), Німеччина (80,2) та Естонія (80,2). Ці країни демонструють високий рівень збалансованості між енергетичною безпекою, доступністю ресурсів і екологічною сталістю.

Середні оцінки: Нідерланди (77,6), Іспанія (77,8), Словенія (78,4), Чехія (78), Люксембург (77,3), Угорщина (77,3), Бельгія (77,1), Португалія (76,7), Словаччина (76,6), Ірландія (76,3), Латвія (76,3), Румунія (75,1), Литва (75), Італія (74,3). В цих країнах енергетична політика в цілому є стійкою, але є простір для покращення в окремих аспектах.

Нижчі оцінки: Польща (70,7), Мальта (70,4), Греція (70,5), Болгарія (69,2), Кіпр (65,8). Ці країни мають дещо менші оцінки, що вказує на необхідність покращення в управлінні енергетичними ресурсами, безпеці чи екологічності.

Загалом, країни з високими оцінками вже мають добре збалансовану енергетичну політику, тоді як країни з нижчими оцінками потребують додаткових зусиль для покращення в різних аспектах трилеми.

1.3 Стратегії та інструменти декарбонізації

Декарбонізація виступає як стратегія для пом'якшення наслідків кліматичних змін та як процес, спрямований на суттєве зменшення або повне усунення викидів вуглекислого газу (CO₂) та інших парникових газів із атмосферного середовища.

Для стримування глобального потепління не більше ніж на 1,5°C (2,7°F) від рівня, що існував до індустріалізації, багато країн встановили мету досягти нульових чистих викидів парникових газів до 2050 року. Термін "чистий нуль" означає ситуацію, коли обсяг викидів парникових газів, що потрапляють в атмосферу, компенсується еквівалентною кількістю газів, які виводяться з

атмосфери. Для досягнення цього показника необхідно здійснити термінові заходи щодо декарбонізації. Збільшення викидів парникових газів сприяє підвищенню температури на планеті, що, в свою чергу, погіршує наслідки кліматичних змін.

У 2015 році майже 200 країн підписали Паризьку угоду, зобов'язавшись обмежити глобальне потепління на рівні нижче 2°C порівняно з доіндустріальним періодом. Прагнення зменшити підвищення температури до 1,5°C може значно знизити ризики та наслідки зміни клімату.

Згідно з доповіддю Програми ООН з навколишнього середовища за 2022 рік, для обмеження зростання глобальної температури до 1,5°C викиди парникових газів повинні бути зменшені на 45% протягом наступних восьми років. Після 2030 року необхідно продовжити швидке зниження викидів, щоб зберегти залишковий вуглецевий бюджет. Глибока декарбонізація є ключовим елементом для зміни кліматичної траєкторії, зумовленої людською діяльністю [12].

Україна розробила національні стратегії для скорочення викидів парникових газів з метою виконання міжнародних зобов'язань, зокрема в рамках Паризької угоди. Основними напрямками є:

1. Національно визначений внесок (NDC). Україна зобов'язується скоротити викиди парникових газів на 65% порівняно з рівнем 1990 року до 2030 року.
2. Стратегія низьковуглецевого розвитку до 2050 року. Стратегія передбачає поступову декарбонізацію економіки з акцентом на використання відновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності та модернізацію промисловості.
3. Адаптація до змін клімату. Україна впроваджує заходи щодо адаптації до кліматичних змін в усіх національних і регіональних стратегіях розвитку.

Ці ініціативи спрямовані на виконання міжнародних зобов'язань, зменшення кліматичного впливу та забезпечення сталого розвитку країни.

Деякі країни ставлять перед собою особливо амбітні плани щодо скорочення викидів парникових газів відповідно до Паризької угоди:

Європейський Союз визначив мету зменшити викиди парникових газів на 55% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року в рамках своєї ініціативи «Зелений курс», а також досягти кліматичної нейтральності до 2050 року.

Велика Британія, після значного скорочення викидів, зобов'язалася зменшити їх на 68% до 2030 року та досягти нульових викидів до 2050 року.

Норвегія планує скоротити викиди на 50-55% до 2030 року та прагне досягти кліматичної нейтральності до 2050 року.

Японія має намір знизити викиди на 46% до 2030 року порівняно з 2013 роком і стати кліматично нейтральною до 2050 року.

Канада прагне зменшити викиди на 40-45% до 2030 року від рівня 2005 року та досягти нульових викидів до 2050 року.

Ці країни визнані лідерами у впровадженні амбітних планів з декарбонізації та досягнення кліматичної нейтральності.

Для моніторингу прогресу у зменшенні викидів парникових газів застосовуються різні індекси, зокрема Net Zero Readiness Index (NZRI) та The Green Future Index (GFI). Індекс Net Zero Readiness Index (NZRI) оцінює рівень скорочення викидів парникових газів, що сприяють змінам клімату, а також аналізує готовність і потенціал країн для досягнення нульових викидів до 2050 року. Цей індекс відображає тісний зв'язок між готовністю держави досягти цілі Net Zero та її економічним станом [13].

У табл. 1.5 за країнами G7 зображено результати за індексом зеленого майбутнього у 2023 (The Green Future Index (GFI))

Таблиця 1.5 – Оцінки країн G7 за індексом зеленого майбутнього у 2023

Джерело: сформовано автором на основі даних [13]

Країни-члени G7	GFI2023	Країни-члени G7	GFI2023
Канада	5,69	Японія	5,1
Франція	5,99	Велика Британія	6,12
Німеччина	5,92	США	5,39
Італія	5,7		

Україна за індексом зеленого майбутнього у 2023 отримала оцінку 4,38.

У табл. 1.6 за країнами G7 зображено результати за країн за Індексом готовності до чистих нульових викидів у (Net Zero Readiness Index (NZRI)) за 2021, 2023 роки

Таблиця 1.6 – Оцінки країн G7 за індексом готовності до чистих нульових викидів (Net Zero Readiness Index (NZRI)) за 2021, 2023 роки [14]

Джерело: сформовано автором на основі даних [14]

Країни-члени G7	NZRI ₂₀₂₁	...	NZRI ₂₀₂₃
Канада	34,2		38,5
Франція	39,8		43,2
Німеччина	40,4		44,7
Італія	29,9		33,6
Японія	37,6		40,3
Велика Британія	48,4		52
США	27,9		31,5

Оцінки, отримані у 2023 році порівняно з 2021 роком відображають різні чинники, такі як прогрес у відновлюваній енергетиці, зміни політики та корпоративні дії щодо скорочення викидів вуглецю. Між 2021 та 2023 роками країни G7 показали помітний прогрес за Індексом готовності до чистих нульових викидів (NZRI), що відображає їхню посилену відданість досягненню нульових викидів.

Оцінка Індексу в Канаді зросла з 34,2 до 38,5, що вказує на посилення політичних ініціатив та збільшення інвестицій у відновлювальні джерела енергії. Франція підвищила свою оцінку з 39,8 до 43,2, зміцнюючи лідерство у стратегіях скорочення викидів. Німеччина покращила показники з 40,4 до 44,7 завдяки амбітним планам енергетичного переходу. В Італії Індекс зріс з 29,9 до 33,6, що свідчить про поступовий прогрес у кліматичній політиці. Японія підвищила значення Індексу з 37,6 до 40,3, що відображає покращення у зменшенні промислових викидів. Велика Британія зросла з 48,4 до 52,0, утримуючи лідируючі позиції у кліматичних ініціативах. США збільшили показник з 27,9 до 31,5, що відображає зміщення акценту на федеральну кліматичну політику.

Загалом усі країни G7 продемонстрували позитивний прогрес у готовності досягти нульових викидів до середини століття, хоча темпи та масштаби поліпшень різняться.

У декарбонізації економіки ключову роль відіграють відновлювані джерела енергії та енергоінновації, оскільки вони сприяють зменшенню викидів парникових газів і зниженню залежності від викопного палива. Використання сонячної, вітрової, гідро- та геотермальної енергії дозволяє значно скоротити викиди CO₂, забезпечуючи при цьому стійке та безпечне енергопостачання.

Країни-лідери з декарбонізації активно використовують різні відновлювані джерела енергії. Наприклад Данія є світовим лідером у використанні вітрової енергії. Завдяки своїм численним офшорним вітровим електростанціям Данія забезпечує значну частину своїх енергетичних потреб без викидів вуглецю. Німеччина широко використовує сонячну енергію та біомасу. Німеччина є лідером у встановленні сонячних панелей, особливо на дахах приватних будинків і промислових об'єктів, а також активно застосовує біомасу для виробництва електроенергії та тепла. Норвегія базується переважно на гідроенергетиці, що забезпечує майже всю електроенергію країни. Гідроелектростанції Норвегії є основою її відновлюваної енергетики, забезпечуючи стабільне та чисте постачання електроенергії. Ісландія використовує геотермальну енергію, яка покриває більшість потреб країни в опаленні та значну частину виробництва електроенергії. Це дозволяє Ісландії майже повністю уникнути викопного палива для енергопостачання. Ці країни демонструють, як різні типи відновлюваних джерел можуть бути ефективно інтегровані в енергетичну систему для досягнення цілей декарбонізації.

