Масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій на базі виявлення мультиплікативних ефектів ланцюгової реакції *

Юлія Матвєєва[1], Максим Корнєєв[2], Юлія Опанасюк[3], Євген Коваленко[4], Наталія Небаба[5], Борис Корнійчук[6]

Опубліковано	Секція	УДК
29.02.2024	Економіка	502.3/.7: 338

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo. 10868060

Ліцензовано за умовами Creative Commons BY 4.0 International license

Анотація. В статті розкрито понятійний апарат щодо масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій на базі мультиплікативних ефектів ланцюгової реакції за допомогою бібліографічного аналізу та використання таких програмних інструментів як, VOSviewer, БД Scopus. У результаті дослідження були виокремлені 6 кластерів, що дозволило структурувати та упорядковувати дослідження на основі їх тематики. Запропонована загальнотеоретична схема мультиплікативних ефектів, пов'язаних із інноваціями у контексті енергетичних ланцюгових реакцій. Визначено, що сукупний ефект від розвитку енергетичних інновацій буде отримано у вигляді ефектів від економічного зростання, залучення інвестицій, розвитку технологічного прогресу, ефекту від використання ресурсів, зміни залежності від імпорту енергоресурсів, екологічних ефектів від реалізації енергоінновацій та зниження економічних витрат.

Ключові слова: масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій, мультиплікативні ефекти, інновації, енергетичні системи, математичні моделі, енергетичних ланцюгових реакцій.

---

* *Ця робота була підтримана Міністерством освіти і науки України (науково-дослідна тема 0122U000769 «Трансфер зелених інновацій в енергетиці України: мультиплікативна стохастична модель переходу до вуглецево-нейтральної економіки»; (науково-дослідна тема 0123U100112 «Післявоєнне відновлення енергетики України: оптимізація управління відходами з урахуванням здоров'я населення, екологічних, інвестиційних, податкових детермінант».*

[1] к.е.н, доцент, старший викладач кафедри управління імені О. Балацького, СумДУ, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3082-5551

[2] д.е.н., професор, декан факультету інноваційних технологій, Університет митної справи та фінансів, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4005-5335

[3] к.е.н, доцент, старший викладач кафедри управління імені О. Балацького, СумДУ, ORCID: ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9236-8587

[4] к.е.н, доцент, заступник директора Департаменту міжнародної освіти СумДУ, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2111-9372

[5] д.е.н., доцент, в.о. завідувача кафедри економічного моделювання, обліку та статистики, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1264-106X

[6] аспірант, Університет митної справи та фінансів, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-8386-938X

Scaling of energy environmentally safe innovations based on the detection of multiplicative chain reaction effects

Annotation. The article discloses a conceptual framework for scaling energy and ecologically safe innovations based on the multiplicative effects of a chain reaction. A literature review was carried out on the scaling of energy environmentally safe innovations taking into account the multiplicative effects of the chain reaction. A bibliographic analysis was carried out using such software tools as VOSviewer and the Scopus database. The study was clustered using the VosViewer software. During the research, 6 clusters were identified. This made it possible to structure and organize the studies based on their themes, commonalities and keywords. The first cluster covers a field of research that combines and analyzes mathematical models relating to multiplier effects in various fields. The second cluster is devoted to energy efficiency, energy intensity, energy policy, climate change, CO2 emissions, alternative energy, biomass energy, and multiplier effects. The third cluster represents an area of research that combines computer simulation in the context of energy, biology, and physics. The fourth cluster is aimed at analyzing the relationship between population, energy consumption and risks related to environmental and other factors. The fifth cluster takes into account the aspects of energy storage and optimization using different methods of analysis and forecasting. The sixth cluster includes research aimed at analyzing complex physical and mathematical systems, their properties, modeling methods, and understanding the impact of multiplicative decomposition. The article proposes a general theoretical scheme of multiplicative effects associated with innovations in the context of energy chain reactions. The study found that energy innovation development yields cumulative effects such as economic growth, investment attraction, technological progress, resource utilization, reduced energy import dependence, environmental benefits, and lowered economic costs. Approaches to modeling the scaling of energy environmentally safe innovations, which can be adapted depending on the specific research conditions and characteristics of innovations, are analyzed.

Keywords: scaling of energy environmentally safe innovations, multiplicative effects, innovations, energy systems, mathematical models, energy chain reactions.

