

УДК 620.9, 620.9:338; 620.9:658; 620.9:338.26; 620.9.001.18  
УКПП  
№ державної реєстрації 0120U102002  
Інв. №

**Міністерство освіти і науки України**  
Сумський державний університет (СумДУ)  
40007, м. Суми, вул. Р.-Корсакова, 2,  
тел. (0542) 66-51-10, факс (0542) 33-40-49

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з наукової роботи  
д-р фіз.-мат. наук, професор

\_\_\_\_\_ А.М. Черноус

**ЗВІТ**  
**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**  
Моделювання механізмів мінімізації розривів енергоефективності в контексті  
Цілей сталого розвитку: комунікативна мережа взаємодії стейкхолдерів  
**ФОРМУВАННЯ ДОРОЖНЬОЇ КАРТИ СТАЛОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО**  
**РОЗВИТКУ КРАЇНИ**  
(остаточний)

Керівник НДР  
доктор. екон. наук

Ю. В. Білан

2022

Рукопис закінчено 12 грудня 2022 р.

Результати роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол від \_\_ грудня 2022 р. № \_\_

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР Виконавець за договором підряду, доктор екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2022)	Ю. В. Білан (розділи 8,9, вступ, висновки)
Старший науковий співробітник, доктор екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2022)	О. В. Люльов (розділи 2, 3, вступ, висновки)
Старший науковий співробітник, доктор екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2022)	Т. В. Пімоненко (розділи 1, 2, вступ, висновки)
Провідний науковий співробітник, доктор екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2022)	О. І. Карінцева (розділ 1)
Старший науковий співробітник, доктор екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2021)	О. Ю. Чигрин (розділ 7,9, вступ, висновки)
Старший науковий співробітник, доктор екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2021)	О. М. Олефіренко (розділ 4)
Старший науковий співробітник, кандидат екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2022)	Є. В. Коваленко (розділ 9)
Старший науковий співробітник, кандидат екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2022)	Н. М. Костюченко (розділ 5)
Старший науковий співробітник, кандидат екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2022)	С.В. Коломієць (розділ 8)
Лаборант, кандидат екон. наук	<hr/> (22.12.2022)	Г. С. Росохата (розділи 1)
Молодший науковий співробітник, кандидат екон. наук, фахівець	<hr/> (22.12.2021)	О. М. Коробець (розділ 1,5)
Виконавець за договором підряду, доктор філософ. наук	<hr/> (22.12.2022)	М. Пхандарі (розділ 1)
Виконавець за договором підряду, кандидат екон. наук, фахівець	<hr/> (22.12.2021)	Є. А. Зябіна (розділ 2,4)
Виконавець за договором підряду, канд. екон. наук	<hr/> (22.12.2022)	В. В. Павлик (розділ 2)
Виконавець за договором підряду, докт. екон. наук	<hr/> (22.12.2022)	Ю. В. Єльнікова (розділ 4)
Виконавець за договором підряду, канд. екон. наук	<hr/> (22.12.2022)	Б. А. Москаленко (розділ 3)

Виконавець за договором підряду, канд. екон. наук	_____	І. А. Вакуленко (розділ 3,4)
Лаборант, аспірант	_____	М. С. Саєнко (розділ 1)
Фахівець, аспірант	_____	Я. В. Решетняк (розділ 1)
Виконавець за договором підряду, аспірант	_____	М.Ю. Герасименко (розділ 1)
Виконавець за договором підряду, аспірант	_____	Г. С. Пономарьова (розділ 2)
Виконавець за договором підряду, аспірант	_____	С.А. Дрозд (розділ 9)
Виконавець за договором підряду, аспірант	_____	Є.О. Ткачев (розділ 9)
Виконавець за договором підряду, студент	_____	А. П. Назаренко (розділ 1)
Виконавець за договором підряду, студент	_____	Т. М. Василина (розділ 1)
Виконавець за договором підряду, студент	_____	А. С. Волк (розділ 1)
Виконавець за договором підряду, студент	_____	Кочереженко Р.Д. (розділ 9)
Виконавець за договором підряду, студент	_____	І.О. Пономаренко (розділ 8)

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 204 с., 46 рис., 83 табл., 107 джерел.

НАЦІОНАЛЬНА ЕКОНОМІКА, РОЗРИВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ,  
СОЦІО-ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ ВІДНОСИНИ, СТЕЙКХОЛДЕРИ.

Об'єкт дослідження – система соціо-еколого-економічних відносин, які виникають при мінімізації розривів енергоефективності. Метою дослідження – формування методичного інструментарію організаційного, інформаційного та управлінського забезпечення мінімізації розривів енергоефективності країни на основі економіко-математичного моделювання причинно-наслідкових комунікативних зв'язків стейкхолдерів при прийнятті енергоефективних рішень. Методи дослідження – використано економіко-математичне моделювання при оцінюванні та прогнозуванні розривів енергоефективності у національній економіці.

У результаті виконання роботи було узагальнено основні типи соціо-еколого-економічних конфліктів при реформуванні екологічної політики, що обумовлюють появу розривів енергоефективності у національній економіці. Розроблено методичний інструментарій оцінювання розривів енергоефективності у національній економіці, що базується на використанні стохастичного фронтального аналізу та функції енерговідстані Шепарда, враховує випадковий характер ендегенних детермінант розривів енергоефективності, а також їх причинно-наслідковий зв'язок із рівнями глобалізації, відкритості національної економіки та урбанізації як екзогенними детермінантами. Сформовано інструментарій для прогнозування обсягу розривів енергоефективності у національній економіці, здійснено на засадах методології Бокса-Дженкінса з використанням авторегресійного інтегрованого моделювання ARIMA та дозволило визначити таргети державної стратегії переходу до вуглецево-нейтральної економіки. Розроблено організаційно-комунікаційну схему взаємодії та узгодження інтересів стейкхолдерів.

## ЗМІСТ

	с.
ВСТУП .....	6
1 Передумови виникнення розривів енергоефективності у національній економіці .....	9
2 Методичний інструментарій оцінювання та прогнозування розривів енергоефективності у національній економіці .....	23
3 Організаційно-комунікаційна схема взаємодії та узгодження інтересів стейкхолдерів при мінімізації розривів енергоефективності .....	51
4 Матриця витрат та ефектів для стейкхолдерів при реалізації енергоефективних проєктів для мінімізації розривів енергоефективності .	67
5 Система критеріїв та таргетів прийняття енергоефективних рішень для досягнення балансу між оптимальним та фактичним рівнями енергоефективності.....	81
6 Економіко-математична модель для опису причинно-наслідкових соціо-економіко-екологічних взаємозалежностей при прийнятті раціональних енергоефективних рішень.....	110
7 Оцінювання ризиків впливу діяльності стейкхолдерів в секторі відновлювальної енергетики.....	125
8 Механізм забезпечення енергетичної безпеки в умовах інноваційного, екологічно орієнтованого, транспарентного конкурентного розвитку енергетичної системи національної економіки .....	148
9 Сценарії ефективного функціонування енергетичного сектору з урахуванням критеріїв мінімізації розривів енергоефективності за рахунок впровадження відновлювальної енергетики .....	170
ВИСНОВКИ .....	190
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	192

## ВСТУП

Різновекторність екологічної, енергетичної та економічної політик країни викликає виникнення дилеми пріоритетності принципово нової траєкторії розвитку країни та досягнення Цілей сталого розвитку у сфері підвищення енергоефективності та енергозбереження. При цьому загострення екологічних конфліктів, високий рівень енерговитратного споживання в країні, зростання обсягів викидів парникових газів потребує першочергового фокусування на формуванні дієвих механізмів вирішення та нівелювання визначених проблем при одночасному забезпеченні підвищення рівня енергетичної безпеки країни. У даному напрямі перспективним є формування принципово нової моделі взаємодії зацікавлених сторін у підвищенні енергетичної безпеки країни шляхом мінімізації наявних розривів енергоефективності (невідповідність між оптимальним та фактичним рівнями енергоефективності за умови відсутності опортуністичної поведінки стейкхолдерів), моделювання явних та латентних ефектів, що обумовлені ірраціональною поведінкою стейкхолдерів при прийнятті енергоефективних рішень; структурного моделювання причинно-наслідкових соціо-еколого-економічних взаємозалежностей при прийнятті енергоефективних рішень у ланцюгу держава-бізнес- суспільство.

Об'єкт дослідження – система соціо-еколого-економічних відносин, які виникають при мінімізації розривів енергоефективності

Метою дослідження – формування методичного інструментарію організаційного, інформаційного та управлінського забезпечення мінімізації розривів енергоефективності країни на основі економіко-математичного моделювання причинно-наслідкових комунікативних зв'язків стейкхолдерів при прийнятті енергоефективних рішень.

Методи дослідження – використано як традиційні, так і удосконалені методи дослідження з урахуванням недоліків вже існуючих. У роботі використано економіко-математичне моделювання при оцінюванні та прогнозуванні розривів енергоефективності у національній економіці.

У результаті виконання роботи було узагальнено основні типи соціо-еколого-економічних конфліктів при реформуванні екологічної політики, що обумовлюють появу розривів енергоефективності у національній економіці.

Розроблено методичний інструментарій оцінювання розривів енергоефективності у національній економіці, що базується на використанні стохастичного фронтального аналізу та функції енерговідстані Шепарда, враховує випадковий характер ендогенних детермінант розривів енергоефективності, а також їх причинно-наслідковий зв'язок із рівнями глобалізації, відкритості національної економіки та урбанізації як екзогенними детермінантами. Це дозволило дослідити ретроспективну динаміку зміни рівня розривів енергоефективності в Україні, визначити критичні біфуркаційні точки, оцінити результативність вжитих державою заходів щодо мінімізації розривів енергоефективності.

Сформовано інструментарій для прогнозування обсягу розривів енергоефективності у національній економіці, здійснено на засадах методології Бокса – Дженкінса з використанням авторегресійного інтегрованого моделювання ARIMA та дозволило визначити таргети державної стратегії переходу до вуглецево-нейтральної економіки.

Розроблено організаційно-комунікаційну схему взаємодії та узгодження інтересів стейкхолдерів, яка базується на модифікації моделі зрілості розумних енергомереж, враховує ключові параметри й стратегії їх розвитку, стадію реалізації проєкту, систему техніко-технологічних обмежень, соціальні та екологічні фактори.

У результаті виконання роботи було удосконалено науково-методичний підхід до формування матриці витрат та ефектів для стейкхолдерів при реалізації енергоефективних проєктів для досягнення балансу між оптимальним та фактичним рівнями енергоефективності на основі методу PLS-PM, що відрізняється від існуючих врахуванням явних та латентних ефектів, які виникають внаслідок ірраціональної поведінки стейкхолдерів під час прийняття енергоефективних рішень.

Розроблено економіко-математичну модель для опису коінтеграційних зв'язків у ланцюзі «якість інституційного середовища ↔ обсяг залучених зелених інвестицій в енергетику ↔ рівень енергоефективності», що базується на системному поєднанні інструментарію VEC-моделювання та тестування Йохансена. Це дозволило обґрунтувати таргети інвестиційних та інституційних детермінант, досягнення яких обумовлює щорічне підвищення рівня енергоефективності країни.

Удосконалено концептуальні основи формування та реалізації державної політики підвищення енергоефективності країни, що відрізняються від існуючих формалізацією її цільових орієнтирів згідно з індикаторами вуглецево-нейтральної моделі розвитку національної економіки, а також обґрунтуванням принципів, механізмів та інструментів підвищення енергоефективності країни.

Розроблено методологію оцінювання ризиків впливу діяльності стейкхолдерів в секторі відновлювальної енергетики з урахуванням особливостей регіонів та країн, що розвиваються.

Побудовано механізм забезпечення енергетичної безпеки в умовах інноваційного, екологічно орієнтованого, транспарентного конкурентного розвитку енергетичної системи національної економіки та її регіональних особливостей.

Сформовано сценарії ефективного функціонування енергетичного сектору з урахуванням критеріїв мінімізації розривів енергоефективності за рахунок впровадження відновлювальної енергетики.

Розроблено дорожню карту сталого енергетичного розвитку країни на базі цільових орієнтирів вуглецево-нейтральної моделі розвитку національної економіки.



## **1 ПЕРЕДУМОВИ ВИНИКНЕННЯ РОЗРИВІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У НАЦІОНАЛЬНІЙ ЕКОНОМІЦІ**

Загосрення енергетичних проблем обумовлює необхідність налагодження міжнародного співробітництва з питань зеленого енергетичного переходу національної економіки. Так, у грудні 2019 року Європейська Комісія представила нову програму дій «Європейський зелений курс» (ЄЗК), спрямовану на досягнення вуглецево-нейтрального економічного розвитку до 2050 року. Слід зазначити, що впровадження ЄЗК вважається рушійною силою для прискорення розвитку зеленої енергетики, що сприятливо вплине на промисловість країн ЄС та їх партнерів, особливо потенційних кандидатів.

Згідно зазначеному вище, перед Україною, як однієї зі сторін Договору про енергетичне співтовариство ЄС, постає низка проблем та відкриваються значні можливості в енергетичному секторі. Таким чином, український уряд оголосив концепцію «Український зелений курс» з метою досягнення енергетичної незалежності з точки зору сталого, прогнозованого, доступного виробництва та споживання енергії, а також мінімізації викидів парникових газів до кліматично-нейтрального рівня до 2070 року. Згідно даної концепції, енергоефективність та відновлювані джерела енергії вважаються головними векторами трансформації зеленої енергії в Україні. Більше того, постає необхідність побудови енергоефективного профілю з урахуванням реалізованих угод, досягнутих цілей, а також аналізу невдач та їх причин. Таким чином, це сприятиме трансформації поточної української політики в області клімату та енергетики до вимог ЄЗК. При цьому результати багатофакторного економічного та математичного моделювання майбутніх сценаріїв розвитку української вуглецево-нейтральної економіки забезпечать довгострокові перспективи розвитку.

Варто відмітити, що в даний час Україна є виконавцем низки енергетичних Директив Європейського Парламенту та Ради, а саме: Директива 2006/32/ЄС від 5 квітня 2006 року про ефективність кінцевого використання енергії та енергетичні послуги; Директива 2010/31/ЄС від 19 травня 2010 року про

енергоефективність будівель; Директива 2010/30/ЄС від 19 травня 2010 року про вказування за допомогою маркування та стандартної інформації про товар обсягів споживання енергії та інших ресурсів енергоспоживчими продуктами. Аналіз статистичних даних свідчить про те, що у 2017 році, в Україні первинна енергоємність ВВП на душу населення зменшилась більш, ніж на 46% порівняно з 2000 роком. Однак, між країнами Вишеградської четвірки (V4) та Україною спостерігається значний розрив енергоефективності – у 2,8 рази порівняно з середнім значенням країн V4 (рис. 1.1). Більше того, різке зниження енергоємності ВВП на душу населення було спричинене не лише ефективною державною політикою, а й особливостями методології розрахунку ВВП, політикою на зовнішньому ринку, демографічною ситуацією тощо. Таким чином, пріоритетами енергетичної політики стали зниження енергоефективності, енергозбереження, економічне зростання, задоволення потреб суспільства та підвищення конкурентоспроможності національної економіки.

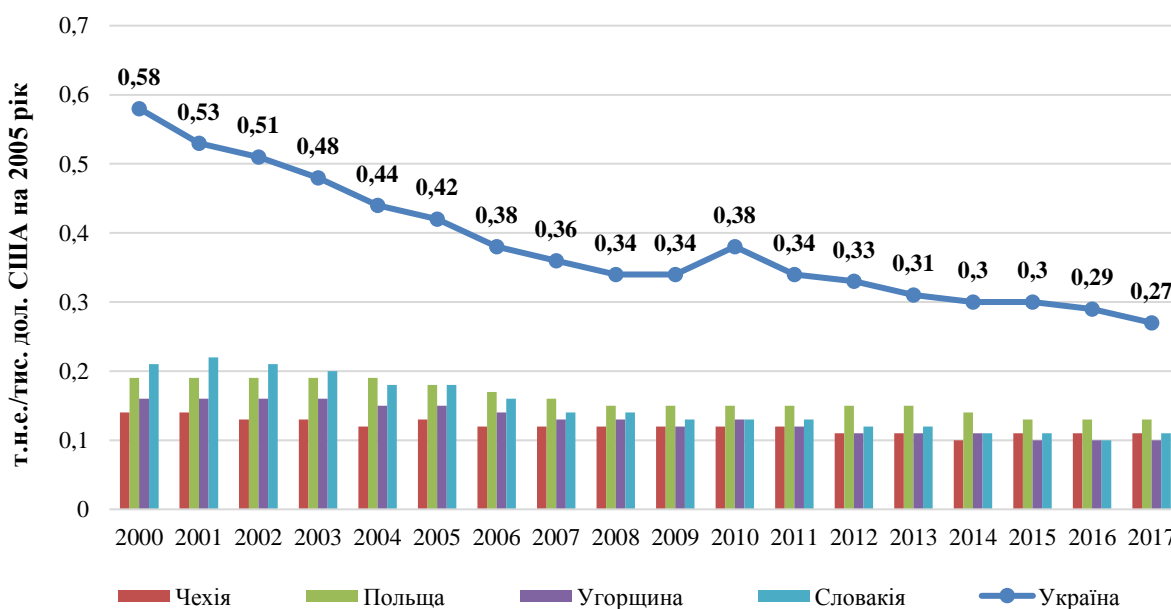


Рисунок 1.1 – Первинна енергоємність ВВП на душу населення України та країн V4, 2000-2019

Джерело: сформовано авторами на основі даних [46].

Варто зазначити, що 1 лютого 2011 року Україна отримала статус Договірної сторони Договору про заснування Енергетичного Співтовариства. Таким чином, відповідно до першого Національного плану дій з енергоефективності України до 2020 року визначено національні індикативні цілі енергозбереження на 2015-2020 роки, а саме: на 2017 рік – досягти 5% рівня енергозбереження (3612 тис. т.н.е.) від середнього показника кінцевого внутрішнього споживання енергії за 2005-2009 роки; на 2020 рік – 9% рівня енергозбереження (6501 тис. т.н.е.). При цьому цілі країн ЄС є значно вищими – зменшити споживання енергії більше, ніж на 20% до 2020 року.

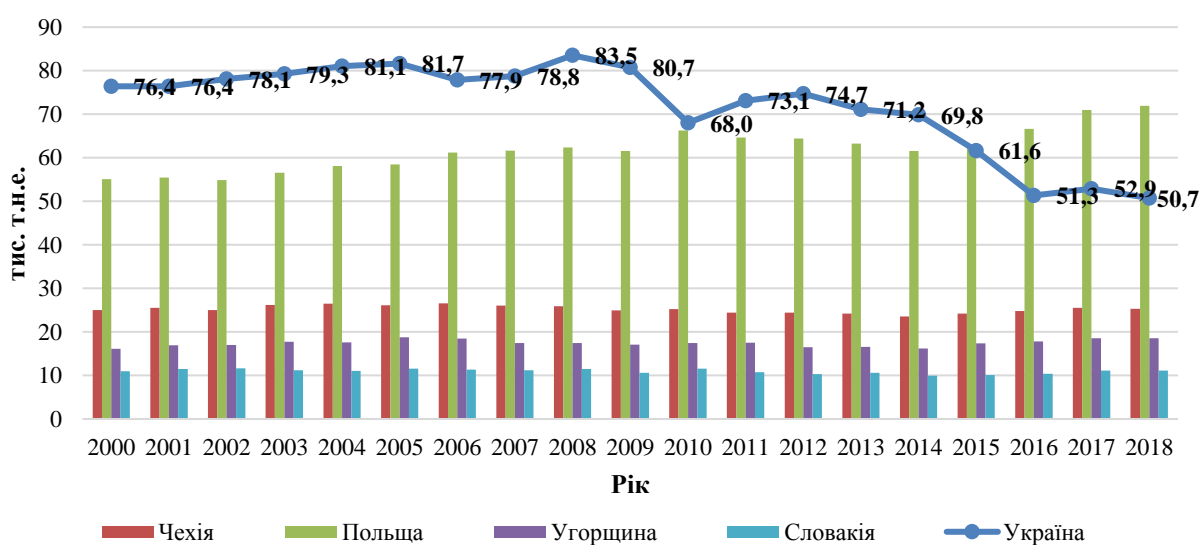


Рисунок 1.2 – Кінцеве споживання енергії в Україні та країнах V4, 2000-2018

Джерело: сформовано авторами на основі даних [42].

