

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет

Науково-навчальний інститут бізнесу, економіки та менеджменту
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Олександра КАРІНЦЕВА

(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 051 Економіка

(код та назва)

освітньо-професійної програми Економіка і бізнес

(освітньо-професійної / освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: «Драйвери та бар'єри декарбонізації національної економіки: досвід країн-членів ЄС»

Здобувача(ки) групи ЕН-92/1е Півня Владислава Сергійовича

(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

_____ (підпис)

Владислав ПІВЕНЬ

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

д.е.н., професор Олександр КУБАТКО

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

_____ (підпис)

Суми – 2023

АНОТАЦІЯ

Оскільки кліматичні зміни є одним із суттєвих викликів сучасності, існує необхідність більш детально проаналізувати механізми декарбонізації соціоекономічних систем. Метою роботи є дослідження ключових драйверів та бар'єрів декарбонізації на прикладі країн Європейського Союзу для врахування в українській економіці. У першому розділі обґрунтовано необхідність здійснення декарбонізації на локальному та глобальному рівнях, розглянуто сутність декарбонізації економічних процесів, надано її загальну характеристику; здійснено огляд наукових публікацій щодо чинників декарбонізації. У другому розділі здійснено емпіричну оцінку впливу соціально-економічних, політичних, енергетичних і технологічних факторів на декарбонізацію економіки. З'ясовано, що відновлювальна енергетика, високі показники економічного розвитку, технологічний прогрес є драйверами декарбонізації, у той час як корупція та високе загальне енергоспоживання є бар'єрами зниження карбономісткості ВВП. У третьому розділі охарактеризовано основні інструменти декарбонізації та можливості їх застосування в Україні, сформульовано рекомендації щодо прискорення процесів декарбонізації національної економіки.

Ключові слова: декарбонізація, драйвери, національна економіка, низьковуглецева економіка, сталий розвиток.

SUMMARY

Since climate change is one of the essential challenges of modern times, there is a need to analyze the mechanisms of decarbonization of socioeconomic systems in more detail. The purpose of the work is to study the key drivers and barriers of decarbonization on the example of the countries of the European Union for consideration in the Ukrainian economy. In the first chapter, the necessity of decarbonization at the local and global levels is substantiated, the essence of the decarbonization of economic processes is considered, and its general characteristics are given; a review of scientific publications on the factors of decarbonization was carried out. In the second chapter, an empirical assessment of the impact of socio-economic, political, energy, and technological factors on the decarbonization of the economy is conducted. It was found that renewable energy, high rates of economic development, and technological progress are drivers of decarbonization, while corruption and high overall energy consumption are barriers to reducing the carbon intensity of GDP. In the third chapter, the main decarbonization tools and the possibilities of their application in Ukraine are characterized, and recommendations are formulated for accelerating the processes of decarbonization of the national economy.

Keywords: decarbonization, drivers, national economy, low-carbon economy, sustainable development.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ.....	7
1.1. Передумови та загальна характеристика декарбонізації глобальної та національної економіки.....	7
1.2. Аналіз публікацій щодо ключових драйверів та бар'єрів переходу до низьковуглецевої економіки	12
РОЗДІЛ 2. ЕМПІРИЧНИЙ АНАЛІЗ КЛЮЧОВИХ ДРАЙВЕРІВ ТА БАР'ЄРІВ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ	16
2.1. Побудова економетричних моделей та специфікаційні тести	16
2.2. Результати емпіричної оцінки економетричних моделей.....	19
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ ДЕКАРБОНІЗАЦІЙНИХ СТРАТЕГІЙ В УКРАЇНІ	25
3.1. Практичні аспекти декарбонізації національної економіки	25
3.2. Перспективи декарбонізації економіки України в повоєнний період.....	31
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	42
ДОДАТКИ.....	48

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Кліматичні зміни є одним із суттєвих викликів сучасності, що впливають на функціонування соціоекономічних систем. Паризька угода 2015 р. наголосила на необхідності стримувати глобальне потепління через зобов'язання національних урядів скоротити викиди парникових газів (зокрема, діоксиду вуглецю) та подолати вже існуючі наслідки кліматичних змін [3]. Декарбонізація економіки сприятиме досягненню поставлених світовою спільнотою цілей, прискорить перехід до сталого розвитку, допоможе зберегти екосистему планети та здоров'я людей. Розвиток України в повоєнний період має враховувати кращі стратегії декарбонізації як на мікро-, так і на макрорівні для якісної та «зеленої» відбудови національної економіки та її ефективної інтеграції до Європейського Союзу.

Питання декарбонізації глобальної та національної економіки знайшло відображення в працях українських та іноземних науковців: Л. Василюшиної, О. Веклич, Л. Мельника, N. Apergis, J. Payne, P. Sadorsky, D. Stern та інших. Однак, подальшого вивчення потребує визначення впливу різних факторів на декарбонізацію, виокремлення її драйверів та бар'єрів.

Таким чином, актуальність зазначеної тематики, її теоретична та практична значущість обумовили вибір теми роботи.

Мета роботи – дослідити ключові драйвери та бар'єри декарбонізації на прикладі країн Європейського Союзу для врахування в українській економіці.

Відповідно до мети роботи були поставлені наступні основні **завдання**:

- обґрунтувати необхідність здійснення декарбонізації на локальному та глобальному рівнях.
- розглянути сутність декарбонізації економічних процесів та надати її загальну характеристику;
- здійснити огляд наукових публікацій щодо чинників декарбонізації;

- оцінити емпірично вплив соціально-економічних, політичних, енергетичних і технологічних факторів на декарбонізацію економіки;
- охарактеризувати основні інструменти декарбонізації та можливості їх застосування в Україні.
- сформулювати рекомендації щодо прискорення процесів декарбонізації національної економіки.

Об'єктом дослідження є процес декарбонізації національної економіки, його драйвери та бар'єри.

Предмет дослідження – теоретико-методичні та практичні аспекти декарбонізації економіки України.

Під час написання роботи були використані наступні **методи дослідження**: загальнотеоретичні (аналіз, синтез; компаративний, системно-структурний аналіз) та емпіричні (комплексний аналіз панельних даних методом регресії випадкових ефектів, оціночні тести: специфікаційний тест Хаусмана, специфікаційний тест Breusch і Pagan, кореляційна матриця). Застосування PEST-аналізу з елементами сценарного методу дозволило оцінити повоєнний стан економіки та суспільства України та сформулювати рекомендації щодо прискорення декарбонізації.

Під час проведення дослідження було використано значну кількість **програмного забезпечення** (VOSViewer – для проведення бібліометричного аналізу джерел, Microsoft Excel та STATA 16.0 – для обробки даних та здійснення економетричного аналізу).

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Її загальний обсяг становить 50 сторінок.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

1.1. Передумови та загальна характеристика декарбонізації глобальної та національної економіки

Антропогенні викиди вуглекислого та інших парникових газів є ключовою причиною глобального потепління [38]. Згідно зі звітом Міжурядової панельної організації щодо кліматичних змін (IPCC), викиди парникових газів почали активно зростати після Першої промислової революції. Стрімкий економічний розвиток та пов'язані з цим процесом соціальні явища (наприклад, урбанізація) призвели до концентрації вуглекислого газу, метану та оксиду азоту в атмосфері, які є безпрецедентними принаймні за останні 800 тисяч років. У свою чергу, температура повітря за останні триста років у середньому зросла на 1,2-1,5 градуси Цельсія і продовжує зростати [46].

Зміна клімату має наслідком серйозні екологічні проблеми, що прямо впливають на життя людей, зокрема: екстремальні погодні явища (повені, засухи, шторми); загальне підвищення рівня моря та порушення водних екосистем [28]. Деякі дослідники наголошують на негативних наслідках глобального потепління для громадського здоров'я через загострення респіраторних та алергічних захворювань. Наприклад, утворення приземного озону викликає ускладнення дихання та погіршує здоров'я легень [39]. Крім того, країни, що емітують значну кількість парникових газів, часто є найбільшими забруднювачами довкілля іншими небезпечними речовинами, що суттєво погіршують загальне здоров'я та підвищують смертність.

Існує необхідність проаналізувати більш детально сучасний стан викидів парникових газів. Так, на рис. 1.1 відображено глобальні викиди парникових газів за період 1991-2020 рр. Лінійний тренд показує тенденцію до зростання таких викидів: у 1991 році – їх обсяг становив 30 761 180 тис. тонн, тоді як у 2020 р. – 48 116 560 тис. тонн. Зростання зумовлене насамперед економічним

зростанням, індустріалізацією та спалюванням викопного палива для отримання енергії. У регіональному розрізі в 2020 році найбільшими емітентами парникових газів були Китай, США та Індія. Серед парникових газів найбільшу частку має діоксид вуглецю (74,4%), метан (17,3%), нітроген оксид (6,2%) та інші гази.

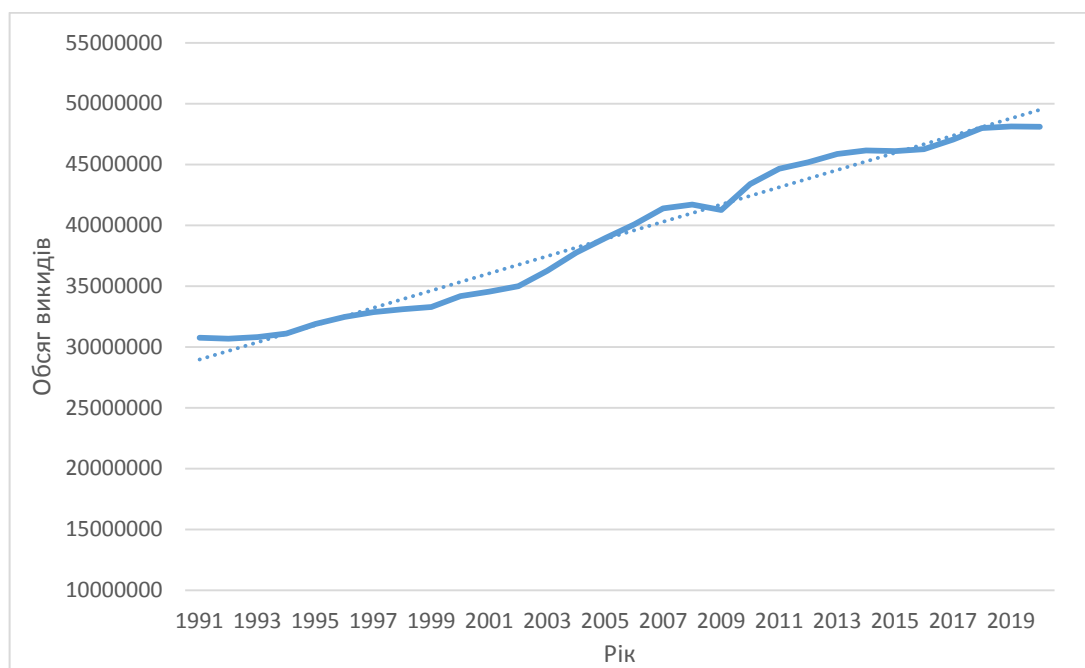


Рис. 1.1 – Викиди парникових газів у світі в 1991-2020 рр., тис. тонн CO₂ еквіваленту (створено автором на основі [33])

Викиди парникових газів в Україні загалом знижуються: у 1991 році їх обсяг становив 782 495 тис. тонн CO₂ еквіваленту, тоді як у 2020 році – 221 650 тис. тонн. Лінійна лінія тренду підтверджує чітку тенденцію до зниження викидів, а наявність незначних флуктуацій пояснюється циклічними періодами падіння (зростання) економічної активності (рис. 1.2). Так, відбулося певне зниження (понад тренд) викидів під час економічних криз 2007-2009 рр. та 2014-2015 рр. Загальний низхідний тренд можна пояснити скороченням виробництва в основних енергоємних галузях промисловості, осучасненням основного капіталу на підприємствах металургійної та енергетичної галузей.