Вступ

Дослідження щодо масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій на базі мультиплікативних ефектів ланцюгової реакції набувають особливої актуальності в контексті сучасних проблем, пов'язаних із забезпеченням сталого розвитку та зниженням впливу людської діяльності на навколишнє середовище. До ключових драйверів розвитку тематики необхідно віднести такі як, необхідність запровадження енергетичних інновацій та забезпечення екологічної безпеки. Інновації, які мають потенціал для масштабування, можуть створити мультиплікативні ефекти, забезпечуючи прискорений розвиток та поширення нових технологій. Розвиток енергетичних інновацій може стати важливим фактором для стимулювання економічного зростання. Створення нових ринків та робочих місць у сфері виробництва та впровадження енергоефективних технологій може підтримати стійкий економічний розвиток. Глобальні виклики, пов’язані із зміною клімату, що викликані великою мірою викидами парникових газів, стають все більш серйозними. Необхідно вжити невідкладних заходів для зменшення викидів та перехід до енергетичних систем, що базуються на чистих джерелах енергії. Таким чином, розвиток та масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій на базі мультиплікативних ефектів ланцюгової реакції є важливими для досягнення сталого розвитку, забезпечення екологічної безпеки та вирішення глобальних проблем.

Вагомий внесок у дослідження масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій на базі мультиплікативних ефектів зробили вітчизняні та зарубіжні вчені, зокрема: Васильєва Т. А. [1], Вакуленко І. А. [2], Колосок С. М. [1,3], Аббас Валадані, Ісрафіл Рушді та Рассел Сміт [4], Геновайте Ліобікене, Міндаугас Буткус [5], Ахмед Н., Аречe Ф.О., Ніето Д.Д.К., Борда Р.Ф.К., Гонсалес Б.І., Сенкус П., Сеніньський П., Скшипек А. [6], Чатті В., Хан З. [7] та ін.

Потребує більшої уваги дослідження концепції масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій на базі мультиплікативних ефектів ланцюгової реакції.

Метою статті є удосконалення теоретичних та методичних положень щодо формування підходів масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій на базі виявлення мультиплікативних ефектів ланцюгової реакції.

Завдання статті:

1. Дослідити сутність та зміст концепції масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій на базі мультиплікативних ефектів ланцюгової реакції.
2. Узагальнити підходи щодо виявлення мультиплікативних ефектів, пов'язаних із інноваціями у контексті енергетичних ланцюгових реакцій.
3. Визначити елементи сукупного ефекту від розвитку енергетичних інновацій.

Матеріали та методи: для реалізації дослідження використано методи абстрактно-логічний і системно-структурний аналіз – при визначенні сутності поняття «Масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій на базі мультиплікативних ефектів ланцюгової реакції»; бібліографічний аналіз на основі БД Scopus – під час дослідження актуальності тематики та визначення наукових праць, пов'язаних із мультиплікативними ефектами в різних галузях, зокрема в економіці, фінансах, соціальних науках та енергетиці; програмне забезпечення VOSviewer – при кластеризації, структуруванні та упорядковуванні досліджень на основі їх тематики, спільних зав'язків та ключових слів.

Результати

Масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій на базі мультиплікативних ефектів ланцюгової реакції це – концепція, згідно якої відносно невелика початкова зміна або подія, пов'язана з інноваціями в енергетичному секторі викликає ряд змін, які збільшуються або помножуються з кожним наступним кроком. Ці результати можуть мати значні наслідки для енергетичної промисловості та інших систем, пов'язаних з енергетикою.

За допомогою пошукового бази даних Scopus проведений аналіз наукових досліджень.

Як видно з рисунку 1 кількість публікацій щодо мультиплікативних ефектів в енергетиці почала зростати з 1992 року і має динаміку постійного зростання.

Під час дослідження були визначені наукові праці, пов'язані з мультиплікативними ефектами в різних галузях, зокрема в економіці, фінансах, соціальних науках та енергетиці. Особлива увага була спрямована на вивчення впливу мультиплікативних ефектів на різні аспекти енергетичної сфери та їх взаємодію в різних галузях. Необхідно зазначити, що прикладні науки не були враховані під час дослідження. Таке обмеження не дозволило включити в дослідження деякі аспекти мультиплікативних ефектів у контексті конкретних прикладних програм та їх впливу на суміжні галузі.

