

ВПЛИВ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ІННОВАЦІЙ НА ПОКАЗНИКИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ *

МАТВЄЄВА Юлія¹, ОПАНАСЮК Юлія²,
РОСОХАТА Анна³, КОВАЛЕНКО Євген⁴, ШЕВЧЕНКО Валерій⁵

¹ Сумський державний університет

<https://orcid.org/0000-0002-3082-5551>

e-mail: y.matvieieva@management.sumdu.edu.ua

² Сумський державний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9236-8587>

e-mail: yu.opanasiuk@management.sumdu.edu.ua

³ Сумський державний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6944-1515>

e-mail: a.rosokhata@kmm.sumdu.edu.ua

⁴ Сумський державний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2111-9372>

e-mail: kovalenko@econ.sumdu.edu.ua

⁵ Університет митної справи та фінансів

e-mail: shevhenkovaleriy@ukr.net

Стаття присвячена оцінці ефективності передачі енергетичних інновацій у контексті декарбонізації, що є основною ціллю зменшення вуглецевого сліду в світі. Стаття виявляє взаємозв'язок між показниками, які відображають вплив енергетичних інновацій на зменшення викидів парникових газів та сприяють переходу до сталого, менш вуглецевого енергетичного майбутнього. Автори розглядають основні показники декарбонізації економіки та виявляють вплив розвитку енергетичних інновацій на ці показники. За допомогою регресійного аналізу виявлено взаємозв'язок між показниками енергетичних інновацій та декарбонізацією.

Стаття також розглядає можливості методів декарбонізації для різних галузей економіки та наводить аналіз основних показників, що застосовуються для оцінки рівня декарбонізації, таких як Індекс екологічної ефективності (EPI), Глобальний інноваційний індекс (GII), Патентний індекс (GPI) та Індекс привабливості відновлюваної енергетики (RECAI). На основі аналізу цих показників по країнах G7, були доведені кореляційні зв'язки між наведеними показниками.

Ключові слова: управління декарбонізація економіки, енергетичні інновації, показники декарбонізації, вуглецевий слід, карбоновий бюджет.

* Ця робота була підтримана Міністерством освіти і науки України (науково-дослідна тема 0123U100112 «Післявоєнне відновлення енергетики України: оптимізація управління відходами з урахуванням здоров'я населення, екологічних, інвестиційних, податкових детермінант»; (науково-дослідна тема 0122U000769 «Трансфер зелених інновацій в енергетиці України: мультиплікативна стохастична модель переходу до вуглецево-нейтральної економіки») та Виконавчим агентством з питань освіти та культури Європейського Союзу (Модуль Жана Моне, проєкт № 101047530 «Healthy economy and policy: European values for Ukraine»).

<https://doi.org/10.31891/mdes/2023-9-26>

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Оцінка ефективності трансферу енергетичних інновацій з урахуванням аспектів декарбонізації є важливою для спрямування зусиль у досягненні сталого розвитку країн. Декарбонізація полягає в скороченні викидів парникових газів та переході до енергетичного майбутнього, що ґрунтується на сталості та низькому вмісті вуглецю. У сучасних умовах для дослідників викликає особливий науковий інтерес вивчення ключових показників декарбонізації та впливу енергетичних інновацій на них.

Основне завдання статті полягає у визначенні показників, які відображають ступінь впливу трансферу енергетичних інновацій на зменшення викидів парникових газів та сприяють переходу до сталого, менш вуглецевого енергетичного майбутнього. Пов'язане з цим наукове завдання полягає у визначенні основних показників декарбонізації економіки та виявлення впливу на них розвитку енергетичних інновацій.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Оцінка ефективності трансферу енергетичних інновацій з врахуванням ключових показників декарбонізації є важливою для спрямування зусиль у відповідному напрямку та досягнення сталого розвитку. Необхідно зазначити, що ці питання, досліджувані в роботі, згідно даним БД Scopus в останні роки набувають все більшої актуальності (рис. 1).

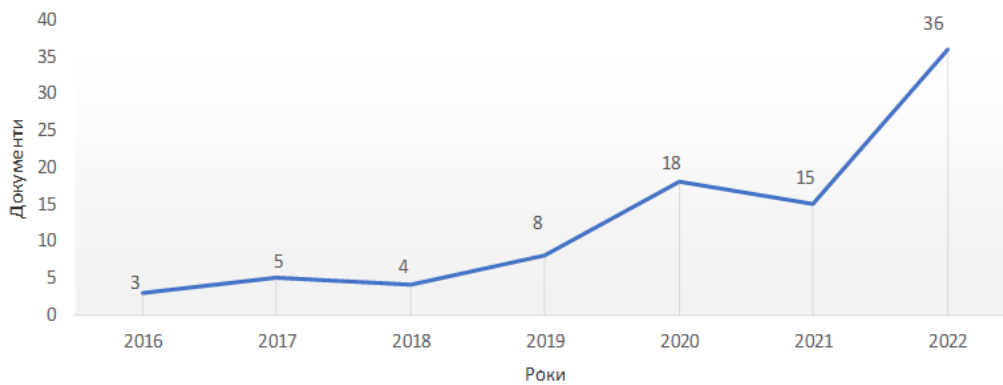


Рис. 1. TITLE-ABS-KEY (decarbonization of economy AND energy of innovations).

Джерело: розроблено авторами

Особлива зацікавленість до тематики енергетичних інновацій у контексті системи оцінки на основі рівня декарбонізації економіки визначається країнами: Сполучені Штати, Велика Британія, Китай, Італія, Австралія. Україна знаходиться на 10-му місці серед країн світу, що виявляють науковий інтерес до тематики, що досліджується.

Згідно дослідженням, здійсненим на базі використання інструментарію Google Trends популярність запиту «декарбонізація» в світі зростає в 9,3 рази в 2023 році порівняно з 2018 роком. За зазначений період найбільш активно громадськість здійснювала запити в країнах: Сінгапур, Китай, Об'єднані Арабські Емірати, Гонконг, Канада.

Окремо слід зазначити, що пік популярності до особливостей декарбонізації рис. 2 репрезентує у лютому 2021 року та у листопаді 2022 році. Високий рівень зацікавленості до тематики у лютому 2021 році може бути обґрунтований тим, що восени цього року в Глазго відбулася Всесвітня кліматична конференція, на якій відповідно до Паризької угоди, країни взяли на себе зобов'язання щодо скорочення викидів парникових газів. Зокрема, в липні 2021 року український уряд ухвалив рішення щодо внеску України в глобальне зменшення викидів парникових газів (ПГ). При цьому метою країни є скорочення викиди ПГ до 2030 року до 35% від показника 1990 року, тобто викиди CO₂ мають скоротитися на 65%. Зокрема, у листопаді 2022 року в єгипетському місті Шарм-ель-Шейх пройшла 27-ма Конференція Сторін Рамкової конвенції ООН щодо зміни клімату (COP 27), яка завершилася історичним рішенням створити та ввести в дію Фонд, кошти з якого виділятимуться бідним країнам на подолання наслідків глобального потепління.