Згідно рис. 1.2, обсяг кінцевого споживання енергії у 2018 році зменшився на 33% порівняно з 2000 роком, тоді як порівняно з 2015 роком – на 0,19%. У свою чергу, у 2014 році кінцеве споживання енергії зменшилось на 11,7% порівняно з попереднім роком. Варто зазначити, що дані за 2014-2018 роки не включали інформацію з тимчасово окупованих територій України.

Таким чином, рисунок 1.2 свідчить про те, що Україна не досягне індикативної мети щодо зменшення рівня кінцевого споживання енергії до 9% у 2020 році. Таким чином, необхідно залучати значні фінансові ресурси в

енергетичний сектор від міжнародних фінансових установ, бізнес-сектору, з місцевих бюджетів, а також Державного фонду енергоефективності; розвивати партнерські відносини між урядом та бізнесом у галузі енергоефективності; сприяти реалізації енергоефективних проектів тощо.

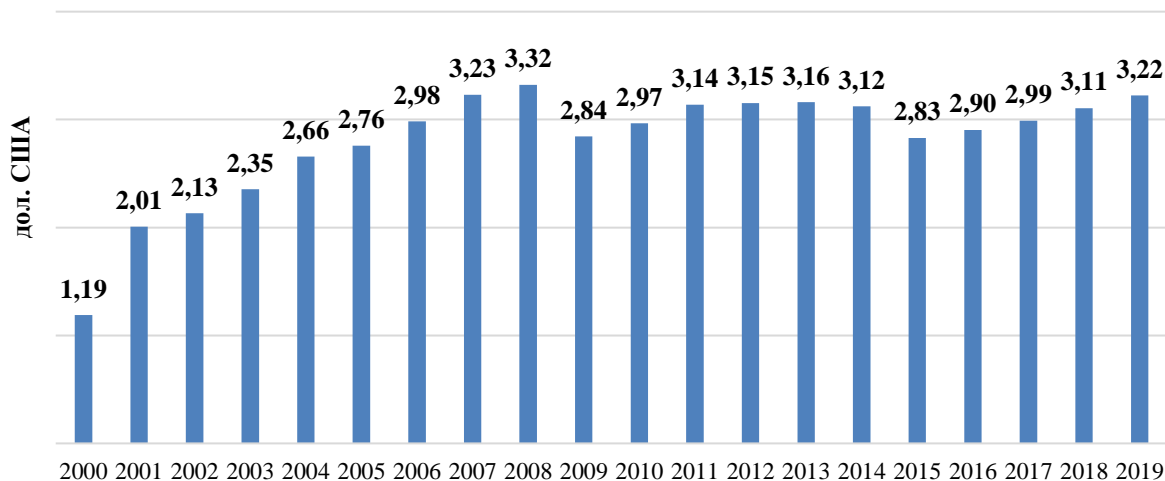


Рисунок 1.3 – ВВП на душу населення

Джерело: сформовано авторами на основі даних [90].

Варто відмітити, що незначне збільшення обсягу кінцевого споживання енергії з 2000 по 2007 роки може бути пов'язане зі стрімким зростанням ВВП (Рис. 1.3). Однак, незважаючи на те, що швидке зростання в секторі торгівлі, послуг та фінансів спричинило зростання ВВП, модернізація виробництва сприяла зниженню рівня споживання енергії. При цьому у 2007-2009 роках, зниження кінцевої енергії було спричинено світовою фінансовою кризою, яка вплинула на обсяги виробництва основних експортно-орієнтованих галузей (таких як хімічна, машинобудівна та металургійна), що вплинуло на рівень споживання електричної енергії. Крім того, з 2010 року кінцеве споживання енергії мало характерну тенденцію до зниження внаслідок реформування енергетичного сектору.

Незважаючи на те, що між Україною та країнами V4 існує значний розрив енергоефективності, наміри досягти вуглецево-нейтральної економіки до 2070 року змушують Україну працювати у напрямку досліджень ефективних

механізмів та впровадження провідних практик країн ЄС з метою стимулювання енергоефективного розвитку. Таким чином, метою даної статті є розробка профілю енергоефективності України, на основі досвіду країн V4, що сприятиме забезпеченню розвитку вуглецево-нейтральної економіки.

Систематизація наукового доробку присвяченого вивченню енергоефективних прогалін, вказує на стрімко зростаючу тенденцію публікаційної активності, представлені в базі даних бази Scopus з 2011 року (Рис. 1.4). Окрім того, у 2015 році кількість наукових публікацій зростає більш ніж на 36% порівняно з попереднім роком, що може бути спричинено підписанням Паризької кліматичної угоди майже 200 країнами.

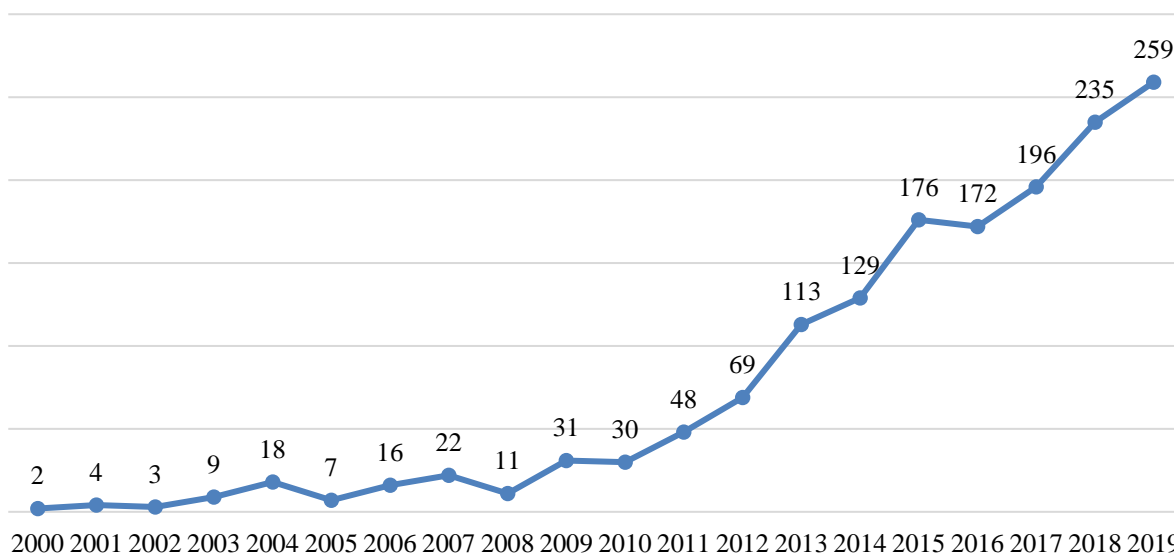


Рисунок 1.4 – Динаміка публікаційної активності щодо дослідження питань розривів енергоефективності, 2000-2019

Джерело: сформовано авторами на основі даних [85].

Узагальнення наукового доробку щодо дослідження питань вуглецево-нейтрального економічного розвитку свідчить про значну кількість досліджень, присвячених питанням енергоефективності. При цьому автори робіт [100] відмітили, що високий рівень викидів вуглецю у промисловому секторі негативно впливає на економічний розвиток. У рамках цієї статті було проведено ретроспективне дослідження вуглецевої інтенсивності економіки, НДДКР та

інвестицій з метою визначення найбільш впливового фактору при досягненні екологічних цілей при існуючій політиці. У свою чергу, в рамках статті [26] автори систематизували аргументи та контраргументи щодо ролі енергетичного фактору в стимулюванні економічного зростання. У роботах [27, 30, 55, 89] автори проаналізували яким чином розвиток відновлюваної енергетики та обсяг викидів вуглецю впливає на валовий внутрішній продукт. У роботі наголошено на важливості інтенсивного впровадження відновлюваних джерел енергії, що сприяє усуненню негативних наслідків антропогенного впливу на навколишнє середовище.

Крім того, причинно-наслідковий зв'язок між зменшенням викидів парникових газів та покращенням економічних показників досліджували італійські дослідники у статті [41]. У роботах [37, 88] досліджено досвід ЄС при досягненні цілей зменшення викидів вуглецю. Встановлено, що існуючі стереотипи щодо неефективності зелених інвестицій є основною перешкодою на шляху впровадження відновлюваних джерел енергії. У свою чергу, автори відмітили, що впровадження відновлюваних джерел енергії позитивно впливає не лише на економіку, а й на екологічну та соціальну сфери. У той же час вчені [30, 31] підтвердили, що корупція та тіньова економіка негативно впливають на процес прийняття рішень зелених інвесторів. Таким чином, це обмежує розвиток зеленої енергії та перешкоджає підвищенню рівня енергоефективності.

У статті [63], автори довели необхідність зеленої трансформації енергетичного ринку, враховуючи енергоефективність та потенціал розвитку альтернативних джерел енергії в умовах забезпечення енергетичної безпеки країни. Автори дослідження [95] запропонували методи зменшення енергетичної залежності країни та підвищення енергетичної безпеки.

У рамках даної статті проведено ґрунтовний аналіз тематичних напрямків досліджуваних статей за допомогою методу візуалізації подібностей [93] в програмному забезпеченні VOSviewer. Слід зазначити, що метод візуалізації подібностей дозволяє візуалізувати тематичні напрямки публікацій на основі

спільної появи досліджуваних термінів у ключових словах, заголовках та анотаціях. Крім того, візуалізація мережевої карти дозволила визначити частоту використання досліджуваних термінів, про що свідчить розмір кола на побудованій карті. Таким чином, чим більшим є діаметр кола, тим частіше відповідний термін з'являється в публікаціях. У свою чергу, відстань між двома термінами вказує на частоту їх появи у публікаціях. При цьому менша відстань свідчить про сильніший взаємозв'язок між двома термінами. Кількість сполучень між термінами вказує на число взаємодій одного терміну з іншими. Колір кола свідчить про приналежність певного терміну до відповідного кластера.

Варто зазначити, що у процесі пошуку наукових публікацій застосовано логічні оператори «AND», щоб включити всі ключові слова в результати, «OR» – принаймні одне ключове слово, («») для збереження повної фрази. При цьому оператори близькості «\*» дозволяють врахувати всі можливі закінчення слова.

У дослідженні проаналізовано найбільш релевантні публікації, що індексуються за трьома предметними областями, а саме: “Economics, Econometrics and Finance”, “Social Sciences” and “Business, Management and Accounting» з 2000 по 2019 рік. При цьому у базі даних Scopus, пошук публікацій проведено за наступними комбінаціями ключових слів: 1) “energy efficien\*” AND gap\* – 2000 публікацій; 2) “green growth” OR “green in\*” OR “green development” OR renewable source\* – 1958 публікацій; 3) “energy efficien\*” AND GDP – 716 публікацій. Проаналізувавши ключові слова на відповідність досліджуваній тематиці, вибірка дослідження становить 4674 найбільш цитованих публікацій.

Таким чином, відповідно до критеріїв обмеження (мінімум 5 спільних випадків появи ключового слова) 1369 з 18193 термінів задовольняють дане обмеження. Рисунок 5 демонструє шість основних кластерів, згрупованих за ключовими словами. Таким чином, найбільший червоний кластер (150 термінів) вказує на дослідження взаємозв'язку між зміною клімату, викидами вуглецю, управлінням викидами, відновлюваними джерелами енергії та економічним зростанням. До того, цей кластер свідчить про взаємозв'язок між органами місцевої влади та якістю управління. При цьому в роботі [30] автори підтвердили

гіпотезу про зв'язок між якістю управління, соціальним та енергетичним розвитком.

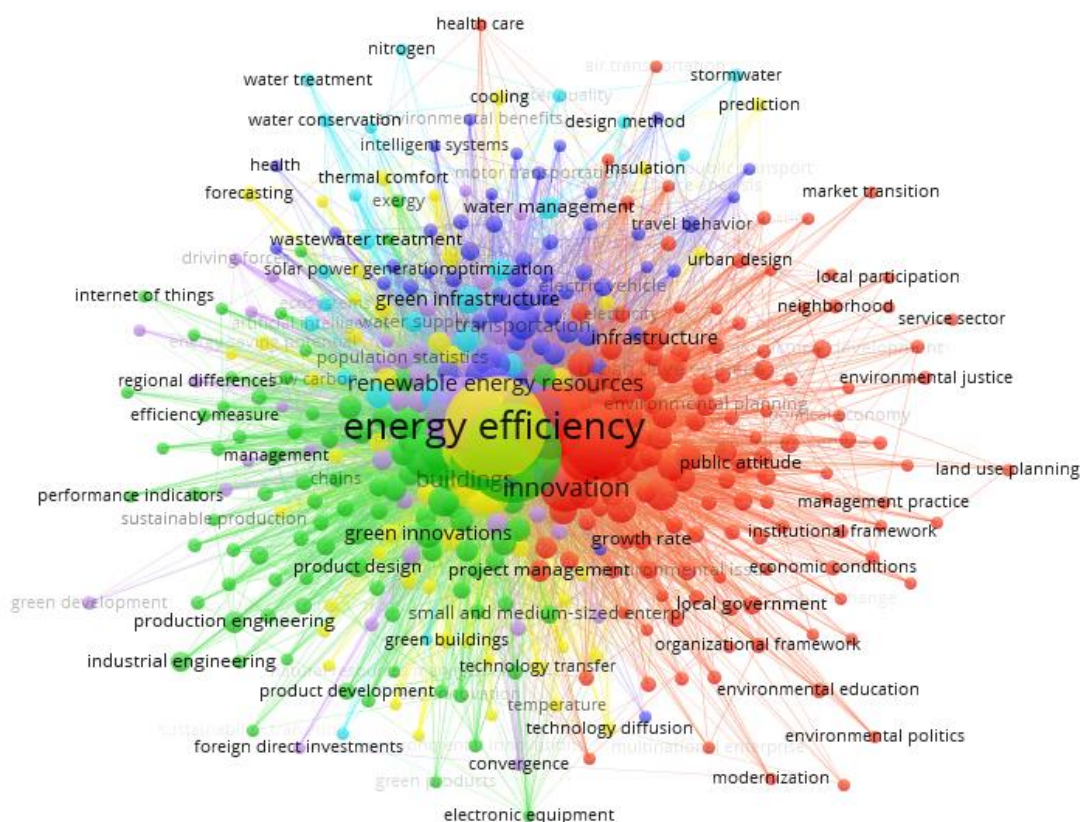


Рисунок 1.5 – Візуалізація тематичних напрямків публікацій щодо дослідження питань зеленого розвитку (за ключовими словами), 2000-2019

Джерело: сформовано авторами на основі даних (Scopus 2020) за допомогою програмного забезпечення VOSviewer

Другий зелений кластер (101 термін) сформований на основі поєднання публікацій, присвячених дослідженню питань екологічного та сталого розвитку, впливу на навколишнє природне середовище, процесу прийняття рішень, соціальних аспектів тощо. Третій блакитний кластер (65 термінів) візуалізує тематику досліджень щодо дослідження впливу економічної діяльності, особливо, енергетичного сектору, автомобільної промисловості. Таким чином, даний кластер сформовано за такими ключовими словами, як: відновлювані джерела енергії та технології, енергія вітру, природний газ, економія палива, викиди тощо. Четвертий жовтий кластер (59 термінів) свідчить на напрямок



досліджень щодо питань енергоефективності, особливо в приватному секторі. П'ятий кластер (52 терміни) зосереджений на економічному аналізі зеленого зростання, де вивчення питань впливу вуглецевих викидів було найбільш популярним. Найменший блакитний кластер (24 терміни) поєднує наукові публікації присвячені дослідженню питань оптимізації екоефективності, використання зеленої енергії, переробки відходів тощо.

Таблиця 1.1 – Узагальнення найбільш часто використовуваних ключових слів в досліджуваних публікаціях, 2000-2019

Ранг	Ключові слова	К-ть випадків появи	Ранг	Ключові слова	К-ть випадків появи
1	Energy efficiency	601	11	Economics	170
2	Sustainable development	534	12	Green infrastructure	167
3	Sustainability	444	13	Carbon dioxide	163
4	Climate change	293	14	Innovation	161
5	Energy utilization	248	15	Environmental impact	158
6	Decision making	179	16	Environmental economics	155
7	Energy conservation	179	17	Economic growth	153
8	Energy policy	178	18	Carbon emission	134
9	Emission control	173	19	Energy use	133
10	Environmental managemet	172	20	Investments	129

Джерело: сформовано авторами на основі даних [85].

У свою чергу, в таблиці 1.1 узагальнено 20 найбільш часто використовуваних ключових слів, які з'являються в заголовках та ключових словах публікацій, а також анотаціях. Таким чином, за результатами аналізу доведено, що дослідження енергоефективного розвитку, зміни клімату, викидів вуглецю та економічного зростання можуть бути найбільш ефективними напрямками для подальших наукових досліджень стратегічного розвитку вуглецево-нейтральної економіки.

Для визначення найбільш авторитетних наукових джерел у галузі досліджень взаємозв'язку між енергоефективними аспектами та економічним зростанням, джерела проаналізовано за такими критеріями: щонайменше 30

опублікованих документів та 100 цитат на джерело. Таким чином, з 1316 наукових джерел, 43 задовольнили умову. Рисунок 6 візуалізує результати розрахунку загальної сили зв'язку цитувань між різними науковими джерелами.

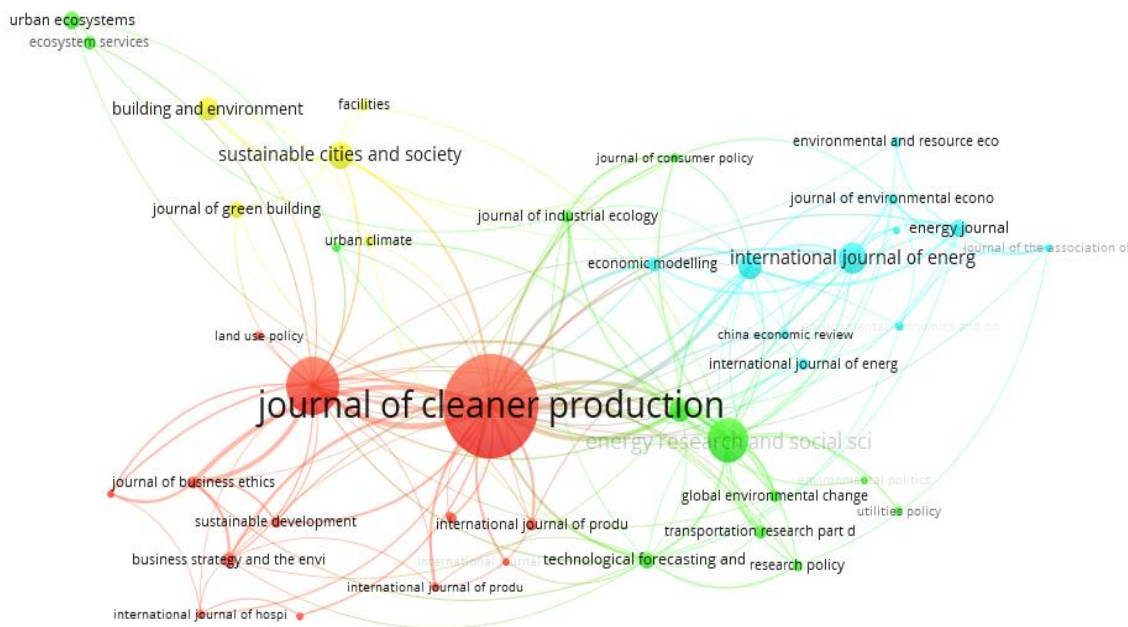


Рисунок 1.6 – Візуалізація мережі наукових джерел, 2000-2019

Джерело: сформовано авторами на основі даних (Scopus 2020) за допомогою програмного забезпечення VOSviewer

За результатами аналізу видимості та цитованості журналу, у таблиці 2 наведено найбільш впливові наукові журнали у досліджуваній галузі. Варто зазначити, що аналіз показників SCImago Journal Rank (SJR) дозволив проаналізувати видимість журналів в базі даних Scopus, тоді як h-index – його цитованість [84]. Таким чином, враховуючи кількість публікацій та рейтинг журналу, найвпливовішим науковим журналом у галузі енергоефективності та екологічного розвитку є нідерландський науковий журнал «Journal of Cleaner Production» (SJR = 1,89 та h-індекс = 173). Варто підкреслити, що найбільш цитовані статті, розглянуті в рамках цього дослідження, були опубліковані в

наукових журналах найвищого квартилю Q1 (8 з 10 розглянутих наукових журналів), що вказує на актуальність досліджуваної тематики.