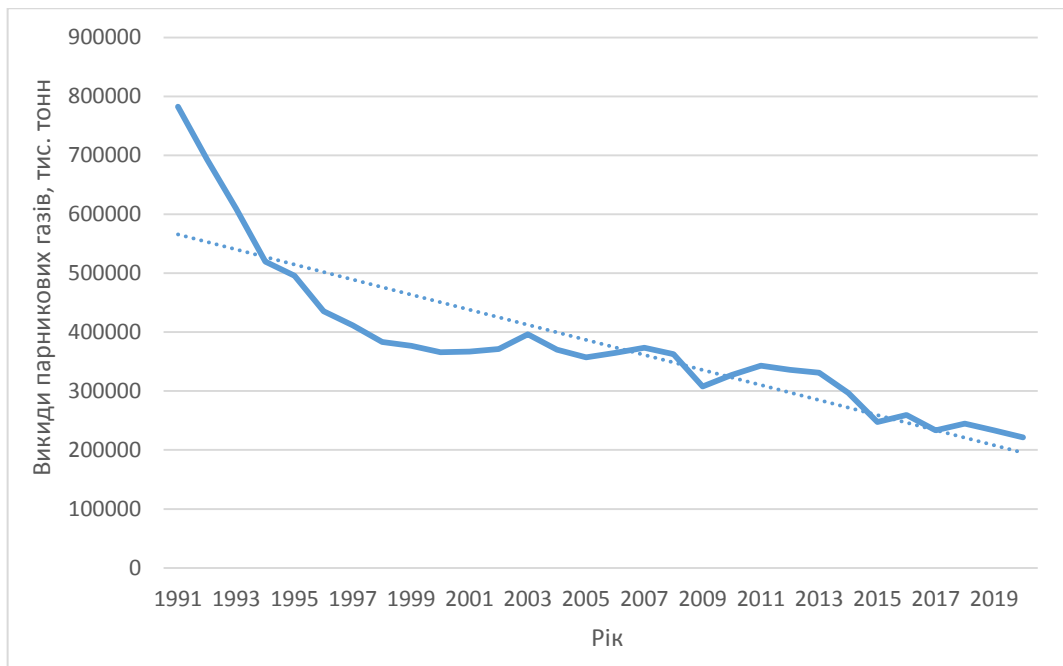


Рисунок 1.2. – Викиди парникових газів в Україні в 1991-2020 рр., тис. тонн CO₂ еквіваленту (створено автором на основі [33])

Іншим важливим показником є карбономісткість ВВП – кількість викидів діоксиду вуглецю на одиницю випуску виробленої кінцевої продукції чи послуги [16].

Ефективним засобом реагування на причини та наслідки кліматичних змін є декарбонізація. Існують різні підходи до визначення дефініції «декарбонізація». У таблиці 1 наведено деякі з них. Загалом, усі визначення висвітлюють думку про важливість декарбонізації в досягненні кліматичних цілей (зменшення вуглецевого сліду, перехід до кліматичної нейтральності та ін.).

Таблиця 1.1. – Підходи до визначення дефініції «декарбонізація»

№	Визначення
1	Декарбонізація – процес зменшення викидів CO ₂ через перехід до сталої енергії, підвищення енергоефективності [6].
2	Декарбонізація – це системне зменшення вуглецевого сліду в економіці завдяки впровадженню відповідних технологій, політик і практик [1].
3	Декарбонізація – це довгостроковий інструмент досягнення кліматичної нейтральності через зменшення викидів парникових газів [46].

Окрім пом'якшення кліматичних змін, декарбонізація має ряд інших суттєвих переваг, зокрема економічного, соціального та технологічного характеру. Так, перехід до економіки з низьким вмістом вуглецю має потенціал для стимулювання сталого економічного зростання та позитивного соціального ефекту у вигляді створення нових робочих місць. Крім того, декарбонізована економіка меншою мірою залежить від викопного палива. Ціни на традиційні енергоресурси мають суттєвий рівень флуктуацій, а їх доступність може залежати від геополітичних факторів [17]. Диверсифікуючи енергетичну структуру споживання та інвестуючи у відновлювані джерела енергії, можна підвищити енергетичну безпеку, зменшити залежність від імпортного палива та забезпечити стабільність енергетичного ринку.

Поліпшення здоров'я населення є однією з суттєвих переваг низьковуглецевої економіки. Традиційні джерела енергії, такі як вугілля та нафта, забруднюють екосистеми та, відповідно, мають негативний вплив на здоров'я населення [30]. Перехід до більш чистих джерел енергії, таких як вітрова чи сонячна, може зменшити загальний рівень забруднень, звести до мінімуму респіраторні захворювання та покращити загальні показники громадського здоров'я.

Іншим аргументом на користь декарбонізації є підвищення ефективності використання ресурсів. Застосовуючи сталі практики (переробку, скорочення відходів) і принципи циркулярної економіки, є можливість мінімізувати виснаження ресурсів та підвищити ефективність їх використання [58]. Перехід до економіки з низьким вмістом вуглецю вимагає розробки та впровадження інноваційних технологій і рішень. Необхідність технологічного прогресу може стимулювати дослідження та розробки, сприяти посиленню співпраці між різними секторами економіки та призвести до прориву в «зелених» галузях (відновлювальній енергетиці, акумулюванні енергії та екологічному транспорті).

Підсумовуючи переваги декарбонізаційних процесів, можна стверджувати, що вони є основою переходу до сталого розвитку. Концепція

сталого розвитку полягає в гармонійному поєднанні економічної, соціальної та екологічної компонент та передбачає задоволення потреб сучасного покоління, не нехтуючи інтересами майбутнього.

Поряд із значними перевагами, існують певні виклики, пов'язані з ефективною декарбонізацією. Упровадження низьковуглецевих технологій та інфраструктури часто вимагає значних початкових інвестицій. Проекти з відновлюваної енергетики, енергоефективні будівлі та стійкі транспортні системи можуть мати вищу початкову вартість та довший період окупності порівняно з аналогами, що працюють на викопному паливі. Пошук необхідних фінансових ресурсів для підтримки цих інвестицій може бути проблемою, особливо для країн, що розвиваються [32]. Крім того, існують певні технологічні виклики. Наприклад, перехід до низьковуглецевої економіки передбачає заміну традиційних централізованих мереж децентралізованими (або інтеграцію обох систем). Оновлення та модернізація інфраструктури електромереж, впровадження сучасних систем управління й технологій розумних мереж необхідні для забезпечення більш високого рівня виробництва відновлювальної енергії.

Питання сутності й темпів декарбонізації регулюється рядом міжнародних та локальних нормативних документів, зокрема: Паризькою кліматичною угодою, Європейським зеленою угодою. Паризька кліматична угода 2015 р. – домовленість світової спільноти зберегти підвищення температури в межах 1,5 градуса за Цельсієм [36]. Відповідно до угоди, кожна з країн-підписантів має представити план щодо зниження викидів діоксиду вуглецю в контексті власних кліматичних таргетів та стратегій переходу до низьковуглецевого майбутнього. Важливим аспектом є підзвітність та прозорість, оскільки національні уряди мають звітувати про прогрес у досягненні кліматичних цілей. Фінансова підтримка країн, що розвиваються, є ще однією домовленістю, досягнутої в рамках Паризької угоди [27]. Крім того, держави-підписанти мають співпрацювати в рамках обміну технологій та знань, поширювати кращі практики декарбонізації. Європейська зелена угода

(European Green Deal) – план Європейського Союзу щодо досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року (Європа має стати першим таким континентом). Іншим важливим завданням є скорочення викидів вуглекислого газу принаймні на половину від рівня 1990 року. Пріоритетним є розвиток сталого транспорту – перехід до електромобілів, створення відповідної інфраструктури, розширення мережі громадського транспорту. Фінансова та інвестиційна підтримка запланованих декарбонізаційних політик здійснюється в рамках механізму «справедливого переходу» («just transition»), що охоплює підтримку економік, найбільш залежних від викопного палива, країн із несприятливими географічними умовами [26]. Важливим є акцент Європейської зеленої угоди на ресурсозбереження та ефективність через перехід до циркулярної економіки.

1.2. Аналіз публікацій щодо ключових драйверів та бар'єрів переходу до низьковуглецевої економіки

Для формування комплексного підходу щодо аналізу ключових детермінант низьковуглецевої економіки важливо проаналізувати наявний науковий досвід. Так, використовуючи наукометричну базу Scopus та програмне забезпечення VOSViewer, було здійснено бібліографічний аналіз публікацій за тематикою, що досліджується. Пошук у базі даних Scopus здійснювався за ключовими словами: «decarbonization», «CO₂» та «drivers». Було встановлено часове обмеження 2012-2022 рр. та галузеве обмеження «Economics, Econometrics and Finance», «Environmental Science», «Business, Accounting and Management». За його результатами було знайдено 2192 відповідних результати із чітким трендом до зростання публікаційної активності на задану тематику, що підкреслює актуальність обраного напрямку дослідження. Згідно з рисунком 1.3 – у 2012 р. було опубліковано 58 праць, тоді як у 2022 р. – 400.

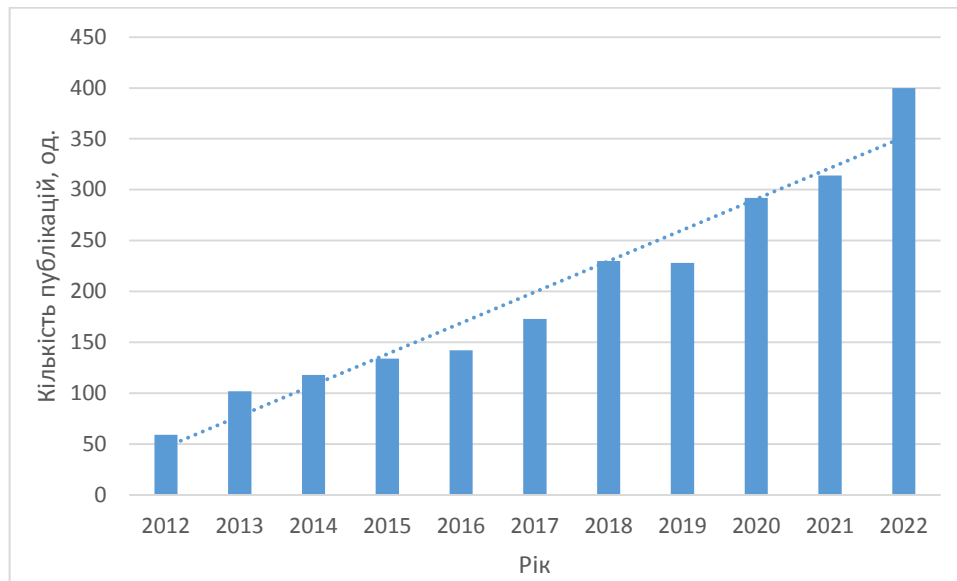


Рис. 1.3 – Кількість публікацій щодо факторів декарбонізації в Scopus

Наступний етап бібліографічного аналізу – здійснення автоматичної кластеризації за допомогою програмного забезпечення VOSViewer. Результатом стала відповідна мережева мапа з чотирма основними кластерами (рис. 1.4):

- перший (жовтий) кластер включає ключові слова, пов'язані з екологічною складовою викидів вуглекислого газу та їхніми наслідками, зокрема: глобальне потепління, контроль за викидами, декомпозиція.
- другий (червоний) кластер пов'язаний із економічною складовою декарбонізації, зокрема: валовий внутрішній продукт (ВВП), економічне зростання, крива Кузнеця, економічний розвиток.
- третій (синій) кластер зосереджує ключові слова, які стосуються енергетично-економічної складової переходу до низьковуглецевої економіки, наприклад: відновлювальна енергія, викопне паливо, інвестиції.
- четвертий (зелений) кластер пов'язаний із методами дослідження декарбонізаційних драйверів та бар'єрів, а саме: аналіз життєвого циклу, контрольовані дослідження, оптимізаційний аналіз.