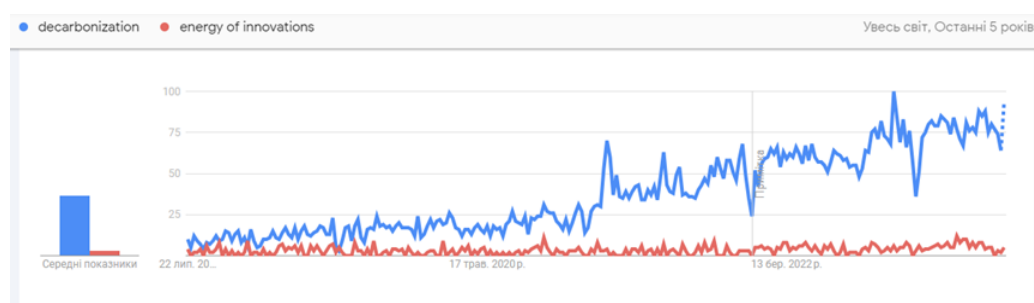


Рис. 2. Популярність запитів «декарбонізація» та «енергетичні інновації» на базі використання інструментарію Google trends

Джерело: розроблено авторами за допомогою [1].

У свою чергу, запит «енергетичні інновації» найбільшої популярності отримав у період з 26 березня по 1 квітня 2023 року. Загалом рівень зацікавленості до тематики протягом 5-ти років майже не змінюється. Особливої уваги енергетичним інноваціям приділяють США та Індія.

Зорієнтованість наукових досліджень репрезентує рисунок 3, який побудовано за допомогою програмного забезпечення VOSviewer.

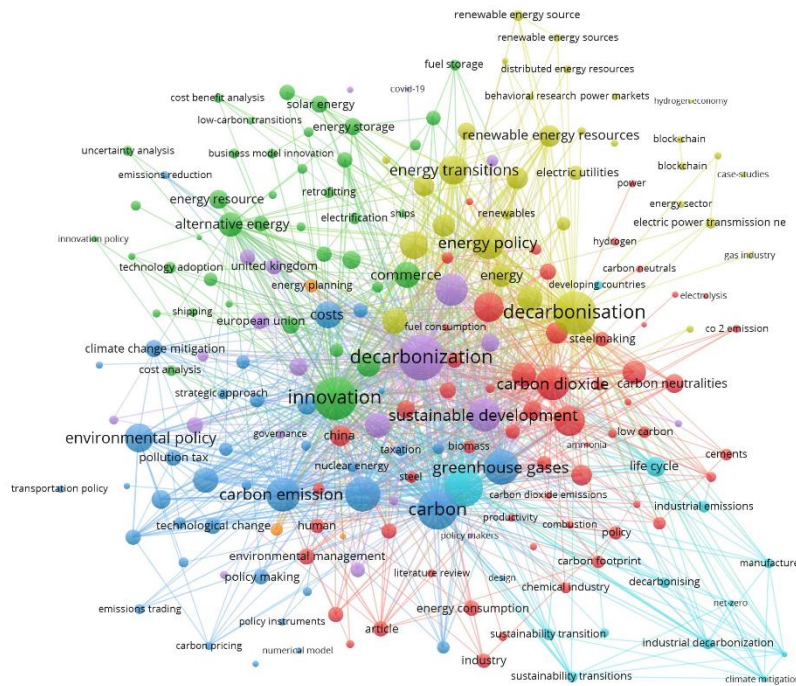


Рис. 3. Аналіз літературних джерел на базі використання БД Scopus та програмного забезпечення VOSviewer
Джерело: розроблено авторами

Під час аналізу літературних джерел виявлено 6 кластерів наукових досліджень.

Перший (бузковий) кластер має найбільшу кількість взаємозв'язків. Кластер присвячено науково-понятійним підходам до визначення та оцінювання декарбонізації, впливу декарбонізації та стійкий розвиток та залежності декарбонізації від енергетичної ефективності та використання відновлюваних джерел енергії.

У другому кластері дослідження присвячено енергетичній політиці та окремим її складовим для досягнення цілей нульових викидів до 2030 року. В цьому кластері розглядаються вплив всіх видів відновлюваних джерел, таких як енергія сонця, вітру, гідроенергетики, геотермальної енергетики та біоенергетики тощо.

Третій кластер присвячено інноваціям в енергетиці та їх впливу на декарбонізацію економіки, побудові інноваційних бізнес-моделей, аналізу витрат на інновації тощо.

До четвертого кластеру увійшли дослідження, що пов'язані з викидам CO_2 та їх впливом на навколишнє середовище. Також розглядаються результати зміни клімату при зростанні викидів CO_2 та розробленні кліматичної політики країнами світу.

П'ятий кластер дозволив виявити залежність циркулярної економіки з інноваційними рішеннями під час ведення бізнеса та декарбонізації економіки. В цьому кластері також розглядаються наслідки дії пандемії Covid-19 на декарбонізацію економіки.

У шостому кластері сконцентровані наукові дослідження в контексті мітигаційної політики по зниженню емісії шкідливих речовин в навколишнє середовище, в тому числі викидів CO_2 . Розглядається концепція чистого нуля, що досягається шляхом поєднання скорочення викидів та їх видалення.

Необхідно зазначити, що використання програмного забезпечення VOSviewer дозволяє відслідкувати також найбільш актуальні дослідження з тематики, що вивчається. Рисунок 4 репрезентує наукові дослідження у розрізі їх актуальності. Градація актуальності досліджень зображена від найбільш темного до світлого кольору. Світлий колір (жовтий) відображає сучасність досліджень. Темним кольором позначені більш ранні дослідження.

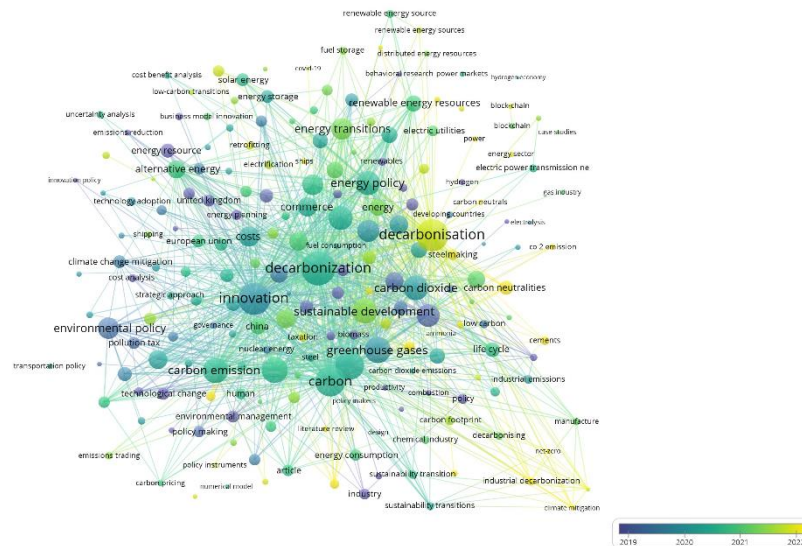


Рис.4. Актуальність досліджень за 2020-2022 рр.