Енергоінновації, зокрема розробка нових технологій зберігання енергії, вдосконалення систем управління енергоспоживанням і впровадження смарт-мереж, підвищують ефективність використання енергії та сприяють інтеграції відновлюваних джерел у загальну енергосистему. Це дозволяє прискорити перехід до низьковуглецевої економіки, зменшити вартість виробництва «зеленої» енергії та забезпечити сталий розвиток.

РОЗДІЛ 2 ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ НА НАЦІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

2.1 Діджитал інструменти управління енергетичною ефективністю

Сутність поняття діджитал інструменти управління енергетичною ефективністю, діджитал інструменти в галузі енергетики та їх основні функції репрезентовано на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Поняття діджитал інструментів управління енергетичною ефективністю та їх основні функції

Джерело: сформовано автором на основі [17]

Діджиталізація допомагає оптимізувати управління енергетичними ресурсами та підвищувати ефективність використання енергії. Існують кілька індексів діджиталізації, які мають зв'язок з енергетикою, а саме: DESI (Digital Economy and Society Index), Smart Grid Index (SGI), ICT Development Index (IDI), Energy Digitalization Index, Fostering Effective Energy Transition.

DESI (Digital Economy and Society Index). Цей індекс оцінює цифровий прогрес країн ЄС у різних сферах, включаючи впровадження цифрових технологій в енергетиці для підвищення енергоефективності [18].

Smart Grid Index (SGI). Оцінює ступінь розвитку «розумних мереж» (smart grids), які дозволяють інтегрувати відновлювані джерела енергії та покращувати управління енергоспоживанням через цифрові рішення.

ICT Development Index (IDI), опублікований Міжнародним союзом електрозв'язку Організації Об'єднаних Націй. IDI – це цінний інструмент для порівняльного аналізу найважливіших показників вимірювання інформаційного суспільства. Вимірює рівень розвитку інформаційно-комунікаційних технологій у країнах, що може мати прямий вплив на впровадження діджитал-рішень в енергетиці, включаючи смарт-лічильники та системи автоматизованого управління [19].

Energy Digitalization Index. Специфічний індекс, що оцінює рівень діджиталізації енергетичного сектору, включаючи впровадження цифрових платформ для управління енергоефективністю та оптимізації споживання енергії.

Fostering Effective Energy Transition. Індекс енергетичного переходу оцінює 120 країн за їхньою поточною ефективністю енергетичних систем і готовністю сприятливого середовища, виявляє, що хоча загалом є прогрес у сфері чистої, сталої енергетики, виникають нові виклики для справедливості переходу – доступ до енергії за доступними цінами та стійкий економічний розвиток – через те, що країни зосереджуються на енергетичній безпеці [20].

Ці індекси можуть допомагати вимірювати прогрес у цифровізації енергетики, що сприяє декарбонізації та підвищенню ефективності використання енергетичних ресурсів.

Значення Індексу цифрової економіки та суспільства DESI (Digital Economy and Society Index) для країн ЄС за три останні роки наведено на рис. 2.2.

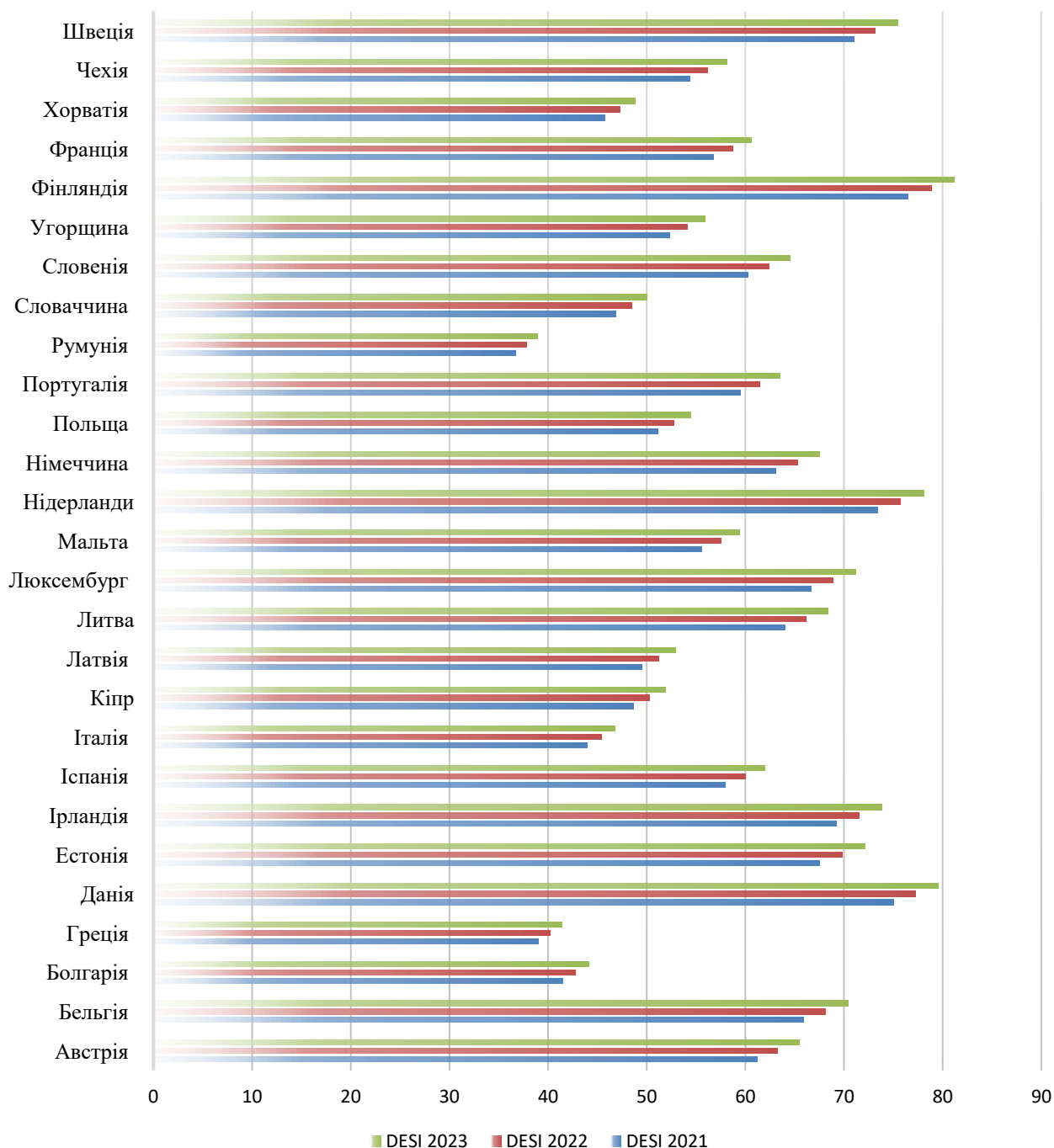


Рисунок 2.2 – Значення Індексу цифрової економіки та суспільства для країн ЄС за 2021 – 2023 рр.

Джерело: сформовано автором на основі [18]

Аналіз даних рисунку 2.2 дозволяє зробити наступні висновки. У 2023 році країни ЄС продовжують демонструвати прогрес у цифровій економіці та суспільстві. Лідерами є Фінляндія, Данія та Швеція з високими показниками DESI, що свідчить про їхній передовий рівень у цифрових технологіях. Більшість країн показує поступовий ріст, зокрема Нідерланди, Ірландія та Естонія. Проте, деякі країни, такі як Румунія та Болгарія, залишаються на низьких позиціях, хоча їх показники теж зростають. Загалом, країни ЄС роблять значні кроки вперед у розвитку цифрових інфраструктур і послуг.

Окремо необхідно охарактеризувати динаміку індексу DESI для України. У 2021 році Індекс цифрової економіки та суспільства (DESI) для України склав 37,5. Це вказує на те, що Україна перебувала на низькому рівні діджиталізації порівняно з багатьма європейськими країнами. У 2022 році в Україні спостерігалось помірне покращення, показник DESI зріс до 39. Це свідчить про поступовий прогрес у сфері цифрових технологій, хоча рівень залишається низьким. У 2023 році Індекс підвищився до 41,2. Це вказує на подальший, але невеликий, прогрес у діджиталізації. Україна все ще відстає від більшості європейських країн, але продовжує поступово впроваджувати цифрові рішення та інфраструктури. Україна демонструє повільний, але стабільний прогрес у діджиталізації, з поступовим збільшенням індексу DESI за останні роки. Низький рівень діджиталізації свідчить про потребу в подальшому розвитку цифрової інфраструктури, поліпшенні доступу до цифрових послуг і технологій, а також в інвестиціях у навчання та підготовку кадрів. Україні необхідно прискорити впровадження цифрових рішень, щоб покращити свою конкурентоспроможність на міжнародній арені та підтримати економічний розвиток.