Таблиця 1.2 – Рейтинг 10 найпродуктивніших журналів в досліджуваній тематиці (за кількістю публікацій), 2000-2019

№	Назва журналу	Країна	К-ть публікацій	SJR, 2019	h-індекс	Квартиль
1	Journal of Cleaner Production	Нідерланди	611	1.89	173	Q1
2	Sustainability	Швейцарія	229	0.58	68	Q2
3	Energy Research and Social Science	Об'єднане Королівство	150	2.21	49	Q1
4	International Journal of Energy Economics and Policy	Турція	83	0.37	25	Q2
5	Sustainable Cities and Society	Нідерланди	64	1.36	43	Q1
6	Energy Economics	Нідерланди	60	2.41	136	Q1
7	Ecological Economics	Нідерланди	53	1.72	189	Q1
8	Building and Environment	Об'єднане Королівство	53	1.87	138	Q1
9	Energy Journal	США	35	1.48	73	Q1
10	Urban Ecosystems	США	32	0.87	50	Q1

Джерело: сформовано авторами на основі даних [85, 84]

Після підписання Угоди про асоціацію з ЄС у 2014 році, Україна зобов'язалась відповідати високим стандартам ЄС щодо рівня енергоефективності та участі в енергетичному ринку. При цьому підвищення рівня енергоефективності та економії енергії є пріоритетним напрямком енергетичної політики України. У свою чергу, зниження рівня споживання енергії є однією з умов досягнення енергетичної незалежності та вступу України в ЄС.

Варто зазначити, що вище наведений аналіз статистичних даних вказує на те, що рівень кінцевого споживання енергії має тенденцію до зниження. Однак, між Україною та країнами V4 існує значний розрив енергоефективності.

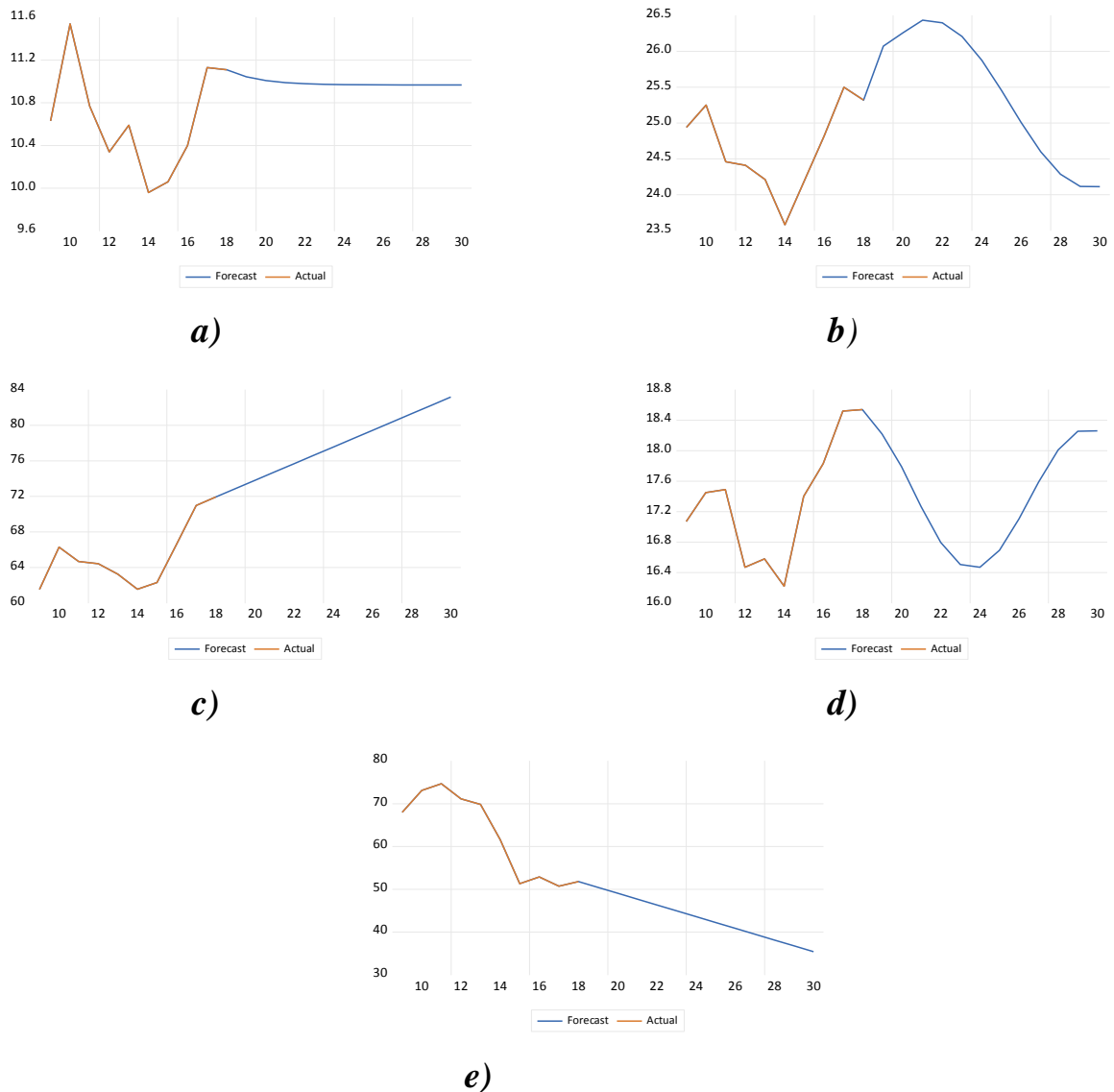


Рисунок 1.7 – Прогноз об’єму кінцевого споживання енергії (млн. т.н.е.)  
 (a) Словачії, b) Чехії, c) Польщі, d) Угорщини та e) України (2000-2030)

Джерело: розраховано авторами за допомогою програмного забезпечення Eviews.

Так, розривом енергоефективності є ситуація, коли технічний та технологічний потенціали розвитку енергоефективності використовуються не повністю, незважаючи на потенційну економічну ефективність. До того, розрив енергоефективності вказує на недостатнє використання альтернативних джерел енергії, низький рівень зелених інвестицій, асинхронність державної енергетичної політики тощо.

Рисунок 1.7 демонструє результати прогнозу розвитку енергоефективності, здійсненого за допомогою моделі ARIMA. У свою чергу,

детермінованою вибіркою дослідження є загальне кінцеве споживання енергії (млн. т.н.е.) з 2000 по 2018 рік країн V4 та України.

Емпіричний розрахунок, проведений за допомогою програмного забезпечення EViews 11. При цьому Отримані результати прогнозу демонструють, що в 2020 році кінцеве споживання енергії в Україні зменшилось на 32% порівняно з 2018 роком, тоді як в Угорщині - на 1,5%, Чехії - 4,77%, Словаччині - на 1,26% (Таблиця 1.3). Варто відмітити, що в Польщі очікується збільшення рівня кінцевого споживання енергії на 1,16%.

Таблиця 1.3 – Прогнозовані значення кінцевого споживання енергії (млн т.н.е.)

Країна/ Рік	Угорщина	Чехія	Словакія	Польща	Україна
<b>2020</b>	17.79	26.26	11.01	73.80	49
<b>2021</b>	17.27	26.43	10.99	74.7	48
<b>2022</b>	16.79	26.40	10.98	75.7	46
<b>2023</b>	16.50	26.21	10.97	76.6	45
<b>2024</b>	16.47	25.88	10.97	77.6	44
<b>2025</b>	16.69	25.46	10.97	78.5	42
<b>2026</b>	17.10	25.01	10.97	79.4	41
<b>2027</b>	17.59	24.60	10.97	80.4	40
<b>2028</b>	18.01	24.29	10.97	81.3	38
<b>2029</b>	18.25	24.11	10.97	82.2	37
<b>2030</b>	18.26	24.11	10.97	83.2	35

Джерело: сформовано авторами за допомогою програмного забезпечення Eviews.

У наш час збереження енергії сприяє не лише досягненню цілей сталого розвитку та підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних продуктів. Сучасна тенденція до енергоефективного розвитку вказує на необхідність забезпечення стабільного економічного функціонування та задоволення потреб населення. Таким чином, комплексна реалізація заходів з енергоефективності та енергозбереження дозволяє прискорити економічне зростання. У свою чергу, підвищення рівня енергоефективності національної економіки має відбуватися за рахунок посилення державної підтримки, що сприятиме: реалізації енергоефективних проектів на малих та середніх підприємствах; стимулюванню

енергетичного ринку та впровадженню систем енергоменеджменту, енергоефективних державних закупівель, зелених кредитів тощо.

На фоні соціально-політичних криз останніх років, питання всебічної енергетичної безпеки відіграють надзвичайно важливу роль в Україні. Результати бібліометричного аналізу свідчать про зростаючий науковий інтерес до дослідження проблем енергоефективного розвитку. Варто відмітити, що стрімке зростання кількості наукових публікацій спостерігається з 2015 року. Більше того, поглиблений аналіз найбільш цитованих статей, які індексуються базою даних Scopus, дозволив визначити основні напрямки наукових досліджень, присвячених досліджуваній тематиці. За отриманими результатами встановлено, що, загалом, вчені досліджують екологічні, економічні, соціальні та правові аспекти забезпечення енергоефективності.

Таким чином, систематизація літературних джерел дозволила виділити постійний загальний дефіцит природних ресурсів, неефективну енергетичну політику, що обумовлюють виникнення соціо-еколого-економічних конфліктів при забезпеченні енергоефективного розвитку в Україні та мінімізації енергорозривів. Крім того, аналіз статистичних даних свідчить про наявність розриву енергоефективності між Україною та країнами V4. Враховуючи отримані результати, у статті здійснено прогнозування кінцевого споживання енергії до 2030 року за допомогою авторегресійної інтегрованої моделі ковзної середньої (ARIMA) з мінімальними параметрами.

Таким чином, отримані результати вказують на необхідність забезпечення синхронізації української енергетичної політики зі стандартами ЄС, заохоченні інтеграції енергетичного ринку між Україною та ЄС, щоб досягти вуглецево-нейтрального рівня в Україні. Отримані результати можуть бути основою для подальших досліджень щодо вивчення впливу ендогенних та екзогенних факторів на розвиток енергоефективності.

Розділ сформовано на підставі звіту про перший етап виконання НДР [14].

## 2 МЕТОДИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗРИВІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У НАЦІОНАЛЬНІЙ ЕКОНОМІЦІ

Для оцінювання рівня розривів енергоефективності запропоновано системно поєднати метод стохастичного фронтального аналізу (СФА) та функцію енерговідстані Шепарда. Традиційно теорія підвищення ефективності передбачає оптимізацію кінцевого результату шляхом максимізації обсягів виробництва, прибутку та мінімізації собівартості. У загальному вигляді стохастичну виробничу фронтальну функцію можна записати у вигляді формули 2.1.

$$\ln y_{it} = \beta_0 + \sum_n \beta_n \ln x_{nit} + v_{it} - u_i \quad (2.1)$$

де  $i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T; u_i \geq 0;$

$y_{it}$  – значення результуючого показника  $i$ -тої продукції за рік;

$x_{nit}$  – параметри результуючого показника  $i$ -тої продукції за період  $t$ ;

$u_i$  – невід’ємні інваріантні випадкові змінні, викликані технічною неефективністю;

$v_{it}$  – випадкові величини  $i$ -ї одиниці в році  $t$ , що відображають вплив статистичного шуму;

$\ln$  – натуральний логарифм;

$\beta_0 \dots \beta_n$  – розрахункові параметри моделі.

Стохастичну витратну фронтальну функцію можна записати у вигляді формули 2.2.

$$\ln y_{it} = \beta_0 + \beta_y \ln y_{it} + \sum_n \beta_n \ln w_{nit} + v_{it} + u_i \quad (2.2)$$

де  $i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T; u_i \geq 0;$

$C_{it}$  – значення загальних витрат  $i$ -тої продукції за рік;

$y_{it}$  – вектор результуючого показника  $i$ -тої продукції за період  $t$ ;

$w_{nit}$  – вектор ціни  $i$ -тої продукції за період  $t$ ;

$u_i$  – невід’ємні інваріантні випадкові змінні, викликані технічною неефективністю;

$v_{it}$  – випадкові величини  $i$ -ї одиниці в році  $t$ , що відображають вплив статистичного шуму;

$\ln$  – натуральний логарифм;

$\beta_0, \beta_y, \beta_n$  – розрахункові параметри моделі.

У працях вітчизняних та закордонних науковців [9, 43, 45, 52] виокремлено три специфікації стохастичної моделі:

1. Детерміновані моделі:

- Кобба-Дугласа (у формі логарифмічної функції).
- Транслагова (гнучка функціональна форма).
- Функція постійної еластичності заміщення (CES-функція).
- Загальна функція Леонтьєва (Diewert-функція).

2. Оціночні моделі:

- Моделі максимального оцінювання ймовірності (ML).
- Метод узагальнених найменших квадратів (GLS).
- Метод моментів (MM).

3. Оцінювання питомої ефективності.

Найбільшого практичного використання в науковій літературі дістали детерміновані моделі. Зокрема, на прикладі банківського сектору [9, 23] автори визначають умови використання детермінованих моделей. Загальний вигляд зазначених моделей представлено у вигляді:

1. Функції Кобба-Дугласа

$$f(x, \beta) = \beta_0 \prod_{i=1}^N x^{\beta_i} \quad (2.3)$$



де  $x$  – вихідні параметри моделі;  
 $\beta_0 \dots \beta_i$  – розрахункові параметри моделі;  
 $i=1 \dots N$  – кількість вихідних параметрів моделі.

2. Транслагова функція:

$$f(x, \beta) = \beta_0 + \sum_{i=1}^N \beta_i \ln(x_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \beta_{ij} \ln(x_i) \ln(x_j) \quad (2.4)$$

де  $x$  – вихідні параметри моделі;  
 $i = 1 \dots N, j = 1 \dots N$  – фактори виробництва;  
 $\ln$  – натуральний логарифм;  
 $\beta_0 \dots \beta_{ij}$  – розрахункові параметри моделі.

3. Функція постійної еластичності заміщення:

$$f(x, \beta) = \beta_0 (\sum_{i=1}^N \beta_i x_i^\rho)^{\mu/\rho} \quad (2.5)$$

де  $x$  – вихідні параметри моделі;  
 $\beta_0 \dots \beta_i$  – розрахункові параметри моделі.  
 $\mu$  – показник ступеня однородності функції;  
 $\rho$  – параметр заміщення;  
 $i=1 \dots N$  – кількість вихідних параметрів моделі.

4. Загальна функція Леонт'єва:

$$f(x, \beta) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \beta_{ij} (x_i x_j)^{1/2} \quad (2.6)$$

де  $x$  – вихідні параметри моделі;  
 $i = 1 \dots N, j = 1 \dots N$  – фактори виробництва;  
 $\beta_0 \dots \beta_{ij}$  – розрахункові параметри моделі.

Основним критерієм вибору моделей (2.7-2.10) є результати тесту відношення логарифмів правдоподібностей ( $LR$ ):

$$LR = -2\ln\left(\frac{L(H_0)}{L(H_1)}\right) \quad (2.7)$$

де  $L(H_0)$  – значення функції максимальної правдоподібності для нульової гіпотези;

$L(H_1)$  – значення функції максимальної правдоподібності для альтернативної гіпотези.

Використовуючи результати тесту відношення логарифмів правдоподібностей, автори робіт [9,23, 43, 45, 52] наголошують на практичній перевазі використання транслогової функції. Це пов'язано з можливістю урахування немонотонних залежностей вихідних параметрів від вхідних, а також лінійністю перетворення змінних і відносно невелику кількість оцінюваних параметрів.

У межах даного дослідження розриви енергоефективності оцінюються на основі функції Шепарда (формула 2.8). Головною відмінністю функції Шепарда від Кобба-Дугласа є те, що поряд із капіталом, працею вона враховує обсяг спожитої енергії.

$$PE = \frac{1}{D_E(K,L,E,Y)} \quad (2.8)$$

де  $D_E(K, L, E, Y)$  – функція енерговідстані Шепарда;

$K$  – обсяги валового основного капіталу в країні;

$L$  – кількість працездатного населення країни;

$E$  – обсяги спожитої енергії в країні;

$Y$  – валовий внутрішній продукт країни;

$PE$  – рівень розривів енергоефективності у національній економіці.

Слід зазначити, що запропонований методичний інструментарій оцінювання розривів енергоефективності у національній економіці дозволяє врахувати випадковий характер ендегенних детермінант розривів енергоефективності, ретроспективну динаміку зміни рівня розривів енергоефективності в Україні, визначити критичні біфуркаційні точки, оцінити результативність вжитих державою заходів щодо мінімізації розривів енергоефективності.

У межах даної роботи у якості незалежних екзогенних змінних обрано такі показники:

- індекс глобалізації (KOF).
- рівень відкритості економіки (Trade);
- рівень урбанізації (U).

Визначимо механізм врахування впливу глобалізації, рівня відкритості та урбанізації на соціо-еколого-енерго-економічні параметри розвитку національної економіки

**Індекс глобалізації (KOF).** У роботі [Ошибка! Источник ссылки не найден.] автори, досліджуючи вплив соціального прогресу на рівень макроекономічної стабільності країн, обґрунтовують необхідність врахування в представлений моделі індексу глобалізації. На думку науковців, саме глобалізаційні процеси визначають тренди економічного розвитку країн та їх соціального прогресу. В основі даного дослідження використовується панельна економетрична модель, що ґрунтується на методі моментів Ареллано-Бонда:

$$\begin{cases} MS_{it} = \alpha_1 \Delta MS_{it-1} + \alpha_2 \Delta Isp_{it} + \alpha_3 \Delta KOF_{it} + \alpha_4 \Delta GOV_{it} + \alpha_5 \Delta Pop_{it} + \alpha_6 Reg_{it} + \varepsilon_{it} \\ \Delta Isp_{it} = \beta_1 \Delta Isp_{it-1} + \beta_2 \Delta MS_{it} + \beta_3 \Delta KOF_{it} + \beta_4 \Delta GOV_{it} + \beta_5 \Delta Pop_{it} + \beta_6 Reg_{it} + \varepsilon_{it} \end{cases} \quad (2.9)$$

де  $MS_{it}$  та  $MS_{it-1}$  – рівень макроекономічної стабільності країни і в період t та t-1;

$Isp_{it}$  та  $Isp_{it-1}$  – рівень соціального прогресу країни і в період t та t-1;

$KOF_{it}$  – індекс глобалізації країни і в період  $t$ ;

$GOV_{it}$  – якість державного управління країни і в період  $t$ ;

$Pop_{it}$  – кількість населення країни і в період  $t$ ;

$Reg_{it}$  – форма державного правління;

$\alpha_1 \dots \alpha_6, \beta_1 \dots \beta_6$  – константи моделі;

$\Delta$  – оператор різниці параметрів моделі;

$\varepsilon_{it}$  – величина похибки.

Отримані результати дозволили авторам побудувати сценарії стратегії реформ управління національною економікою, відповідно до яких значного зростання можливо досягти лише за умови збільшення індексу глобалізації до рівня 3,6 пункта [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Автори роботи [98] на основі панельних даних країн з Азії досліджують існування довгострокового взаємозв'язку між їх економічними, соціальними та політичними індексами глобалізації та економічним зростанням. Методичний інструментарій дослідження ґрунтується на використанні коінтеграційного тесту Педроні. Визначено, що збільшення рівня економічного зростання країн досягається, в першу чергу, за рахунок підвищення економічної глобалізації, що дозволяє урядам активніше брати участь в міжнародній торгівлі, залучати іноземні інвестиції, долучатися до включення в економічні союзи з метою взаємодії з іншими економіками країн.