Проаналізувавши сім розвинених економік у 1990-2018 рр., учені Z. Khan і колеги дослідили роль фіскальної децентралізації, ВВП, людського капіталу, екоінновацій та інституційної якості для викидів вуглекислого газу [15]. Емпіричні результати підтвердили екопозитивний вплив усіх вищеперерахованих факторів. Безпосередньо драйвери декарбонізації розглядали в наступних дослідженнях. Застосовуючи метод STIRPAT для широкої вибірки зі 128 країн, K. Dong та ін. підтвердили суттєву роль відновлювальної енергетики в просуванні зниження вуглецевого сліду в глобальному вимірі [8]. Однак, існують певні регіональні відмінності розвитку економічних процесів, які варто враховувати. H. Iwata та колеги проаналізували екологічну криву Кузнеця для одинадцятьох високодохідних країн, використовуючи метод ARDL [14]. Результати свідчать про те, що споживання енергії позитивно впливає на викиди CO₂ у більшості країн дослідження, однак, вплив торгівлі не є статистично значущим. Підтверджено позитивну роль атомної енергетики у скороченні викидів CO₂, однак цей вплив було виявлено лише в деяких країнах.

Вплив соціальних та економічних факторів на викиди вуглекислого газу в коротко- та довгостроковій перспективі було проаналізовано в дослідженні I. Tebourbi et al [25]. Автори дійшли висновку, що базовим драйвером викидів є споживання енергії, тоді як прямі іноземні інвестиції (особливо зелені) дестимулюють цей процес. Дослідження демонструє, що збільшення урядових видатків на освіту та науку зменшує викиди CO₂ на різному часовому горизонті. Загалом, вплив соціоекономічних детермінант на екологічну стійкість розглядалися в праці Hossein-Ali Fakher, який емпірично підтвердив існування екологічної кривої Кузнеця [9]. Крім того, згідно з результатами автора підвищення рівня людського капіталу (вимірюваного як Індекс розвитку людського потенціалу) є драйвером декарбонізації, а графічне відображення впливу фінансового сектору має U-подібну форму.

Таким чином, обґрунтовано необхідність здійснення декарбонізації на локальному та глобальному рівнях. Так, температура атмосферного повітря за

останні триста років у середньому зросла на 1,2-1,5 градуси Цельсія, що має наслідком проблеми з функціонуванням екосистем та громадським здоров'ям. Визначено, що існують різні підходи до визначення дефініції «декарбонізація». Зокрема, декарбонізація – це системне зменшення вуглецевого сліду в економіці завдяки впровадженню відповідних технологій, політик і практик. Розглянуто сутність декарбонізації економічних процесів. Декарбонізація має ряд суттєвих переваг: стимулювання сталого економічного зростання, соціальний ефект через створення нових робочих місць у високотехнологічних «зелених» сферах, підвищення ресурсної ефективності. У той же час, існують ряд викликів, пов'язаних із впровадженням декарбонізаційних стратегій: необхідність значних початкових інвестицій в зелені проєкти, потенційно вищий термін їх окупності, недосконалість існуючих технологій. Здійснено огляд наукових публікацій, зокрема і засобами бібліометричного аналізу VOSViewer, щодо чинників декарбонізації. З'ясовано, що на перехід до низьковуглецевої економіки впливають не лише економічні чи енергетичні фактори, а й соціальні, політичні та технологічні чинники.

РОЗДІЛ 2. ЕМПІРИЧНИЙ АНАЛІЗ КЛЮЧОВИХ ДРАЙВЕРІВ ТА БАР'ЄРІВ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ

2.1. Побудова економетричних моделей та специфікаційні тести

На основні теоретичного аналізу було виявлено ряд факторів, які потенційно можуть впливати на декарбонізаційні процеси. Наступним кроком стала емпірична оцінка впливу цих чинників. Інформаційною базою дослідження були авторитетні міжнародні організації та рейтингові агентства, зокрема: Світовий банк [54], Євростат [51], Transparency International [48] та the Heritage Foundation [45]. Часові рамки аналізу охоплюють 2013-2021 рр., що були обрані для використання найбільш сучасних із доступних даних. Для дослідження було використано країни Європейського Союзу з наступних причин: по-перше, Європейський Союз має спільні кліматичні таргети (зокрема, стати першим кліматично нейтральним континентом до 2050 року), законодавчо закріплені в Європейському зеленому курсі. По-друге, енергетична та екологічна політика цієї організації є спільною прерогативою як національних урядів, так і наднаціональних утворень (зокрема, Європейської Комісії), що допомагає мати баланс між конвергенцією та дивергенцією економік ЄС в контексті потенційного переходу до вуглецевої нейтральності. Крім того, ЄС має значний досвід та ефективні практики щодо декарбонізації, які варто враховувати Україні як кандидату на членство в цій організації.

Для оцінки впливу факторів було застосовано дві економетричні моделі.

Перша модель:

$$GHG_t = f(EC_t, RE_t, SERV_t, COR_t, EF_t, GDP_t, TECH_t)$$

GHG_t – обсяг викидів парникових газів на душу населення (тисяч метричних тонн CO_2 еквів.)

EC_t – споживання енергії на душу населення (тисяч тонн нафтового еквів.)

RE_t – частка відновлювальної енергії в загальному енергоспоживанні (%)

$SERV_t$ – частка послуг у ВВП (%)

COR_t - Індекс сприйняття корупції (0 – повністю корумпована країна, 100 – вільна від корупції країна)

EF – Індекс економічної свободи (0- не вільна економіка, 100 – вільна)

GDP_t – ВВП на душу населення (USD у постійних цінах 2015 р.).

$TECH_t$ – частка людей, зайнятих у високотехнологічному виробництві (%)

Друга модель:

$$INTENS_t = f(TE_t, RE_t, SERV_t, COR_t, EF_t, GDP_t, TECH_t)$$

$INTENS_t$ – карбономісткість ВВП (вуглецева інтенсивність ВВП, тисяч метричних тонн CO_2 /мільйон USD = метричних тонн CO_2 /1000 USD)

TE – загальне енергоспоживання (тисяч тонн нафтового еквіваленту)

Варто зауважити, що призначення кожної з моделей є різним. Перша економетрична модель спрямована оцінити вплив ключових драйверів викидів парникових газів, тоді як друга – вплив різних факторів на декарбонізацію економіки (через зменшення карбономісткості ВВП (вуглецевої інтенсивності ВВП)). Перед безпосереднім економетричним аналізом, варто здійснити перевірку змінних на можливу мультиколінеарність. Для реалізації поставленої мети засобами Microsoft Excel було підготовлено кореляційну матрицю. Відповідно до отриманих результатів (таблиця 2.1), у двох майбутніх моделях відсутня мультиколінеарність (відсутні коефіцієнти кореляції вищі по модулю за 0,7), що робить можливим подальшу економетричну оцінку зі збереженням усіх залежних та незалежних змінних.

Таблиця 2.1 – Кореляційна матриця

	<i>GHG</i>	<i>INTENS</i>	<i>TE</i>	<i>EC</i>	<i>RE</i>	<i>SERV</i>	<i>COR</i>	<i>EF</i>	<i>GDP</i>	<i>TECH</i>
<i>GHG</i>	1									
<i>INTENS</i>	0.012023	1								
<i>TE</i>	-0.04502	0.24441	1							
<i>EC</i>	0.686435	-0.42358	-0.01617	1						
<i>RE</i>	-0.39412	-0.12095	-0.15843	0.008235	1					
<i>SERV</i>	0.240543	-0.51373	0.063625	0.37239	-0.26299	1				
<i>COR</i>	0.425334	-0.59665	0.186345	0.656119	0.22998	0.289945	1			
<i>EF</i>	0.463294	-0.18885	-0.08059	0.449633	0.147268	-0.01519	0.672722	1		
<i>GDP</i>	0.626699	-0.66294	0.121484	0.837972	-0.08813	0.512051	0.647081	0.488892	1	
<i>TECH</i>	0.329774	-0.69567	0.176928	0.622134	-0.00762	0.401284	0.659428	0.429916	0.663745	1

Для визначення специфікації моделей було використано два тести (специфікаційний тест Хаусмана, специфікаційний тест Breusch і Pagan). Перш за все, щоб обрати між регресією випадкових, фіксованих ефектів та регресією за методом найменших квадратів було застосовано тест Breusch і Pagan.

Нульова гіпотеза передбачала, що застосування МНК є більш доцільним. Р-значення відкинуло нульову гіпотезу, отже, краще застосовувати регресію випадкових або фіксованих ефектів. Для остаточного вибору кращої специфікації необхідно здійснити тест Хаусмана. У цьому випадку нульова гіпотеза передбачала доцільність застосування методу випадкових ефектів й була підтверджена.

Таблиця 2.2 – Специфікаційний тест Breusch і Pagan

	Нульова гіпотеза	р-значення	Результат
Модель 1	Застосування МНК є більш доцільним	0.002	Застосування МНК не є доцільним
Модель 2		0.014	

Таблиця 2.3 – Специфікаційний тест Хаусмана

	Нульова гіпотеза	р-значення	Результат
Модель 1	Застосування методу випадкових ефектів є більш доцільним	0.248	Застосування методу випадкових ефектів є доцільним
Модель 2		0.624	

2.2. Результати емпіричної оцінки економетричних моделей

Використовуючи програмні можливості STATA 16.0, було отримані наступні результати (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Результати економетричної оцінки першої моделі

GHG _t	Коефіцієнт	Відхилення	z	P > z	95% інтервал довіри	
EC _t	3.1628	0,245108	12.90	0.000	2.682397	3.643203
RE _t	-0.15207	0.017725	-8.58	0.000	-0.1868125	-0.1173315
SERV _t	-0.14664	0,024774	-5.92	0.000	-0.1951961	-0.098082
COR _t	-0.029136	0,13968	-2.09	0.037	-0.056513	-0.001759
EF _t	0.059482	0,026726	2.23	0.026	0.0071005	0.1118636
GDP _t	-0.0000562	0.000017	-3.31	0.001	-0.0000894	-0.0000229
TECH _t	-0.005165	0.000017	-0.17	0.862	-0.0634229	0.0530936
конст.	13.65771	2.055425	6.64	0.000	9.629155	17.68627
Спост.	243 спостереження					
R-sq.	0.6503					

Здійснимо економічну інтерпретацію результатів оцінки першої моделі. При збільшенні споживання енергії на душу населення на 1 тис. тонн нафтового еквіваленту, обсяг викидів парникових газів на душу населення

збільшується на 3 тис. метричні тонни CO₂ еквіваленту. Таким чином, споживання енергії в різних галузях національної економіки є ключовим драйвером викидів CO₂. При збільшенні частки відновлювальної енергії в загальному енергоспоживанні на один процентний пункт, обсяг викидів парникових газів зменшується на 0,152 тис. метричні тонни.