Тема мультиплікативних ефектів найбільший інтерес викликає у таких країнах, як США, Китай, Британія, Німеччина, Італія, Франція, Індія, Канада та Іспанія. Ці країни є активними учасниками глобальних економічних та соціальних процесів, тож це створює підґрунтя для вивчення та розуміння впливу мультиплікативних ефектів у різних галузях. Їхні економічні системи та соціальні структури надають можливість для

дослідження взаємозв'язків між вільними сегментами суспільства та економіки, відкриваючи шляхи для аналізу впливу та масштабування мультиплікативних ефектів в наведених країнах та у світовому контексті.

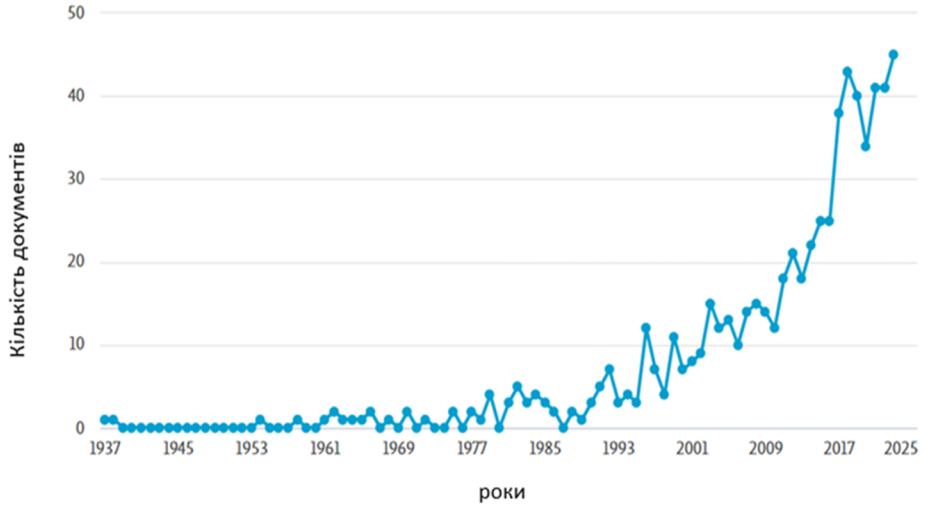


Рис. 1. Аналіз публікацій за період 1937-2023 роки

Джерело: складено авторами на основі БД Scopus

В роботі були проаналізовані наукові дослідження, що були розділені на 6 кластерів за допомогою програмного забезпечення VosViewer (рис. 2). Це дозволило структурувати та упорядковувати дослідження на основі їх тематики, спільних зв'язків та ключових слів. Дана структура кластерів може стати корисним інструментом для подальшого аналізу, ідентифікації ключової тематики та виявлення перетинів у наукових дослідженнях.