Ті самі відносини розглянуті в роботі [83] за допомогою узагальненого методу оцінювання моментів (2.10) для країн Ісламського Права (Саудівська Аравія, Об'єднані Арабські Емірати, Іран, Кувейт, Бахрейн, Катар, Афганістан, Пакистан тощо). Результати науковців засвідчили, що позитивний вплив глобалізації на економічне зростання країни відбувається лише для держав з середнім або високим рівнем доходу, високою часткою освічених працівниками та добре розвиненою фінансовою системою. Відтак країнам з низьким рівнем доходом з метою отримання додаткового «ефекту» від масштабу глобалізації

необхідно подолати відповідний рівень доходу за рахунок впровадження відповідних реформ.

$$GDP_{it} = \alpha_1 GDP_{it-1} + \beta_1 KOF_{it} + \beta_1 CV_{it} + \mu_i + \vartheta_{it} \quad (2.10)$$

де  $GDP_{it}$  – валовий внутрішній продукт і-тої країни в t-ому періоді;  
 $GDP_{it-1}$  – валовий внутрішній продукт і-тої країни в t-1-ому періоді;  
 $CV_{it}$  – пояснювальні змінні, що впливають на зміну економічного розвитку і-тої країни в t-ому періоді;  
 $KOF_{it}$  – індекс глобалізації і-тої країни в t-ому періоді;  
 $\alpha_1, \beta_1$  – розрахункові параметри моделі;  
 $\vartheta_{it}$  – похибка моделі.

**Рівень відкритості економіки (Trade).** Він дозволяє оцінити можливість дифузії інновацій для підвищення енергоефективності країни. А. Коул у своїй праці [40] вивчає вплив рівень відкритості торгівлі на споживання енергії в 32 розвинутих країнах протягом 1975-1995 рр. Результати регресії (2.11), представлені для залежної змінної, вимірною величиною спожитої енергії на душу населення, показують, що лібералізація торгівлі збільшить використання енергії на душу населення для усієї сукупності країн з вибірки.

$$E_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 F_{it} + \alpha_2 KL_{it} + \alpha_3 (KL_{it})^2 + \alpha_4 I_{it} + \alpha_5 (I_{it})^2 + \alpha_6 KLI_{it} + \alpha_7 T_{it} + \\ + \alpha_8 T_{it} RKL_{it} + \alpha_9 T_{it} (RKL_{it})^2 + \alpha_{10} T_{it} RI_{it} + \alpha_{11} T_{it} (RI_{it})^2 + \varepsilon_{it} \quad (2.11)$$

де  $E_{it}$  – рівень споживання енергії і-тої країни в t-ому періоді;  
 $F$  – відображає часову специфіку споживання енергії і-тої країни в t-ому періоді;  
 $K$  – капітал і-тої країни в t-ому періоді;  
 $L$  – працездатне населення і-тої країни в t-ому періоді;  
 $KL_{it}$  – показник відношення витрат капіталу до витрат праці і-тої країни в t-ому періоді;

$I$  – валовий внутрішній дохід  $i$ -тої країни в  $t$ -ому періоді;

$T$  – відкритість економіки  $i$ -тої країни в  $t$ -ому періоді;

$KLL_{it}$  – відношення витрат капіталу, витрат праці до внутрішнього доходу  $i$ -тої країни в  $t$ -ому періоді;

$TRI_{it}$  – показник взаємодії інтенсивності торгівлі з внутрішнім доходом  $i$ -тої країни в  $t$ -ому періоді;

$T_{it}RKL_{it}$  – показник взаємодії інтенсивності торгівлі з відносним індикатором співвідношенням капіталу та праці  $i$ -тої країни в  $t$ -ому періоді;

$\alpha_0 \dots \alpha_{11}$  – розрахункові параметри моделі;

$\varepsilon_{it}$  – похибка моделі.

С. Рафік та інші в своєму дослідженні [81] відзначають позитивний вплив відкритості економіки на зменшення як викидів забруднюючих речовин, так і енергоємності країни. Автори наголошують, що позитивний характер впливу відкритості економіки обумовлений в першу чергу можливістю ефективного трансферу технологій у цих країнах.

**Рівень урбанізації ( $U$ ).** Урбанізаційні процеси, подібно до глобалізаційних, мають значний вплив на економічне зростання, соціальний добробут країн, що здатне змінювати її енергоефективність. Зокрема, в роботах [99, 67, 80] підтверджено статистично значимий вплив урбанізації на енергоефективність.

Проте, незважаючи на зазначену залежність, теоретичні та емпіричні висновки наукових досліджень щодо напрямку впливу урбанізації на енергоефективність залежно від об'єктів дослідження, мають суперечливий характер. Так, в роботі [82] автори на основі панельних даних країн, що розвиваються, з використанням різних технік економетричного моделювання отримали змішані результати впливу урбанізації на енергоємність країн. Зокрема, за умови використання трьох різних динамічних моделей, лише одна з них демонструє статистично значимий (на рівні 1%) вплив урбанізації на зміну енергоємності (довгострокова та короткострокова еластичність енергоємності коливається в межах від -0,57 до -0,35). У той же час науковці зазначають, що

«урбанізація збільшує економічну активність завдяки більшій концентрації споживання та виробництва, але урбанізація також призводить до економії масштабу та забезпечує можливість підвищення енергоефективності» [с. 58, 82]. Досліджуючи конвергентні та дивергентні процеси енергоспоживання між країнами членами Європейського Союзу та країнами з перехідною економікою, автори роботи [61], використовуючи двосторонню модель з фіксованими ефектами (2.12-2.13), демонструють позитивний та статистично значимий вплив урбанізації на енергоспоживання. В основі даної роботи покладена концепція  $\beta$ -конвергенції.

$$\ln\left(\frac{y_{i,t}}{y_{i,t-1}}\right) = \alpha + \beta \ln(y_{i,t-1}) + \delta_j CS_j + \gamma_k TS_k + \text{erroterm} \quad (2.12)$$

$$\ln\left(\frac{\varepsilon_{i,t}}{\varepsilon_{i,t-1}}\right) = B + C \ln\left(\frac{\varepsilon_{u,t}}{\varepsilon_{i,t}}\right) + D \ln\left(\frac{y_{u,t}}{y_{i,t}}\right) + \theta_i CS_i + \rho_i CS_i \left(\frac{\varepsilon_{u,t}}{\varepsilon_{i,t}}\right) + \sigma_i CS_i \ln \Delta y_{i,t} + \varphi_m TS_m + \theta_{it} \quad (2.13)$$

де  $\varepsilon_{i,t}$  та  $\varepsilon_{i,t-1}$  – інтенсивність енергоспоживання  $i$ -тої країни в  $t$ -ому та  $t-1$ -ому періоді;

$y_{i,t}$  та  $y_{i,t-1}$  – валовий внутрішній дохід  $i$ -тої країни в  $t$ -ому та  $t-1$ -ому періоді;

$\frac{\varepsilon_{u,t}}{\varepsilon_{i,t}}$  – співвідношення між середньою інтенсивністю енергоспоживання в країнах ЄС та початковим рівнем енергоспоживання в країнах з перехідною економікою;

$\frac{y_{u,t}}{y_{i,t}}$  – співвідношення між середнім валовим внутрішнім доходом в країнах ЄС та початковим рівнем валового внутрішнього доходу в країнах з перехідною економікою;

$D$  – параметр взаємозв'язку між залежною змінною та відношенням  $\frac{y_{i,t}}{y_{i,t-1}}$ , що підтверджує наявність конвергенції;

$C$  – напрям кореляції;

$\alpha, \beta, \delta_j, \gamma_k, B, \theta_j, \rho_i, \sigma_i, \varphi_m$  – параметри що обраховуються;

$CS_i, TS_m$  – бінарні змінні, що визначають належність/неналежність до певної групи країн та окресленого горизонту дослідження;

$\theta, erroterm$  – параметр похибки моделі.

Дослідження взаємозв'язку між урбанізацією та енергоефективністю на прикладі Китаю в роботі [51] демонструють його статистично значимий, проте негативний характер впливу. Подібний висновок також отримали автори роботи [62]. Враховуючі специфіку фронтального аналізу та функцію енерговідстані Шепарда, транслогарифмічну стохастичну фронтірну модель в межах даного дисертаційного дослідження запропоновано представити у вигляді:

$$\begin{aligned}
 -\ln E^t = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln K^t + \alpha_2 \ln L^t + \alpha_3 \ln Y^t + \frac{1}{2} \alpha_4 \ln(K^t)^2 + \frac{1}{2} \alpha_5 \ln(L^t)^2 + \\
 & + \frac{1}{2} \alpha_6 \ln(Y^t)^2 + \alpha_7 (\ln K^t)(\ln L^t) + \alpha_8 (\ln K^t)(\ln Y^t) + \alpha_9 (\ln L^t)(\ln Y^t) + \beta_0 T + \\
 & \beta_1 T^2 + \beta_3(T)(\ln K^t) + \beta_4(T)(\ln L^t) + \beta_5(T)(\ln Y^t) + \vartheta^t - \mu^t
 \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\mu^t = \gamma_0 + \theta_0 KOF^t + \theta_1 Trade^t + \theta_2 U^t + \varepsilon^t \quad (2.15)$$

де  $\alpha_0 \dots \alpha_9, \beta_0 \dots \beta_5, \gamma_0, \theta_0 \dots \theta_2$  – константи моделі;

$K$  – обсяги валового основного капіталу в країні;

$L$  – кількість працездатного населення країни;

$E$  – обсяги спожитої енергії в країні;

$Y$  – валовий внутрішній продукт країни;

$Trade$  – рівень відкритості економіки країни;

$KOF$  – індекс глобалізації;

$U$  – частка міського населення в його загальній кількості;

$t=1 \dots T$  – період дослідження;



$\vartheta^t$  – нормально розподілена складова статистичних помилок, що враховує статистичні шуми та вплив випадкових зовнішніх факторів;

$\mu^t$  – компонента, що пояснює причини неефективного використання енергії;

$\varepsilon$  – статистична похибка моделі.

Слід відмітити, що перед побудовою транслогарифмічної стохастичної виробничої функції необхідним є проведення процедури нормалізації. У даній роботі для нормалізації використано метод логарифмування всіх змінних моделі. За умови від’ємного значення досліджуваної змінної часовий ряд спочатку збільшується на 1, а потім – логарифмується. Для оцінювання розривів енергоефективності сформовано вибірку часових рядів. Інформаційну базу дослідження склали аналітичні дані Світового банку, Швейцарського економічного інституту, Міжнародної енергетичної агенції. Розрахунки розривів енергоефективності здійснено за допомогою програмного комплексу Stata 14 за 2002–2019 рр. Вихідні дані для розрахунку подано у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для оцінювання розривів енергоефективності у національній економіці

Рік	L	K	Y	KOF	Trade	U
2000	49176500	6.14e+09	3.13e+10	59.81	119.8583	67.145
2001	48662400	7.1e+09	3.8e+10	60.3	104.0012	67.183
2002	48202470	7.7e+09	4.24e+10	60.01	100.6565	67.283
2003	47812949	9.79e+09	5.01e+10	61.16	107.4587	67.427
2004	47451626	1.39e+10	6.48e+10	62.57	113.7718	67.597
2005	47105171	1.79e+10	8.61e+10	63.32	97.17678	67.79
2006	46787786	2.51e+10	1.08e+11	65.05	91.46171	67.969
2007	46509355	3.72e+10	1.43e+11	67.61	90.81354	68.147
2008	46258189	4.5e+10	1.8e+11	70.04	96.94731	68.325
2009	46053331	2.04e+10	1.17e+11	71.42	89.86634	68.502
2010	45870741	2.32e+10	1.36e+11	71.9	98.14008	68.596
2011	45706086	2.88e+10	1.63e+11	74.29	106.2418	68.689
2012	45593342	3.34e+10	1.76e+11	74.59	104.0931	68.782
2013	45489648	3.09e+10	1.83e+11	74.66	95.14967	68.875
2014	45272156	1.89e+10	1.34e+11	75.06	100.6918	68.968
2015	45154036	1.23e+10	9.1e+10	76.95	107.8066	69.061
2016	45004674	1.44e+10	9.34e+10	76.88	105.5212	69.154

2017	44831135	1.77e+10	1.12e+11	76.47	103.7178	69.246
2018	44622518	2.31e+10	1.31e+11	75.28	99.119	69.352
2019	44385155	2.77e+10	1.54e+11	74.83	90.17379	69.473

Джерело: сформовано авторами на основі даних Світового банку, Швейцарського економічного інституту, Міжнародної енергетичної агенції.

Описова статистика вихідних даних для оцінювання розривів енергоефективності у національній економіці та їх графічна інтерпретація представлена в таблиці 2.2. та рисунку 2.1.

Таблиця 2.2 – Описова статистика та кореляційна матриця вихідних даних для оцінювання розривів енергоефективності у національній економіці

Описова статистика вихідних даних							
	<b>E</b>	<b>Y</b>	<b>K</b>	<b>KOF</b>	<b>L</b>	<b>Trade</b>	<b>U</b>
1	2	3	4	5	6	7	8
Mean	2770.101	1.12e+11	2.10e+10	69.61000	46297463	101.1334	68.37820
Median	2813.160	1.15e+11	1.96e+10	71.66000	45962036	100.6741	68.54900
Maximum	3033.180	1.83e+11	4.50e+10	76.95000	49176500	119.8583	69.47300
Minimum	2334.410	3.13e+10	6.14e+09	59.81000	44385155	89.86634	67.14500
Std. Dev.	243.5265	4.86e+10	1.06e+10	6.423625	1385282.	7.925406	0.764978
Skewness	-0.643519	-0.186621	0.478613	-0.402376	0.587504	0.464682	-0.290468
Kurtosis	2.140724	1.897022	2.561147	1.534224	2.301703	2.890462	1.753170
Jarque-Bera	1.496763	1.129891	0.924060	2.330102	1.556887	0.729763	1.576727
Probability	0.473132	0.568391	0.630003	0.311907	0.459120	0.694279	0.454588
Sum	41551.51	2.23e+12	4.21e+11	1392.200	9.26e+08	2022.667	1367.564
Sum Sq. Dev.	830272.2	4.49e+22	2.14e+21	783.9962	3.65e+13	1193.429	11.11863
Кореляційна матриця вихідних даних							
	<b>E</b>	<b>Y</b>	<b>KOF</b>	<b>K</b>	<b>L</b>	<b>Trade</b>	<b>U</b>
E	1.000000	-0.078912	-0.339626	0.161174	0.122967	-0.166302	-0.284759
Y	-0.078912	1.000000	0.914870	0.917233	-0.913621	-0.502356	0.915221
KOF	-0.339626	0.914870	1.000000	0.697137	-0.956477	-0.399922	0.990819
K	0.161174	0.917233	0.697137	1.000000	-0.735692	-0.537410	0.705003
L	0.122967	-0.913621	-0.956477	-0.735692	1.000000	0.540647	-0.982185
Trade	-0.166302	-0.502356	-0.399922	-0.537410	0.540647	1.000000	-0.466365
U	-0.284759	0.915221	0.990819	0.705003	-0.982185	-0.466365	1.000000

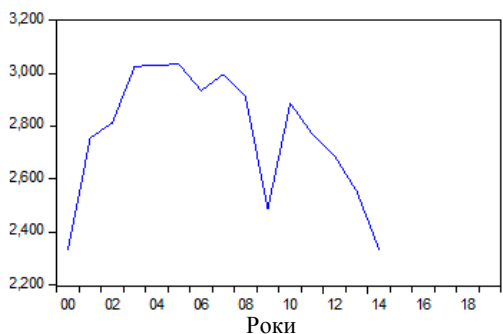
Джерело: сформовано авторами.

Результати дослідження дозволили сформулювати граничні значення розривів енергоефективності національної економіки. Так, діапазон коливання величини розривів енергоефективності становить від 1 до 0. При цьому, якщо:

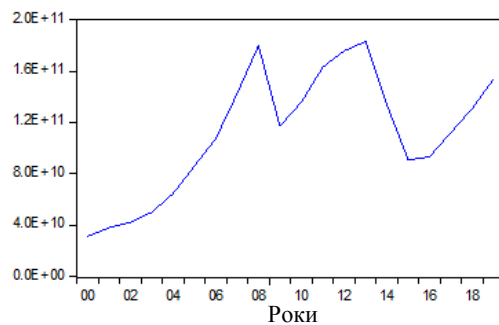
$PE = 0$  – відсутні розриви енергоефективності;

$PE \geq 1$  – критичний рівень розривів енергоефективності.

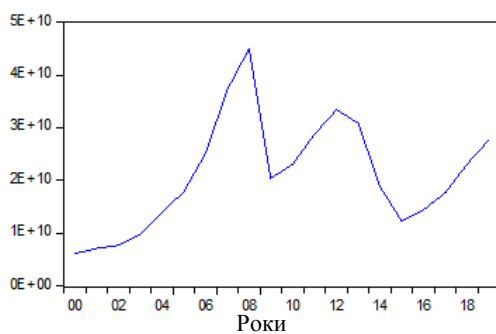
Графічну інтерпретацію результатів оцінювання розривів енергоефективності подано на рисунку 2.2.



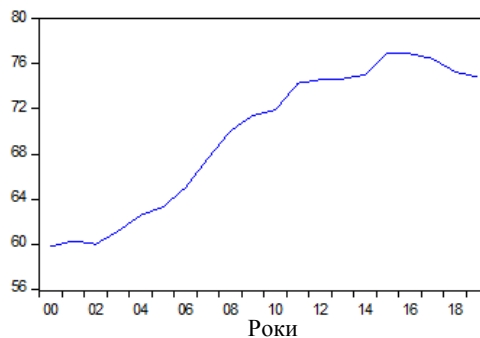
а) обсяги спожитої енергії (кілограм нафтового еквівалента)



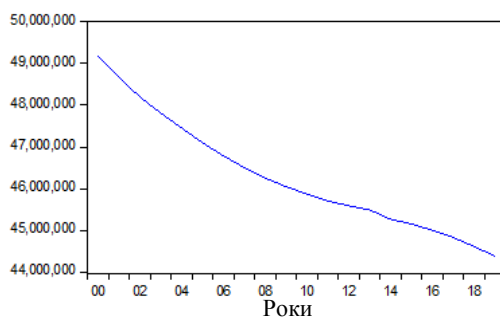
б) валовий внутрішній продукт країни (дол. США)



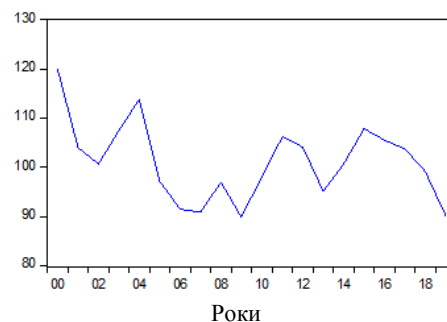
в) обсяги валового основного капіталу (дол. США)



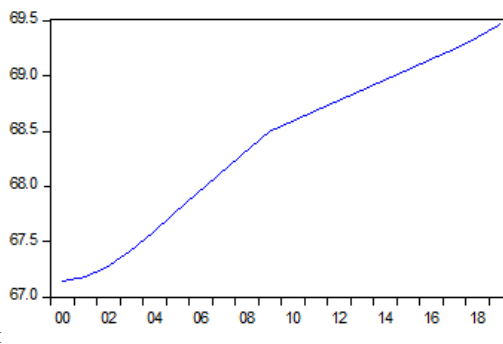
г) індекс глобалізації



д) кількість працездатного населення



е) рівень відкритості економіки (% від ВВП)



ж) частка міського населення в його загальній кількості (%)

Рисунок 2.1 – Графічна інтерпретація вихідних даних для оцінювання розривів енергоефективності в Україні, 2000-2019 рр.

Результати оцінювання параметрів  $\alpha_0 \dots \alpha_9, \beta_0 \dots \beta_5, \theta_0 \dots \theta_2$  подано у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати оцінювання розривів енергоефективності у національній економіці

Константи моделі	Значення констант	Статистична значущість констант
$\alpha_1$	1.366	0.048
$\alpha_2$	-2.123	0.056
$\alpha_3$	-1.358	0.044
$\alpha_5$	0.081	0.023
$\alpha_4$	-0.101	0.032
$\alpha_6$	-0.001	0.131
$\alpha_7$	-0.022	0.236
$\alpha_9$	0.049	0.024
$\alpha_8$	0.0657	0.368
$\beta_0$	-0.051	0.048
$\beta_1$	0.0001	0.039
$\beta_4$	-0.003	0.024
$\beta_3$	0.003	0.044
$\beta_5$	0.0004	0.126
$\theta_0$	-0.344	0.607
$\theta_1$	1.512	0.064
$\theta_2$	0.332	0.156

Джерело: розраховано авторами.