2.2 Діджиталізація у декарбонізації: сучасні підходи та практики

У сучасному світі, де боротьба зі змінами клімату та декарбонізація стають ключовими глобальними викликами, цифровізація набирає критичної важливості. Інтеграція цифрових технологій у стратегії декарбонізації відкриває

нові горизонти для ефективного управління ресурсами, моніторингу викидів та впровадження інноваційних рішень. Щоб краще зрозуміти, як цифровізація впливає на процеси декарбонізації нами досліджено кореляційні зв'язки між індексом цифрової економіки (DESI) та Індексом енергетичної трилеми, табл. 2.1. Аналіз цих зв'язків допоможе визначити сучасні підходи та практики, які сприяють ефективному поєднанню цифрових технологій і сталого розвитку.

Між індексом цифрової економіки (DESI) та Індексом енергетичної трилеми необхідно виокремити такі взаємозв'язки, які можуть впливати на процеси декарбонізації: 1) Ефективність управління та інновації. Країни з високими показниками DESI часто демонструють краще управління ресурсами та інноваційний підхід до вирішення енергетичних і екологічних викликів. Цифрові технології дозволяють впроваджувати ефективні системи моніторингу, оптимізації та управління, що може сприяти поліпшенню показників в усіх трьох аспектах Індексу енергетичної трилеми: доступність, стійкість і прийнятність. 2) Моніторинг і дані. Розвинені цифрові інфраструктури надають краще зібрані дані і можливості для аналітики, що дозволяє країнам краще відстежувати та управляти своїми енергетичними системами. Це може вплинути на всі три аспекти трилеми, полегшуючи досягнення балансування між енергетичною безпекою, стійкістю та доступністю. 3) Інвестиції та інновації. Країни з високим рівнем цифровізації зазвичай залучають більше інвестицій у нові технології, включаючи ті, що пов'язані з відновлювальними джерелами енергії і зниженням викидів. Це може позитивно вплинути на стійкість енергетичних систем і зменшити їх вуглецевий слід, одночасно підтримуючи економічну доступність і енергетичну безпеку. 4) Зниження витрат і підвищення доступності: Цифровізація може допомогти знизити витрати на енергетичні послуги завдяки автоматизації та оптимізації процесів. Це може покращити доступність енергії для споживачів і зменшити фінансове навантаження, тим самим покращуючи оцінки в аспекті доступності Індексу енергетичної трилеми. 5) Енергетична безпека. Високий рівень цифровізації може забезпечити кращу візуалізацію та управління енергетичними ресурсами, що сприяє зменшенню залежності від

імпортованих енергоресурсів і підвищує загальну енергетичну безпеку країни. б) Соціальна та економічна інтеграція. Цифровізація також може сприяти кращій соціальній і економічній інтеграції, що може вплинути на прийнятність енергетичних політик і рішень, роблячи їх більш адаптованими до потреб суспільства.

Загалом, інтеграція цифрових технологій у стратегії декарбонізації може суттєво вплинути на всі аспекти Індексу енергетичної трилеми, забезпечуючи більш ефективні, стійкі та доступні рішення в сфері енергетики.

Таблиця 2.1 – Дослідження кореляційних зв'язків між індексом цифрової економіки (DESI) та Індексом енергетичної трилеми.

Джерело: розроблено автором на основі даних ([18], [10])

Країна	Індексу цифрової економіки та суспільства (DESI ²⁰²³)	Трілемна оцінка (World Energy Trilemma Index ²⁰²³)
	у	х
Австрія	65,5	80,9
Бельгія	70,4	77,1
Болгарія	44,1	69,2
Греція	41,4	70,5
Данія	79,6	83,2
Естонія	72,1	80,2
Ірландія	73,8	76,3
Іспанія	62	77,8
Італія	46,8	74,3
Кіпр	51,9	65,8
Латвія	52,9	76,3
Литва	68,4	75
Люксембург	71,2	77,3
Мальта	59,4	70,4
Нідерланди	78,1	77,6
Німеччина	67,5	80,2
Польща	54,5	70,7
Португалія	63,5	76,7
Румунія	38,9	75,1
Словаччина	50	76,6
Словенія	64,5	78,4

Продовження табл. 2.1

Угорщина	55,9	77,3
Фінляндія	81,2	82,7
Франція	60,6	80,6
Хорватія	48,8	77,3
Чехія	58,1	78
Швеція	75,5	83,1
Коефіцієнт кореляції		0,658637082

Результати кореляції між індексом DESI 2023 і трілемною оцінкою показують помірний позитивний зв'язок. Це означає, що країни з вищими показниками DESI мають тенденцію також отримувати високі оцінки в трілемній оцінці, хоча й не в усіх випадках. Наприклад, Данія та Швеція, які мають найвищі DESI, також отримують високі трілемні оцінки, що підтверджує їхні лідерські позиції в цифрових технологіях. Інші країни з високими DESI, як Німеччина та Фінляндія, також мають високі трілемні оцінки, хоча є деякі відхилення, як у Болгарії, де DESI високий, але трілемна оцінка відносно низька.

З метою оцінки статистичної значущості отриманого коефіцієнту кореляції розраховано t-критерій Стьюдента. Для обчислених t-критеріїв знайдено рівні значущості за допомогою стандартної функції СТЬЮДРАСП. Таким чином $t = 4,38$, $a(t) = 0,000185849$. Розрахованим рівням значущості відповідають такі довірчі ймовірності $p = 1 - a : p \approx 1$, табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок рівня значущості $p = 1 - a$

Джерело: розраховано автором на основі даних табл. 2.1 за допомогою Microsoft Excel

t	4,38
a	0,000185849
$p=1-a$	0,999814151

Таким чином коефіцієнти кореляції ух можуть вважатися статистично значущими з високою довірчою ймовірністю $p \approx 1$. Звідси випливає, індекс

цифрової економіки (DESI) та Індекс енергетичної трилеми, мають високий кореляційний зв'язок.

Проаналізуємо найкращі кейси країн, які реалізують сучасні підходи та практики діджиталізації в декарбонізації, табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Кейси країн, які реалізують сучасні підходи та практики діджиталізації в декарбонізації

Джерело: складено авторами на основі ([21], [22])

Країна	Сучасні підходи та практики діджиталізації в декарбонізації	Програмне забезпечення
Данія	Використовує розумні енергетичні системи для інтеграції відновлювальних джерел, таких як вітрові турбіни, застосовує цифрові технології для управління електромережами, що дозволяє зменшити витрати і оптимізувати використання вітрової енергії	Grid Solutions (GE Digital) - програмне забезпечення для управління «розумними» електромережами, що дозволяє ефективно інтегрувати відновлювальні джерела енергії, такі як вітрові турбіни. Siemens Energy IP - платформа дозволяє збирати й аналізувати дані для управління енергетичними системами.
Швеція	Застосовує великі дані і аналітику для прогнозування потреб у енергії та оптимізації споживання. Активно використовує розумні лічильники, які допомагають контролювати енергетичні витрати і знижувати викиди CO ₂ .	Greenbyte - платформа для моніторингу та аналізу вітрових і сонячних станцій. Greenbyte дозволяє операторам прогнозувати споживання енергії та знижувати викиди. eMeter (Siemens) - програмне забезпечення для управління розумними лічильниками, яке дозволяє контролювати та оптимізувати енергетичні витрати на основі даних у реальному часі.

Фінляндія	Впроваджує цифрові рішення для автоматизації енергетичних систем. Наприклад, країна використовує системи управління енергією для інтеграції різних джерел енергії і покращення ефективності	<p>EnergyHub - платформа надає рішення для управління розподіленими енергетичними ресурсами, такими як мікромережі та відновлювальні джерела, що допомагає інтегрувати їх у загальні енергетичні системи.</p> <p>Virtual Power Plant (VPP) - віртуальні електростанції об'єднують різні джерела енергії (сонячні, вітрові та інші) в єдину систему для ефективного управління енергоресурсами.</p>
Німеччина	Застосовує технології інтернету речей (IoT) і штучного інтелекту для моніторингу і керування відновлювальними джерелами енергії. Це дозволяє країні ефективно управляти великими обсягами енергії від сонячних панелей та вітрових турбін.	<p>MindSphere (Siemens): - промислова IoT-платформа, яка дозволяє моніторити та керувати енергетичними ресурсами за допомогою штучного інтелекту і хмарних технологій.</p> <p>Next Kraftwerke - програмне забезпечення для віртуальних електростанцій, яке об'єднує відновлювані джерела енергії для ефективного управління ними.</p>

Ці країни демонструють, як цифровізація може допомогти досягти цілей декарбонізації через інноваційні підходи в управлінні енергетичними ресурсами.

2.3 Інтеграція цифрових технологій у національну енергетичну політику

Інтеграція цифрових технологій у національну енергетичну політику України є важливим етапом для підвищення енергетичної безпеки, ефективності

та декарбонізації країни. В умовах енергетичних викликів, зокрема внаслідок війни та агресії з боку росії, діджиталізація стає ключовим інструментом для зміцнення енергетичної стійкості та переходу до «зеленої» енергетики.

Згідно доповіді науковців Блінов І., Денисюк С. [23] важливою частиною політики Європейського Союзу у галузі електроенергетики є комплекс заходів, що об'єднаний терміном «енергетичний перехід» (Energy Transition). Реалізація цих заходів передбачає перехід до нової функціональної архітектури електроенергетичних систем в ЄС та відповідно ОЕС України, розвиток розумних мереж, технологій зберігання енергії, а також появу активних (розумних) споживачів.