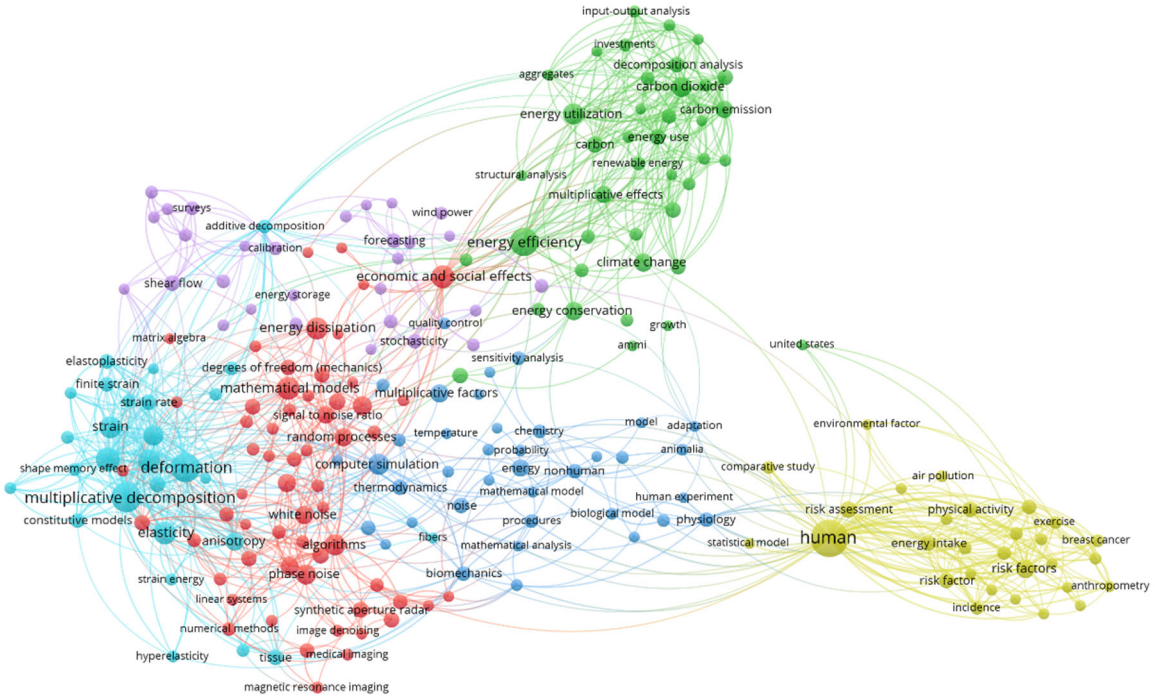


Рис. 2. Аналіз наукових досліджень за ключовими словами «мультиплікативна модель» та «енергетика»

Джерело: розроблено авторами на базі використання пошукових інструментів БД Scopus та VosViewer

Перший кластер (червоний) може бути охарактеризований як галузь досліджень, яка об'єднує та аналізує математичні моделі, що стосуються мультиплікативних ефектів у різних сферах. Наукові дослідження кластеру фокусується на динаміці процесів та використовують гаусівський розподіл для розуміння явищ в економіці та суспільстві. У цьому кластері досліджуються математичні моделі, які описують мультиплікативні ефекти, тобто результат, де зміна одного параметра спричиняє непропорційну зміну, але додаткові ефекти, що розповсюджуються через систему. Такий підхід може бути застосований до економічних та соціальних явищ, де зміни в одній сфері впливають на інші аспекти. Дослідження в цьому кластері орієнтоване на використання гаусівського (нормального) розподілу - статистичної моделі, яка описує багато природних явищ. Цей розподіл дозволяє аналізувати й передбачати результати в умовах, де випадкові фактори відіграють ключову роль. Загалом, кластер об’єднує дослідження, які розвивають математичні моделі, щоб зрозуміти мультиплікативні ефекти, динаміку процесів та їх вплив на енергетичні, економічні та соціальні системи.

Другий кластер (зелений) присвячений питанням ефективності в енергетиці, енергетичної інтенсивності, енергетичної політики, зміни клімату, викидам CO2, альтернативної енергетики, енергії біомас, мультиплікативним ефектам. Дослідження сфокусовані на аналізі та вдосконаленні енергетичних систем та їх впливі на навколишнє середовище. Основні напрямки включають в себе вивчення ефективності в енергетиці, стратегії зниження енергетичної інтенсивності та розвитку альтернативних джерел енергії. Цей кластер фокусується на енергетичній політиці, яка включає в себе застосування стратегій, законодавчих норм та регулювання з метою сприяння розвитку стійких та ефективних енергетичних систем. Дослідження орієнтовані на інтенсифікацію енергетики, тобто на підвищення продуктивності та зниження споживання енергії на одиницю виробленої продукції чи послуг. У цьому кластері розвиваються зв’язки між енергетикою та змінами клімату, зокрема викидами CO2 та іншими парниковими газами. Дослідження спрямовані на розробку та впровадження альтернативних джерел енергії, таких як відновлювані джерела (сонячна, вітрова, енергія біомаси та інші) з урахуванням залежності від викопних палив та зменшення викидів парникових газів. Дослідження також розглядають мультиплікативні ефекти в енергетичних системах, тобто положення, змінене в одній галузі, може мати величезний вплив на інші аспекти енергетичної системи та суспільства в цілому.

Третій кластер (синій) представляє область досліджень, що об’єднує комп’ютерну симуляцію в контексті енергетики, біології та фізики. В цьому напрямку дослідження потрібні математичні моделі для створення та аналізу систем, пов’язаних з енергетикою та біологією. Комп’ютерна симуляція використовується для моделювання процесів, які пов’язані з використанням енергії в різних системах. Це може включати моделювання термодинаміки, що вивчає теплові та енергетичні процеси, а також використання ймовірнісних моделей для прогнозування різних аспектів роботи системи. Мультиплікативні фактори в цьому кластері вивчаються з точки зору їх впливу на енергетичні та біологічні системи. Дослідження орієнтовані на розуміння того, як зміни в одній системі можуть мати посилені чи зменшені ефекти в інших аспектах.