Джерело: розроблено авторами на базі використання БД Scopus та програмного забезпечення VOSviewer

Так, аналіз актуальності джерел встановив, що найбільш актуальними темами для дослідження є нейтралізація викидів для досягнення чистого нуля, мітигаційна політика в сфері зміни клімату та вплив інновацій на декарбонізацію економіки.

В сучасних умовах для дослідників особливий науковий інтерес становлять ключові показники декарбонізації. Так, у наукових дослідженнях авторів [2] вивчаються показники екологічної ефективності, наданий метод оцінки викидів парникових газів логістичними об'єктами та схема розподілу для показників екологічної ефективності дозволяють логістичним компаніям здійснювати моніторинг та управління викидами від зберігання та перевантаження товарів на постійній основі. Науковці запропонували розробку стратегій декарбонізації на об'єктах логістики та сприяти процесу організаційного чи технологічного вдосконалення.

Роботи авторів [3] містять результати досліджень щодо досягнення цільових показників викидів до 2050 року в енергоємних галузях переробної промисловості на базі прискореного переходу до глибокої декарбонізації. Зокрема, дослідники вивчають як характеристики соціально-технічних та інноваційних систем можуть вплинути на перехід до глибокої декарбонізації. Ці показники розглядаються з точки зору структури промисловості, інноваційних стратегій, мереж, ринків та державного втручання. Гайдуцький І. П. [4] розглядає питання, пов'язані з глобальними засобами та методами стимулювання низьковуглецевого розвитку.

З іншого боку, дослідженнями енергоінновацій займаються велика кількість вчених. В роботі [5] автори розглядають питання стану та тенденцій розвитку енергетичних інновацій. Автори досліджують сучасний розвиток сфери енергетики, зокрема звертають увагу на інноваційні процеси, що відбуваються в цьому сегменті, та їх вплив на ринок. Вакуленко І. А., Колосок С. І., Сущенко А. В. одним з напрямів розвитку енергоінновацій вважають розвиток розумних мереж, в своїй роботі вони вивчають недоліки та переваги запровадження розумних електромереж [6].

В роботі [7] оцінюється стійкість економічних інновацій у водному та енергетичному секторах. В статті [8] досліджуються детермінанти викидів вуглецю на прикладі Франції. Шахбаз М., Насір М. А. та Рубо Д. доводять взаємозв'язок між прямими іноземними інвестиціями, фінансовим розвитком, економічним зростанням, споживанням енергії та інноваційними дослідженнями в галузі енергетики на зниження викидів CO₂. Ченг Ю., Сінха А., Гош В., Сенгупта Т. та Луо Х. [9] доводять ефективність впливу надходжень від податку на викиди вуглецю на енергетичні інновації. В роботі [10] автори дослідили потенційний вплив екологічних інновацій на викиди CO₂ шляхом контролю за глобалізацією, урбанізацією та економічним зростанням. В роботі доведено, що споживання відновлюваної енергії та глобалізація мають значний вплив на скорочення викидів CO₂, тоді як екологічні інноваційні технології відіграють незначну роль у скороченні викидів лише тоді, коли економічне зростання підтримує такий тип інвестицій. Тоді як, Аліч, Я., Саревіц, Д. [11] в своїй роботі показали, що непередбачувані наслідки інновацій, ймовірно, унеможливають стратегічне спрямування глобальної енергетичної системи в бажаному напрямку.

Вайс, Б., Обі, М., Вайс, Б., і Обі М. в своїй роботі [12] доводять роль досліджень і розробок корпоративних або комерційних підприємств для зниження вуглецевої інтенсивності глобального ВВП і декарбонізації глобальної енергетичної системи

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ, КОТРИМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ СТАТТЯ

Незважаючи на значну кількість досліджень у сфері декарбонізації економіки та впливу енергетики на декарбонізацію, подальших досліджень потребує трансферт енергетичних інновацій і його вплив на зменшення вуглецевого сліду.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є оцінювання впливу трансферту енергетичних інновацій на рівень декарбонізації економіки. Авторами висунута гіпотеза про залежність рівня декарбонізації економіки (показник EPI) від розвитку відновлювальної енергетики (оцінювалося на основі RECAI), розвитку інновацій (показник GI) та їх трансферту (показник GPI).

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Оцінка ефективності передачі енергетичних інновацій з урахуванням системи оцінки на основі рівня декарбонізації економіки вимагає комплексного підходу та використання науково-методичних інструментів для аналізу різних аспектів. Особливої уваги набувають питання виявлення параметрів декарбонізації економіки та його основних показників. Узагальнююча схема параметрів декарбонізації економіки відображено на рис. 5.

До основних аспектів декарбонізації економіки відносять: викиди парникових газів, використання відновлювальних джерел енергії, енергоефективність, зелений ринок та інновацій, карбоновий бюджет. Одже, основні показники, які впливають на рідень декарбонізації економіки такі:

1. Показники декарбонізації, які оцінюють зниження викидів парникових газів, що впливають на економіку декарбонізації. Наприклад, скоригований темп зростання викидів вуглекислого газу, прогнозовані викиди парникових газів у 2050 році, викиди парникових газів на душу населення. Такий показник, як викиди парникових газів відображає обсяги викидів вуглекислого газу (CO₂), метану (CH₄) та оксиду азоту (N₂O). Зниження викидів цих газів свідчить про прогрес у декарбонізації економіки.

2. Показники збільшення використання відновлюваних джерел енергії. Наприклад: доля відновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії, обсяг встановлених потужностей відновлюваних джерел енергії, збільшення виробництва електроенергії відновлюваними джерелами, інвестиції у відновлювану енергетику, розвиток нових технологій для зменшення парникових газів. Показник використання відновлювальних джерел енергії вказує на рівень використання відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, гідроелектроенергія та біомаса. Збільшення частки відновлювальної енергії в енергетичній системі свідчить про перехід до більш декарбонізованого енергетичного сектора.

3. Показники енергоефективності, такі як зниження витрат системи на енергію та підвищення енергетичної стійкості. Енергоефективність – показник, який відображає ефективність використання енергії в економіці. Застосування енергоефективних технологій та практик допомагає знизити споживання енергії та викиди парникових газів, сприяючи декарбонізації.

До основних аспектів декарбонізації економіки відносять: викиди парникових газів, використання відновлювальних джерел енергії, енергоефективність, зелений ринок та інновацій, карбоновий бюджет. Одже, основні показники, які впливають на рідень декарбонізації економіки такі:

4. Показники декарбонізації, які оцінюють зниження викидів парникових газів, що впливають на економіку декарбонізації. Наприклад, скоригований темп зростання викидів вуглекислого газу, прогнозовані викиди парникових газів у 2050 році, викиди парникових газів на душу населення. Такий показник, як викиди парникових газів відображає обсяги викидів вуглекислого газу (CO₂), метану (CH₄) та оксиду азоту (N₂O). Зниження викидів цих газів свідчить про прогрес у декарбонізації економіки.