Основні тренди «енергетичного переходу» сформульовані в рамках «концепції 3D»: Decarbonization, Decentralization, Digitalization).

Decarbonization («декарбонізація») розглядається як перехід до екологічно чистої «безвуглецевої» економіки та енергетики.

Decentralization («децентралізація») – перехід до територіально розосередженої електроенергетики з великою кількістю різнорівневих виробників і споживачів.

Digitalization («діджиталізація» – цифровізація) передбачає перехід до широкомасштабного застосування в енергетиці сучасних багатофункціональних програмних комплексів на основі інформаційних моделей та цифрових керованих пристроїв, підключених до інформаційної мережі.

На основі вивчення літературних джерел визначено основні напрямки інтеграції цифрових технологій в енергетику України: розумні мережі (Smart Grids), автоматизація енергетичних систем, Розвиток віртуальних електростанцій (VPP), цифрова безпека енергетичної інфраструктури.

Розумні мережі (Smart Grids): Інтелектуальні мережі здатні інтегрувати різні джерела енергії, особливо відновлювальні (сонячні та вітрові), з ефективним управлінням енергетичними потоками в режимі реального часу. В Україні це критично важливо для забезпечення стабільності постачання

електроенергії, особливо під час кризових ситуацій, таких як атаки на енергетичну інфраструктуру.

Автоматизація енергетичних систем. Використання цифрових платформ для автоматизації управління енергетикою дозволяє покращити контроль за споживанням і виробництвом енергії, а також оптимізувати використання ресурсів. Прикладом таких технологій можуть бути системи управління розумними лічильниками та платформи на основі штучного інтелекту для прогнозування споживання енергії.

Розвиток віртуальних електростанцій (VPP). Віртуальні електростанції об'єднують різні дрібні виробники енергії (сонячні панелі, вітрові турбіни) в єдину цифрову платформу, що дозволяє керувати ними як єдиною потужністю. В Україні така технологія може стати корисною для розвитку децентралізованих джерел енергії, особливо в умовах пошкодження централізованих мереж.

Цифрова безпека енергетичної інфраструктури. Захист від кібератак є важливим аспектом національної енергетичної політики. В Україні цифрові технології використовуються для підвищення стійкості критичної енергетичної інфраструктури до кібератак і забезпечення безпеки енергетичних мереж.

Перевагами інтеграції цифрових технологій для України є:

- енергетична стійкість. Цифрові рішення можуть допомогти підвищити стійкість енергетичної системи, що важливо в умовах військових дій;
- зниження викидів. Автоматизація та інтеграція відновлюваних джерел енергії сприяє скороченню викидів вуглекислого газу;
- ефективність управління. Використання цифрових рішень дозволяє оптимізувати виробництво і споживання енергії, зменшуючи витрати і втрати.

Україна має потенціал для розвитку цифрових технологій в енергетиці, що сприятиме як екологічній, так і енергетичній незалежності країни.

РОЗДІЛ 3: ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ В УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЄЮ

3.1 Перспективи розвитку діджиталізації у сфері енергетики

Цифрові технології дозволяють ефективно управляти попитом і пропозицією енергії, що сприяє зменшенню втрат і більш раціональному використанню енергоресурсів. Діджиталізація полегшує управління децентралізованими системами відновлюваної енергії, такими як сонячні та вітрові станції, інтегруючи їх у загальну мережу. Смарт-технології та аналітика даних допомагають енергетичним компаніям відслідковувати та знижувати вуглецевий слід, що сприяє досягненню цілей декарбонізації. Автоматизовані системи та інтернет речей (IoT) забезпечують контроль та оптимізацію споживання енергії на всіх рівнях. Діджиталізація стимулює розвиток вуглецево-нейтральних бізнес-моделей та сприяє впровадженню інноваційних рішень для сталого розвитку енергетики.

Таким чином, цифрові технології стають ключовим фактором для реалізації декарбонізації в енергетичному секторі. Зокрема результати аналізу наукових праць БД Scopus за пошуковими ключовими словами «digitalization AND decarbonization» дали змогу обґрунтувати актуальність даної тематики. Так, у базі за 2016-2024 рр. міститься 266 документів. Найбільша їх кількість припадає на 2023 рік, рис. 3.1. Необхідно зазначити, що у поточному році також вже сформувалася значна кількість праць за темою не зважаючи на те, що рік ще не завершився.

БД Scopus аналіз відобразив наявність найбільшої кількості документів в таких країнах: Німеччина (34 документи), Китай (32 документи), Велика Британія (30 документів), Італія (24 документи), Сполучені Штати (22 документи). В Україні 4 документи за тематикою.

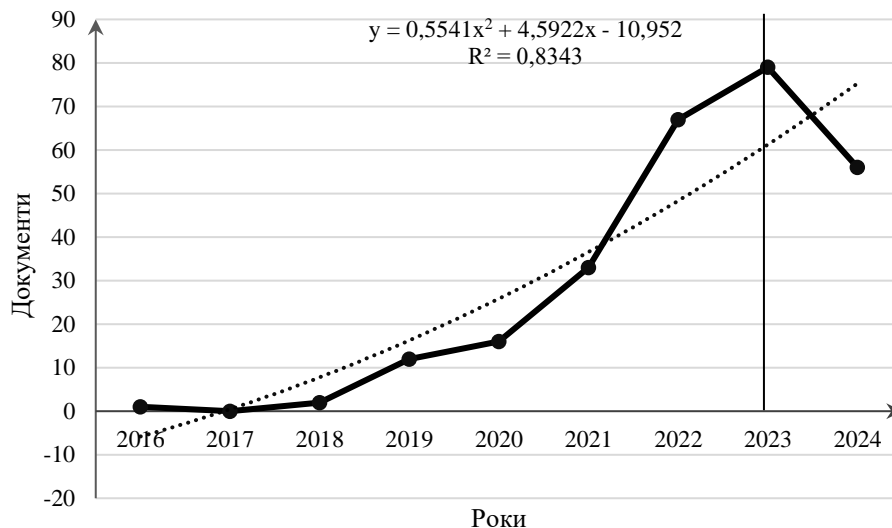


Рисунок 3.1 – Динаміка кількості наукових праць за 2016 – 2024 рр. на основі аналізу результату пошуку TITLE-ABS-KEY (digitalization AND decarbonization)

Джерело: створено авторами на базі БД Scopus [24]

Для того, щоб відобразити рейтинг України за кількістю документів за тематикою дослідження нами графічно репрезентовано аналіз праць у розрізі країн. Всього в базі містяться данні за 65 країнами. Україна на 34 місці, рис. 3.2.

До освітніх установ, що найбільш активно вивчають питання діджиталізації та декарбонізації належать: Норвезький університет природничих і технічних наук, Федеральна політехнічна школа Лозанни, Гонконгський університет науки і технологій, Університет Лафборо, Університет нафти і мінералів імені короля Фахда, Технічний університет Берліна, Університет Сямень, Університетський коледж Лондона, Токійський університет, Siemens AG.

Фінансування у дослідження здійснюють такі установи: Європейська комісія, Національний фонд природничих наук Китаю, Програма «Горизонт 2020», Горизонт 2020, Дії Марії Склодовської-Кюрі в рамках програми «Горизонт 2020», Міністерство науки і технологій Китайської Народної Республіки, Національне управління з питань філософії та соціальних наук.