Четвертий кластер (жовтий) спрямований на аналіз взаємозв’язку між населенням, енергетичним споживанням та ризиками, що стосуються екологічних та інших факторів. У цьому контексті застосовуються оцінки ризиків, пов’язаних зі споживанням енергії та його впливом на навколишнє середовище. Дослідження в цьому кластері зосереджені на вивченні взаємозв’язку між споживанням енергії та його впливом на екологічні фактори. Аналізуються різні джерела енергії та їх вплив на навколишнє середовище, зокрема викиди, ризики для здоров’я населення, та загальні наслідки для природних ресурсів. В рамках цього кластера здійснюються оцінки ризиків, пов’язаних зі

споживанням енергії, враховуючи різні інші фактори ризику. Це може включати аналіз техногенних ризиків, впливу на здоров'я населення, екологічних ризиків тощо.

П'ятий (бузковий) кластер враховує аспекти зберігання та оптимізації використання енергії з використанням різних методів аналізу та прогнозування. Цей кластер об'єднує дослідження, які використовують аналітичні та статистичні методи для оптимізації процесів зберігання енергії, аналізу невизначеності, прогнозування та корекції даних в енергетичних системах.

У шостому (блакитному) кластері згруповані дослідження, які спрямовані на аналіз складних фізичних та математичних систем, їх властивостей, методів моделювання та розуміння впливу мультиплікаційної декомпозиції, еластичності, вільної енергії та анізотропії на поведінку цих систем.

Рис. 3. Загальнотеоретична схема мультиплікативних ефектів, пов'язаних із інноваціями у контексті енергетичних ланцюгових реакцій

Джерело: розроблено авторами

На базі вивчення літературних джерел було визначено, що до мультиплікативних ефектів, пов'язаних із інноваціями у контексті енергетичних ланцюгових реакцій відносять: 1) запровадження відновлюваних джерел енергії; 2) підвищення

енергоефективності; 3) модернізація мережі; 4) прийняття електричних транспортних засобів; 5) глобальний енергетичний перехід; 6) удосконалення зберігання енергії, рис. 3.

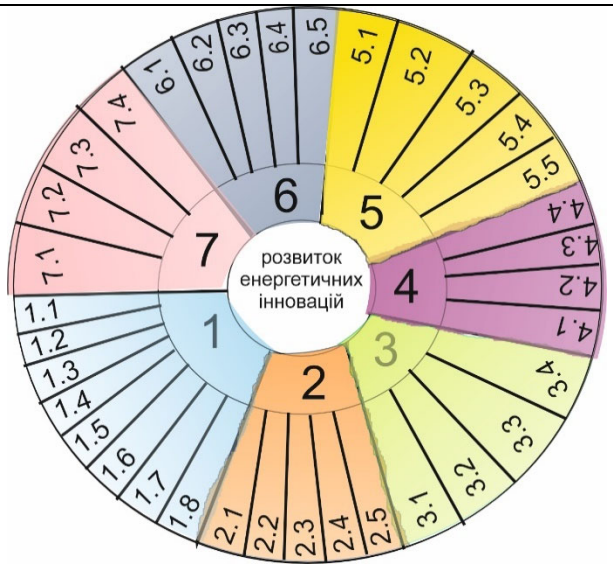
Так, рисунок 3 репрезентує наступне: невелике збільшення впровадження відновлюваних джерел енергії може призвести до економії на масштабі та скорочення витрат у секторі відновлюваної енергії. Це, у свою чергу, може зробити відновлювану енергетику більш конкурентоспроможною порівняно з викопним паливом, стимулюючи подальше впровадження та інвестиції в технології відновлюваної енергії. У свою чергу підвищення енергоефективності в будівлях, приладах і промислових процесах може призвести до зниження споживання енергії. Це зменшення попиту на енергію може призвести до зниження викидів парникових газів, зменшення тиску на енергетичну інфраструктуру та потенційної економії витрат для споживачів і підприємств. Інвестиції в інтелектуальні мережі та технології модернізації мереж можуть підвищити надійність та ефективність розподілу енергії. Оскільки мережева інфраструктура стає більш досконалою, вона може включати більше відновлюваних джерел енергії, розширювати можливості накопичення енергії та зменшувати втрати енергії під час передачі, ще більше заохочуючи інтеграцію чистих джерел енергії. Впровадження електричних транспортних засобів має потенціал для створення позитивного зворотного зв’язку. Оскільки все більше людей переходять на електромобілі, зростає попит на інфраструктуру для зарядки електромобілів, що робить електромобілі більш зручними та привабливими. Це, у свою чергу, може призвести до збільшення використання електромобілів і зменшення залежності від викопного палива для транспортування.