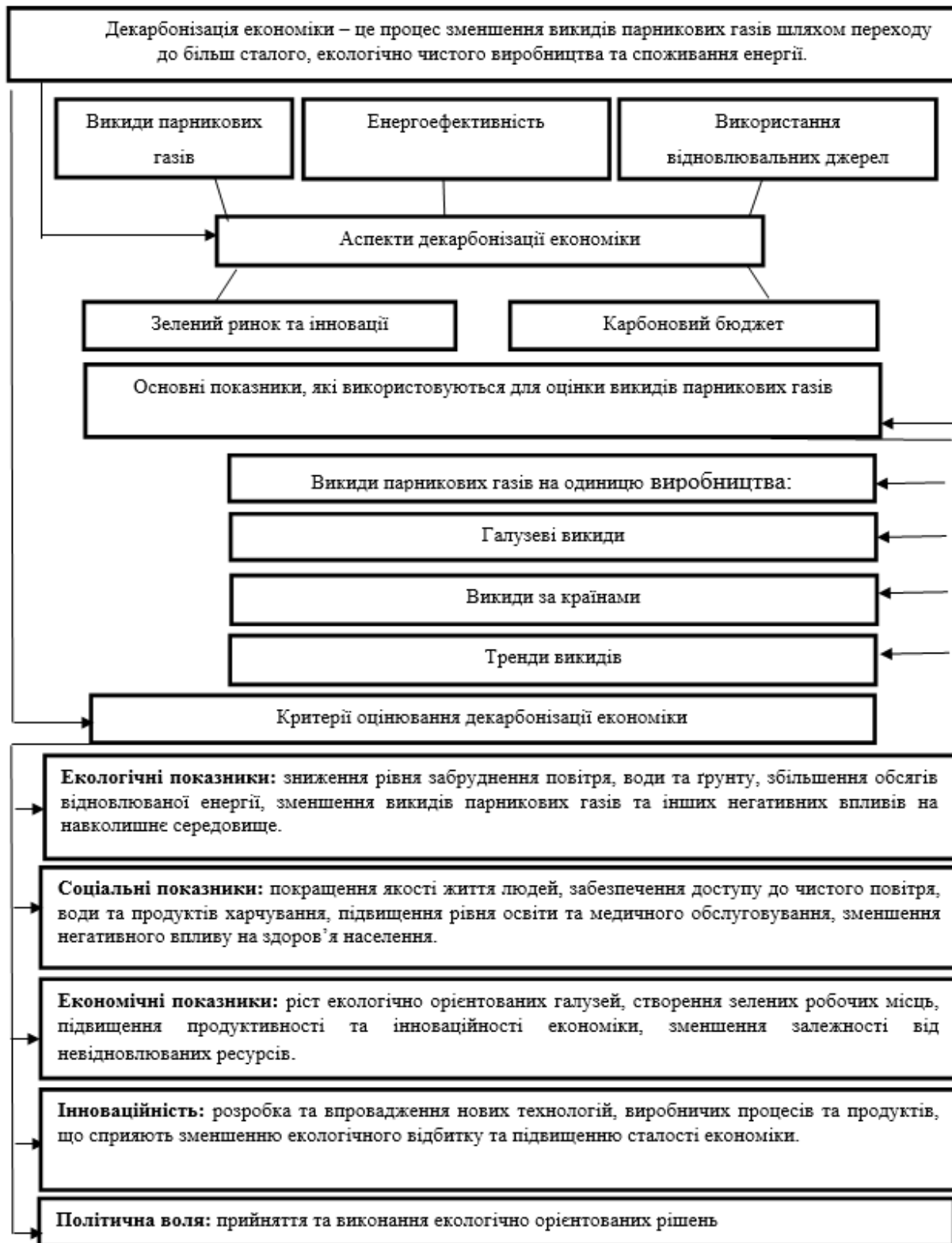


Рис. 5. Узагальнююча схема параметрів декарбонізації економіки

Джерело: розроблено авторами

5. Показники збільшення використання відновлюваних джерел енергії. Наприклад: доля відновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії, обсяг встановлених потужностей відновлюваних джерел енергії, збільшення виробництва електроенергії відновлюваними джерелами, інвестиції у відновлювану енергетику, розвиток нових технологій для зменшення парникових газів. Показник використання відновлювальних джерел енергії вказує на рівень використання відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, гідроелектроенергія та

біомаса. Збільшення частки відновлювальної енергії в енергетичній системі свідчить про перехід до більш декарбонізованого енергетичного сектора.

6. Показники енергоефективності, такі як зниження витрат системи на енергію та підвищення енергетичної стійкості. Енергоефективність – показник, який відображає ефективність використання енергії в економіці. Застосування енергоефективних технологій та практик допомагає знизити споживання енергії та викиди парникових газів, сприяючи декарбонізації.

7. Показники трансферу технологій (кількість публікацій, патентів, винаходів, стартапів, потік венчурного капітала в стартапах) в сфері енергетики). Показник «Зелений ринок та інновації» оцінює розвиток зеленого ринку, що включає екологічно чисті технології, продукти та послуги. Збільшення інвестицій у зелені технології та інновації свідчить про розвиток декарбонізованої економіки.

Зараз великої популярності набуває концепція карбонового бюджету, що використовується для оцінки та керування викидами парникових газів (зокрема вуглекислого газу) з метою досягнення кліматичних цілей, таких як обмеження глобального потепління до 1,5-2 градусів Цельсія в порівнянні з промисловим рівнем. Але потрібно врахувати вплив наведених вище факторів на декарбонізацію.

Авторами пропонується проводити оцінку ефективності передачі енергетичних інновацій з урахуванням системи оцінки на основі рівня декарбонізації за допомогою наступної моделі:

$$\begin{cases} D = f(In, TI, Ee), \text{ при цьому} \\ TI = f(In, TT) \\ Ee = f(In, TI) \end{cases}, \quad (1)$$

де D – показники декарбонізації економіки, TI – технологічні інновації в енергетиці, TT – трансфер технологій, In – інвестиції в енергетичні розробки та енергетику, Ee – енергоефективність різник секторів економіки.

Авторами було проведено аналіз основних показників оцінки рівня декарбонізації та транспорту технологій для підтвердження запропонованої моделі. Необхідно зазначити, що до індексів, розроблених для оцінки ефективності у сфері відновлюваної енергетики належать такі, як індекс екологічної ефективності (EPI), Індекс привабливості країни з відновлюваної енергетики (RECAI).

Науковці Єльського та Колумбійського університетів [13] одним з показників декарбонізації вважають Індекс екологічної ефективності. Індекс екологічної ефективності (Environmental Performance Index, EPI) є комплексним показником, який оцінює екологічну продуктивність та стійкість країни до екологічних викликів. Цей показник вимірює ефективність країни у використанні їх природних ресурсів, забезпечує чистоту довкілля, охорону біорізноманітності та контроль над забрудненням. Індекс EPI містить такі показники, що вимірюють поводження з відходами, викиди вуглекислого газу внаслідок зміни ґрунтового покриву та викиди фторований газів. Усі ці показники є важливими факторами зміни клімату.