Рисунок 2.2 – Графічна інтерпретація результатів оцінювання розривів енергоефективності в Україні у 2002-2019 рр.

Джерело: сформовано авторами.

Відповідно до результатів дослідження, в Україні середній рівень розривів енергоефективності впродовж досліджуваного періоду становив 0,12. Дані розриви набували найбільших масштабів у 2009 р. та 2015 р., що пояснюється впливом світової фінансової кризи та загостренням військово-політичних конфліктів в країні. Зростаюча динаміка рівня розривів енергоефективності в Україні обумовлена перевищенням негативного ефекту від зростання обсягів експорту первинних енергоресурсів та використання неефективних технологій їх оброблення над позитивним ефектом від імпорту енергоефективних інновацій.

З точки зору оцінювання результативності вжитих державою заходів щодо мінімізації розривів енергоефективності важливо, що їх обсяг був мінімальним у ті роки (2010 р. та 2016 р.), коли були ратифіковані стратегії та програми щодо розвитку енергетичного сектору, а саме:

- з 2010 р. почала реалізовуватися «Державна цільова економічна програма енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв із відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010–2020 рр.»;

– з 2015 р. – «Стратегія сталого розвитку «Україна – 2020», «Стратегія національної безпеки України», «Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 р.».

Слід відмітити, що на початкових етапах ефективність виконання завдань, визначених цими документами, була достатньо високою, що й обумовило істотне зменшення обсягів розривів енергоефективності.

Проведені розрахунки за 2000-2019 рр. для України вказують на існування статистично значимого кореляційного зв'язку між флуктуаціями, обрахованими із застосуванням фільтру Годріка-Прескотта, валового внутрішнього продукту на душу населення ( $Y$ ) (2.16) та рівнем використання енергії ( $E$ ) (2.17):

$$Y_t = Y\tau_t + Yc_t \quad (2.16)$$

$$E_t = E\tau_t + Ec_t \quad (2.17)$$

де  $Y_t$  – фактичні дані валового внутрішнього продукту на душу населення в період  $t$ ;

$E_t$  – фактичні дані рівня використання енергії в національній економіці в період  $t$ ;

$Yc_t$  – циклічна компонента валового внутрішнього продукту на душу населення в період  $t$ ;

$Ec_t$  – циклічна компонента рівня використання енергії в національній економіці в період  $t$ ;

$Y\tau_t$  – трендова компонента валового внутрішнього продукту на душу населення;

$E\tau_t$  – трендова компонента рівня використання енергії.

Розраховані значення фактичних даних, циклічної та трендової компоненти валового внутрішнього продукту на душу населення представлені

на рисунку 2.3, а рівня використання енергії в національній економіці в період  $t$  – на рисунку 2.4.

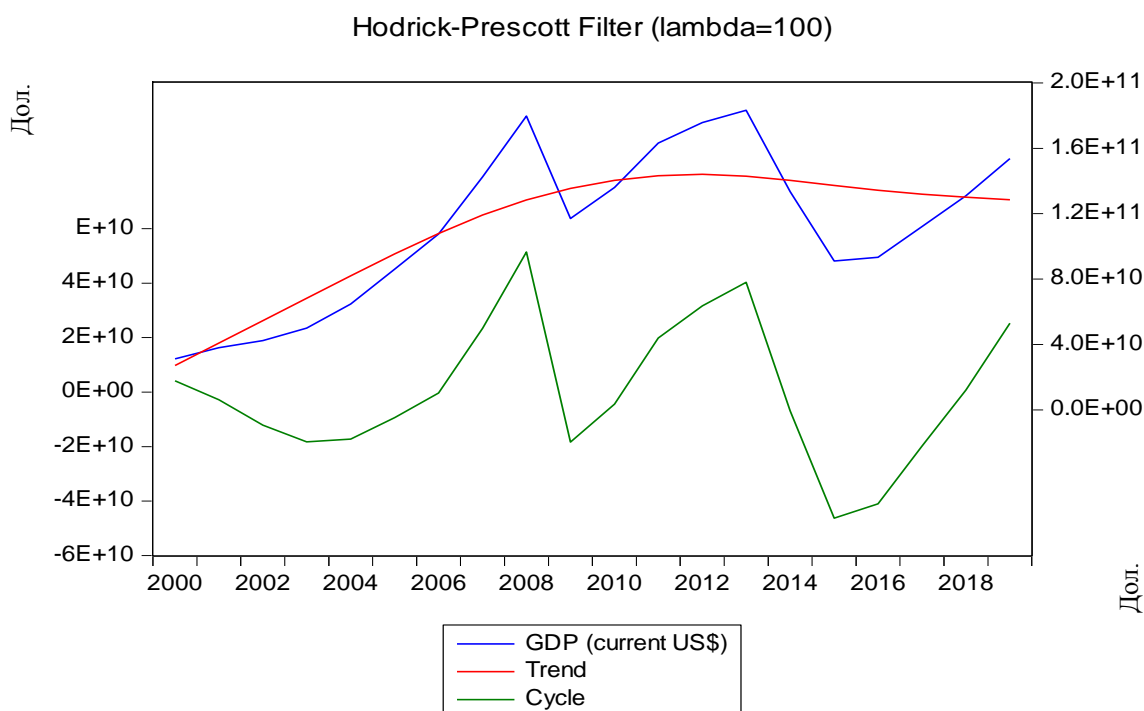


Рисунок 2.3 – Фактичні дані (GDP), циклічна (Cycle) та трендові (Trend) компоненти валового внутрішнього продукту на душу населення України у 2000-2019 рр.

Джерело: сформовано авторами.

Відтак, у загальному вигляді регресійне рівняння зв'язку валового внутрішнього продукту на душу населення та рівня використання енергії можна представити у вигляді:

$$Y_{c_t} = 3.21 + 0.405 \times E_{c_t}, \quad (2.18)$$

де  $Y_{c_t}$  – циклічна компонента валового внутрішнього продукту на душу населення в період  $t$ ;

$E_{c_t}$  – циклічна компонента рівня використання енергії в національній економіці в період  $t$ ;

$R^2 = 0.667$  – коефіцієнт детермінації.

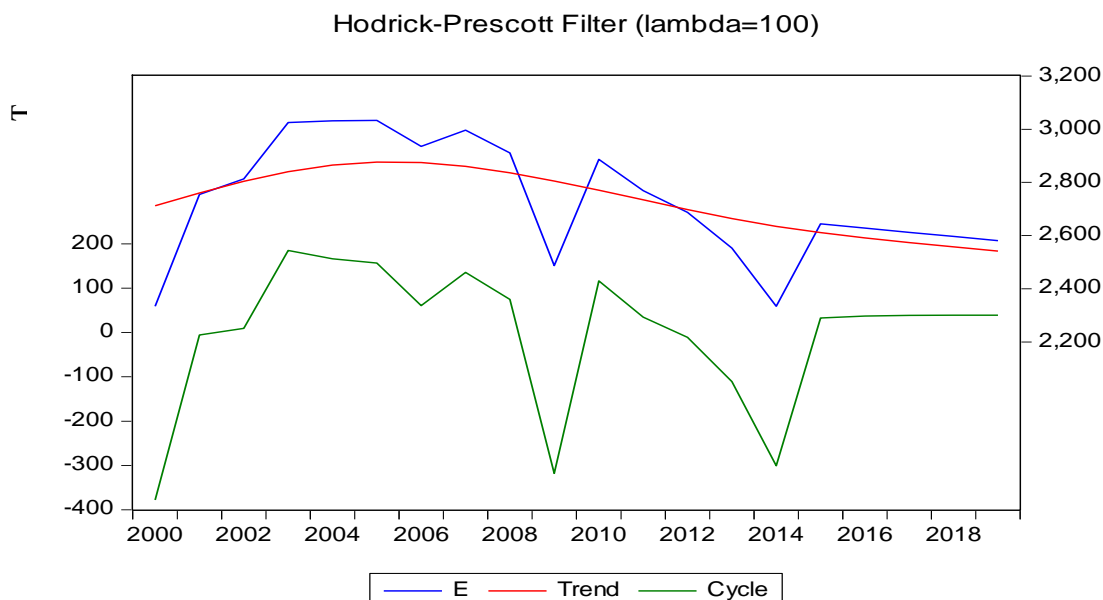


Рисунок 2.4 – Фактичні дані (E), циклічна (Cycle) та трендові (Trend) компоненти рівня використання енергії в національній економіці України у 2000-2019 рр.

Джерело: сформовано авторами.

З метою підвищення ефективності процесів державного планування в енергетичному секторі національної економіки виникає потреба в удосконаленні науково-методичного базису довгострокового прогнозування розривів енергоефективності. Науковою спільнотою напрацьовано значний доробок щодо прогнозування попиту на енергоресурси та соціо-еколого-економічних наслідків його зміни. Так, у роботі [64] для прогнозування споживання енергії у всьому світі та США представлено логістичну модель, яка враховує частку кожного джерела енергії у загальній структурі виробництва.

Застосовуючи нелінійну модель Бернуллі з частковим накопиченням (2.19), у роботі [97] здійснено прогнозування споживання відновлюваної енергії. Об'єктом дослідження в роботі обрано енергетичний сектор Китаю, період дослідження складав 2011-2015 рр, прогноз здійснено до 2020 р. Результати прогнозування демонструють зростаючу тенденцію виробництва енергії з відновлюваних джерел та формують основні індикатори розроблення дорожньої карти підвищення енергоефективності країни.



$$\frac{dx^{(i)}(t)}{dt} + ax^{(i)}(t) = b(x^{(i)}(t))^\gamma \quad (2.19)$$

де  $x$  – параметри енергоефективності країни;  
 $t$  – період дослідження  $i=1 \dots v$ ;  
 $\gamma$  – потужність множини всіх послідовностей дійсних чисел;  
 $a, b$  – розрахункові коефіцієнти моделі:

$$(a, b)^T = (\Lambda^T \Lambda)^{-1} \Lambda^T \eta \quad (2.20)$$

$$\Lambda = \begin{pmatrix} -z^{(1)}(2) (z^{(1)}(2))^\gamma \\ -z^{(1)}(3) (z^{(1)}(3))^\gamma \\ \vdots \\ -z^{(1)}(v) (z^{(1)}(v))^\gamma \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

$$\eta = \begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(v) \end{pmatrix}. \quad (2.22)$$

де  $x^{(0)}(2) \dots x^{(0)}(v)$  – значення параметра енергоефективності країни в період  $t$ ;

$t$  – період дослідження  $i=1 \dots v$ ;

$z^{(1)}(2) \dots z^{(1)}(v)$  – значення параметра енергоефективності країни в період  $t-k$ , де  $k=1 \dots n$ ;

$T$  – позначає операцію транспонування матриці.

К. Ліндербенг та інші в своїй роботі [54] при виборі типу моделі довгострокового розвитку енергетичних систем обґрунтовують необхідність врахування макроекономічних факторів, рівнів технологізації різних сегментів ринку країни. Використовуючи Байєсівську модель стохастичної мінливості параметрів з екзогенними змінними, автори роботи [48] здійснюють прогнозування ціни на електроенергію енергію. Основними екзогенними параметрами було обрано температуру повітря, святкові та вихідні дні:

$$y_{t+1} = y_t + \mu + \varphi_1 X_{t+1} + d_{Sat} D_{Sat,t+1} + d_{Sun} D_{Sun,t+1} + d_{Mon} D_{Mon,t+1} + \sqrt{\exp(h_t)} \varepsilon_{t+1}^{(1)} + J_{t+1}, \quad (2.23)$$

де  $y_t$  та  $y_t$  – ціна на електроренергію в період  $t+1$  та  $t$ ;  
 $X_{t+1}$  – температура повітря в період  $t+1$ ;  
 $D_{Sat}, D_{Sun}, D_{Mon}$  – думі змінна щотижневої сезонності;  
 $h_t$  – демонструє зміну ціни на електроренергію в період  $t$ ;  
 $\mu, \varphi_1, d_{Sat}, d_{Sun}, d_{Mon}, J_{t+1}$  – розрахункові параметри моделі;  
 $\exp$  – експоненційна функція.

В. Семяновський, Н. Товмаченко та К. Клименко у роботі [19], використовуючи лінійну модель Брауна, будують короткостроковий прогноз енергоспоживання в Україні на основі відновлюваних джерел енергії біопалива та відходів:

$$y_{th}(t + \tau) = a_{1,t} + \tau a_{2,t} \quad (2.24)$$

де  $y$  – обсяг використання енергії біопалива та відходів;  
 $t=1 \dots n$  – дискретні значення моментів часу;  
 $\tau$  – час попередження прогнозу;  
 $a_1, a_2$  – параметри моделі, що обчислюються за формулами:

$$a_{1,t} = 2S_t - S_t^{|2|}; \quad a_{2,t} = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} (S_t - S_t^{|2|}); \quad (2.25)$$

$$S_t = \alpha y_t + (1 - \alpha) S_{t-1}, \quad S_t^{|2|} = \alpha S_t + (1 - \alpha) S_{t-1}^{|2|} \quad (2.26)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт згладжування;  
 $S_t, S_t^{|2|}$  – початкові умови, при яких  $S_0 = a_1, S_0^{|2|} = a_2$ .

Фахівцями Інституту загальної енергетики Національної Академії Наук України О. Маляренко, Н. Майстренко, В. Станиціною, О. Богославською [13] розвинуто нормативний метод прогнозування попиту на енергоресурси за видами економічної діяльності ( $E_{TOP_{sj}}^t$ ):

$$E_{TOP_{sj}}^t = (e_{ВДВ_j}^0 \pm \Delta e_{ВДВ_j}^{0-t}) V_{ВДВ_s}^t \quad (2.27)$$

де  $e_{ВДВ_j}^0$  – енергоємність валової доданої вартості країни j-виду енергоресурсу у базовому році;

$\Delta e_{ВДВ_j}^{0-t}$  – енергоємність валової доданої вартості країни j-виду енергоресурсу при зміні структури економіки;

$V_{ВДВ_s}^t$  – прогнозне значення обсягу валової доданої вартості країни у t-році; s-структура економіки одна з розрахованих прогнозних структур економіки за прогнозними сценаріями.

Результати розрахунків засвідчили «...необхідність збільшення обсягів енергоресурсів, які необхідні для покриття попиту на них при реалізації програм розвитку економіки України, а при умовах прискореного розвитку вітчизняної промисловості, що закладені в Стратегії розвитку промислового комплексу України на період до 2025 р., обсяги будуть значно більшими» [с. 60, 13]. У роботі Комеліної О. В. та Болдирєвої Л. М. [6] на основі порівняння прогнозних та потенційно можливих обсягів енергії з відновлюваних джерел окреслено проблеми і перспективи розвитку відновлюваної енергетики України, окреслено основні детермінанти розвитку вітчизняної відновлювальної енергетики. У той же час, ці роботи ґрунтуються здебільшого на емпіричному досвіді інших країн та не повною мірою враховують національну специфіку, зміни соціо-еколого-економічних індикаторів розвитку країн, напрямки синхронізації національної енергетичної політики із цілями європейських кліматичних стратегій. Сформовані енергетичні портрети країн відрізняються залежно від їх власного

рівня інфраструктурного, культурного, технологічного розвитку, змін чисельності населення, динаміки урбанізації тощо. Для вирішення цих проблем використано фундаментальні засади методології Бокса – Дженкінса та інструментарій авторегресійного інтегрованого моделювання ARIMA. Перевага авторегресійного інтегрованого моделювання ARIMA полягає в тому, що воно може використовувати комбінацію автоматичних регресій, перших різниць та ковзної середньої під час встановлення прогнозованих значень часових рядів. Важливим припущенням даної моделі є те, що випадкові помилки в загальній функції регресії мають однакову дисперсію. Якщо це припущення не виконується, тобто величина випадкової помилки має різні варіації, то в моделі спостерігається гетероскедастичність. Наявність гетероскедастичності не дозволяє оцінити отримані параметри моделі та здійснити прогнозування. З метою усунення зазначеного недоліку початковий ряд значень розривів енергоефективності перевіряється на стаціонарність. Рисунок 2.5 автокореляційної та частинно автокореляційної функції ряду розривів енергоефективності демонструє практично незмінні значення функції зі зростанням лагів, що дає підстави припустити про нестационарність вихідного ряду.

Результати перевірки висунутої гіпотези про нестационарність вихідного ряду за допомогою розширеного тесту Дікі-Фулера (ADF) тесту представлені в таблиці 2.4.

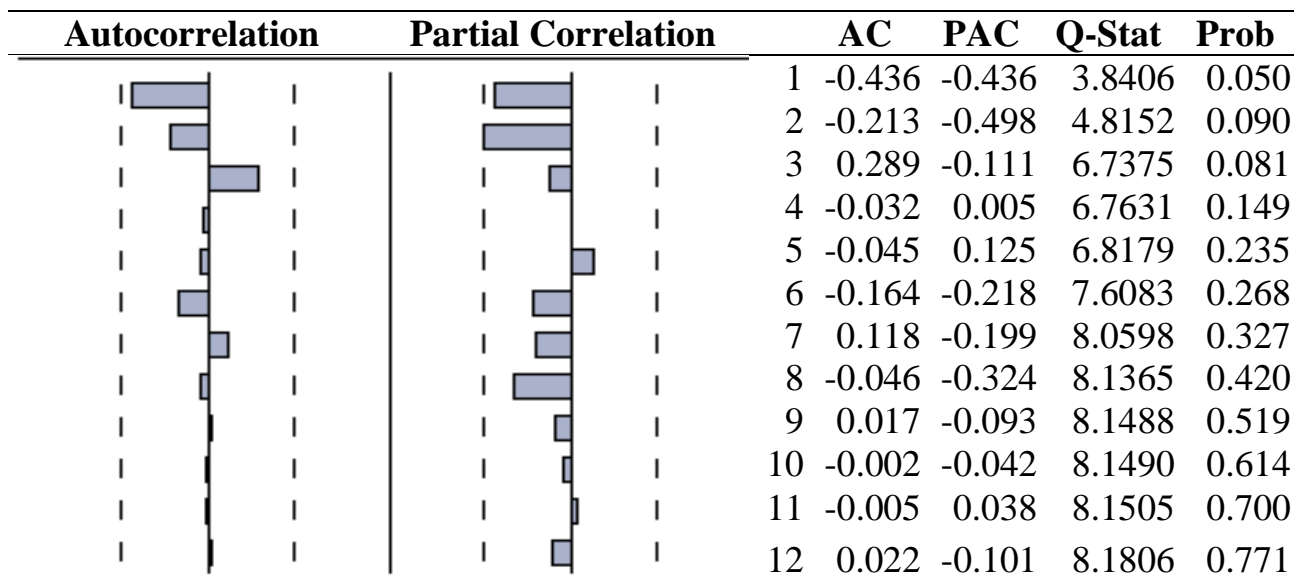


Рисунок 2.5 – Автокореляційна та частинна автокореляційна функції ряду розривів енергоефективності (розрахунки для України за 2000-2019 рр.)

Джерело: розраховано авторами.

Відповідно до таблиці 2.4 результати випробувань ADF тесту показують, що вихідна послідовність ряду розривів енергоефективності стаціонарна на поточному рівні (нульової різниці порядку, тобто  $d = 0$ ), а ряд у рівнях має порядок інтеграції 1.

Визначення стаціонарності ряду значень розривів енергоефективності дозволяє на першому етапі прогнозування представити загальний вигляд моделі ARIMA:

$$PE_t = \alpha + \beta_1 PE_{t-1} + \dots + \beta_p PE_{t-p} + u_t + m_1 u_{t-1} + \dots + m_q u_{t-q} \quad (2.28)$$

де  $\alpha$  – константа моделі;

$\beta_1 \dots \beta_p, m_1 \dots m_q$  – параметри моделі;

$u_t \dots u_{t-q}$  – білий шум моделі;

$p$  – порядок авторегресійної частини моделі;

$q$  – порядок моделі ковзної середньої;

PE – обсяг розривів енергоефективності в період  $t$ .

Таблиця 2.4 – Результати випробувань ADF тесту для вихідного ряду розривів енергоефективності (розрахунки для України за 2000-2019 рр.)