При збільшенні частки сервісної економіки у ВВП на один процентний пункт, обсяг викидів парникових газів зменшується на 0,147 тис. метричні тонни. Надання послуг сприяє дематеріалізації економічних систем, підвищенню ролі людського капіталу та інтелектуалізації у створенні ВВП [4]. Окремим важливим аспектом сервісної економіки є віртуалізація – перехід до використання онлайн-платформ та інших Інтернет-сервісів для функціонування власного бізнесу. Сфера послуг передбачає і поширення нових бізнес-моделей, спрямованих на досягнення ресурсної ефективності та екологічної сталості (наприклад, шерингові підприємства).

Корупція призводить до більших викидів вуглекислого газу, а при зростанні рейтингових балів в Індексі сприйняття корупції на одиницю (при зменшенні корупції в державі), викиди парникових газів зменшуються на 0,029 тис. метричні тонни. У той же час, економічна свобода стимулює викиди CO₂, що, на нашу думку, можна пояснити необхідністю регулювання сфери промислового виробництва в контексті викидів забруднюючих/парникових речовин. Крім того, надмірний рівень економічної свободи часто пов'язаний з перегріванням економіки, суттєвим зростанням промислового виробництва, що й призводить до підвищення емісії CO₂ [11].

При зростанні ВВП на душу населення на 1 000 USD, викиди парникових газів знижуються на 0,056 тис. метричні тонни. Дослідження демонструють різні підходи до формулювання залежності між ВВП і викидами CO₂, зокрема в контексті можливого існування екологічної кривої Кузнеця. Екологічна крива Кузнеця (ЕКС) — це теоретична концепція, що передбачає можливий зв'язок між економічним зростанням і негативним впливом на навколишнє середовище (environmental degradation). Ця гіпотеза передбачає, що зі збільшенням доходу

на душу населення негативний вплив на довкілля спочатку зростає, досягаючи піку, а потім починає знижуватися. Науковець припускав, що на ранніх стадіях економічного зростання індустріалізація та збільшення виробництва сприяють забрудненню навколишнього середовища та виснаженню ресурсів [22]. Однак, оскільки суспільства стають багатшими та технологічно розвиненішими, вони краще здатні вирішувати екологічні проблеми за допомогою політичних втручань, технологічних інновацій, зміни існуючих бізнес-моделей, переходу до сталих практик. У результаті це призводить до зниження деградації навколишнього середовища. Отриманий нами результат може бути пояснений перебуванням країн ЄС на спадній частині кривої Кузнеця, що обумовлено загалом високим соціально-економічним розвитком країн-членів цієї організації.

Таблиця 2.5 – Результати економетричної оцінки другої моделі

INTENS_t	Коефіцієнт	Відхилення	z	P > z 	95% інтервал довіри	
TE _t	0,00000118	0.000000558	2.12	0.034	0.00000227	0.00000875
RE _t	-0,0086451	0.0012666	-6.83	0.000	-0.0111276	-0.0061626
SERV _t	-0,0147901	0.0018285	-8.09	0.000	-0.0183738	-0.0112064
COR _t	-0.0025292	0.0010118	-2.50	0.012	-0.0045123	-0.0005462
EF _t	-0.0018946	0.0019418	-0.98	0.329	-0.0057005	0.0019113
GDP _t	-0.00000785	0.00000117	-6.72	0.000	-0.0000101	-0.00000556
TECH _t	-0.0059785	0.0021487	-2.78	0.005	-0.0101898	-0.0017671
конст.	2.325751	0.1527863	15.22	0.000	2.026295	2.625207
Спост.	243 спостереження					
R-sq.	0.6157					

Здійснено економічну інтерпретацію результатів моделі 2 (таблиця 2.5). Отримані результати підтверджують, що підвищення загального рівня енергоспоживання збільшує карбономісткість ВВП і, відповідно, негативно впливає на вуглецеву ефективність. Дійсно, традиційна енергетика (як галузь національної економіки і суттєва компонента промислового виробництва) часто стає перешкодою ефективній трансформації економічного життя в напрямку декарбонізації. На нашу думку, це зумовлене двома основними причинами: об'єктивною складністю перебудови великої економіки, що значно залежить

від традиційних енергоносіїв. Друга причина – це небажання політичних та економічних груп (представників екстрактивних інститутів) відмовлятися від експлуатації наявних ресурсів. У свою чергу, відновлювальна енергетика є драйвером декарбонізації: при зростанні частки відновлювальної енергії в загальному енергоспоживанні на один процентний пункт карбономісткість падає на 0,008 метричних тонн/тис. USD. Урядам слід підвищувати частку відновлювальної енергії в загальному енергетичному споживанні, що матиме не лише екопозитивний ефект, а й диверсифікує енергосистему й підвищує енергетичну безпеку [24]. Підвищення частки сервісної економіки на один процентний пункт зменшує карбономісткість ВВП на 0,003 метричні тонни/тис. USD. Таким чином, сервісна економіка не лише зменшує викиди вуглекислого газу, а і є драйвером декарбонізації ВВП.

Результати засвідчують, що корупція як негативне соціоекономічне явище гальмує декарбонізаційні процеси. Таким чином, для досягнення кліматичних цілей і підвищення ресурсної ефективності, варто перебудовувати суспільне та економічне життя на засадах прозорості та відкритості. Крім того, особливо ускладнювати перехід до сталих практик може ресурсне прокляття (парадокс бідності) – надмірна залежність держав від багатства корисних копалин, що негативно впливає на довгострокове економічне зростання та політичну стабільність. Однак, сучасні дослідження показують, що країни, що володіють значною часткою природних ресурсів, не є приреченими [12]. Розвиток інклюзивних ринкових інститутів сприятиме подоланню цього парадоксу й переходу до сталого економічного зростання.

ВВП на душу населення має статистично значущий на карбономісткість економіки: при зростанні цього показника на 1000 USD – карбономісткість ВВП знижується на 0,785 метричні тонни/тис. USD. На нашу думку, цей результат можна пояснити тенденцією більш заможних суспільств до реструктуризації власних національних економік у контексті диверсифікації власної енергетичної системи, переходу до «зеленого» порядку денного, орієнтації на сервісну складову створення внутрішнього продукту.

При зростанні частки людей, зайнятих у високотехнологічному виробництві, на 1 процентний пункт – карбономісткість ВВП знижується на 0,006 метричні тонни/тис. USD. Технології лежать в основі енергоефективності (розробка Smart Grid, LED-освітлення), генерації відновлювальної енергії (сонячні панелі, вітряні турбіни, біоустановки), оптимізації мереж (аналіз великих даних, штучний інтелект), створенні винаходів та корисних моделей [13]. Таким чином, високі технології підвищують вуглецеву ефективність, сприяють гармонійній декарбонізації економіки.

Після оцінки двох моделей для отримання більш надійних результатів щодо можливої гетероскедастичності та автокореляції залишків, було використано аналіз панельних даних методом регресії випадкових ефектів із стійким відхиленням. Результати, наведені в додатку А, підтвердили раніше отримані значення без стійкого відхилення.

Таким чином, було здійснено емпіричну оцінку впливу соціально-економічних, політичних, енергетичних і технологічних факторів на декарбонізацію економіки в країнах Європейського Союзу в 2013-2021 рр.. Було побудовано дві моделі: перша економетрична модель спрямована оцінити вплив ключових драйверів викидів парникових газів, тоді як друга – вплив різних факторів на декарбонізацію економіки (через зменшення карбономісткості ВВП). Перед оцінкою моделей залежні та незалежні змінні було перевірено на мультиколінеарність й підтверджено її відсутність засобами побудови кореляційної матриці. Для визначення специфікації моделей було використано два тести (специфікаційний тест Хаусмана, специфікаційний тест Breusch і Pagan). Результати тестів вказали на необхідність використати аналіз панельних даних методом регресії випадкових ефектів. Результати оцінки першої моделі засвідчили, що ключовими факторами, що стимулюють більше викидів парникових газів, є енергетичне споживання, корупція та надмірний рівень економічної свободи, тоді як відновлювальна енергетика, сервісна економіка, високий ВВП на душу населення та розвиток технологій у середньому зменшують викиди парникових газів. Результати оцінки другої

моделі показали, що відновлювальна енергетика, високі показники економічного розвитку, технологічний прогрес є драйверами декарбонізації, у той час як корупція та високе загальне енергоспоживання є бар'єрами зниження карбономісткості ВВП.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ ДЕКАРБОНІЗАЦІЙНИХ СТРАТЕГІЙ В УКРАЇНІ

3.1. Практичні аспекти декарбонізації національної економіки

Реалізація декарбонізаційних стратегій полягає в комплексному підході до трансформації різних галузей економіки на різних структурних рівнях. Однак, є дві основні сфери, на які варто звернути особливу увагу: енергетика (це охоплює як виробництво, так і індустріальне споживання енергії), а також сільське господарство.

Перехід до електроенергії з низьким вмістом вуглецю (зменшення вуглецевої інтенсивності) є першим і основним кроком для декарбонізації енергетичної галузі. Реалізувати це можливо за допомогою відновлювальних джерел, які мінімізують викиди вуглекислого газу. Відновлювальні джерела енергії використовують різноманітні технології для перетворення природних джерел в електричну чи інші форми корисної енергії. Наприклад, сонячні панелі перетворюють сонячне світло в електрику за допомогою відповідного фотоелектричного ефекту [56]. Ці процеси перетворення не передбачають спалювання викопного палива і, отже, не призводять до викидів CO₂. Хоча системи відновлюваної енергетики самі по собі не створюють викидів парникових газів безпосередньо під час роботи, важливо враховувати весь життєвий цикл цих технологій, що включає процеси виробництва, монтажу, технічного обслуговування та виведення з експлуатації. Хоча на цих етапах життєвого циклу створюються деякі викиди, їх загальний обсяг значно нижчий порівняно з електростанціями, що працюють на викопному паливі. Однак, постійний інноваційний розвиток відновлюваних джерел енергії та використання більш сталих матеріалів ще більше скорочують викиди. Варто також зауважити, що інтеграція відновлювальних джерел енергії в електричну мережу може вимагати резервних джерел живлення для забезпечення стабільного постачання електроенергії [21]. У деяких випадках ці резервні джерела все ще можуть працювати на викопному паливі та емітувати парникові

гази. Тим не менш, дослідниками докладаються зусилля для розробки технологій накопичення енергії та вдосконалення систем управління мережею, щоб мінімізувати потребу в резервному живленні від електростанцій, що працюють на традиційних енергоносіях.

Розвиток відновлювальних джерел енергії в Україні в довоєнний період був динамічним: за період 2014-2021 рр. відбулося зростання частки ВДЕ в загальному енергетичному балансі більш ніж утричі. Однак, порівнюючи горизонтально з країнами Європейського Союзу, цей показник є недостатнім для успішної декарбонізації (Європейський Союз успішно досяг таргету в 20% ВДЕ в загальному енергобалансі в 2020 році) [51].