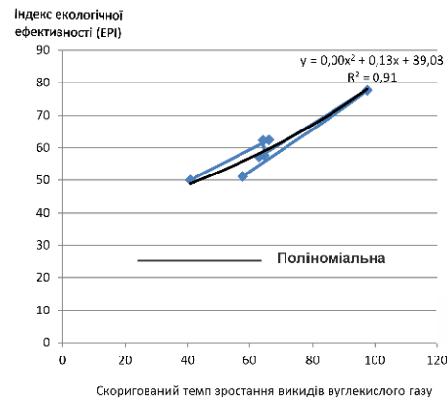
Однією зі складових EPI є «зміна клімату та енергетична продуктивність» (оцінка дій за зменшенням викидів парникових газів та використанням відновлюваних джерел енергії). Тому, політика декарбонізації підштовхує країни працювати над тим, щоб отримати найкращі рейтинги сталого розвитку EPI. Це підтверджує наявність досить високого рівня зв'язку між показниками Індексу екологічної ефективності (EPI) та скоригованим темпом зростання викидів вуглекислого газу.

В таблиці 1 наведений розрахунок кореляційного зв'язку між Індексом екологічної ефективності та скоригованим темпом зростання викидів вуглекислого (Adjusted emissions growth rate for carbon dioxide) у 2022 році для країн G7.

Таблиця 1

Кореляція між показниками Індексу екологічної ефективності (EPI Index (Environmental Performance Index)) та скоригованого темпу зростання викидів вуглекислого газу (Adjusted emissions growth rate for carbon dioxide) у 2022 році

Країна	Індекс екологічної ефективності (EPI)	Скоригований темп зростання викидів вуглекислого газу
Канада	50	40,8
Франція	62,5	66,1
Німеччина	62,4	64,3
Італія	57,7	64,6
Японія	57,2	63
Велика Британія	77,7	97,5
США	51,1	57,8
Коефіцієнт кореляції (r)	0,973587106	



Побудовано авторами на базі даних [14] та [15]

Таким чином, низькі показники EPI мають країни, які мають слабкі політики управління, потребують національних зусиль щодо досягнення цілей сталого розвитку на кількох фронтах, включаючи забруднення повітря та води, захист біорізноманіття та перехід до концепції використання чистої енергії.

Ще одним показником, який науковці відносять до параметрів, що пов'язують із декарбонізацією є індекс привабливості відновлюваної енергетики (RECAI) [16, 17]. Він визначає 40 найкращих світових ринків за привабливістю інвестицій у відновлювану енергетику та можливостей їх розгортання. Даний індекс включає енергетичну та інвестиційну складові.

Автори досліджують у цій роботі вплив інновацій, досліджень та розробок (НДДКР) на розвиток відновлюваної енергетики, аналізуючи взаємозв'язок між Глобальним інноваційним індексом (Global Innovation Index (GII)), Патентним індексом (Global Patent Index (GPI)) та Індексом привабливості відновлюваної енергетики (RECAI). За допомогою програмного забезпечення Google Trends було визначено рівень інтересу громадськості у зазначених індексах, що представлено на рисунку 1.

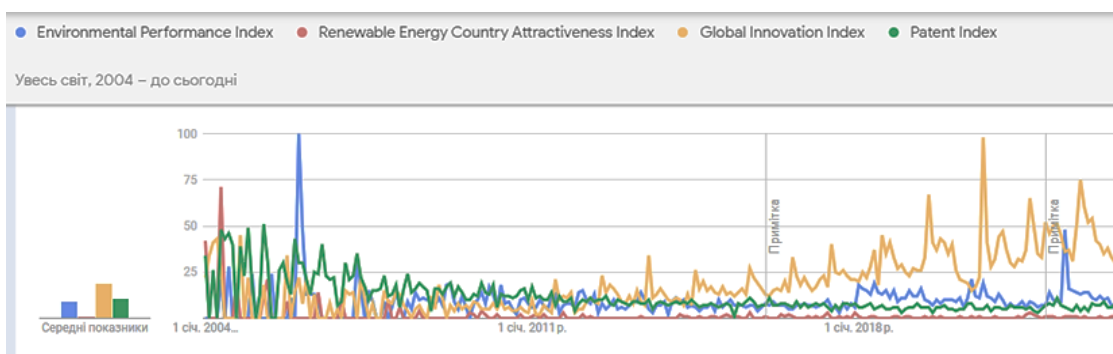


Рис. 6. Рівень зацікавленості громадськості до індексів EPI, RECAI, GII та GPI

Розроблено авторами на базі використання програмного забезпечення Google trends [1]

Проведені дослідження дозволили визначити, що світовий громадський інтерес зорієнтовано на Глобальний інноваційний індекс (GII). Серед країн світу особливий інтерес до індексу виявляють такі країни: Канада, Велика Британія, Австралія, Німеччина, Франція. Також, необхідно зазначити, що Глобальний інноваційний індекс отримав найбільшої популярності у громадськості у вересні 2020 року. На другому місці за популярністю серед індексів, що досліджується, є Глобальний патентний індекс (GPI). Найбільш активно індекс досліджується такими країнами як: США та Індія. До першої п'ятірки країн походження надісланих патентних заявок у 2022 році увійшли США, Німеччина, Японія, Китай та Франція. Загалом у 2022 році кількість патентних заявок у Європейському патентному відомстві зросла на 2,5%. Основною причиною такого зростання є патенти, що охоплюють цифрові технології та зелену енергію.

Аналіз трендів довів також популярність Індексу екологічної ефективності (ЕПІ), яким особливо зацікавлені такі країни як: Латвія, Канада, Велика Британія, Австралія, Франція. Він набув найвищого рівня популярності серед країн світу у січні 2006 р. Також, індекс викликає особливу зацікавленість у червні 2022 року. Високий рівень громадської зацікавленості до Індексу енергетичної ефективності у 2006 році обґрунтовується тим, що він вперше був опублікований в 2002 році, тому почали з'являтися наукові напрацювання в контексті екологічних цілей, викладених у Цілях розвитку тисячоліття ООН. Крім того, пілотний випуск з рейтинговими показниками Індексу екологічної ефективності був опублікований саме у 2006.

Серед індексів, що досліджується, найменш популярним є Індекс привабливості відновлюваної енергетики (RECAI). Але в 2004 році він мав високий рівень популярності. Основною країною, що досліджує індекс є Індія.

В таблиці 3 представлено вплив інновацій, наукових та досліджень розробок (НДДКР) на розвиток відновлюваної енергетики в країнах G7 за допомогою розрахунку коефіцієнта множинного кореляції.