У глобальному масштабі зусилля щодо переходу від викопного палива до чистих і стійких джерел енергії можуть мати багаторазовий ефект. Оскільки все більше країн беруть на себе зобов’язання щодо скорочення викидів вуглецю та переходу на відновлювані джерела енергії, це може сприяти міжнародній співпраці, технологічним інноваціям та інвестиціям у екологічно чисті енергетичні рішення по всьому світу. Прогрес у технологіях накопичення енергії, таких як батареї, може створити мультиплікативний ефект шляхом підвищення надійності та стабільності відновлюваних джерел енергії. Покращені можливості накопичення енергії можуть забезпечити більшу інтеграцію періодично відновлюваних джерел енергії.

Ці приклади ілюструють, як невеликі зміни або інвестиції в енергетичному секторі можуть запустити ланцюгову реакцію подій, які призведуть до масштабніших і стійкіших трансформацій в енергетичному ландшафті. Розуміння цих мультиплікативних ефектів має вирішальне значення для політиків, лідерів галузі та енергетичних планувальників, коли вони приймають рішення щодо формування майбутнього енергетичних систем.

У свою чергу, сукупний ефект від розвитку енергетичних інновацій передбачає, що цей результат отримано у вигляді ефектів від економічного зростання, залучення інвестицій, розвитку технологічного прогресу, ефекту від використання ресурсів, зміни залежності від імпорту енергоресурсів, екологічних ефектів від реалізації енерго-інновацій та зниження економічних витрат, рис. 4.

Визначення масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій на базі мультиплікативних ефектів ланцюгової реакції може бути розглянуто за допомогою різноманітних формул та підходів. Нижче наведено деякі загальні формули та підходи, які можуть використовувати для визначення масштабування, а саме:



1. Економічне зростання; 1.1. Створення нових ринків та робочих місць; 1.2. Збільшення продуктивності; 1.3 Інвестиції та інновації; 1.4 Енергозбереження для споживачів; 1.5 Підвищення екологічної свідомості; 1.6. Залучення інвестицій іноземних компаній; 1.7. Забезпечення енергетичної безпеки; 1.8 Зменшення викидів парникових газів; 2. Зниження витрат; 2.1. Енергоефективність в будівництві; 2.2. Використання відновлюваних джерел енергії; 2.3. Електромобільність; 2.4. Ефективність в промисловості

2.5. Збереження енергії в домогосподарствах; 3. Залучення інвестицій; 2.2. Використання відновлюваних джерел енергії;3.1. Розвиток технологічних стартапів; 3.2. Зелені облігації; 3.3. Громадські фонди та інвестиційні фонди сталого розвитку; 3.4. Інфраструктура для електромобілів;4. Розвиток технологічного прогресу; 4.1 Дослідження та розробка нових технологій; 4.2. Впровадження системи автоматизації та управління; 4.3. Ефективне використання ресурсів; 4.4. Поширення інтернету речей у сфері енергетики; 5. Ефективне використання ресурсів; 5.1. Ефективне управління водними ресурсами 5.2. Енергоефективність в будівництві; 5.3 Використання відновлюваних джерел енергії; 5.4. Ефективність в промисловості. 6. Політична підтримка; 6.1 Змінення залежності від імпорту енергоресурсів; 6.2. Зниження сезонних коливань ціни на енергію; 6.3. Зменшення викидів парникових газів; 6.4 Залучення інвестицій іноземних компаній; 6.5. Створення нових ринків та робочих місць; 7. Екологічні ефекти; 7.1. Зниження рівня CO2; 7.2. зменшення тиску на енергетичну інфраструктуру; 7.3 збільшення відновлюваних джерел енергії; 7.4 розширення можливості накопичення енергії.

Рис. 4. Сукупний ефект від розвитку енергетичних інновацій (Розроблено авторами)

Джерело: розроблено авторами

$$Y_t=Y_0\times(1+r)^t \quad (1)$$

де Yt – результат (вплив, дохід, інше) в часі t;

Y0 – початкове значення;

r – ставка зростання чи зменшення;

t – час.