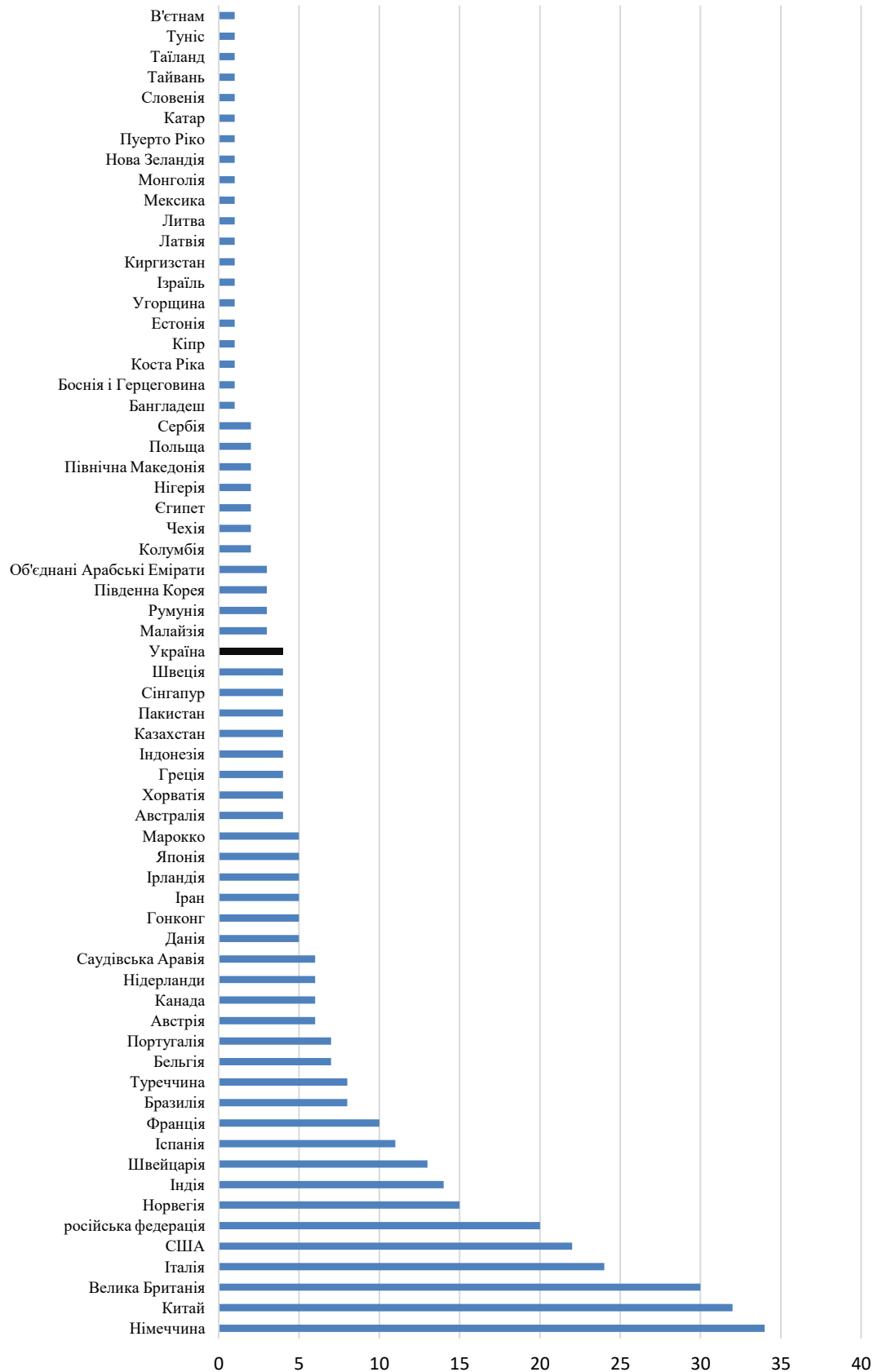


Рисунок 3.2 – Кількості наукових праць за країнами результату пошуку TITLE-ABS-KEY (digitalization AND decarbonization)

Джерело: створено авторами на базі БД Scopus [24]

До першого (червоного кластеру) з найбільшою кількістю взаємозв'язків за ключовим словом «декарбонізація» увійшли такі терміни: діджиталізація, оптимізація, вплив навколишнього середовища, ефективність витрат, цифрові прилади та цифрова трансформація. Особливу увагу приділено цифровому менеджменту та аналізу успішних практик (case studies) для підтримки екологічних цілей та зменшення вуглецевого сліду.

Другий (зелений кластер), який має найбільшу кількість взаємозв'язків за терміном «енергія» містить такі ключові слова: децентралізація, енергетичні ринки, smart grid, енергетичні системи, microgrid, передача електроенергії блокчейн. Блокчейн в енергетиці — це технологія, яка використовується для децентралізованого управління енергетичними системами та оптимізації процесів у галузі. Вона дозволяє створювати прозорі, безпечні та автоматизовані транзакції між учасниками енергетичних ринків, включаючи постачальників, споживачів, та навіть смарт-пристрої. Основною характеристикою блокчейну є те, що інформація в ньому зберігається на багатьох комп'ютерах одночасно (це називається «розподілений реєстр»). Завдяки цьому технологія забезпечує високий рівень прозорості, безпеки та неможливість підробки даних. Основними напрямками застосування блокчейну в енергетиці є: розподілена генерація енергії, розумні контракти, енергетичні ринки, відстеження вуглецевих викидів. Перевагами блокчейну в енергетиці є – прозорість і надійність даних, безпека транзакцій без посередників, ефективність завдяки автоматизації процесів. Таким чином, блокчейн може сприяти децентралізації, прозорості та сталому розвитку енергетичних систем, зокрема у перехід до відновлюваних джерел та зменшення вуглецевих викидів.

Третій (блакитний) кластер зосереджений навколо поняття енергетичної ефективності і пов'язаний з ключовими аспектами скорочення викидів та впровадження новітніх технологій у сфері енергетики. До нього входять такі поняття: 1) Вуглець і викиди вуглецю. Кластер охоплює питання зменшення викидів парникових газів і контролю за рівнем вуглецю для досягнення екологічних цілей.

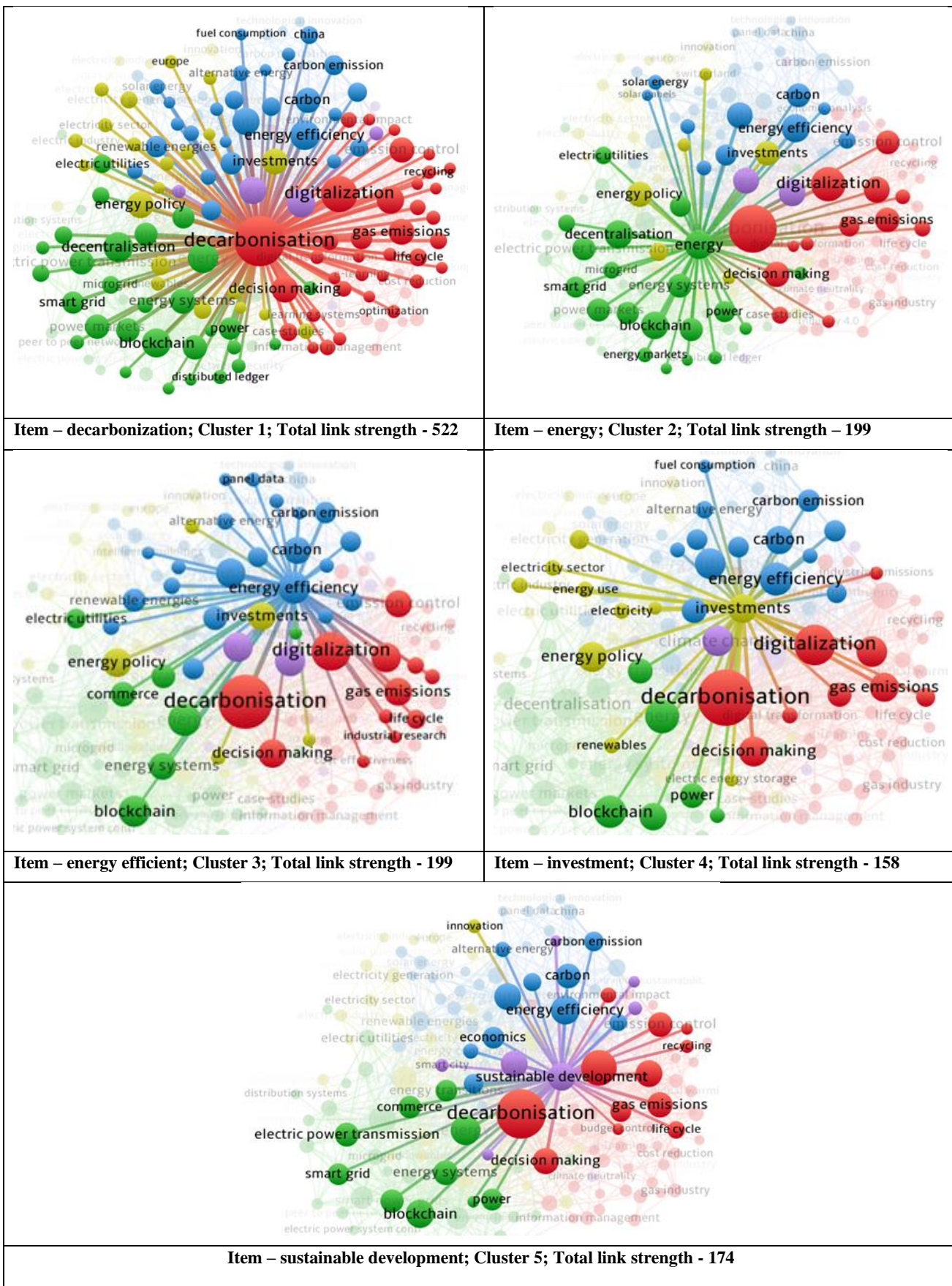


Рисунок 3.4 – Кластерний аналіз за поняттями TITLE-ABS-KEY (digitalization AND decarbonization) за бази програмного забезпечення VOSviewer.

Джерело: створено авторами на базі БД Scopus та VOSviewer version 1.6.16

2) Поновлювальна та альтернативна енергія. Розвиток та впровадження відновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова енергія) та альтернативних методів виробництва енергії, що сприяють зниженню залежності від викопних видів палива. 3) Контроль за викидами. Управління процесами для зменшення шкідливих викидів в атмосферу. 4) Панельні дані. Збір і аналіз даних для моніторингу енергоефективності та впливу на навколишнє середовище. 5) Технологічні інновації. Використання новітніх технологій для підвищення ефективності енергетичних систем та зменшення шкідливого впливу на екологію. Цей кластер фокусується на підвищенні енергетичної ефективності шляхом впровадження інновацій, переходу до відновлюваних джерел енергії та скорочення вуглецевого сліду через контроль за викидами.