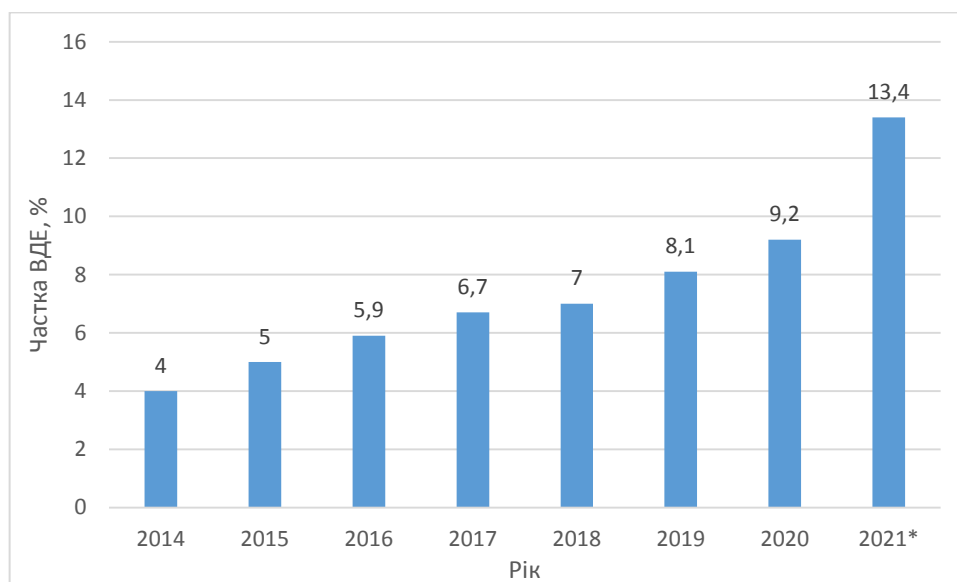


Рис. 3.1 – Частка ВДЕ в загальному енергетичному балансі України [49]

Дискусійним підходом реалізації декарбонізації є атомна генерація. Атомні електростанції не створюють викидів парникових газів безпосередньо під час виробництва електроенергії. Крім того, загалом протягом свого життєвого циклу атомні електростанції виробляють приблизно таку ж кількість викидів CO₂ на одиницю електроенергії, що й вітрова генерація [23]. Однак, важливо зазначити, що атомна енергетика створює інші серйозні екологічні виклики, такі як проблема тривалого зберігання та поводження з радіоактивними відходами; потенційні ризики, пов'язані з аваріями атомних

електростанцій, а також видобуток урану та пов'язаний з цим вплив на навколишнє середовище. З економічної точки зору, побудова АЕС вимагає суттєвих інвестицій і технологій, а період окупності є тривалим.

Згідно з рішенням Європейської Комісії, атомна енергія є низьковуглецевою, але не відновлювальною. Питання атомної генерації розділяє країни ЄС на противників (Німеччина – найбільша економіка ЄС, що в квітні 2023 року вивела з експлуатації останній енергоблок), прихильників (Франція – друга найбільша економіка ЄС з найбільшою кількістю атомних реакторів в організації; Угорщина) та країни, що давно відмовилися/ніколи не мали атомних електростанцій (Австрія, Люксембург). Наша держава має значні потужності атомної енергетики (чотири функціонуючих електростанції, які загалом виробляють 45-55% усієї електричної енергії України). Перспективним напрямком розвитку атомної енергетики є побудова малих модульних реакторів, що можуть стати якісною заміною теплової генерації, потребуватимуть менше початкових капіталовкладень і матимуть коротший період окупності [44].

Важливим кроком має стати відмова від вугілля, спалювання якого емітує найбільшу кількість CO₂. На перехідному етапі країни (які мають відповідні передумови) можуть замінити вугілля природним газом (coal-to-gas switching). Зрозуміло, що перехід від споживання одного викопного палива до іншого без обмежень сам по собі не дає довгострокового позитивного ефекту на зміну клімату, але використання менш карбономісткого палива може мати переваги в певних країнах чи секторах економіки. У деяких випадках природний газ також може надавати можливості, які не можуть бути рентабельно забезпечені низьковуглецевими альтернативами, наприклад, опалення при наднизьких температурах або, навпаки, високотемпературне тепло для промисловості [18].

Декарбонізація транспортної галузі є одним із суттєвих викликів переходу до низьковуглецевої економіки. Транспортна галузь сильно залежить від викопного палива та продуктів його переробки (переважно бензину та дизелю). Перехід галузі на електричну енергію має стати потужним драйвером

декарбонізації. Однак, упровадження електромобілів або транспортних засобів, що працюють на водні, потребує значних інвестицій в інфраструктуру. Зарядні станції для електромобілів і водневі заправні станції мають бути широко розгорнуті для масового впровадження. Створення такої інфраструктури є суттєвим матеріально-технічним та фінансовим викликом. Крім того, багато низьковуглецевих транспортних технологій наразі дорожчі, ніж ті, що ґрунтуються на традиційному викопному паливі. Наприклад, електричні транспортні засоби часто потребують вищих початкових капіталовкладень, порівняно з автомобілями з двигуном внутрішнього згоряння (у той же час, мають нижчі експлуатаційні витрати) [42]. Більшість дослідників стверджують, що економічна ефективність такого транспорту буде зростати в міру покращення відповідних технологій.

Підвищення енергетичної ефективності економіки є ключовою складовою успішної декарбонізаційної стратегії. Енергетична криза 2022 р. актуалізувала питання енергетичної ефективності: уряди країн-членів ЄС переглянули цілі та політику енергоефективності з метою зменшення залежності від дорогого викопного палива (ціни на природний газ сягали до 340 EUR/MWh [47]), захисту споживачів від високих рахунків за електроенергію та зменшення залежності від російського газу в Європі. Енергоефективність називають «першим паливом» у переході на чисту енергію, оскільки вона забезпечує один із найшвидших і найрентабельніших способів зменшення викидів діоксиду вуглецю, одночасно посилюючи енергетичну безпеку. Енергоефективні технології уповільнюють зростання попиту на енергію та відіграють важливу роль у зниженні споживання викопного палива та викидів в усіх секторах економіки [20]. Наприклад, більш енергоефективні автомобілі, вантажівки та літаки зменшують попит на нафту та нафтопродукти в транспортному секторі, більш ефективне виробництво сталі та товарів хімічної галузі зменшують використання викопного палива в промисловості, а краща ізоляція знижує енергоспоживання будівель. У цьому контексті, пріоритетним має стати осучаснення промислового обладнання (особливо на великих індустріальних

підприємствах) [35]. Підвищення енергоефективності на національному рівні вимагає скоординованих зусиль різних стейкхолдерів, зокрема органів публічної влади, промислових підприємств та громадян.

Також важливо розглянути механізми зменшення викидів парникових газів із сектору сільського господарства. Стала інтенсифікація сільського господарства дозволяє отримувати більше врожаю на меншій земельній ділянці. Особливо перспективною є концепція «розумного» сільського господарства (smart agriculture). «Розумне» сільське господарство (або цифрове фермерство) – це впровадження інноваційних технологій та підходів, щоб оптимізувати сільськогосподарські практики, підвищити загальну продуктивність, ефективність та сталість цього сектору економіки [41]. На практиці «розумне» сільське господарство передбачає встановлення взаємопов'язаних датчиків, сенсорів, використання дронів та програмного забезпечення для збору та аналізу в режимі реального часу даних про кількість врожаю, природні умови та інші чинники. Як результат – фермер ухвалює більш зважені та оперативні рішення про необхідність внесення добрив, поливу, тощо. Крім того, впроваджуючи надсучасні технології Інтернету речей, машинного навчання, штучного інтелекту, фермери можуть не лише підвищити врожайність, а й ресурсну ефективність, зменшити кількість відходів та застосованих пестицидів [5]. Подібні практики сприятимуть подоланню глобальних та локальних викликів продовольчій безпеці.

Окремо варто розглянути можливість запровадження вуглецевого податку, який спрямований на стимулювання бізнесу та домогосподарств зменшувати власний вуглецевий слід. Одна із суттєвих переваг застосування такого податку – це потенційна зміна поведінки людей, заохочення споживати чисту та більш сталу енергію [34]. Здорожуючи карбономісткі види діяльності, податки створюють фінансові стимули для бізнесу інвестувати в більш чисті технології, підвищувати енергетичну ефективність та шукати сталі енергетичні альтернативи. Це, у свою чергу, може посилити інноваційну активність, сприяти розвитку низьковуглецевої промисловості та переходу до сталої моделі

економічного зростання. Крім того, дохід, акумульований державою від застосування вуглецевого податку, може бути використаний для фінансування зелених проєктів, підтримки сталого розвитку громад тощо.

У той же час, існують ряд зауваг до впровадження такого податку. Одна з ключових передбачає надмірне фіскальне навантаження на галузі промисловості, які сильно залежать від викопного палива. Підприємства можуть зіштовхнутися зі значним зростанням витрат, втратою конкурентоспроможності виробленої продукції, що за законами ринкової економіки призведе до скорочення працівників чи релокації бізнесу до країн з менш суворим екологічним регулюванням [7]. Таким чином, для вирішення подібних проблем необхідне ретельне планування та поетапне впровадження вуглецевого податку в поєднанні з політикою підтримки та фінансовою допомогою. Сприятлива економічна політика може допомогти подолати виклики, пов'язані із застосуванням такого податку. При забезпеченні такої політики та створенні належних умов для сплати вуглецевого податку потрібен чіткий урядовий моніторинг та контроль над обов'язковістю та неухильністю сплати податкових зобов'язань. Суспільне схвалення та розуміння сутності такого платежу є вирішальним для його успішного використання в межах національної економіки. На нашу думку, варто активно інформувати суспільство про причини необхідності декарбонізації, підвищувати загальну обізнаність про зелений порядок денний, забезпечити транспарентність механізмів нарахування та сплати вуглецевого податку для мінімізації корупційних та бюрократичних ризиків [29].

Окрім вуглецевого податку, може застосовуватися механізм торгівлі викидами (emissions trading system). Наприклад, у межах Європейського Союзу підприємства, які емітують великі обсяги викидів, беруть участь у Системі торгівлі викидами парникових газів. Таким чином, європейські підприємства зобов'язані або зменшити власні викиди, або придбати необхідні дозволи на викиди, кожен з яких еквівалентний метричній тонні CO₂. Ринкова ціна на ці дозволи визначається Європейською системою торгівлі викидами [19].

Відповідно, підприємства ЄС стають вразливими до конкуренції з боку країн із менш суворим екологічним регулюванням. Для врегулювання ринку було впроваджено механізм прикордонного вуглецевого коригування, що передбачає додаткове оподаткування імпортованої карбономісткої продукції з 2026 р. Згідно зі статистичними даними, приблизно п'ята частина всього українського експорту до ЄС – це карбономісткі товари, що підпадають під механізм відповідного коригування [50]. Цей факт актуалізує необхідність реструктуризації національної економіки, особливо в контексті її повоєнної відбудови.

3.2. Перспективи декарбонізації економіки України в повоєнний період

Перш за все, необхідно проаналізувати стан української економіки та суспільства в повоєнний період. Для цього буде використано PEST-аналіз, який зазвичай використовується для оцінки зовнішнього середовища підприємства, однак, може бути використаний і на рівні національної економіки. Через значний рівень невизначеності щодо повоєнного майбутнього України в нашому дослідженні буде використано базовий сценарій. Сутність сценарію передбачає відновлення національної економіки достатнім темпом (без інвестиційного буму, але із суттєвим притоком іноземних інвестицій, посиленням внутрішніх капіталовкладень та значним рівнем інтеграції з ЄС). Варто наголосити, що цей сценарій є можливим за відповідних воєнно-політичних умов, які, однак, не є предметом цієї кваліфікаційної роботи.