Рівень	ADF статистика	Критичне значення			Величина статистичної значимості p
		1%	5%	10%	
Поточний	-3.063524	-3.886751	-3.052169	-2.666593	0.0490
Параметр	Значення параметру	Стандартна похибка	t-статистика	Статистична значущість	
SERIES02(-1)	-0.754151	0.246171	-3.063524	0.0079	
C	0.685400	0.224379	3.054657	0.0080	
R-squared	0.384872	Mean dependent var		-0.001765	
Adjusted R-squared	0.343864	S.D. dependent var		0.029214	
S.E. of regression	0.023664	Akaike info criterion		-4.539613	
Sum squared resid	0.008400	Schwarz criterion		-4.441588	
Log likelihood	40.58671	Hannan-Quinn criter.		-4.529869	
F-statistic	9.385179	Durbin-Watson stat		2.063149	
Prob(F-statistic)	0.007883				
Перша різниця	-5.119887	-3.959148	-3.081002	-2.681330	0.0012
Параметр	Значення параметру	Стандартна похибка	t-статистика	Статистична значущість	
D(SERIES02(-1))	-2.163912	0.422648	-5.119887	0.0003	
D(SERIES02(-1),2)	0.503673	0.248940	2.023268	0.0659	
C	-0.004621	0.006769	-0.682626	0.5078	
R-squared	0.790798	Mean dependent var		0.000267	
Adjusted R-squared	0.755931	S.D. dependent var		0.052683	
S.E. of regression	0.026027	Akaike info criterion		-4.282499	
Sum squared resid	0.008129	Schwarz criterion		-4.140889	
Log likelihood	35.11874	Hannan-Quinn criter.		-4.284007	
F-statistic	22.68046	Durbin-Watson stat		2.104878	
Prob(F-statistic)	0.000084				

Джерело: розраховано авторами.

На наступному етапі визначаються параметри p і q у моделі ARIMA за допомогою інформаційного критерію Акаїке (AIC):

$$AIC = \ln(\hat{\sigma}^2) + \frac{2(p+q+1)}{n} \quad (2.29)$$

та інформаційного критерію Шварца (BIC):

$$BIC = \ln(\hat{\sigma}^2) + \frac{(p+q+1)\ln(n)}{n} \quad (2.30)$$

де  $\hat{\sigma}^2$  – очікувана дисперсія;  
 p – порядок авторегресійної частини моделі;  
 q – порядок моделі ковзної середньої;  
 n – кількість спостережень.

Результати обрахованих критеріїв Акаїке та Шварца представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку параметри p і q у моделі ARIMA за допомогою інформаційного критерію Акаїке та Шварца (розрахунки для України за 2000-2030 рр.)

Розрахункові параметри p і q моделі	LogL	AIC	BIC	HQ
(0,0)(0,0)	40.573032	-4.285892	-4.186962	-4.272251
(1,0)(0,0)	41.054573	-4.228286	-4.079891	-4.207824
(0,1)(0,0)	41.043698	-4.227078	-4.078682	-4.206616
(0,3)(0,0)	42.652155	-4.183573	-3.936247	-4.149470
(1,1)(0,0)	41.197262	-4.133029	-3.935169	-4.105747
(0,4)(0,0)	43.162345	-4.129149	-3.832359	-4.088226
(1,3)(0,0)	43.102280	-4.122476	-3.825685	-4.081552
(2,0)(0,0)	41.076485	-4.119609	-3.921749	-4.092327
(0,2)(0,0)	41.048926	-4.116547	-3.918687	-4.089265
(3,0)(0,0)	41.790808	-4.087868	-3.840542	-4.053765
(2,3)(0,0)	43.215373	-4.023930	-3.677675	-3.976186
(1,2)(0,0)	41.212073	-4.023564	-3.776238	-3.989461
(2,1)(0,0)	41.200505	-4.022278	-3.774953	-3.988176
(3,2)(0,0)	43.018708	-4.002079	-3.655823	-3.954335
(1,4)(0,0)	42.875816	-3.986202	-3.639946	-3.938458
(4,0)(0,0)	41.799128	-3.977681	-3.680890	-3.936757
(4,1)(0,0)	42.775222	-3.975025	-3.628769	-3.927281
(2,4)(0,0)	43.622536	-3.958060	-3.562339	-3.903495
(3,1)(0,0)	41.406387	-3.934043	-3.637252	-3.893120
(2,2)(0,0)	41.351126	-3.927903	-3.631112	-3.886979
(4,2)(0,0)	43.243879	-3.915987	-3.520266	-3.861422
(3,3)(0,0)	42.995674	-3.888408	-3.492687	-3.833844
(4,3)(0,0)	43.355690	-3.817299	-3.372113	-3.755914
(3,4)(0,0)	43.254160	-3.806018	-3.360832	-3.744633
(4,4)(0,0)	43.297237	-3.699693	-3.205042	-3.631487

Джерело: розраховано авторами.

Отримані значеннями параметрів  $p$  та  $q$  (у залежності від варіативності двох частин моделі: авторегресійної та ковзної середньої) дозволяють побудувати 24 сценарії прогнозованих значень рівня розривів енергоефективності. Емпіричні розрахунки за розробленим підходом здійснено для України з використанням програмного комплексу EViews10 на основі аналізу ретроспективного періоду 2002–2019 рр., інтервалом для форсайтингу обрано 2019–2030 рр. (рисунок 2.6).

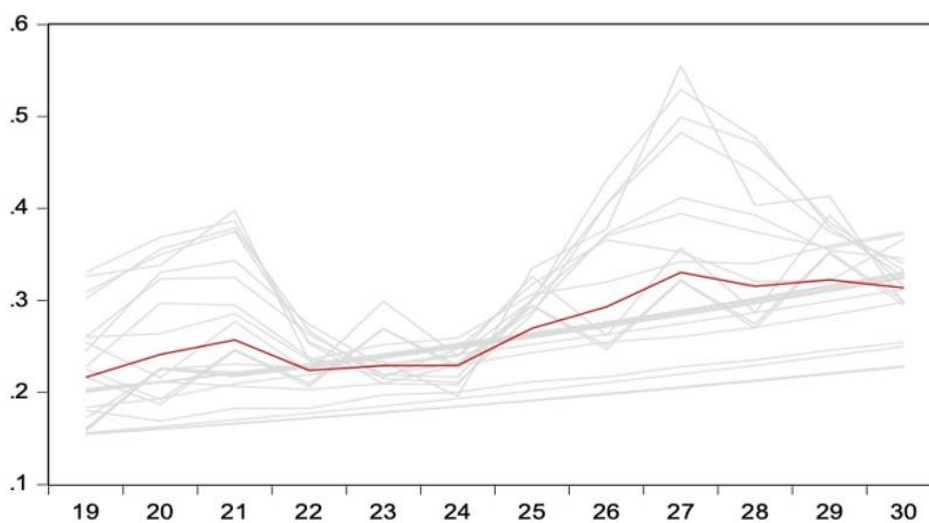


Рисунок 2.6 – Графічне зображення сценаріїв прогнозованої динаміки зміни розривів енергоефективності в Україні на 2019–2030 рр.

Джерело: сформовано авторами.

Відповідність розрахункових даних за побудованою моделлю ретроспективним трендам фактичних даних за 2002-2019 рр. (рисунок 2.7) здійснюється за критерієм абсолютної процентної похибки ( $AR$ ):

$$AR = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{PE_i - \widehat{PE}_i}{PE_i} \right|, \quad (2.31)$$

де  $N$  – період дослідження;

$PE_i$  – фактичне значення розривів енергоефективності;

$\widehat{PE}_i$  – прогнозоване значення розривів енергоефективності.



Розрахунковий та прогнозований тренди динаміки розривів енергоефективності у ретроспективному періоді майже збігаються, що підтверджує високу точність побудованого прогнозу у перспективному періоді.

Так, розрахункове значення точності прогнозу за обраним сценарієм становить 5.6% що свідчить про високу точність прогнозування. При цьому відповідно до нормованих значень:  $AR < 10\%$  – висока точність прогнозу;  $10\% \leq AR < 50\%$  – середня точність прогнозу;  $AR \geq 50\%$  – низька точність прогнозу.

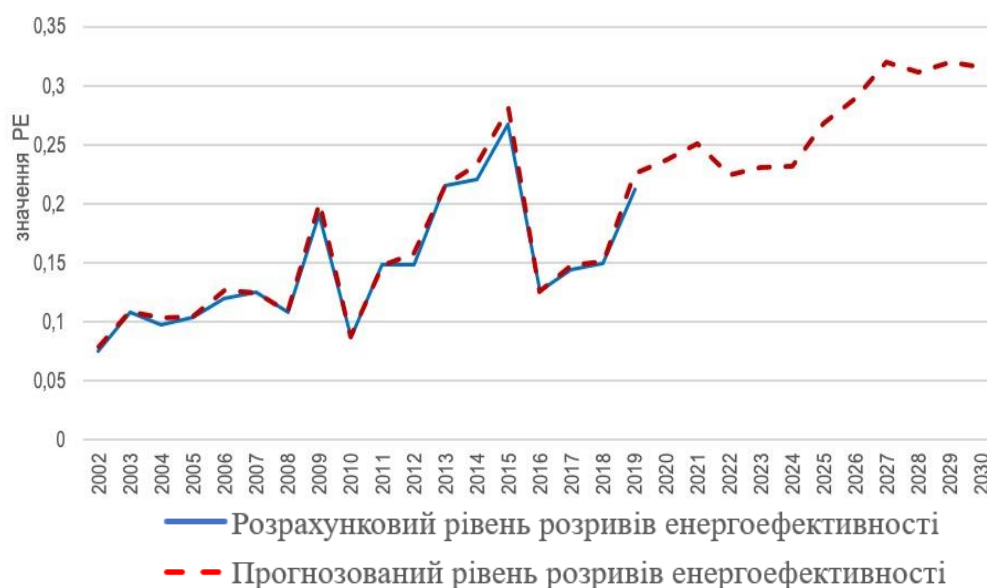


Рисунок 2.7 – Розрахунковий та прогнозований тренди динаміки розривів енергоефективності в Україні у 2002-2030 рр.

Джерело: сформовано авторами.

Опис статистик, які характеризують якість моделі (2.30), представлена в таблиці 2.6

Дослідження засвідчило, що форсайт-тренд обсягів розривів енергоефективності в Україні є зростаючим – за існуючого формату державної регуляторної політики до 2030 р. вони збільшаться майже вдвічі.

Критичними біфуркаційними точками за результатами прогнозування необхідно вважати 2024 р. та 2027 р., тому таргетами державної стратегії переходу до вуглецево-нейтральної економіки запропоновано вважати:

– у 2021–2024 рр. – синхронізацію вітчизняної енергосистеми з континентальною частиною європейської системи ENTSO-E, забезпечення інтеграції ринків електро-енергії України та ЄС;

– у 2024–2027 рр. – зниження рівня енергоемності ВВП до рівня 0,14 у т н. е./тис. дол., зниження рівня імпортозалежності національної економіки на енергоресурси до 26 %;

у 2027–2030 рр. – забезпечення зміни структури енергобалансу національної економіки у напрямку зростання питомої ваги відновлювальних джерел енергії до 32 %.

Таблиця 2.6 – Статистики, які характеризують якість розробленої моделі ARIMA (розрахунки для України за 2000-2030 рр.)

Параметр	Значення параметру	Стандартна похибка	t-статистика	Статистична значущість
C	-0.094020	0.006160	-15.26181	0.0000
R-squared	0.825612	Mean dependent var		-0.094020
Adjusted R-squared	0.635697	S.D. dependent var		0.026137
S.E. of regression	0.026137	Akaike info criterion		-4.397004
Sum squared resid	0.011613	Schwarz criterion		-4.347539
Log likelihood	40.57303	Hannan-Quinn criter.		-4.390183
Durbin-Watson stat			1.492162	

Джерело: сформовано авторами.

Результати прогнозів на десятирічну перспективу щодо рівня розривів енергоефективності в національній економіці країни можуть бути враховані при внесенні змін:

– до «Енергетичної стратегії України до 2035 року «Безпека, Енергоефективність, Конкурентоспроможність» № 605-р., від 18 серпня 2017 р.;

– Закону України «Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації» №327-VIII від 01.01.2019 р.;

– Закону України «Про ринок електричної енергії» № 2019-VIII від 01.08.2020 р.

### **3 ОРГАНІЗАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНА СХЕМА ВЗАЄМОДІЇ ТА УЗГОДЖЕННЯ ІНТЕРЕСІВ СТЕЙКХОЛДЕРІВ ПРИ МІНІМІЗАЦІЇ РОЗРИВІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

Системний підхід до мінімізації розривів енергоефективності передбачає застосування широкого набору інструментів для регулювання діяльності зацікавлених осіб та безпосередніх учасників проєктів. Науковою спільнотою визначено, що одним із дієвих сучасних інструментів досягнення мінімізації розривів енергоефективності повинно є розумні енергомережі. У даному контексті потребує поглиблення економіко-організаційних засад запровадження розумних енергомереж для формування в Україні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки згідно з вимогами єдиної енергополітики Європейського Союзу. При цьому для інтенсифікації розробки проєктів, їх реалізації та масштабування на рівень національної економіки необхідно систематизувати взаємодію стейкхолдерів. З цією метою розроблено організаційно-комунікаційну схему взаємодії стейкхолдерів.

Відмінністю запропонованої схеми від наявних підходів до організації взаємодії стейкхолдерів є комплексне охоплення сукупності взаємозв'язків між зацікавленими сторонами у процесі реалізації, супроводу і підтримки, та розвитку розумних енергомереж з урахуванням етапу реалізації проєкту або стадії розвитку розумних енергомереж, а також її складових елементів, таких як:

- стратегія та регулювання,
- технології,
- організація,
- соціальні фактори
- вплив на довкілля,
- операції в мережі,
- інтеграція ланцюгів вартості,
- управління активами,
- взаємодія з клієнтами та управління знаннями (досвідом).

Такий підхід дозволяє виділити проблемні аспекти взаємодії стейкхолдерів, що стримує розвиток розумних енергомереж, а також визначити механізми регулювання відносин зацікавлених сторін у процесі розгортання розумних енергомереж. Унаслідок цього побудова схеми взаємодії стейкхолдерів, а також формування та підтримання механізмів її реалізації може розглядатися як інструмент використання прихованого потенціалу розвитку розумних енергомереж. Запропонована схема взаємодії стейкхолдерів, спрямована на узгодження їх інтересів, виявлення та усунення антагонізму у їх поведінкових патернах, руйнування бар'єрів під час взаємодії стейкхолдерів, нівелювання причин виникнення внутрішньосистемних та екстернальних конфліктів. Формування системи взаємодії стейкхолдерів на основі організаційно-комунікаційної схеми їх взаємодії дозволяє визначити та формалізувати найбільш ефективні механізми регуляторних інтервенцій для впорядкування відносин зацікавлених сторін у процесі запровадження розумних енергомереж та врахувати латентні ефекти та драйвери впровадження розумних енергомереж [46.а, 53]. Актуальність даного завдання підтверджується наявністю ґрунтовних наукових досліджень, спрямованих на вирішення даної проблеми [44].

Основу розробленої схеми взаємодії стейкхолдерів складає модель зрілості розумних енергомереж IBM. Вибір даної моделі обґрунтовується результатами компаративного аналізу систем оцінювання розумних енергомереж. Результати аналізу засвідчили, що модель зрілості розумних енергомереж IBM найбільш повно з наявних аналогів враховує алгоритм реалізації проєктів розумних енергомереж та деталізує не лише індикатори, які мають бути визначені на кожному етапі створення та реалізації проєкту розумних енергомереж, а також описує процеси, які відбуваються впродовж кожного етапу. Для більш повного врахування взаємодії стейкхолдерів у рамках створення та реалізації проєктів розумних енергомереж у даній роботі було модифіковано модель зрілості розумних енергомереж IBM шляхом включення до неї додаткових процесів, які не передбачені оригінальною моделлю, яка була розроблена спеціалістами IBM

в кооперації з іншими компаніями, зацікавленими у розбудові розумних енергомереж.

Аналогічно до оригінальної моделі зрілості розумних енергомереж IBM пропонована модель, покладена в основу розроблення схеми взаємодії стейкхолдерів передбачає наступні рівні реалізації проєктів розумних енергомереж:

- підготовчий рівень (рівень 0);
- дослідження (рівень 1);
- інвестування (рівень 2);
- інтеграція (рівень 3);
- оптимізація (рівень 4);
- інноваційність (рівень 5).

Перелік операцій (процесів, цілей та результатів) відповідно до модифікації моделі зрілості розумних енергомереж IBM показано в таблицях 3.1-3.5.

Сукупність операцій модифікованої моделі зрілості розумних енергомереж на нульовому та першому етапах реалізації проєкту розумних енергомереж показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості розумних енергомереж нульового та першого рівня

Процеси/цілі/результати	Код	Процеси/цілі/результати	Код
1	2	3	4
Формування бачення розумних енергомереж	A	Підтримка експериментів	B
Випробування нових технічних та комунікаційних пристроїв і технологій	2Y	Дослідження відключення та розподілу витрат, пов'язаних з автоматизацією підстанцій; безпека та фізична безпека	2Z
Проведення неформальної дискусії з регуляторними органами	C	Побудова бізнес-кейсу на функціональному рівні	3A
Оцінювання ефективності проєкту	4H	Сформульована потреба у змінах: прагнення керівника до змін	O

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Проведення аналізу вартості для нових систем та вивчення оперативної пам'яті (віддалений моніторинг активів)	3G	Вивчення упереджувального / прогнозного обслуговування активів та дослідження за допомогою просторового уявлення про активи	3N
Сформульована потреба у змінах: культура окремих ініціатив та досліджень	P	Дослідження можливості зміни досвіду споживачів за допомогою розумних енергомереж та широкої сегментації споживачів	3M
Сформульована потреба у змінах: зростання рівня знань	Q	Розроблення процесів оцінювання технологій розумних енергомереж	2A
Вивчення стратегічної IT-архітектури розумних енергомереж	Y	Розроблення стратегії диверсифікації портфеля ресурсів	3W
Вивчення стратегічної IT-архітектури розумних енергомереж	Y	Розроблення стратегії диверсифікації портфеля ресурсів	3W
Визначення ступеня використання технологій для поліпшення функціональних показників	Z	Програма відновлюваних джерел енергії	2N
Відповідність екологічним нормам	2M	Визначення активів та програм у ланцюжку вартості	3V
Фінансування з наявного бюджету	D		

Сукупність операцій модифікованої моделі зрілості розумних енергомереж на другому етапі (рівні) реалізації проекту показано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості розумних енергомереж другого рівня

Процеси/цілі/результати	Код	Процеси/цілі/результати	Код
1	2	3	4
Затвердження стратегії або схвалення бізнес-плану	E	Узгодження фінансування проекту розумних енергомереж у межах бюджету	G
Узгодження інвестування з візією проекту	F	Підключення пілотних проектів інформаційної безпеки	2D

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
Оцінювання продуктивності та компенсації для розумних енергомереж	S	Моделювання надійності для стимулювання інвестицій, спрямованих на вдосконалення	3O
Стратегічне планування робочої сили	3I	Пілотне розгортання систем розумного вимірювання	3N
Поточне інвестування в ІТ, узгоджене зі стратегічною ІТ-архітектурою	2B	Ознайомлення споживачів із програмами віддаленого контролю енергоспоживання	3X
Спільне архітектурне бачення та відповідність стандартам	2C	Повторне визначення ланцюжка створення вартості всієї системи	3Y
Початковий розподіл серед проектів автоматизації підстанцій	3B	Розроблення підходів до впровадження GIS та RAM	4I
Створені програми енергоефективності для споживачів	2O	Початкове інвестування для підтримки використання диверсифікованого портфеля ресурсів	3Z
Організація більшої кількості наскрізних процесів та команд для планування та проектування ініціатив розумних енергомереж	R		

Сукупність операцій модифікованої моделі зрілості розумних енергомереж на третьому етапі (рівні) реалізації проекту розумних енергомереж показано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості розумних енергомереж третього рівня

Процеси/цілі/результати	Код	Процеси/цілі/результати	Код
1	2	3	4
Інтеграція стратегії розумних енергомереж до корпоративної	H	Організація вибору матричної або багаточарової структури	T
Розгорнута модель управління розумних енергомереж	I	Новий процес визначається завдяки підвищенню автоматизації та спостережливості	3D

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
Узгодження з регулятором інвестування в розумних енергомереж та їх впровадження	J	Ефективність компонентів та аналіз тенденцій	3J
Розширення корпоративної стратегії задля використання нових послуг або пропозицій, що підтримують розумних енергомереж	K	Обмін даними між функціями / системами та впровадження аналітики управління для підтримки рішень та системних розрахунків	3C
Культура співпраці та інтеграції	U	Високий ступінь сегментації клієнтів та загальний досвід клієнтів	3P
Узгодження бізнес-процесів розумних енергомереж з ІТ-архітектурою	2E	Виявлення перебоїв на підстанції	3Q
Спільна архітектура	2F	Нові інтерактивні товари / послуги	3R
Впровадження технології розумних енергомереж для підвищення продуктивності	2G	Інтегроване планування ресурсів, що містить нові цільові ресурси та технології	4A
Сегментована та спеціальна інформація для клієнтів – включаючи екологічні та соціальні вигоди	2PE	Забезпечення відкритості інформації про ринок та споживання для використання системами енергоспоживання у споживання	4B
Програми для заохочення непікового енергоспоживання	2Q	Доступність нових ресурсів	4C
Формування збалансованої системи показників	4J	Залучення клієнтів до розподілу навантаження	4L
Розроблення СВМ, інтеграція RAM	4K		

Сукупність операцій модифікованої моделі зрілості розумних енергомереж на четвертому етапі (рівні) реалізації проєкту розумних енергомереж показано в таблиці 3.4.