Четвертий (жовтий) кластер зосереджений навколо поняття інвестиції в енергетиці. Кластер фокусується на інвестиціях в електричний сектор, розвиток енергетичної політики та технології зберігання енергії.

П'ятий (бузковий) кластер зосереджений на понятті сталого розвитку. Основні терміни цього кластеру: 1) Смарт місто. Інтеграція технологій для підвищення ефективності міського управління та зменшення впливу на навколишнє середовище. 2) Технологія розподіленої книги. Використання блокчейну для забезпечення прозорості та ефективності в управлінні ресурсами. 3) Зміна клімату. Стратегії адаптації та боротьби зі змінами клімату. 4) Стійкість. Здатність систем протистояти та відновлюватися після екологічних викликів. 5) Кліматична нейтральність. Прагнення до зниження вуглецевих викидів і досягнення нульового впливу на клімат. Кластер зосереджений на впровадженні інноваційних рішень для досягнення сталого розвитку та боротьби зі змінами клімату.

Еволюційно-часовий аналіз та аналіз міжкластерних зав'язків дозволив ідентифікувати нові та малодосліджені напрямки наукового пошуку. Результати бібліометричного аналізу можуть бути використані як методологічна основа для подальших наукових досліджень в галузі енергетичного менеджменту.

3.2 Інноваційні рішення для підвищення енергоефективності та зменшення викидів вуглецю

Станом на 2023 рік, Україна демонструє високий рівень енергоємності (енергоспоживання на одиницю виробленої продукції), що в 3-4 рази перевищує середній показник Європейського Союзу, зумовлений застарілою інфраструктурою та інтенсивним використанням викопних палив. За прогнозами, до 2050 року енергоефективність країни можна підвищити на 60% шляхом впровадження сучасних технологій та інвестицій в енергоефективне будівництво й відновлювальні джерела енергії. Це дозволить суттєво зменшити викиди вуглецю та знизити залежність від викопного палива, що є важливим етапом на шляху до досягнення вуглецевої нейтральності [30].

У 2020 році основними джерелами електричної енергії в країнах G7 були природний газ і відновлювальні джерела, кожне з яких забезпечувало близько 30% загального виробництва електроенергії. В рамках стратегії досягнення нульових викидів до 2050 року, ці країни активно впроваджують енергоефективні технології, зокрема смарт-мережі та системи зберігання енергії. Згідно з прогнозами, до 2030 року частка відновлювальних джерел у загальному електропостачанні збільшиться до 60%, а використання смарт-мереж дозволить значно підвищити ефективність споживання енергії та знизити втрати при її передачі [31].

Такі заходи мають вирішальне значення для досягнення цілей в галузі клімату та сталого розвитку.

В Україні активно розвиваються відновлювальні джерела енергії, електрифікація транспорту та промисловості, зокрема сонячна та вітрова енергетика. Сонячні електростанції складають 27% від загальної потужності відновлювальних джерел. Проте викопне паливо, зокрема вугілля та природний газ, залишаються важливими у енергетичному балансі країни. Перехід на чисті джерела енергії допоможе зменшити залежність від вуглецю та скоротити викиди CO₂. Як приклад, Німеччина, інвестуючи в «енергетичний перехід»

(Energiewende), значно збільшила частку вітрової та сонячної енергії, що дозволило знизити викиди CO₂.

Електромобілі в Україні набирають популярності, але їх кількість все ще значно менша порівняно з європейськими країнами. Електрифікація транспорту є важливим засобом зниження викидів у секторі транспорту, який є великим джерелом забруднення вуглецем. Як приклад, Норвегія, лідер у впровадженні електромобілів, досягла значного скорочення викидів завдяки державним субсидіям та підтримці купівлі електротранспорту. Україні доцільно запровадити подібні програми фінансової підтримки для споживачів і бізнесу, що переходять на електричний транспорт.

Україна має великий промисловий сектор, що є значним джерелом викидів. Перехід на електричні або низьковуглецеві технології в промисловості допоможе зменшити залежність від викопного палива та скоротити викиди. Наприклад, у Франції та Швеції активно впроваджуються технології електрифікації промисловості та водневі технології для зниження викидів у важкій промисловості.

Необхідно виокремити ключові рекомендації щодо зменшення викидів вуглецю для України:

- розширити відновлювані джерела енергії шляхом стимулювання інвестицій у вітрові та сонячні електростанції;
- розробити стимули для електрифікації транспорту, включаючи субсидії на купівлю електромобілів та створення інфраструктури зарядних станцій;
- електрифікувати промисловість через впровадження інноваційних технологій, таких як водневі установки та системи з низькими викидами;

Отже, враховуючи міжнародний досвід, Україна може прискорити перехід до низьковуглецевої економіки та знизити викиди вуглецю.

Запровадження інноваційних технологій, матеріалів, цифровізації та політик для зменшення викидів і підвищення енергоефективності в Україні має певні особливості, рис. 3.5.

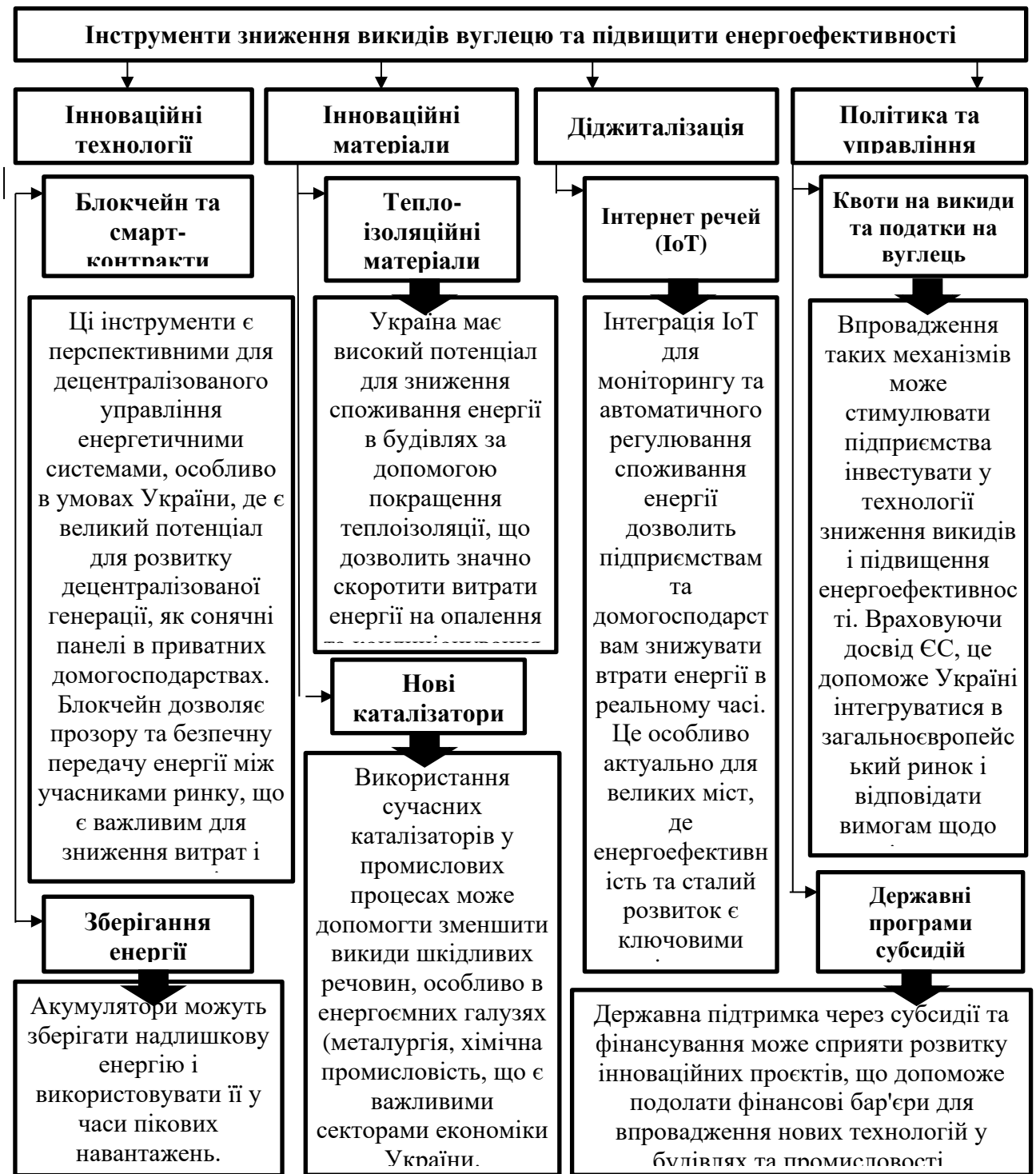


Рисунок 3.5 – Інструменти зниження викидів вуглецю та підвищити енергоефективності

Джерело: сформовано авторами

Інструменти, зазначені на рис. 3.4 можуть не тільки допомогти Україні зменшити викиди вуглецю, а й сприяти сталому розвитку, підвищити енергоефективність і знизити залежність від викопних видів палива.