Розглянемо більш детально кожен зі складових аналізу:

- **Політичні чинники:** Україна має відносно стабільну політичну систему: парламентсько-президентську республіканську форму правління з оновленням виборних органів публічної влади, чіткий поділ владних повноважень на три гілки. Іншим суттєвим політичним чинником є корупція. Попри зусилля з подолання корупції (наприклад, створення антикорупційної інфраструктури), її рівень в Україні залишається

високим. Згідно з Індексом сприйняття корупції, який аналізує рівень терпимості до корупційних злочинів, у 2022 році наша держава посіла 116 місце зі 180 країн [37]. Попри певні переваги та роль у державному управлінні, бюрократія як соціальне та політичне явище має загалом негативні наслідки на розвиток економіки, зокрема її декарбонізацію. В Україні існує чіткий тренд на цифровізацію публічних послуг: активно впроваджує ініціативи Міністерство цифрової трансформації України, створено сприятливий режим оподаткування та працевлаштування ІТ-фахівців «Дія. Сіті», функціонує портал державних послуг «Дія».

- **Економічні чинники:** До початку повномасштабної війни Україна демонструвала загалом повільне зростання основного макроекономічного показника – ВВП. Згідно з оцінкою Національного банку України ВВП України в 2022 році впав на 29,2%, у 2023 році Світовий банк (остання наявна аналітика) прогнозує невелике зростання економіки на 0,5% [54]. Згідно з базовим сценарієм, у післявоєнний період економіка України має значний потенціал до зростання достатніми темпами, що залежить від зростання основних складових ВВП: приватного споживання, інвестицій бізнесу, державних витрат, чистого експорту. Загалом, пожвавлення ділової активності, зростання обсягу промислового виробництва, притік іноземних інвестицій може стимулювати економіку, активізувати відбудову більш швидкими темпами. Відповідно до деяких даних, станом на початок 2023 року збитки від війни через руйнування транспортної, виробничої та іншої інфраструктури становлять понад 143 мільярди USD, а врахування упущеної вигоди робить цю суму значно вищою [52]. Покрити ці втрати можливого за рахунок потужних зовнішніх інвестицій (урядових та приватних). Крім того, значну роль мають відіграти міжнародні фінансові організації (Світовий Банк, Міжнародний банк реконструкції та розвитку, Міжнародний валютний фонд). Важливим у цьому контексті є партнерство з Європейським Союзом. У червні 2022 року Україна набула статусу кандидата на членство в цій організації, що

значно посилить інтеграцію Україна – ЄС в різних сферах, зокрема і економічній. Відповідно, відбудова української економіки має відбуватися відповідно до стандартів ЄС, щоб забезпечити конкурентоспроможність нашої продукції на ринках країнах-членах ЄС. Такий підхід, у свою чергу, стимулюватиме екологізацію промисловості, розвиток високотехнологічних секторів економіки з низьким рівнем викидів вуглецю. Важливим аспектом розвитку економіки є законодавство, зокрема, те, що регулює фінансово-податкові правовідносини. Українська законодавча база не є усталеною, що створює в потенційних інвесторів враження про нестабільність політичної системи, відсутність чітких та зрозумілих механізмів регулювання, тощо. Стабільна та ліквідна банківська система може стати важливою складовою повоєнної відбудови країни. Після банківської кризи 2014-2015 рр. почався процес очищення цього сектору від ненадійних банківських установ. У результаті цих дій та переходу до режиму інфляційного таргетування вдалося не лише стабілізувати систему, а значно поліпшити банківські стандарти. Наприклад, цього року НБУ було визнано кращим центральним банком за версією Central Banking Awards [53].

- **Соціальні чинники:** найголовнішим, на нашу думку, соціальним фактором є консолідація українського суспільства, що є важливою передумовою для успіху повоєнної відбудови. Освітня система України залишається достатньо ефективною в підготовці висококваліфікованих фахівців, конкурентоспроможних на ринку праці, попри існуючі виклики.
- **Технологічні чинники:** важливу роль у посиленні технологічного потенціалу України відіграє співпраця з ключовими центрами науково-технологічного розвитку (зокрема, країнами ЄС, США, Сполученим Королівством, Канадою, Японією тощо). Підготовка фахівців (зокрема, STEM-напряму) залишається серйозним викликом для нашої держави. Наприклад, деформованою залишається структура вступу з незначною

кількістю вступників на важливі для розвитку держави напрямки: авіа- та ракетобудування, атомна енергетика, фізика, хімія та ін. У той же час, перспективним є використання широкої кількості військових технологій у цивільному житті. Наприклад, дрони можуть широко застосовуватися в сільському господарстві для моніторингу полів, внесення добрив, допомоги в іригації.

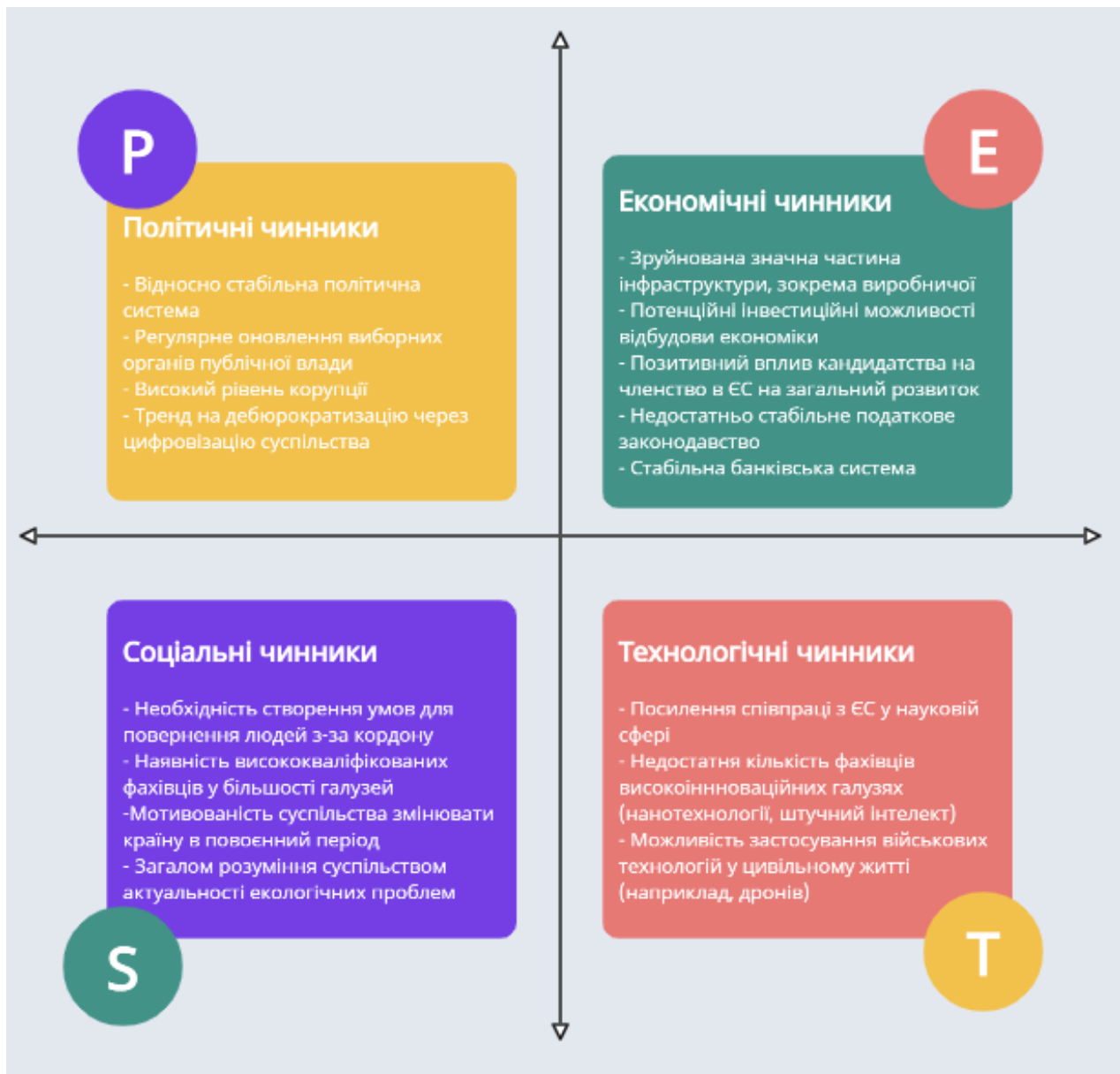


Рис. 3.2 – PEST-аналіз повоєнного стану України для здійснення декарбонізації (базовий сценарій, розроблено автором)

Таким чином, результати PEST-аналізу загалом демонструють наявність обґрунтованих передумов для успішного відновлення економіки з урахуванням декарбонізаційних стратегій. Наступним кроком є розробка конкретних рекомендацій щодо успішної імплементації переходу до низьковуглецевої економіки.

По-перше, уряду слід встановити більш суворі норми щодо енергоефективності, зокрема будівельні правила, що сприяють впровадженню енергоефективних методів проектування та будівництва, включаючи ізоляцію, ефективне освітлення, а також системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Крім того, законодавець може запропонувати стимули та субсидії, щоб спонукати домогосподарства та підприємства модернізувати вже збудовані споруди за допомогою енергоефективних технологій [44]. Такі стимули можуть передбачати надання фінансової підтримки для проведення енергетичних аудитів, купівлі енергозберігаючих приладів та ізоляційних матеріалів. Крім того, запровадження обов'язкової системи енергетичного маркування дозволить споживачам робити більш усвідомлений вибір на основі рейтингів енергоефективності. Ще одним важливим кроком має стати інвестування в модернізацію обладнання та оптимізацію промислових процесів, особливо в енергоємних секторах (зокрема, металургії). Уряду слід заохочувати впровадження систем управління енергоспоживанням, зокрема ISO 50001, як у державних, так і приватних організаціях для покращення моніторингу, вимірювання та постійного поліпшення енергоефективності [43]. Зрештою, підвищення обізнаності громадськості про переваги енергоефективності за допомогою освітніх кампаній та проведення програм навчання з підвищенням кваліфікації фахівців енергетичного сектору може сприяти широкому впровадженню методів енергозбереження по всій країні. Інвестиції в фундаментальні та прикладні науково-дослідницькі роботи та розробки можуть сприяти появі нових енергоефективних технологій. Практичними кроками можуть бути створення національних фондів досліджень, державна підтримка

старт-ап інкубаторів та налагодження ефективної взаємодії «державо-університет-бізнес».

Для розвитку відновлюваної енергетики в Україні можна вжити деякі з наступних заходів. Насамперед, держава має встановити сприятливу політику та правила, які забезпечують чіткі стимули та зрозумілу для всіх стейкхолдерів основу для розвитку відновлюваних джерел енергії, що передбачає пільгові тарифи, угоди про купівлю електроенергії та податкові пільги для проектів у сфері відновлюваних джерел енергії. Уряду слід цифровізувати процеси видачі дозволів та ліцензій, щоб полегшити своєчасну реалізацію проектів із відновлюваних джерел енергії. Крім того, дуже важливо інвестувати у розвиток інфраструктури відновлюваних джерел енергії (сонячні та вітряні електростанції) шляхом надання фінансової підтримки, грантів та кредитів. Для залучення приватних інвестицій уряд може співпрацювати з міжнародними фінансовими інститутами та створювати спеціалізовані фонди для проектів із відновлюваних джерел енергії. Крім того, створення центрів досліджень та розробок у галузі відновлюваних джерел енергії може сприяти інноваціям та розвитку проривних технологій у цьому секторі [40].