Таблиця 2

Вплив інновацій, досліджень та розробок (НДДКР) на розвиток відновлюваної енергетики на прикладі країн G7 за допомогою множинного коефіцієнта кореляції. Розроблено авторами

Країна	RECAI ²⁰²² (Стовбчик 1)	ГПІ ²⁰²² (Стовбчик 2)	GPI ²⁰²² (Стовбчик 3)
Канада	62	50,8	2001
Франція	69,1	55	10900
Німеччина	71,7	57,2	24684
Італія	63,6	46,1	4864
Японія	65,7	53,6	21576
Велика Британія	70	59,7	5697
США	73,3	61,8	48088
Множинний коефіцієнт кореляції			
	Стовбчик 1	Стовбчик 2	Стовбчик 3
Стовбчик 1	1		
Стовбчик 2	0,89044445	1	
Стовбчик 3	0,718707722	0,651020633	1

Як бачимо з таблиці, коефіцієнт кореляції інноваційного індексу (Стовпець 2) і індексу привабливості відновлюваної енергетики (Стовпець 1) становить 0,89, що відповідає дуже сильному взаємозв'язку. Між патентним індексом (Стовпець 3) і індексом привабливості відновлюваної енергетики (Стовпець 1) даний показник дорівнює 0,71, що є високим ступенем залежності. Коефіцієнт кореляції між патентним індексом (Стовпець 3) і інноваційним індексом (Стовпець 2) дорівнює 0,65, що відповідає середньому ступеню залежності. Таким чином, можна зробити висновок, що залежність між усіма досліджуваними факторами простежується. Ступінь залежності досліджуваних індексів наведений на рисунку 7.

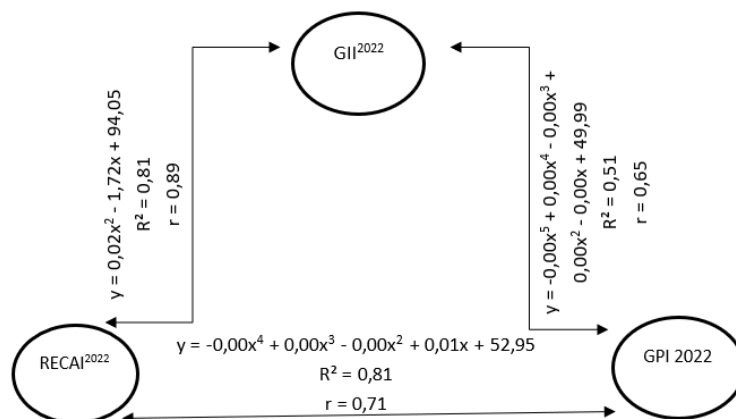


Рис. 7. Ступінь залежності індексів, визначений за допомогою множинної кореляції

Отже, згідно з аналізом, можна підтвердити наявність важливого взаємозв'язку між інноваційними показниками, патентними розробками та привабливістю відновлюваної енергетики.

За допомогою регресійного аналізу було доведено вплив цих факторів на показник EPI. Авторами була висунута гіпотеза, що $EPI = f(RECAI; GII; GPI)$. За допомогою множинного регресійного аналізу була доведена залежність показника EPI від заданих показників та розрахована похибка $R=0.79$. Отже залежність EPI від показників RECAI; GII; GPI було виявлено на основі даних по країнах ЄС за 2022 рік:

$$EPI = -96.95 + 2.19 \cdot RECAI + 0.34 \cdot GII - 0.0006 \cdot GPI, \quad (2)$$

Цей аналіз важливий для розуміння та розвитку сектору відновлюваної енергетики через сприяння інновацій та патентних досліджень. Таким чином, авторами доведено вплив розвитку енергетичних інновацій на показники декарбонізації.

Отже, для переходу до абсолютного нуля необхідно знизити викиди парникових газів. Для цього є декілька шляхів: перший – перехід на альтернативні джерела енергії. Цього можна досягти за допомогою збільшення інвестицій в енергоінновації, що призведе до зниження викидів в атмосферне повітря та зменшення парникових газів, бо саме перехід з вуглецевої енергетики до зеленої може дозволити зменшити велику кількість викидів. Другий шлях – це зниження викидів вуглецю в транспортній сфері. Деякі країни вже ввели заборону на використання дизельного палива, наступним кроком може стати перехід на гібридні або електромобілі. Третім шляхом декарбонізації є зниження енергоємності продукції та запровадження заходів з енергоефективності. Останнім шляхом є запровадження енергоефективності та зменшення викидів в різних секторах економіки. Таким чином, розробка енергоінновацій може привести до скорочення викидів парникових газів. Схема залежності зниження рівня декарбонізації від розвитку енергетичних інновацій наведена у наступній схемі:

перехід на зелену енергетику

↓ CO₂ ← секторальні зміни, енергоефективність ← запровадження енергоінновацій
перехід на електроавтомобілі

Таким чином, досягти декарбонізації можна декількома способами, і ці методи значно відрізняються в кожному секторі. Наприклад, для компанії в одному секторі найбільш перспективним є перехід на відновлювані джерела енергії або заміна палива, а для компанії в інших секторах - запровадження електрифікації та заходів підвищення енергоефективності. Особливості та різноманіття методів за галузями наведена в таблиці 3.

Таблиця 3

Методи декарбонізації економіки в різних галузях економіки

Власники, користувачі та мешканці будівель	Сільське господарство	Промисловість	Транспорт	Енергетика
Електрифікація та роботизація				
Ізоляція будівель			прогнозне обслуговування	
Відновлювана енергія				
Поведінкові зміни	Стаїні з низьким рівнем викидів та стійкі системи утримання	Заміна сировини	Більш економічне виробництво	
Енергоефективність				Енергоефективність
	Використання транспортних засобів та палива з низьким рівнем викидів		Заміна палива	
	Перепроєктування процесу			
	науково-обгрунтоване внесення добрив і заміна добрив на натуральні	Переробка		
	Удосконалення управління природними ресурсами	Дизайн продукту		
	Вуглецеве землеробство	Повторне використання		
	Залишкове тепло та геотермальна енергія			
		Екологічні закупівлі		Екологічні закупівлі

Джерело: розроблено авторами

Щоб сформувавши траєкторію сталого розвитку, власники, користувачі та мешканці будівель мають п'ять основних варіантів прискорення скорочення викидів, що призведе до кліматично нейтральної мети до 2030 року. До них належать:

- Електрифікація (зокрема, за допомогою електричних або гібридних теплових насосів, теплових насосів та електричних водонагрівачів, кондиціонування повітря)
- Енергоефективність (зокрема, за допомогою цифровізації, інтелектуального освітлення, розумних приладів і систем керування)
- Поведінкові зміни (наприклад, через освіту та обізнаність, зміна моделі споживання у повсякденному житті)
- Відновлювана енергія (включаючи біоенергію, сонячні панелі, використання залишкового тепла та зберігання енергії)
- Ізоляція будівлі (включаючи утеплення даху, фасаду, підлоги та подвійне скління).

Унікальність сільськогосподарського сектору щодо зміни клімату полягає в тому, що він здатний, з одного боку, видалити з атмосфери надлишок вуглецю, який надходить з інших секторів, а з іншого боку, зменшити власні викиди парникових газів. Тому, на думку багатьох, це важлива ланка на шляху до нульових чистих викидів.