Операції п'ятого етапу реалізації проєктів розумних енергомереж відповідно до модифікованої моделі зрілості розумних енергомереж показано в таблиці 3.5.



Кожній операції у рамках розбудови розумних енергомереж було присвоєно код, використовуючи літери англійського алфавіту. Також зазначено рівень, до якого дані операції належать.

Таблиця 3.4 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості розумних енергомереж четвертого рівня

Процеси/цілі/результати	Код	Процеси/цілі/результати	Код
Інтеграція в процеси підприємства	3E	Співпраця із зовнішніми зацікавленими сторонами/стейкхолдерами	2R
Управління стратегією та вплив на корпоративні цілі	L	Екологічні інвестиції (узгоджені зі стратегією розумних енергомереж)	2S
Участь зовнішніх зацікавлених сторін /стейкхолдерів у формуванні стратегії	M	Environmental scorecard/reporting Екологічна система показників / звітність	2T
Процеси значної реструктуризації	W	Програми послаблення пікового навантаження	2U
Ефективне управління запасами з використанням стану реальних активів та моделювання	3K	Масштабування розподіленої енергогенерації	2V
Організаційна підтримка стейкхолдерів через повноцінне спостереження за мережею	V	Реалізація та розподіл доходу від додаткових послуг	4D
Аналіз використання в рамках цінних програм	3S	Системи поточного аналізу подій – складна обробка подій, моніторинг та контроль	2I
Підприємницькі бізнес-процеси, оптимізовані за допомогою стратегічної ІТ-архітектури	2H	Прогнозне моделювання та моделювання майже в реальному часі	2J
Тарифоутворення на основі розумних енергомереж - аналітики	4M	Впровадження безпеки на рівні підприємства	2K
Оптимізаційне моделювання розширення та моделювання розумних енергомереж	4E	Формування умов інтеграції до мереж вищого рівня	4N

Таблиця 3.5 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості розумних енергомереж п'ятого рівня

Процеси/цілі/результати	Код	Процеси/цілі/результати	Код
Автономні обчислення, машинне навчання	2L	Спеціальна аналітика та поради клієнтам	2W
Програми мобільності та CO2	3U	Управління розподіленою генерацією	2X
Оптимізація регуляторної політики	N	Випробування нових технічних та комунікаційних пристроїв і технологій	2Y
Залчення стейкхолдерів до всіх аспектів трансформованого бізнесу	X	Використання мережею можливостей самовідновлення (оптимізована структура тарифів / політика регулювання)	3F
Управління споживачами від їхнього кінцевого рівня постачання та використання енергії	3T	Оптимізація використання активів між учасниками ланцюга поставок та між ними	3L
Формування загальної стратегії розширення	4O	Підтримка нових підприємств за рахунок організаційних змін	4P
Узгоджене управління енергією та виробництвом по всьому ланцюжку поставок та координований контроль над усіма енергетичними активами	4F	Доступні засоби правового захисту ринкових можливостей (наприклад, встановлення граничних цін)	4G
Оптимізація використання активів учасниками ланцюга постачання	4Q		

На основі визначених задач, які мають бути реалізовані для створення розумних енергомереж, визначено перелік стейкхолдерів (таблиця 3.6).

Кожному стейкхолдеру присвоєно цифровий код. Поєднання кодів операцій та стейкхолдерів дає змогу прослідкувати, у якій операції на якому етапі проєкту задіяний кожен стейкхолдер. Так, A1 означає, що стейкхолдер з кодом один задіяний у процесі A; 2A3 означає, що стейкхолдер 3 задіяний у процесі 2A.

Таблиця 3.6 – Перелік стейкхолдерів розумних енергомереж

Стейкхолдери	Код
Ініціатор проекту	1
Органи державної влади (уряд)	2
Місцева влада (місьцеве самоврядування)	3
Міжнародні інституції	4
Виконавець проекту	5
Громадські, неурядові організації, в тому числі міжнародні	6
Науково-дослідні установи	7
Проектні організації	8
Фінансово-кредитні організації	9
Регулятор ринку	10
Замовник проекту	11
Енерговиробники	12
Оператори оптового ринку	13
Енегопостачальники	14
Роздрібні енергетичні сервісні компанії (РЕСК)	15
Розподільчі компанії	16
Кінцеві користувачі: промислові, комерційні, домогосподарства	17
Підтримуючі організації: постачальники продуктів та послуг	18
Акціонери	19
Територіальна громада, населення	20

Результати структурування взаємодії стейкхолдерів відповідно до процесів, у яких вони задіяні, показано у таблицях 3.7-3.8. Перелік стейкхолдерів може варіюватися залежно від особливостей проекту. Це справедливо також стосовно операцій з розбудови розумних енергомереж, однак схемою взаємодії стейкхолдерів передбачено найбільш універсальні процеси, які типові для переважної більшості проектів розумних енергомереж.

Таблиця 3.7 – Процеси взаємодії стейкхолдерів на передінтеграційних етапах створення розумних енергомереж

Рівень моделі зрілості	Стратегічне управління та регулювання	Організація та структура	Технологія	Соціально-екологічна складова	Операції в мережі	Управління активами та персоналом	Взаємодія зі споживачами	Інтеграція ланцюгів вартості	
2	Функціональне інвестування	E1*, E5, E9, E11, F2, F3, F4*, F5, F8, F9, F11, G9, G5, G11	R5, R8, R11, S2, S5, S11,	2B9, 2B11, 2C10-17, 2D5, 2D11, 3Z5, 3Z7-8, 3Z11-18	2O11, 2O17, 2O18	3B5, 3B9, 3B10, 3B11, 3B18	3I5, 3I8, 3I11, 3I18	3N5, 3N8, 3N11, 3N17, 3N18, 3O5, 3O7-9, 3O11	3X5, 3X7, 3X8, 3X11, 3X17, 3X18, 3Y5, 3Y7, 3Y11
1	Дослідження та ініціація	A2, A3, A4*, A6, A7, B1*, B5, B7, B8, B11, C1, C2, C3, C5, C8, C10, C11, D1, D5, D8, D9, D11	O2, O3, O4*, O10, P6-8, P11, P17, Q7, Q8, Q11	Y7, Y18, Z7, 2A5, 2A7, 2A11, 2A18	2M2, 2M3, 2M6, 2M7, 2M17, 2M19, 2M20, 2N11, 2N17, 2N18, 3Y1, 3Y2*, 3Y3*, 3Y7, 3Y11, 3Y17	2Y5, 2Y7, 2Y11, 2Y18, 2Z5, 2Z7, 2Z11, 2Z18, 3A5, 3A11	3G5, 3G7-9, 3G11, 3H5, 3H7-9, 3H11	3M6-8, 3M11, 3M17	3V5, 3V6*, 3V7-9, 3V11-17, 3V20*, 3W7, 3W9, 3W11, 3Z9, 3Z11
0	Базовий (нульовий рівень)	A2, A3, A4*, A6, A7							

У зв'язку з тим, що до матриці взаємодії стейкхолдерів було включено значну кількість процесів, що відбуваються на різних етапах реалізації проектів підвищення енергоефективності та модернізації енергетичного господарства шляхом впровадження розумних та екологічно безпечних енергетичних технологій, було ідентифіковано процеси, що мають найбільший вплив на здійснення проектів, тобто є найбільш релевантними.

Таблиця 3.8 – Процеси взаємодії стейкхолдерів на інтеграційних та оптимізаційних етапах створення розумних енергомереж

	Рівень моделі зрілості	Рівень моделі зрілості	Стратегічне управління та регулювання	Організація та структура	Технологія	Соціально-екологічна складова	Операції в мережі	Управління активами та персоналом	Взаємодія зі споживачами
5	Інновації нової хвилі	N2, N10, N11, N12-16, 4O11, 4O19, 4P2-3, 4P4*, 4P10	X1-4, X6-19	2L7, 2L11-18	2W11, 2W17, 2W18, 2X10, 2X11, 2X12-18	3F2, 3F10, 3F11, 3F18	3L11, 3L10-18	3T11-17, 3U2, 3U4*, 3U6, 3U10,, 3U11, 3U17, 3U18	4F9-18, 4G3, 4G10-17, 4Q11-16
4	Широка оптимізація	L11, M2*, M3, M4*, M6*, M7-10, M12-19,	V2, V3, V4*, V6*, V9, V11-19, W11	2H11, 2I11-18, 2J7, 2J11, 2K7, 2K18	2R2, 2R3, 2R4*, 2R6-18, 2S2, 2S3, 2S4, 2S9, 2S11, 2T2, 2T3, 2T4*, T6, 2T10, 2T19, 2U11-17, 2V11-12, 2V14-17	3E11	3K11, 3K17, 3K18	3S11-18, 4D2, 4D3, 4D10-17	4D10-17, 4E9, 4E11, 4E18-19, 4N10, 4N11
3	Крос-функціональна інтеграція	H5, H11, I11, J10, K12-18	T11, U2, U3, U4*, U6*, U7-19	2E5, 2E11, 2E18, 2F5, 2F11-18, 2G5, 2G11	2P4*, 2P6, 2P11, 2P17, 2Q11, 2Q17, 2Q18	3C5, 3C11-18, 3D11, 3D18	3J5, 3J7, 3J8, 3J11, 4B5, 4B11	3P11, 3P17, 3Q5, 3Q11-16, 3R11, 3R18, 4C10-11, 4C17	4A11, 4A18, 4B11-17, 4C11, 4C17, 4C18

До найбільш релевантних процесів було віднесено такі:

I етап:

- розроблення бачення розумних енергомереж;
- розроблення стратегічної IT-інфраструктури для розумних енергомереж;
- оцінювання корисності проєкту;
- тестування пристроїв та технологій;
- формування ланцюгів цінності.

II етап:

- розроблення бізнес-плану;
- узгодження інвестицій з баченням формування бюджету;
- затвердження концепції та формування команди проєкту;
- розроблення підходів до впровадження GIS та RAM;
- пілотні бізнес-процеси, тактичні інвестиції і IT-інфраструктуру;
- тестування технологій взаємодії з клієнтами.

III етап:

- інтеграція розумних енергомереж -стратегії та бізнесу до корпоративної стратегії;
- досягнення консенсусу з регуляторами;
- формування збалансованої системи показників розумних енергомереж;
- узгодження розумних енергомереж бізнес-процесів з IT-інфраструктурою;
- розроблення CBM, інтеграція RAM;
- залучення клієнтів до підтримки DR.

IV етап:

- залучення до реалізації RE зовнішніх стейкхолдерів;
- оптимізація бізнес-процесів через IT-інфраструктуру;
- початок масштабування розподіленої енергогенерації;
- тарифоутворення на основі розумних енергомереж-аналітики;
- моделювання та оптимізація розширення портфелю;
- формування передумов інтеграції до мережі вищого рівня.

V етап:

- формування загальної стратегії розширення на основі SG;
- підтримка нових підприємств (бізнес-проектів) за рахунок організаційних змін;
- оптимізована регуляторна політика;
- оптимізація використання активів учасниками ланцюга постачання.

Для визначених процесів побудовано організаційно-комунікаційну схему взаємодії стейкхолдерів у здійсненні проектів розумних енергомереж, яку показано на рис. 3.6.

Відповідно до рис. 3.6 процес розбудови розумних енергомереж передбачає залучення значної кількості зацікавлених сторін на кожному з етапів реалізації проекту. При цьому деякі стейкхолдери задіяні у значній кількості процесів на декількох етапах. У той же час, інші виконують обмежену роль з позиції активності та неперервності взаємодії з іншими учасниками процесу.

Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів у процесах розбудови розумних енергомереж дозволяє ідентифікувати стейкхолдерів, задіяних на кожному етапі та в кожному процесі розбудови розумних енергомереж.

Організаційно-комунікаційна схема участі стейкхолдерів у процесах розбудови розумних енергомереж дозволяє сформувати механізми регулювання їх взаємодії. Серед механізмів, які потребують подальшої деталізації, у організаційній схемі взаємодії стейкхолдерів виділено такі:

Координація – узгоджена діяльність щодо реалізації окремих процесів розбудови розумних енергомереж або виконання проекту в цілому. У даному випадку координація передбачає добровільну не регламентовану нормативними та правовими актами, а також іншими видами документації, які є обов'язковими до виконання, діяльність. Отже, передбачає широкий спектр способів взаємодії стейкхолдерів. Вибір оптимальної форми взаємодії важливий у даному випадку, адже дозволяє розробити механізми управління перебігом процесів розбудови розумних енергомереж.

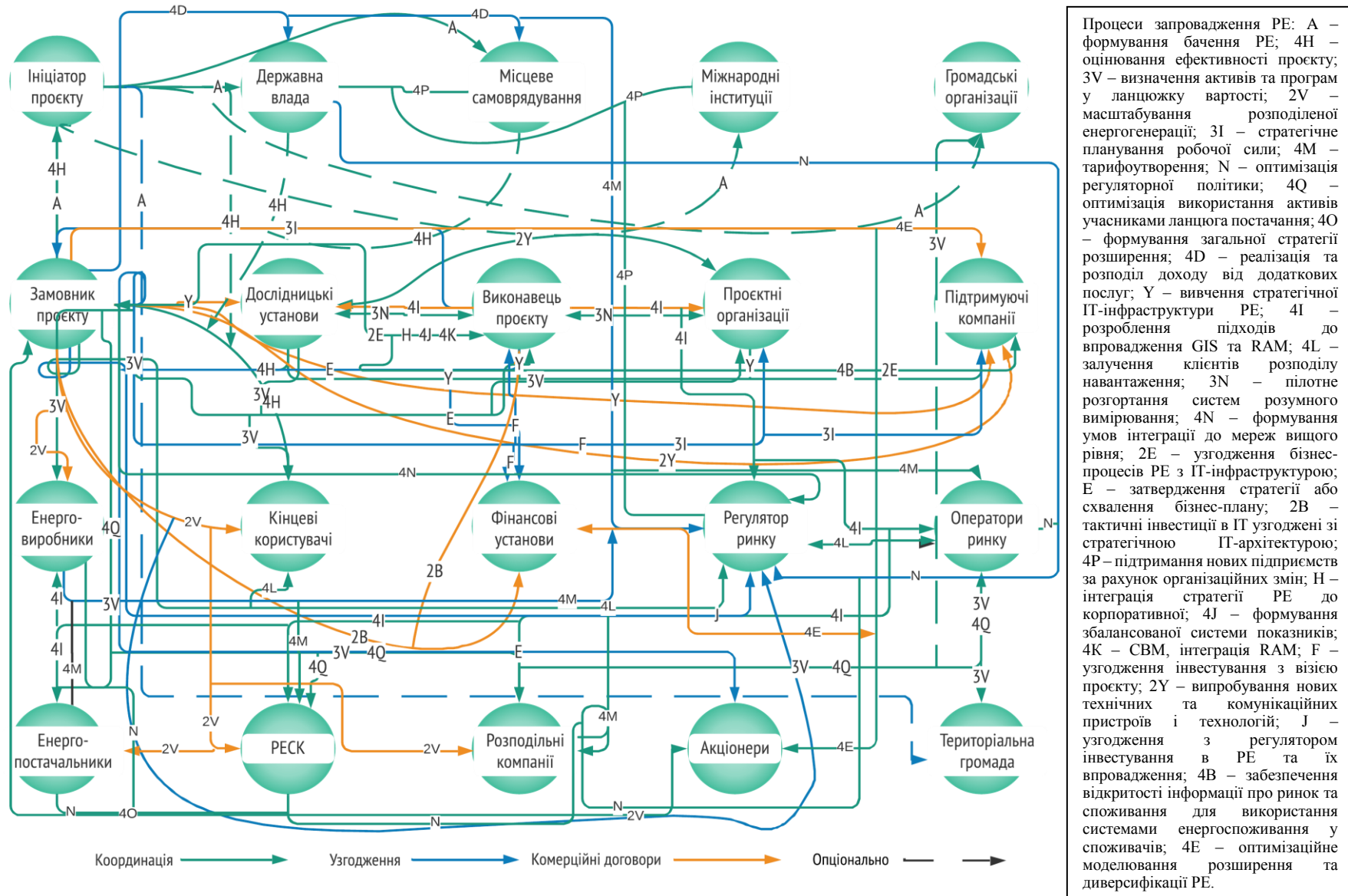


Рисунок 3.1 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів (фрагмент)



Значна частка потенціалу для сприяння модернізації ЕСЕ на основі розгортання розумних енергомереж, яка не потребує значних фінансових ресурсів з огляду на її організаційну природу, зосереджена саме у аспекті координації дій стейкхолдерів. Узгодження – різновид координації, який регламентується нормативно-правовими актами та передбачає обов'язковість певних дій. Комерційні договори – у даному випадку усі форми взаємодії стейкхолдерів на комерційній основі.

Процеси, марковані на рис. 3.6 пунктиром, є обов'язковими лише для окремих категорій проєктів. Значна частка потенціалу для сприяння модернізації ЕСЕ на основі розгортання розумних енергомереж, яка не потребує значних фінансових ресурсів з огляду на її організаційну природу, зосереджена саме у аспекті координації дій стейкхолдерів. З візуалізації на рис. 3.6 можна простежити, що такі стейкхолдери, як: органи влади, виконавець проєкту, фінансові та кредитні організації, регулятор ринку, замовник або замовники проєкту, енергогенеруючі, транспортуючі та розподільні компанії, підтримуючі організації та підприємства (постачальники товарів та послуг), а також кінцеві споживачі енергетичних ресурсів, – є активними учасниками процесу розбудови розумних енергомереж та виконують значну кількість функцій у процесі розроблення реалізації та супроводу проєктів розумних енергомереж. Укрупнення схеми участі стейкхолдерів у розбудові розумних енергомереж дозволяє визначити ключових стейкхолдерів та найбільш релевантні процеси, що важливо для досягнення якісних наукових результатів для виявлення взаємозв'язків та взаємозалежностей у складній системі організації, супроводу та підтримки процесів трансформації енергетичної системи на основі впровадження інтелектуальних технологій. Розроблена організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів дозволяє удосконалити механізми їх взаємодії під час реалізації проєктів розумних енергомереж на кожному етапі: від ініціації ідеї, розроблення проєктної документації до реалізації та супроводу функціонуючої розумних енергомереж. Організаційно-комунікаційна схема може бути використана як інструмент реалізації заходів, передбачених дорожньою картою

розвитку розумних енергомереж. Розділ сформовано на підставі звіту про перший етап виконання НДР [14].

#### **4 МАТРИЦЯ ВИТРАТ ТА ЕФЕКТИВ ДЛЯ СТЕЙКХОЛДЕРІВ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ПРОЕКТІВ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ РОЗРИВІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

Управління витратами при реалізації енергоефективних проектів є одним з ключових інструментів при мінімізації розривів енергоефективності. При цьому, традиційне управління ризиками довгий час вважалось додатковою функцією. Такий спосіб управління не можна відокремити від операційної діяльності підприємства. Перехід від традиційного до сучасного (сталого) ведення господарської діяльності призвів до зміни позицій систем корпоративного управління, коли власники підприємств намагаються до першості не лише за економічними та фінансовими показниками, а і збільшити попит на виготовлену продукцію в умовах зеленої економіки [25].