Заохочення партнерських відносин між академічними установами, дослідницькими організаціями та приватним сектором може сприяти обміну знаннями, що, у свою чергу, прискорить упровадження передових технологій використання відновлювальних джерел енергії. Більше того, органи публічної влади можуть приділити першочергову увагу модернізації та розширенню електромережі, щоб забезпечити збільшення виробництва такої енергії [31]. Це, зокрема, передбачає модернізацію інфраструктури передачі, розподілу та впровадження технологій інтелектуальних мереж для забезпечення їх ефективної інтеграції та управління. Необхідно також проводити кампанії з підвищення обізнаності громадськості та впроваджувати освітні програми для інформування та залучення всіх стейкхолдерів до переваг відновлювальних джерел енергії та заохочення прийняття екологічно чистих енергетичних рішень на індивідуальному та громадському рівнях.

Україна як країна, значну частку експорту якої становить сільськогосподарська продукція, має розвивати smart agriculture, сутність якого було наведено в пункті 3.1. Це дозволить знизити викиди галузі, підвищити загальну продуктивність, стимулювати розвиток технологічного сектору економіки [10]. Узагальнені переваги смарт-економіки відображені на рисунку 3.3.

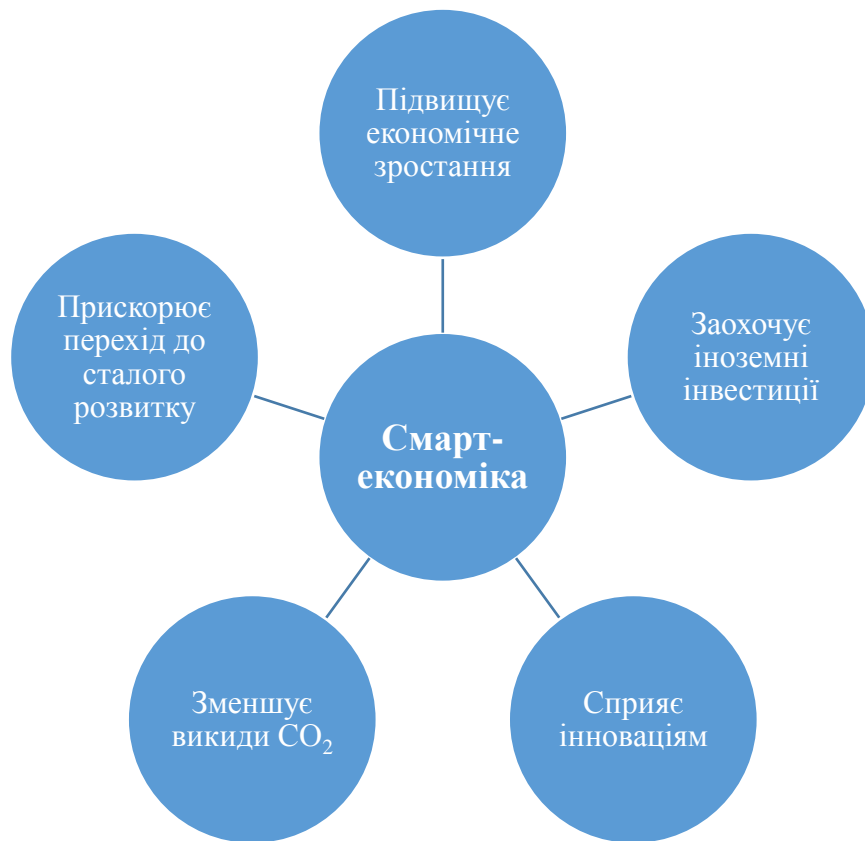


Рис. 3.3 – Переваги смарт-економіки в контексті декарбонізації (розроблено автором)

Загалом, розвиток «розумних» галузей є ефективним способом переходу до низьковуглецевої економіки, конкурентної в період Четвертої промислової революції. В Україні є потенціал розвитку як традиційних промислових галузей у «розумному» напрямку (смарт-металургія, смарт-будівництво), так і створення нових.

Як для підвищення енергоефективності, так і збільшення відновлювальної генерації, необхідні початкові інвестиції. У цьому контексті,

державі необхідно створити механізми «зеленого» фінансування: розробити фінансові інструменти та стимули для залучення інвестицій у низьковуглецеві проекти. Створення «зелених» банків або фондів, котрі надають фінансування спеціально для сталих ініціатив є одним із таких рішень. Крім того, важливо заохочувати звичайні комерційні банки видавати «зелені» кредити та пропонувати клієнтам «зелені» фінансові продукти. У майбутньому Україна має значні перспективи розвитку фондового ринку, невід'ємною складовою якого може стати ринок зелених цінних паперів – акцій компаній, облігацій, тощо [55]. Розвиток зелених фінансових ринків потребує комплексного підходу, зокрема розробки законодавчої бази, упровадження інноваційних фінансових інструментів та розуміння інвесторів про їх можливості та перспективи.

Іншим надважливим напрямком декарбонізації має стати активне співробітництво з міжнародними партнерами в економічній, технологічній та екологічній сферах. Україна може створити платформи для обміну знаннями, такі як конференції, семінари та форуми, щоб сприяти обміну найкращими практиками та досвідом у сфері декарбонізації. При проведенні міжнародних заходів та активній участі в існуючих платформах, наша держава може продемонструвати свій досвід декарбонізації та дізнатися про історії успіху інших країн. Україні слід активно шукати партнерства з міжнародними організаціями, урядами та установами, котрі спеціалізуються на сталому розвитку та декарбонізації. Зокрема, для реалізації декарбонізаційних стратегій важливо посилити співпрацю з такими організаціями, як Організація Об'єднаних Націй, Європейський Союз і Світовий банк [57]. Двостороння співпраця з країнами, котрі досягли значного прогресу в декарбонізації, зокрема скандинавськими країнами, також може забезпечити цінний обмін знаннями й технологічну підтримку.

Таким чином, охарактеризовано основні інструменти декарбонізації та можливості їх застосування в Україні, зокрема: розвиток відновлювальної енергетики, підвищення енергетичної ефективності, диверсифікація джерел та

видів енергопостачання, перехід до сталого сільського господарства. Більш дискусійними, але вартими уваги, є інструментарій атомної генерації та відмова від вугілля на користь природного газу на перших етапах зеленого переходу. Здійснено PEST-аналіз, результати якого загалом демонструють наявність обґрунтованих політичних, економічних, соціальних і технологічних передумов для успішного відновлення економіки з урахуванням декарбонізаційних стратегій. Сформульовано рекомендації щодо прискорення процесів декарбонізації національної економіки, які передбачають прискорення інноваційного розвитку, розвиток смарт-індустрій, посилення міжнародної співпраці, проведення освітніх кампаній із підвищення екологічної обізнаності громадян.

ВИСНОВКИ

Відповідно до мети та завдань кваліфікаційної роботи, можна сформулювати наступні висновки:

1. Обґрунтовано необхідність здійснення декарбонізації на локальному та глобальному рівнях. Так, температура атмосферного повітря за останні триста років у середньому зросла на 1,2-1,5 градуси Цельсія, що має наслідком проблеми з функціонуванням екосистем та громадським здоров'ям. Визначено, що існують різні підходи до визначення дефініції «декарбонізація». Зокрема, декарбонізація – це системне зменшення вуглецевого сліду в економіці завдяки впровадженню відповідних технологій, політик і практик. Розглянуто сутність декарбонізації економічних процесів. Декарбонізація має ряд суттєвих переваг: стимулювання сталого економічного зростання, соціальний ефект через створення нових робочих місць у високотехнологічних «зелених» сферах, підвищення ресурсної ефективності. У той же час, існують ряд викликів, пов'язаних із впровадженням декарбонізаційних стратегій: необхідність значних початкових інвестицій в зелені проекти, потенційно вищий термін їх окупності, недосконалість існуючих технологій. Здійснено огляд наукових публікацій, зокрема і засобами бібліометричного аналізу VOSViewer, щодо чинників декарбонізації. З'ясовано, що на перехід до низьковуглецевої економіки впливають не лише економічні чи енергетичні фактори, а й соціальні, політичні та технологічні чинники.

2. Здійснено емпіричну оцінку впливу соціально-економічних, політичних, енергетичних і технологічних факторів на декарбонізацію економіки в країнах Європейського Союзу в 2013-2021 рр.. Було побудовано дві моделі: перша економетрична модель спрямована оцінити вплив ключових драйверів викидів парникових газів, тоді як друга – вплив різних факторів на декарбонізацію економіки (через зменшення карбономісткості ВВП). Перед оцінкою моделей залежні та незалежні змінні було перевірено на мультиколінеарність й підтверджено її відсутність засобами побудови

кореляційної матриці. Для визначення специфікації моделей було використано два тести (специфікаційний тест Хаусмана, специфікаційний тест Breusch і Pagan). Результати тестів вказали на необхідність використати аналіз панельних даних методом регресії випадкових ефектів. Результати оцінки першої моделі засвідчили, що ключовими факторами, що стимулюють більше викидів парникових газів, є енергетичне споживання, корупція та надмірний рівень економічної свободи, тоді як відновлювальна енергетика, сервісна економіка, високий ВВП на душу населення та розвиток технологій у середньому зменшують викиди парникових газів. Результати оцінки другої моделі показали, що відновлювальна енергетика, високі показники економічного розвитку, технологічний прогрес є драйверами декарбонізації, у той час як корупція та високе загальне енергоспоживання є бар'єрами зниження карбономісткості ВВП.

3. Охарактеризовано основні інструменти декарбонізації та можливості їх застосування в Україні, зокрема: розвиток відновлювальної енергетики, підвищення енергетичної ефективності, диверсифікація джерел та видів енергопостачання, перехід до сталого сільського господарства. Більш дискусійними, але важливими уваги, є інструментарій атомної генерації та відмова від вугілля на користь природного газу на перших етапах зеленого переходу. Здійснено PEST-аналіз, результати якого загалом демонструють наявність обґрунтованих політичних, економічних, соціальних і технологічних передумов для успішного відновлення економіки з урахуванням декарбонізаційних стратегій. Сформульовано рекомендації щодо прискорення процесів декарбонізації національної економіки, які передбачають прискорення інноваційного розвитку, розвиток смарт-індустрій, посилення міжнародної співпраці, проведення освітніх кампаній із підвищення екологічної обізнаності громадян.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Al Mamun, M., Boubaker, S., & Nguyen, D. K. (2022). Green finance and decarbonization: Evidence from around the world. *Finance Research Letters*, *46*, 102807.
2. Al-mulali, U. (2012). Factors affecting CO₂ emission in the Middle East: A panel data analysis. *Energy*, *44*(1), 564-569.
3. Arnell, N. W., Lowe, J. A., Challinor, A. J., & Osborn, T. J. (2019). Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase. *Climatic Change*, *155*, 377-391.
4. Aydođan, B., & Vardar, G. (2020). Evaluating the role of renewable energy, economic growth and agriculture on CO₂ emission in E7 countries. *International Journal of Sustainable Energy*, *39*(4), 335-348.
5. Azadi, H., Moghadam, S. M., Burkart, S., Mahmoudi, H., Van Passel, S., Kurban, A., & Lopez-Carr, D. (2021). Rethinking resilient agriculture: From climate-smart agriculture to vulnerable-smart agriculture. *Journal of Cleaner Production*, *319*, 128602.
6. Bridge, G., Bouzarovski, S., Bradshaw, M., & Eyre, N. (2013). Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy. *Energy policy*, *53*, 331-340.
7. Chu, W., Chai, S., Chen, X., & Du, M. (2020). Does the impact of carbon price determinants change with the different quantiles of carbon prices? Evidence from China ETS pilots. *Sustainability*, *12*(14), 5581.
8. Dong, K., Dong, X., & Dong, C. (2019). Determinants of the global and regional CO₂ emissions: what causes what and where?. *Applied Economics*, *51*(46), 5031-5044.
9. Fakher, H. A. (2019). Investigating the determinant factors of environmental quality (based on ecological carbon footprint index). *Environmental science and pollution research*, *26*(10), 10276-10291.