Основними методами декарбонізації економіки в сільському господарстві є:

1. використання сільськогосподарських транспортних засобів та палива з низьким рівнем викидів (використання біогазу, біоетанолу або біодизелю з відходів і залишків);
2. стаїні з низьким рівнем викидів та стійкі системи утримання шляхом розділення та повторного використання гною та сечі;
3. електрифікація та роботизація;
4. науково-обґрунтоване внесення добрив і заміна добрив на натуральні;
5. удосконалення управління природними ресурсами, особливо земельними та лесними;
6. компенсація викидів вуглецю, в тому числі за допомогою лісового господарства;
7. вуглецеве землеробство;
8. землевпорядкування та лісовпорядкування;
9. власна генерація відновлюваної енергії, такої як енергія вітру та сонця, зберігання теплової енергії (тепло-холодне зберігання), геотермальна енергія або біоенергетика;
10. залишкове тепло та геотермальна енергія;
11. енергопостачання без CO₂ у поєднанні з модернізацією тепличного садівництва.

Однією з головних ланок економіки є промисловість. Європейська комісія розробила дорожні карти скорочення викидів в секторі промисловості, основними методами є електрифікація, заміна палива та підвищення енергоефективності. Але незважаючи на те, що сектори промисловості використовують безліч методів, щоб скоротити викиди, пошук проривних інноваційних технологій триває і сьогодні. Загалом, промисловий сектор має сім варіантів скорочення викидів парникових газів: 1) заміна палива, 2) заміна сировини, 3) проектування процесу, 4) переробка, 5) дизайн продукту, 6) використання залишкової енергії 7) зберігання та використання CO₂.

Аналізуючи дані таблиці 3 можна зробити висновок, що одним з шляхом декарбонізації є запровадженні інновацій, в тому числі енергоінновацій, та зеленої енергетики. Темпи запровадження зелених джерел енергії та енергоінновацій підтверджують той факт, що ціль «Декарбонізація економіки» не буде досягнута до 2030 року, бо більшість методів зменшення викидів вимагають великих інвестицій. Цієї цілі можна досягти лише за умови добре організованої взаємодії між приватними та державними установами та взаємодії всіх держав, що підписали Паризьку угоду.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Оцінка ефективності передачі енергетичних інновацій в контексті декарбонізації відіграє ключову роль у забезпеченні сталого розвитку країн. Декарбонізація, спрямована на зменшення викидів парникових газів та перехід до енергетичного майбутнього з низьким вмістом вуглецю, потребує уваги до ключових показників та впливу енергетичних інновацій на ці показники. Оцінка ефективності передачі енергетичних інновацій з урахуванням рівня декарбонізації економіки потребує комплексного підходу та використання науково-методичних інструментів для аналізу

різних аспектів. Надзвичайно важливим є виявлення параметрів декарбонізації економіки та їх основних показників, що відображені у загальній схемі параметрів декарбонізації економіки.

У роботі автори аналізують взаємозв'язки між інноваціями, дослідженнями та розробками (НДДКР) і розвитком відновлюваної енергетики, використовуючи Глобальний інноваційний індекс (ГІІ), Патентний індекс (ГПІ) та Індекс привабливості відновлюваної енергетики (RECAI). Досліджуючи вплив інновацій, досліджень та розробок (НДДКР) на розвиток відновлюваної енергетики, автори аналізували зв'язок між Глобальним інноваційним індексом (ГІІ), Патентним індексом (ГПІ) та Індексом привабливості відновлюваної енергетики (RECAI). За допомогою програмного забезпечення Google Trends було визначено рівень інтересу громадськості до цих індексів.

У роботі встановлено коефіцієнти кореляції між цими показниками на основі дослідження зазначених показників по країнах G7, які вказують на певний рівень співвідношення між ними. За допомогою множинного регресійного аналізу було визначено залежність показника EPI від заданих показників та розрахована похибка $R=0.79$. Таким чином, зв'язок EPI з показниками RECAI; ГІІ; ГПІ було визначено на основі даних по країнах ЄС за 2022 рік.

Таким чином, досягнення декарбонізації може бути досягнуто різними методами, із значними відмінностями в кожному секторі. Наприклад, в одному секторі перехід на відновлювані джерела енергії або заміна палива може бути найбільш перспективним підходом, тоді як в інших секторах електрифікація та підвищення енергоефективності можуть бути більш прийнятними. Специфіку та різноманітність цих методів у різних секторах описано в дослідженні.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Google trends. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=Environmental%20Performance%20Index,Renewable%20Energy%20Country%20Attractiveness%20Index,Global%20Innovation%20Index,Patent%20Index&hl=uk> (дата звернення: 11.10.2023). – Назва з екрана.
2. Rüdiger, D. Managing Greenhouse Gas Emissions from Warehousing and Transshipment with Environmental Performance Indicators/ Rüdiger, D., Schön, A., Dobers, K.// Transportation Research Procedia. – 2016. – №14. – P. 886 – 895 p. Режим доступу: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84990955661&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=15ba4a3cf76db068d7c6d320118db248&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28decarbonization++AND+EPI%29&sl=39&sessionSearchId=15ba4a3cf76db068d7c6d320118db248> (дата звернення: 11.10.2023).
3. Adjusted emissions growth rate for carbon dioxide. – Режим доступу: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/cda> (дата звернення: 11.10.2023). – Назва з екрана.
4. Гайдуцький, І. П. Низьковуглецевий розвиток: глобальні інструменти мотивації/ Гайдуцький, І. П. // Інвестиції: практика та досвід. – 2017. – №2. – С. 22-26.
5. Пімоненко Т. Ринок енергоінновацій: аналіз тенденцій та проблеми функціонування/ Т. Пімоненко, О. Люльов, Є. Зябіна [та ін.] // Вісник економіки. – 2022. – № 2. – С. 157-170.
6. Вакуленко І. А. Підходи до інтенсифікації впровадження розумних енергомереж/ Вакуленко І. А., Колосок С. І., Сущенко А. В. // Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка. – 2021. – № 1. – С. 22–27. DOI: 10.21272/1817-9215.2021.1-3
7. Levänen J. Implications of frugal innovations on sustainable development: Evaluating water and energy innovations/ Levänen, J., Hossain, M., Lyytinen, T., Hyvärinen, A., Numminen, S., & Halme, M.// Sustainability. – 2015. – №8(1). – P. 4.
8. Shahbaz, M. Environmental degradation in France: the effects of FDI, financial development, and energy innovations/ Shahbaz, M., Nasir, M. A., & Roubaud, D. // *Energy Economics*. – 2018. – №74. – P. 843-857.
9. Cheng, Y. Carbon tax and energy innovation at crossroads of carbon neutrality: Designing a sustainable decarbonization policy/ Cheng, Y., Sinha, A., Ghosh, V., Sengupta, T., & Luo, H.// *Journal of Environmental Management*. – 2021. – №294. – P. 112957.
10. Sahoo, B. Decarbonization: examining the role of environmental innovation versus renewable energy use/ Sahoo, B., Behera, D. K., & Rahut, D.// *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – №29(32). – P. 48704-48719.