Масштабування з використанням мультиплікативних ефектів:

$$Y_t=Y_0\times\Pi_{(i=1)}^t (1+r_i) \quad (2)$$

де Yt – результат в часі t;

Y0 – початкове значення;

ri – мультиплікативний ефект в кожному періоді i;

$\Pi_{(i=1)}^t (1+r_i)$ – множення мультиплікативних ефектів;

Кожен ri представляє мультиплікативний ефект в конкретний період часу.

Якщо ri більше 0, то (1+r_i) буде більше 1, що вказує на позитивний мультиплікативний ефект.

Якщо ri менше 0, то(1+r_i) буде менше 1, вказуючи на негативний мультиплікативний ефект.

Кількість членів у множенні визначається параметром t, що представляє кількість періодів часу.

Ця формула дозволяє моделювати мультиплікативний вплив на зміну показника Y протягом кількох періодів часу. Це особливо корисно при аналізі ефектів, які збільшуються або зменшуються з часом і мають взаємодію з попередніми ефектами.

Необхідно зазначити, що загальні підходи до моделювання масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій можуть бути адаптовані в залежності від конкретних умов дослідження та характеристик інновацій.

Висновки

У даній науковій статті було розглянуто проблему масштабування енергетичних екологічно безпечних інновацій через призму виявлення мультиплікативних ефектів ланцюгової реакції. Шляхом використання абстрактно-логічного аналізу та бібліографічного аналізу на базі БД Scopus було проведено дослідження сутності концепції масштабування, узагальнено підходи до виявлення мультиплікативних ефектів і визначено елементи сукупного ефекту від розвитку енергетичних інновацій.

Отримані результати свідчать про важливість подальшого дослідження та розвитку концепції масштабування енергетичних інновацій. Майбутні дослідження можуть спрямовуватися на глибше вивчення механізмів мультиплікативних ефектів в контексті енергетичних інновацій з використанням сучасних методів аналізу даних та моделювання; розробку нових методик та інструментів для виявлення та оцінки мультиплікативних ефектів на різних етапах розвитку енергетичних інноваційних проектів; вивчення можливостей впровадження механізмів стимулювання масштабування енергетичних інновацій через державні програми, фінансові інструменти та міжнародні співпрацю. Ці напрямки досліджень можуть сприяти подальшому розвитку та впровадженню енергетичних інновацій з метою забезпечення сталого розвитку та екологічної безпеки.

Список використаних джерел

1. Kolosok, S., Bilan, Y., Vasylieva, T., Wojciechowski, A., Morawski, M. (2021). A Scoping Review of Renewable Energy, Sustainability and the Environment. *Energies*, 14, 4490.
2. Вакуленко, І. А., Петренко, Н. О. Трансфер екологічно безпечних енергетичних інновацій під час розбудови розумних енергомереж. *Вісник Сумського державного університету*. Серія Економіка. 2020. № 2. С. 141–145. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/84074/1/Vakulenko_energy.pdf
3. Kolosok, S., Pimonenko, T., Yevdokymova, A., Nazim, O. H., Palienko, M., & Prasol, L. (2020). Efficiency of energy policy: impact of green innovations. *Marketing and Management of Innovations*, 4, 50-60.
4. Abbas Valadkhani, Israfil Roshdi & Russell Smyth. A Multiplicative Environmental DEA approach to measure efficiency changes in the world's major polluters. *Energy Economics.* 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/288825543_A_Multiplicative_Environmental_DEA_approach_to_measure_efficiency_changes_in_the_world's_major_polluters
5. Genovaitė Liobikienė, Mindaugas Butkus. Determinants of greenhouse gas emissions: A new multiplicative approach analysing the impact of energy efficiency, renewable energy, and sector mix. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 309, 1 August 2021, 127233. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621014529
6. Ahmed N, Areche FO, Nieto DDC, Borda RFC, Gonzales BC, Senkus P, Siemiński P, Skrzypek A. Nexus between Cyclical Innovation in Green Technologies and CO2 Emissions in Nordic Countries: Consent toward Environmental Sustainability. *Sustainability.* 2022; 14(18):11768. URL: https://doi.org/10.3390/su141811768

7. Chatti, W., Khan, Z. Towards smart sustainable cities: Does technological innovation mitigate G7 CO2 emissions? Fresh evidence from CS-ARD. *Science of the Total Environment*, 2024; 913, 169723 URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723083535?via%3Dihub