10. Galperina, L. P., Girenko, A. T., & Mazurenko, V. P. (2016). The concept of smart economy as the basis for sustainable development of Ukraine. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 6(8), 307-314.

11. García-García, P., Carpintero, Ó., & Buendía, L. (2020). Just energy transitions to low carbon economies: A review of the concept and its effects on labour and income. *Energy Research & Social Science*, 70, 101664.

12. Green, F., & Gambhir, A. (2020). Transitional assistance policies for just, equitable and smooth low-carbon transitions: who, what and how?. *Climate Policy*, 20(8), 902-921.

13. Hamid, I., Alam, M. S., Murshed, M., Jena, P. K., Sha, N., & Alam, M. N. (2021). The roles of foreign direct investments, economic growth, and capital investments in decarbonizing the economy of Oman. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-17.

14. Iwata, H., Okada, K., & Samreth, S. (2012). Empirical study on the determinants of CO₂ emissions: evidence from OECD countries. *Applied Economics*, 44(27), 3513-3519.

15. Khan, Z., Ali, S., Dong, K., & Li, R. Y. M. (2021). How does fiscal decentralization affect CO₂ emissions? The roles of institutions and human capital. *Energy Economics*, 94, 105060.

16. Kirikkaleli, D., Abbasi, K. R., & Oyebanji, M. O. (2023). The asymmetric and long-run effect of environmental innovation and CO₂ intensity of GDP on consumption-based CO₂ emissions in Denmark. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(17), 50110-50124.

17. Li, F., Yang, C., Li, Z., & Failler, P. (2021). Does geopolitics have an impact on energy trade? Empirical research on emerging countries. *Sustainability*, 13(9), 5199.

18. Liu, X., Chen, H., Peng, C., & Li, M. (2022). Assessing the Drivers of Carbon Intensity Change in China: A Dynamic Spatial–Temporal Production-Theoretical Decomposition Analysis Approach. *Sustainability*, 14(19), 12359.

19. Metcalf, G. E. (2021). Carbon taxes in theory and practice. *Annual Review of Resource Economics*, 13, 245-265.
20. Mohsin, M., Rasheed, A. K., Sun, H., Zhang, J., Iram, R., Iqbal, N., & Abbas, Q. (2019). Developing low carbon economies: an aggregated composite index based on carbon emissions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 35, 365-374.
21. Murshed, M., Ahmed, Z., Alam, M. S., Mahmood, H., Rehman, A., & Dagar, V. (2021). Reinvigorating the role of clean energy transition for achieving a low-carbon economy: evidence from Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 67689-67710.
22. Shahbaz, M., Ozturk, I., Afza, T., & Ali, A. (2013). Revisiting the environmental Kuznets curve in a global economy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 25, 494-502.
23. Siqueira, D. S., de Almeida Meystre, J., Hilário, M. Q., Rocha, D. H. D., Menon, G. J., & da Silva, R. J. (2019). Current perspectives on nuclear energy as a global climate change mitigation option. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24, 749-777.
24. Su, C. W., Khan, K., Umar, M., & Zhang, W. (2021). Does renewable energy redefine geopolitical risks?. *Energy Policy*, 158, 112566.
25. Tebourbi, I., Nguyen, A. T. T., Yuan, S. F., & Huang, C. Y. (2023). How do social and economic factors affect carbon emissions? New evidence from five ASEAN developing countries. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(1), 2120038.
26. Tu, Y. X., Kubatko, O., Piven, V., Kovalov, B., & Kharchenko, M. (2023). Promotion of Sustainable Development in the EU: Social and Economic Drivers. *Sustainability*, 15(9), 7503.
27. Wang, R., Mirza, N., Vasbieva, D. G., Abbas, Q., & Xiong, D. (2020). The nexus of carbon emissions, financial development, renewable energy consumption, and technological innovation: what should be the priorities in light of COP 21 Agreements?. *Journal of Environmental Management*, 271, 111027.

28. Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., ... & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of the Total Environment*, 733, 137782.

29. Xuan, D., Ma, X., & Shang, Y. (2020). Can China's policy of carbon emission trading promote carbon emission reduction?. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122383.

30. Yao, S., Zhang, S., & Zhang, X. (2019). Renewable energy, carbon emission and economic growth: A revised environmental Kuznets Curve perspective. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1338-1352.

31. Zhang, F., Deng, X., Phillips, F., Fang, C., & Wang, C. (2020). Impacts of industrial structure and technical progress on carbon emission intensity: Evidence from 281 cities in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 154, 119949.

32. Антонова, Л. В. (2015). Енергетична політика Європейського Союзу: шлях до якісного та безпечного майбутнього. *Публічне управління та митне адміністрування*, (2), 42-49.

33. Викиди парникових газів (кілотонн CO₂ еквіваленту). Дані Світового банку. (2023). <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.GHGT.KT.CE>

34. Гайдучський, І. П. (2016). Мотиваційний потенціал глобального антивуглецевого податку. *Економіка та держава*, (1), 31-34.

35. Гурочкіна, В. В., & Будзинська, М. С. (2020). Циркулярна економіка: українські реалії та можливості для промислових підприємств. *Економічний вісник. Серія: фінанси, облік, оподаткування*, (5), 52-64.

36. Денисюк, С. П., & Таргонський, В. А. (2017). Сталий розвиток енергетики України у світових вимірах. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, (3), 7-31.

37. Зябіна, Є. А., & Пімоненко, Т. В. (2020). Енергетична політика України: ефективність та напрями її підвищення. *Економічний простір*, (160), 55-59.

38. Кириленко, О. В., Басок, Б. І., Базєєв, Є. Т., & Блінов, І. В. (2020). Енергетика України та реалії глобального потепління. *Технічна електродинаміка*, 4, 52-61.

39. Ковальова А. В., Кравченко М. В., Клімова І. В. Вплив підвищення температури та забруднення атмосферного повітря міського середовища внаслідок кліматичних змін на здоров'я працівників соціальної інфраструктури. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, (6), 104-110.

40. Клименко, М. (2022). Проблеми та перспективи розвитку інструментів декарбонізації економіки України. *Вісник Сумського національного аграрного університету*, (1 (91)), 47-57.

41. Мельник, А. О., & Новіков, Д. В. (2019). Проблеми та перспективи впровадження Big Data у сільське господарство. *Сучасні детермінанти розвитку бізнес-процесів в Україні*. Київський національний університет технологій та дизайну.

42. Мельник Л.Г., Карінцева О.І. (2023). Економіка та бізнес-інновації: підручник. Суми: Університетська книга, 702 с.

43. Мельник Л. Г., Карінцева О. І. (2021). Економіка і бізнес : підручник / за ред. Л. Г. Мельника, О. І. Карінцевої. Суми : Університетська книга, 2021. 316 с.

44. Мельник, Л., Ковальов, Б. (2020). Проривні технології в економіці і бізнесі (Досвід ЄС та практика України у світлі III, IV, і V промислових революцій. Сумський державний університет, 180 с.

45. Офіційний сайт The Heritage Foundation (2023). <https://www.heritage.org/>

46. Офіційний сайт The Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). <https://www.ipcc.ch/>

47. Офіційний сайт Trading Economics. <https://tradingeconomics.com/>

48. Офіційний сайт Transparency International (2023). <https://www.transparency.org/en/cpi/2022>

49. Офіційний сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (2023). <https://saee.gov.ua/uk>.

50. Офіційний сайт Державної служби статистики України (2023). <https://www.ukrstat.gov.ua/>.

51. Офіційний сайт Євростату (2023). <https://ec.europa.eu/eurostat>.

52. Офіційний сайт Кабінету Міністрів України (2023). <https://www.kmu.gov.ua/>.

53. Офіційний сайт Національного банку України (2023). <https://bank.gov.ua/>.

54. Офіційний сайт Світового банку (2023). <https://data.worldbank.org/>

55. Рублик, В. М. (2020). Зелені облігації як інструмент фінансування екологічних проектів. *Інвестиції: практика та досвід*, (4), 72-76.

56. Стоян, О. Ю. (2014). Державне регулювання розвитку сонячної енергетики в Україні: від теорії до практики. *Наукові праці. Серія: Державне управління. Вип, 237*, 124-130.

57. Хоменко, Л. М., Чигрин, О. Ю., Шевченко, К. В., Білан, Ю. В., & Пономаренко І. О (2022). Вуглецевий нейтралітет України до 2050 року. *Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка. №4*, 152–158.

58. Яценко, О. М. (2022). Циркулярна економіка як незворотній глобальний мегатренд та драйвер сталого розвитку України. *Вісник Одеського національного університету. Серія «Економіка». №11-12*.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А1 – Результати економетричної оцінки першої моделі (із стійким відхиленням (robust standard errors))

GHG_t	Коефіцієнт	Стійке відхилення	z	P > z 	95% інтервал довіри	
EC _t	3.1628	0,3270286	9.67	0.000	2.5521836	3.803764
RE _t	-0.15207	0.0219209	-6.94	0.000	-0.1950361	-0.1091079
SERV _t	-0.14664	0,052815	-2.78	0.005	-0.2501549	-0.0431237
COR _t	-0.029136	0,0244766	-1.98	0.081	-0.0771091	-0.0188373
EF _t	0.059482	0,0458791	2.05	0.094	-0.0304394	-0.0194035
GDP _t	-0.0000562	0.0000243	-2.31	0.021	-0.0001037	-0.00000859
TECH _t	-0.005165	0.0320705	-0.16	0.872	-0.0680216	0.0576924
конст.	13.65771	2.055425	6.64	0.000	7.67959	19.63584
Спост.	243 спостереження					
R-sq.	0.6503					

Таблиця А2 – Результати економетричної оцінки другої моделі (із стійкими стандартним відхиленням (robust standard errors))

INTENS_t	Коефіцієнт	Стійке відхилення	z	P > z 	95% інтервал довіри	
TE _t	0,00000118	0.000000558	2.12	0.034	0.00000227	0.00000875
RE _t	-0,0086451	0.0012666	-6.83	0.000	-0.0111276	-0.0061626
SERV _t	-0,0147901	0.0018285	-8.09	0.000	-0.0183738	-0.0112064
COR _t	-0.0025292	0.0010118	-2.50	0.012	-0.0045123	-0.0005462
EF _t	-0.0018946	0.0019418	-0.98	0.329	-0.0057005	0.0019113
GDP _t	-0.00000785	0.00000117	-6.72	0.000	-0.0000101	-0.00000556
TECH _t	-0.0059785	0.0021487	-2.78	0.005	-0.0101898	-0.0017671
конст.	2.325751	0.1527863	15.22	0.000	2.026295	2.625207
Спост.	243 спостереження					
R-sq.	0.6157					