11. Alic, J. A. Rethinking innovation for decarbonizing energy systems/ Alic, J. A., Sarewitz, D. // *Energy Research & Social Science*. – 2016. - №21. – С. 212-221.
12. Weiss, B. Decarbonization and clean energy technology research and development/ Weiss, B., Obi, M., Weiss, B., & Obi, M. // *Environmental Risk Mitigation: Coaxing a Market in the Battery and Energy Supply and Storage Industry*. - 2016. - №1. – P. 47-74.
13. Decarbonization Propels Countries to Top Sustainability Rankings in 2020 EPI Index. – Режим доступу: <https://environment.yale.edu/news/article/decarbonization-propels-countries-to-top-sustainability-rankings-in-2020-epi-index> (дата звернення: 11.10.2023). – Назва з екрана.
14. Environmental Performance Index. Режим доступу: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/epi> (дата звернення: 11.10.2023). – Назва з екрана.
15. Adjusted emissions growth rate for carbon dioxide. Режим доступу: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/cda> (дата звернення: 11.10.2023). – Назва з екрана.
16. Chile is no longer top 15 in renewable energy but will rebound, according to expert bnamericas. – 2023. Режим доступу: <https://www.bnamericas.com/en/news/chile-is-no-longer-top-15-in-renewable-energy-but-will-rebound-according-to-expert> (дата звернення: 11.10.2023). – Назва з екрана.
17. Cicea C. New Methodological Approach for Performance Assessment in the Bioenergy Field/ C. Cicea, C. Marinescu, N. // *Pintilie. Energies*. – 2021. - №14(4). – P. 901. <https://doi.org/10.3390/en14040901>

REFERENCES:

1. Google trends. [Elektronnyj resurs] – Режим доступу : <https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=Environmental%20Performance%20Index,Renewable%20Energy%20Count%20ry%20Attractiveness%20Index,Global%20Innovation%20Index,Patent%20Index&hl=uk>
2. Rüdiger, D. Managing Greenhouse Gas Emissions from Warehousing and Transshipment with Environmental Performance Indicators/ Rüdiger, D., Schön, A., Dobers, K. // *Transportation Research Procedia*. – 2016. - №14. – P. 886 – 895 p.
3. Adjusted emissions growth rate for carbon dioxide. – Режим доступу: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/cda>
4. Adjusted emissions growth rate for carbon dioxide. – Режим доступу: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/cda>
5. Pimonenko T. Rynok enerhoinnovatsii: analiz tendentsii ta problemy funktsionuvannia/ T. Pimonenko, O. Liulov, Ye. Ziabina [ta in.] // *Visnyk ekonomiky*. – 2022. - № 2. – С. 157-170.
6. Vakulenko I. A. Pidkhydy do intensyfikatsii vprovadzhenia rozumnykh enerhomerezhyz/ Vakulenko I. A., Kolosok S. I., Sushchenko A. V. // *Visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu. Seriya Ekonomika*. – 2021. - № 1. – С. 22–27. DOI: 10.21272/1817-9215.2021.1-3
7. Levänen J. Implications of frugal innovations on sustainable development: Evaluating water and energy innovations/ Levänen, J., Hossain, M., Lyytinen, T., Hyvärinen, A., Numminen, S., & Halme, M. // *Sustainability*. – 2015. - №8(1). – R. 4.
8. Shahbaz, M. Environmental degradation in France: the effects of FDI, financial development, and energy innovations/ Shahbaz, M., Nasir, M. A., & Roubaud, D. // *Energy Economics*. – 2018. - №74. – R. 843-857.
9. Cheng, Y. Carbon tax and energy innovation at crossroads of carbon neutrality: Designing a sustainable decarbonization policy/ Cheng, Y., Sinha, A., Ghosh, V., Sengupta, T., & Luo, H. // *Journal of Environmental Management*. – 2021. - №294. – P. 112957.
10. Sahoo, B. Decarbonization: examining the role of environmental innovation versus renewable energy use/ Sahoo, B., Behera, D. K., & Rahut, D. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. - №29(32). – P. 48704-48719.
11. Alic, J. A. Rethinking innovation for decarbonizing energy systems/ Alic, J. A., Sarewitz, D. // *Energy Research & Social Science*. – 2016. - №21. – С. 212-221.
12. Weiss, B. Decarbonization and clean energy technology research and development/ Weiss, B., Obi, M., Weiss, B., & Obi, M. // *Environmental Risk Mitigation: Coaxing a Market in the Battery and Energy Supply and Storage Industry*. - 2016. - №1. – P. 47-74.
13. Decarbonization Propels Countries to Top Sustainability Rankings in 2020 EPI Index. – Режим доступу: <https://environment.yale.edu/news/article/decarbonization-propels-countries-to-top-sustainability-rankings-in-2020-epi-index>
14. Environmental Performance Index. Режим доступу: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/epi>
15. Adjusted emissions growth rate for carbon dioxide. Режим доступу: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/cda> (дата звернення: 11.10.2023). – Назва з екрана.
16. Chile is no longer top 15 in renewable energy but will rebound, according to expert bnamericas. – 2023. Режим доступу: <https://www.bnamericas.com/en/news/chile-is-no-longer-top-15-in-renewable-energy-but-will-rebound-according-to-expert> (дата звернення: 11.10.2023). – Назва з екрана.
17. Cicea S. New Methodological Approach for Performance Assessment in the Bioenergy Field/ C. Cicea, C. Marinescu, N. // *Pintilie. Energies*. – 2021. - №14(4). – R. 901. <https://doi.org/10.3390/en14040901>

THE IMPACT OF ENERGY INNOVATION TRANSMISSION EFFICIENCY INDICATORS ON
DECARBONIZATION INDICATORS IN THE ECONOMY

MATVIEIEVA Yuliia¹, OPANASIUK Yuliia ¹,
ROSOKHATA Anna ¹, KOVALENKO Yevhen ¹, SHEVCHENKO Valeriy ²

¹Sumy State University

²University of Customs and Finance

The article is dedicated to assessing the efficiency of transmitting energy innovations in the context of decarbonization, which is the primary goal of reducing the carbon footprint worldwide. It explores the relationship between indicators reflecting the impact of energy innovations on reducing greenhouse gas emissions and facilitating the transition towards a sustainable, less carbon-intensive energy future. The authors examine key indicators of economic decarbonization and identify the influence of energy innovation development on these indicators. Through regression analysis, the article reveals the correlation between energy innovation indicators and decarbonization.

Additionally, the article discusses the potential methods of decarbonization for various economic sectors and provides an analysis of primary indicators applied to assess the level of decarbonization, such as the Environmental Performance Index (EPI), the Global Innovation Index (GII), the Global Patent Index (GPI), and the Renewable Energy Country Attractiveness Index (RECAI). Correlation links between these indicators were demonstrated based on the analysis of G7 countries.

Keywords: decarbonization management, energy innovations, decarbonization indicators, carbon footprint, carbon budget..