3.3 Рекомендації для ефективного впровадження цифрових технологій у сфері енергетики

Енергетичний сектор є важливою частиною економіки кожної країни, забезпечуючи потреби населення та промисловості в енергії та сприяючи розвитку інноваційних галузей. Сучасні виклики, такі як зміна клімату, зростання попиту на енергію та потреба у зменшенні викидів парникових газів, вимагають нових підходів до управління енергосистемами. Впровадження цифрових технологій є ключовим кроком для ефективного та сталого розвитку енергетичної галузі.

Світовий досвід свідчить, що цифровізація енергетики підвищує ефективність управління ресурсами, сприяє інтеграції відновлювальних джерел енергії, знижує витрати та зміцнює стійкість енергосистем до зовнішніх загроз, зокрема в галузі кібербезпеки. Використання штучного інтелекту, великих даних, «розумних» енергомереж та автоматизованих систем управління стало основою енергетичних стратегій багатьох розвинених країн ([32], [33], [34], [35], [36], [37]).

Для України, що трансформує свою енергетичну систему, інтеграція цифрових технологій є ключовою. Успішний перехід до екологічно чистої та гнучкої енергетичної моделі вимагає адаптації міжнародного досвіду до національних умов. Рекомендації щодо впровадження цифрових технологій є важливим кроком для розвитку енергетичного сектора України в умовах глобальних викликів, рис. 3.5.

Впровадження цифрових технологій в енергетиці потребує стратегічного лідерства, координації учасників ринку та гнучкості в адаптації нових технологій. Ефективне управління забезпечить швидке впровадження інновацій, що сприятиме сталому розвитку енергетичного сектора України. Розглянемо особливості управлінського підходу до реалізації рекомендацій щодо впровадження цифрових технологій у енергетиці України.

Напрямки удосконалення	Світовий досвід	Рекомендації для України
1) Розвиток Smart Grid	У країнах ЄС, США та Китаї активно розвиваються "розумні" мережі, які забезпечують ефективний моніторинг та управління енергопостачанням в режимі реального часу.	Інвестувати в розбудову інфраструктури Smart Grid для інтеграції різних джерел енергії, що допоможе знизити втрати енергії та покращити управління попитом.
2) Використання штучного інтелекту та великих даних (Big Data)	Компанії, такі як Google та Siemens, використовують штучний інтелект для аналізу енергоспоживання та оптимізації роботи енергосистем. Це дозволяє прогнозувати піки навантаження та знижувати операційні витрати.	Впроваджувати системи аналізу великих даних для прогнозування попиту, оцінки ризиків та покращення планування енергетичних ресурсів. Це допоможе зробити енергосистему гнучкішою та адаптивнішою.
3) Цифровізація управління енергетичним об'єктами	У Німеччині широко використовуються системи SCADA для дистанційного моніторингу та управління енергетичними об'єктами. Це дозволяє швидко реагувати на аварійні ситуації та мінімізувати час простою операційні витрати.	Впроваджувати автоматизовані системи моніторингу та управління енергетичними об'єктами (SCADA, IoT), щоб підвищити ефективність управління інфраструктурою.
4) Інтеграція відновлюваних джерел енергії з цифровими технологіями	Данія та Нідерланди є лідерами в інтеграції відновлюваної енергії у свої енергетичні системи завдяки цифровим платформам для балансування попиту та пропозиції.	Впроваджувати платформи для управління виробництвом та споживанням відновлюваної енергії, що дозволить підвищити частку відновлюваних джерел у загальному енергобалансі та знизити залежність від викопних палив.
5) Кібер-безпека енергетичної інфраструктури	У США створено стандарти для кібербезпеки енергетичних об'єктів, такі як NERC CIP, які спрямовані на захист енергетичних систем від кіберзагроз.	Створити стандарти кібербезпеки для енергетичної галузі, зокрема для захисту інфраструктури, що працює на базі цифрових технологій. Забезпечити регулярні аудити та навчання персоналу з питань кібербезпеки.
6) Розвиток ринку гнучких енергосервісів	У Великій Британії діють ринки гнучких енергосервісів, де споживачі можуть продавати надлишки виробленої енергії або знижувати споживання під час пікових навантажень.	Створювати регуляторні умови для розвитку ринку гнучких енергосервісів, де споживачі та малі виробники можуть взаємодіяти з енергосистемою через цифрові платформи.
7) Підтримка інноваційних стартапів у сфері енергетики	У ЄС та Ізраїлі активно діють інкубатори та акселератори для стартапів у сфері енергетики, які займаються розробкою цифрових рішень для енергетичного сектору.	Підтримувати стартапи та дослідження в галузі цифрових рішень для енергетики через державні гранти та програми співпраці з міжнародними інституціями.
8) Навчання та підготовка фахівців	У Німеччині та Скандинавських країнах активно розвиваються програми з навчання інженерів цифровим технологіям для енергетики, що сприяє формуванню кваліфікованих кадрів	Впроваджувати навчальні програми в університетах та на підприємствах, орієнтовані на підготовку спеціалістів з цифрових технологій в енергетиці.

Рисунок 3.5 – Рекомендації щодо ефективного впровадження цифрових технологій у сфері енергетики України на основі зарубіжного досвіду

Джерело: сформовано авторами на базі літературних джерел: ([32], [33], [34], [35], [36], [37]).

Для успішного розвитку Smart Grid необхідна ефективна координація між державою, приватним сектором та регуляторами. Це вимагає створення міжвідомчих комісій для розробки політик, узгодження фінансування та регулювання інновацій у законодавстві. Інвестиції в інфраструктуру повинні управлятися централізовано, з урахуванням національних інтересів та можливостей приватних інвесторів.

При впровадженні AI та Big Data в енергетичний сектор важливо забезпечити належне управління даними та їх конфіденційність. Створення спеціальних підрозділів або залучення консалтингових компаній для розробки прогнозних моделей сприятиме ефективній інтеграції цих технологій. Крім того, необхідне стратегічне лідерство для координації використання даних між державними установами, постачальниками енергії та науковими організаціями.

Для успішного впровадження SCADA та IoT систем слід створити нові або оновити існуючі управлінські структури, відповідальні за моніторинг енергетичних об'єктів. Важливо розробити плани розвитку та модернізації для кожного об'єкта, а також навчити персонал, здатний працювати з новими цифровими системами. Управлінці повинні забезпечити гнучкість управління з урахуванням швидкого розвитку та масштабування технологій.

Успішне впровадження цифрових платформ для управління відновлюваними джерелами енергії вимагає координації між постачальниками енергії та розробки національної стратегії інтеграції відновлювальних і традиційних джерел. Управлінці повинні забезпечити взаємодію між регуляторами, енергетичними компаніями та споживачами для оптимізації процесів.

Управління кібербезпекою потребує централізованого підходу, створення національної стратегії та розробки безпекових протоколів. Важливими є регулярні аудити, швидке реагування на загрози та забезпечення навчання персоналу для підтримки стандартів кібербезпеки на енергетичних об'єктах.

Для впровадження гнучких енергосервісів необхідно створити регуляторні механізми, які дозволяють споживачам продавати надлишки енергії або

коригувати споживання в реальному часі. Важливо забезпечити прозору платформу для взаємодії постачальників та споживачів, що вимагає співпраці урядових структур, регуляторів та енергетичних компаній.

Для підтримки стартапів потрібно створити інкубатори, фінансові механізми та доступ до міжнародних грантів. Важливим є також розвиток партнерств з іноземними інвесторами та створення мережі акселераторів у сфері енергетичних цифрових рішень.

Навчання фахівців у галузі цифрових технологій вимагає розробки національних освітніх програм та курсів підвищення кваліфікації. Важливо також стимулювати молодих спеціалістів через стажування та стипендії.

Інтеграція цифрових технологій в енергетику потребує системного підходу та адаптації міжнародного досвіду до локальних умов для підвищення ефективності енергосистеми та зміцнення енергетичного сектору.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі досліджено питання діджиталізації як важливого інструменту підвищення енергетичної ефективності та декарбонізації на національному рівні. У процесі дослідження були визначені основні теоретичні аспекти діджиталізації, енергетичної ефективності та стратегії декарбонізації, що дозволило сформулювати комплексне розуміння цих процесів у контексті сучасної енергетичної політики.

У першому розділі дипломного проєкту досліджено сутнісно-змістовні аспекти діджиталізації, її вплив на сталий розвиток та значення енергетичної ефективності. Проаналізовано інструменти декарбонізації, які широко застосовуються у міжнародній практиці. Вивчено досвід низки країн за факторами енергоефективності та декарбонізації на основі дослідження індексів енергетичної трилеми, індексів зеленого майбутнього та індексів готовності до чистих нульових викидів.

В другому розділі дипломного дослідження проаналізовано роль цифрових інструментів у підвищенні енергетичної ефективності, розкрито підходи до діджиталізації в процесі декарбонізації та запропоновано інтеграцію цифрових технологій у національну енергетичну політику. Встановлено наявність взаємозв'язків між діджиталізацією та декарбонізацією на основі індексного методу та кореляційно-регресійного аналізу.

Третій розділ кваліфікаційної роботи магістра присвячений перспективам розвитку діджиталізації у сфері енергетики, а також вивченню інноваційних рішень для зменшення викидів вуглецю. Крім того, надано рекомендації щодо ефективного впровадження цифрових технологій в Україні, зокрема у сфері управління енергоефективністю та декарбонізацією.

Загалом, діджиталізація відіграє ключову роль у модернізації енергетичної системи та зниженні викидів вуглецю. Запровадження цифрових технологій сприятиме гнучкішому управлінню енергетичними ресурсами, підвищенню енергоефективності та досягненню цілей декарбонізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. What is Digitalization? And Why Is It Important?
<https://www.honeywellforge.ai/us/en/learn/blog/what-is-digitalization-and-why-its-important>
2. Tilen Gorenšek, Andrej Kohont. Conceptualization of digitalization: opportunities and challenges for organizations in the euro-mediterranean area. Vol. 11 (2), 2018
https://emuni.si/wp-content/uploads/2020/01/IJEMS-2-2019_93%E2%80%93115.pdf
3. Gather. (March 9, 2024) The Difference between Digitization, Digitalization, and Digital Transformation: Explained.
<https://www.gatherinsights.com/en/resources/blog/the-difference-between-digitization-digitalization-and-digital-transformation-explained>
4. Google trends. <https://trends.google.com.ua/trends/explore?date=today%205-y&q=digitization,digitalization,digital%20transformation&hl=uk>
5. Iryna S. Pypenko, Yuriy B. Melnyk. Principles of digitalisation of the state economy. International Journal of Education and Science. 2021. 4(1):42-50.
https://www.researchgate.net/publication/352730533_Principles_of_digitalisation_of_the_state_economy
6. Energy Efficiency. <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/energy-efficiency>
7. Serap Pelin Türkoğlu, Pınar Sezin Öztürk Kardoğan. The Role and Importance of Energy Efficiency for Sustainable Development of the Countries. Proceedings of 3rd International Sustainable Buildings Symposium 2018.
https://www.researchgate.net/publication/324110795_The_Role_and_Importance_of_Energy_Efficiency_for_Sustainable_Development_of_the_Countries
8. World Energy Trilemma 2024: Evolving with Resilience and Justice.
<https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-report-2024>
9. World Energy Trilemma 2024: Evolving with resilience and justice. World Energy

- Council. England and Wales No. 4184478.
https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World_Energy_Trilemma_2024_Full_Report.pdf?v=1721938251
10. Energy Trilemma Index. World Energy Council <https://trilemma.worldenergy.org/>
11. WE_Trilemma_Index_2021.
https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WE_Trilemma_Index_2021.pdf
12. What is decarbonization? <https://www.ibm.com/topics/decarbonization>
13. Maynard, I., Abdulla, A., Estimating thermal energy loads in remote and northern communities to facilitate a net-zero transition. Environmental Research: Infrastructure and Sustainability, 2023, 3(1), 011001. URL: https://www.researchgate.net/publication/368231925_Estimating_thermal_energy_loads_in_remote_and_northern_communities_to_facilitate_a_net-zero_transition
14. KPMG IMPACT. (2021). Net Zero Readiness Index 2021. URL: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2021/10/net-zero-readiness-index.pdf>
15. Матвеева Ю.А., Желіба В.В. Особливості промоції зелених енергетичних інновацій у світовій практиці. Міжнародна науково-практична конференція «Управлінські парадигми сталого розвитку та інклюзивного економічного зростання», 29 - 30 листопада 2023 року. С. 99–102.
16. Матвеева Ю.А. Рибальченко С.М., Опанасюк Ю.А., Таранюк К.В. & Желіба В.В. (2024). Елементи організаційного механізму та стимулювання трансферу енергетичних інновацій». Управління змінами та інновації, (11), 7-14;
17. 11 Best Energy Management Systems (EMS) in 2024 [Full Review]. ClimateSort. <https://climatesort.com/energy-management-system/>
18. Shaping Europe's digital future. An official website of the European Union. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>
19. Wikipedia, the free encyclopedia. ICT Development Index. https://en.wikipedia.org/wiki/ICT_Development_Index
20. Fostering Effective Energy Transition 2023. World Economic Forum

- <https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2023/>
21. Software that accelerates a new era of energy. <https://www.ge.com/digital/>
22. GE siemens.com Global Website
[ps://www.siemens.com/us/en/products/energy/topics/smart-grid.html](https://www.siemens.com/us/en/products/energy/topics/smart-grid.html)
23. Блінов І., Денисюк С. Цифрова трансформація в електроенергетиці: світові тенденції, особливості реалізації в ОЕС України та заходи щодо впровадження сучасних європейських та міжнародних стандартів у сфері розвитку «розумних мереж»
24. Scopus.com. URL: <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=61a7a82c1d60a4893e8ed4775e8065ab&sot=a&sdt=a&sl=49&s=TITLE-ABS-KEY%28digitalization+AND+decarbonization%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results>
25. Sakun, L., Viedienina, Y., Khomenko, M., Rieznik, D., Kovalenko, M. Introduction of Energy Storage Facilities as an Element of Industry 4.0 of the Energy Sector of Ukraine. Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2022.
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85147325285&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=f0e8cd6b87c3b54268cbf0b627a367a9&sot=a&sdt=cl&cluster=scoaffilctry%2C%22Ukraine%22%2Ct&s=TITLE-ABS-KEY%28digitalization+AND+decarbonization%29&sl=49&sessionSearchId=f0e8cd6b87c3b54268cbf0b627a367a9&relpos=3>
26. Maksymova I., Savelyev, Y., Zvarych, I., Sachenko, S., Lishchynskyy, I. (2023)
27. Global Differentiation of Climate-digital Projects in Terms of Low-carbon Economy. Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS, 859–864 p. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85184802523&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=f0e8cd6b87c3b54268cbf0b627a367a9&sot=a&sdt=cl&cluster=scoa>

- [ffilctry%2C%22Ukraine%22%2Ct&s=TITLE-ABS-KEY%28digitalization+AND+decarbonization%29&sl=49&sessionSearchId=f0e8cd6b87c3b54268cbf0b627a367a9&relpos=0](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85184742104&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=f0e8cd6b87c3b54268cbf0b627a367a9&sot=a&sdt=cl&cluster=scoaffilctry%2C%22Ukraine%22%2Ct&s=TITLE-ABS-KEY%28digitalization+AND+decarbonization%29&sl=49&sessionSearchId=f0e8cd6b87c3b54268cbf0b627a367a9&relpos=0)
28. Issatayeva, F., Aubakirova, G., Rudko, G., Mausymbaeva, A., Madysheva, R. Transformation of industrial enterprises in the countries with transitional economies: the digital aspect. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2023, 1(457), p. 72–91. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85184742104&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=f0e8cd6b87c3b54268cbf0b627a367a9&sot=a&sdt=cl&cluster=scoaffilctry%2C%22Ukraine%22%2Ct&s=TITLE-ABS-KEY%28digitalization+AND+decarbonization%29&sl=49&sessionSearchId=f0e8cd6b87c3b54268cbf0b627a367a9&relpos=1>
29. Maksymova I., Mietule I., Kulishov V. Digital Solutions for a Climate Neutral Economy: International Framework of Eco-Digital Projects. Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources. 2023. 1, p. 123–127. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85171326028&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=f0e8cd6b87c3b54268cbf0b627a367a9&sot=a&sdt=cl&cluster=scoaffilctry%2C%22Ukraine%22%2Ct&s=TITLE-ABS-KEY%28digitalization+AND+decarbonization%29&sl=49&sessionSearchId=f0e8cd6b87c3b54268cbf0b627a367a9&relpos=2>
30. Unece. Renewables could power almost 80% of Ukraine's economy by 2050, says UN report. 2023. URL: <https://unece.org/sustainable-development/press/renewables-could-power-almost-80-ukraines-economy-2050-says-un-report>
31. Iea Achieving Net Zero Electricity Sectors in G7 Members. Executive summary URL: <https://www.iea.org/reports/achieving-net-zero-electricity-sectors-in-g7-members/executive-summary>
32. 10 key energy actions that can help safeguard Ukraine’s fragile energy security

- through the coming winter and beyond URL: <https://www.iea.org/>
33. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights>
34. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE: <https://www.ise.fraunhofer.de/en.html>
35. NERC CIP (Critical Infrastructure Protection). <https://www.nerc.com/Pages/default.aspx>
36. European Innovation Council (EIC). <https://eic.ec.europa.eu/>
37. Israel Innovation Authority. <https://innovationisrael.org.il/en>
38. Економетрика в електронних таблицях : навч. посіб. / Васильєва Н. К., Мироненко О. А., Самарець Н. М., Чорна Н. О. ; за заг. ред. Н. К. Васильєвої. – Дніпро : Біла К. О., 2017. – 149 с
39. Матвєєва Ю.А., Желіба В.В. Стратегії та інструменти декарбонізації. Міжнародна науково-практична конференція «Управлінські парадигми сталого розвитку та інклюзивного економічного зростання», 29 - 30 листопада 2024 року.
40. Matvieieva Yu. A., Opanasiuk Yu. A., Zheliba V. V., Bohdan E. I. The role of digitalization in energy efficiency management and transition to a carbon-neutral economy. Kyiv Economic Scientific Journal. № 7 / 2024. <https://www.journals.kyiv.ua/index.php/economy/issue/archive>