Сьогодні, у зв'язку з розвитком несприятливих глобальних економічних, соціальних та політичних тенденцій підприємства з особливою увагою розглядають вплив екологічних ризиків на власну діяльність [19]. Про це говорять чисельні дослідження відображені в звітах про глобальні ризики. Ряд катастрофічних подій останніх років вказує на те, що рівень стійкості екологічних ризиків набуває нових вимірів та значно може розширитися в майбутньому. Все це свідчить про те, що в сучасних ринкових умовах управління ризиками має переходити до інтегрального підходу в управлінні. При чому, важливою умовою повинно стати врахування основних принципів екологічного виробництва [24]:

- орієнтація на довгострокові цілі;
- розширення асортименту продукції в перспективному напрямку;
- отримання додаткових конкурентних переваг;
- доступ до нового високорентабельного сегменту споживачів, що розвивається в екологоорієнтованому напрямку;
- відповідність міжнародним стандартам управління та додатковий контроль за якістю;
- формування позитивного іміджу серед стейкхолдерів, тощо.

Питання вимірювання впливу системи управління екологічними ризиками на діяльність підприємства, як і оцінювання її ефективності також є мало вивченим.

Більшість вчених та аналітиків при вивченні методичних рекомендацій впровадження системи управління ризиками в роботу підприємства, відзначають, що вона не повинна перешкоджати господарській діяльності підприємства та негативно впливати на її ключові показники. Тобто, управління ризиками повинно служити не лише для зменшення збитків підприємства, але і для виявлення можливостей [1]. Модернізуючи процеси і технології, підприємство не повинно втрачати жодних зацікавлених сторін або прибуток, через формальності, що виникають в процесі реалізації системи управління екологічними ризиками. Ключові показники ефективності діяльності підприємства повинні мати лише позитивну динаміку після впровадження системи управління екологічними ризиками.

Аналіз досвіду діяльності європейських та американських підприємств також засвідчив, що впровадження системи управління екологічними ризиками дозволило отримати не лише прямі екологічні ефекти, а й є каталізатором підвищення прибутковості.

Узагальнення результатів аналізу досвіду попередніх досліджень, було зроблено висновок, що ефективність систем управління екологічними ризиками доцільно оцінювати через позитивну динаміку показників, які демонструють результативність господарської діяльності підприємства при реалізації процесів управління екологічними ризиками. В роботі, в якості показників, що будуть визначати ефективність системи управління екологічними ризиками підприємства запропоновано використовувати динаміку наступних показників: рівень прибутковості підприємства, ефективність процесу управління екологічними ризиками, вплив на стейкхолдерів на екологоорієнтовану діяльність підприємства [25].

У даному контексті була висунута та перевірена гіпотеза, що ефективна система управління екологічними ризиками, з одного боку, забезпечує

врегулювання конфліктів стейкхолдерів щодо екоорієнтованого розвитку підприємства, а з іншого – створює додаткову цінність для стейкхолдерів підприємства шляхом зниження ймовірності виникнення екологічного ризику та втрати прибутку.

Однак, опираючись на наукових положеннях неокласичної теорії Кобба – Дугласа, до аналізованих показників було включено масштаб підприємства, що розглядається через обсяг активів та кількість працівників.

Для перевірки висунутої гіпотези було визначено такий алгоритм оцінювання ефективності системи управління екологічними ризиками на підприємстві (рисунк 4.1), що включає такі етапи:

- визначення наявності, напряму та сили впливу ефективності системи управління екологічними ризиками на рівень прибутковості підприємства;
- визначення критерію ефективності ухвалення рішень щодо екологоорієнтованого розвитку підприємства;
- диференціація типів процесів управління екологічними ризиками підприємства.

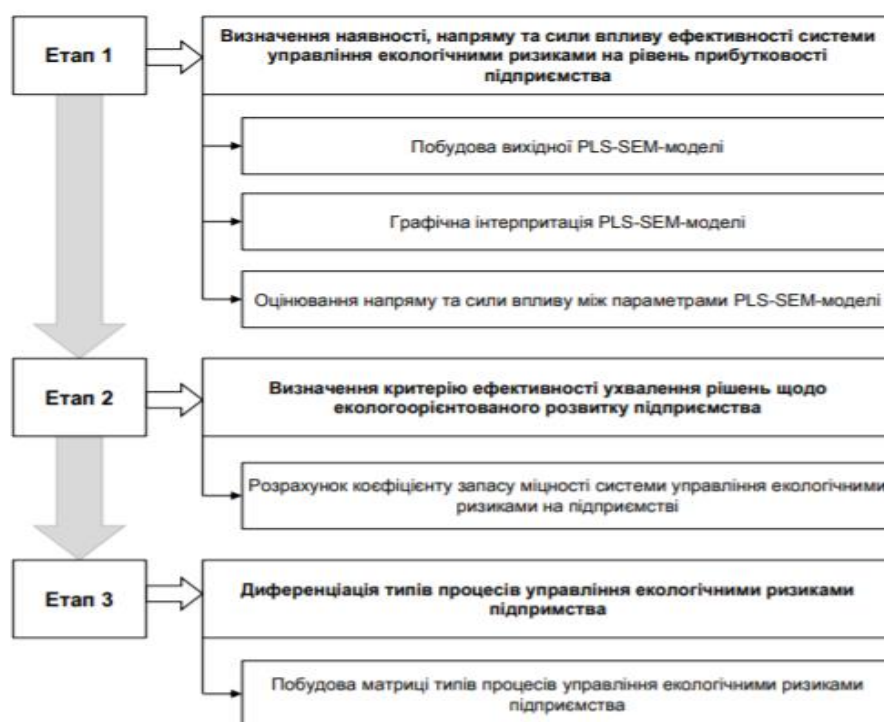


Рисунок 4.1 – Основні етапи оцінювання ефективності системи управління екологічними ризиками на підприємстві Джерело: [25]

Важливим аргументом запровадження системи управління екологічними ризиками на підприємстві є вплив її ефективності на результативність діяльності підприємства за певним переліком чинників. Це говорить про наявність причинно-наслідкових зв'язків, що складаються з внутрішніх та зовнішніх факторів.

З метою дослідження впливу ефекту від запровадження системи управління екологічними ризиками на прибутковість підприємства, у роботі розроблено модель PLS-SEM (Partial Least Squares Structural Equation Modeling).

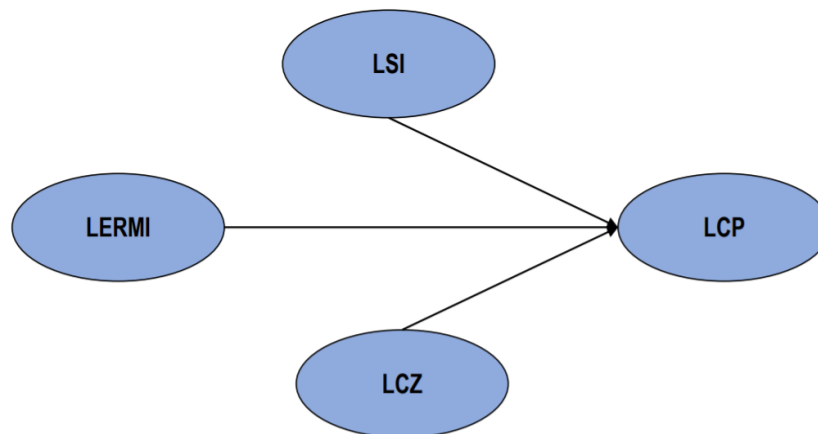
Ця модель вперше була запропонована Г. Волдом та використовувалась в економічному аналізі, економетриці та хеметриці. Вона входить до групи методів структурного моделювання SEM (Structural Equation Modeling) [12]. Сьогодні алгоритм даної моделі найчастіше використовується в таких напрямках як стратегічне та операційне управління, маркетинг, фінансовий облік, управління персоналом, туризм, та ін. Основними причинами зростаючої популярності до PLS-SEM-моделювання є здатність оцінювати складні моделі та спрощені вимоги до даних.

На відміну від звичайної SEM-моделі, PLS-SEM-модель здатна моделювати та оцінювати складні моделі причинно-наслідкових зв'язків з прихованими (латентними) та явними змінними. Латентні змінні втілюють в себе явища, що не піддаються спостереженню. Вони визначаються через ряд явних змінних. PLS-SEM-модель оцінює взаємозв'язок між сильними сторонами латентних змінних та визначає, наскільки добре модель пояснює сформовані цільові конструкції [25].

Латентними змінними оцінювання ефективності системи управління екологічними ризиками на підприємстві є:

- ефективність процесу управління екологічними ризиками на підприємстві;
- сила тиску стейкхолдерів на екоорієнтовану діяльність підприємства;
- масштаб підприємства;
- рівень прибутковості підприємства.

Графічна інтерпретація напрямів взаємодії латентних змінних ефективності системи управління екологічними ризиками підприємства представлена на рисунку 4.2.



LERMI – латентна змінна ефективності процесу управління екологічними ризиками на підприємстві;  
 LSI – латентна змінна сили тиску стейкхолдерів на екоорієнтовану діяльність підприємства;  
 LCZ – латентна змінна масштабу підприємства;  
 LCP – латентна змінна рівня прибутковості підприємства

Рисунок 4.2 – Графічна інтерпретація взаємозв'язку латентних змінних системи управління екологічними ризиками підприємства Джерело: [25]

Алгоритм побудови вихідної PLS-SEM-моделі буде складатися з декількох етапів. На першому етапі відбувається побудова PLS-SEM-моделей для визначення латентних змінних.

1. PLS-SEM-модель для визначення сили тиску стейкхолдерів на екологоорієнтовану діяльність підприємства.

Для даної моделі використовується зовнішня модель формативного типу. У даному випадку, латентна змінна «сила тиску стейкхолдерів на екологорієнтовану діяльність» сформована під дією таких явних змінних:

- постачальники;
- посередники;
- профспілка;
- інвестори;
- акціонери;

- екологічні рейтингові агенції;
- громадськість;
- споживачі.

Формульний вигляд PLS-SEM-моделі формативного типу для визначення сили тиску стейкхолдерів на екологорієнтовану діяльність підприємства буде представлена у вигляді формули (4.1):

$$LSI = \mu_{0j} + \mu_{jk}SI_{jk} + \varepsilon_j, \quad (4.1)$$

де  $\mu_{0j}$  – вільна змінна;

$\mu_{jk}$  – коефіцієнт навантаження та напряму зв'язку;

$SI_{jk}$  – явні змінні стейкхолдерів (постачальники, посередники, профспілка, інвестори, акціонери, екологічні рейтингові агенції, громадськість, споживачі відповідно),  $SI = [1; 5]$ , коефіцієнт Кронбаха становить 0,95;

$\varepsilon_j$  – стандартна похибка;

$j$  – блок відповідних змінних за  $t$ -період;

$k$  – кількість змінних

Графічна інтерпретація PLS-SEM-моделі визначення сили тиску стейкхолдерів на екологорієнтовану діяльність підприємства представлено на рисунку 4.3.



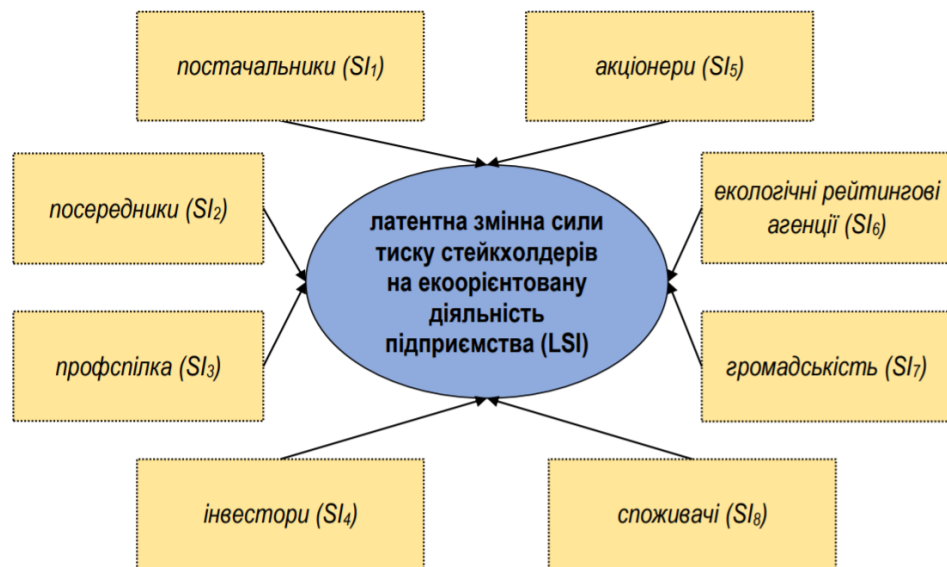


Рисунок 4.3 – Графічна інтерпретація PLS-SEM-моделі визначення сили тиску стейкхолдерів на екологічно орієнтовану діяльність підприємства Джерело: [25]

2. PLS-SEM-модель для визначення ефективності процесу управління екологічними ризиками.

При побудові даної моделі формується зовнішня модель рефлексивного типу. Це означає, що латентна змінна «ефективність процесу управління екологічними ризиками» являється причиною наступних явних змінних:

- оперативні цілі;
- стратегічні цілі;
- прозорість і прозорість звітності підприємства;
- дотримання чинних законодавчих норм у сфері охорони навколишнього природного середовища [25].

При цьому формульний вигляд PLS-SEM-моделі визначення ефективності процесу управління екологічними ризиками можна записати формулою (4.2):

$$LERMI = \mu_{0j} + \mu_{jk}Strat_{Ecjk} + \mu_{jk}Operat_{Envjk} + \mu_{jk}Transp_{Mjk} + \mu_{jk}Compl_{Sjk} + \varepsilon_j, \quad (4.2)$$

де  $\mu_{0j}$  – вільна змінна;

$\mu_{jk}$  – коефіцієнт навантаження та напрямку зв'язку;

*Operat* – явна змінна екологічних ризиків підприємства – операційні цілі;

*Strat* – явна змінна екологічних ризиків підприємства – стратегічні цілі;

*Transp* – явна змінна екологічних ризиків підприємства – прозорість і прозорість звітності підприємства;

*Compl* – явна змінна екологічних ризиків підприємства – дотримання чинних законодавчих норм у сфері охорони навколишнього природного середовища;

$\varepsilon_j$  – стандартна похибка;  $j$  – блок відповідних змінних за  $t$ -період;

$k$  – кількість змінних.

Графічна інтерпретація PLS-SEM-моделі визначення ефективності процесу управління екологічними ризиками представлено на рисунку 4.4.

### 3. PLS-SEM-модель для визначення масштабності підприємства.

Данна модель передбачає побудову зовнішньої моделі формативного типу. При цьому, на латентну змінну «масштабність підприємства» впливають такі явні змінні:

- обсяг активів;
- кількість працівників.

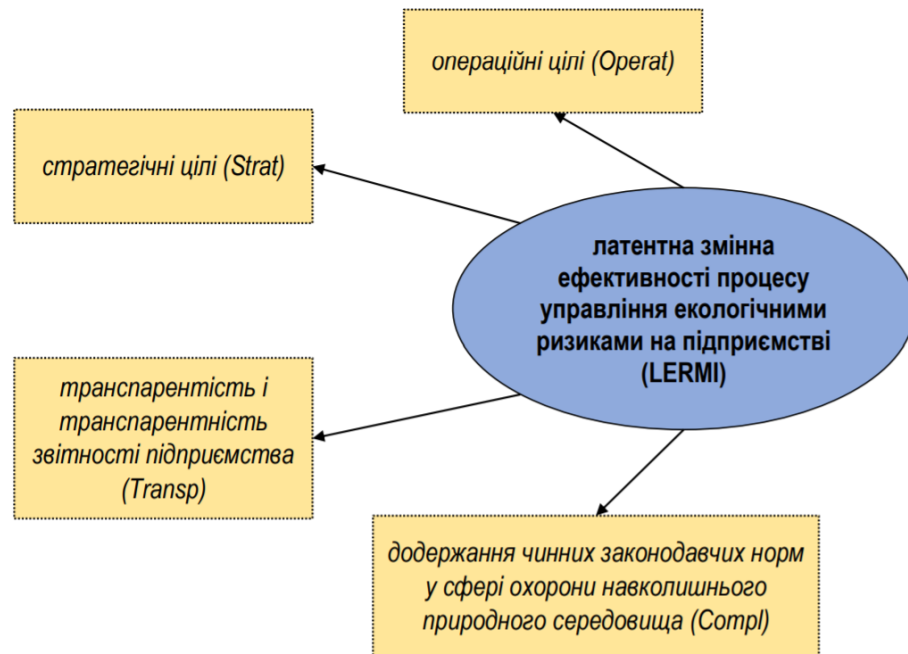


Рисунок 4.4 – Графічна інтерпретація PLS-SEM-моделі визначення ефективності процесу управління екологічними ризиками Джерело: [25]

Модель набуває вигляду формули (4.3):

$$LSZ = \mu_{0j} + \mu_{jk}CZ_{jk} + \varepsilon_j, \quad (4.3)$$

де  $\mu_{0j}$  – вільна змінна;

$\mu_{jk}$  – коефіцієнт навантаження та напрямку зв'язку;

$CZ_{jk}$  – явні змінні масштабності підприємства (обсяг активів, кількість працівників відповідно);

$\varepsilon_j$  – стандартна похибка;

$j$  – блок відповідних змінних за  $t$ -період;

$k$  – кількість змінних.

Графічна інтерпретація PLS-SEM-моделі визначення масштабності підприємства представлено на рисунку 4.5.

4. PLS-SEM-модель для визначення рівня прибутковості підприємства.

Модель будується на основі зовнішньої моделі формативного типу. На латентну змінну «рівень прибутковості підприємства» впливають такі явні змінні:

- прибуток підприємства до оподаткування;
- середньозважена вартість капіталу;
- обсяг інвестованого капіталу.

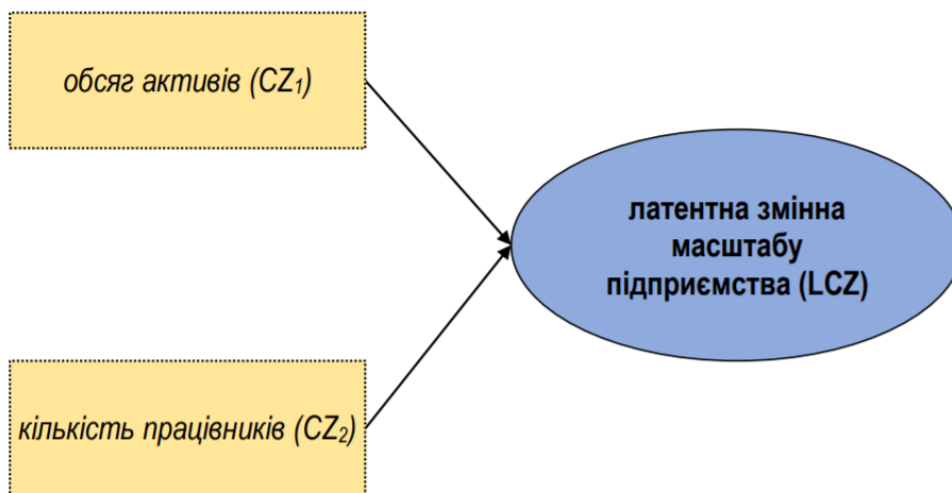


Рисунок 4.5 – Графічна інтерпретація PLS-SEM-моделі визначення масштабності підприємства Джерело: [25]

Формульний вигляд моделі представлений формулою (4.4):

$$LCP = \mu_{0j} + \mu_{jk}P_{jk} + \varepsilon_j, \quad (4.4)$$

де  $\mu_{0j}$  – вільна змінна;

$\mu_{jk}$  – коефіцієнт навантаження та напряму зв'язку;

$P_{jk}$  – явні змінні прибутковості підприємства (прибуток підприємства до оподаткування, середньозважена вартість капіталу, обсяг інвестованого капіталу відповідно);

$\varepsilon_j$  – стандартна похибка;

$j$  – блок відповідних змінних за  $t$ -період;

$k$  – кількість змінних.

Графічна інтерпретація PLS-SEM-моделі визначення рівня прибутковості підприємства представлено на рисунку 4.6.

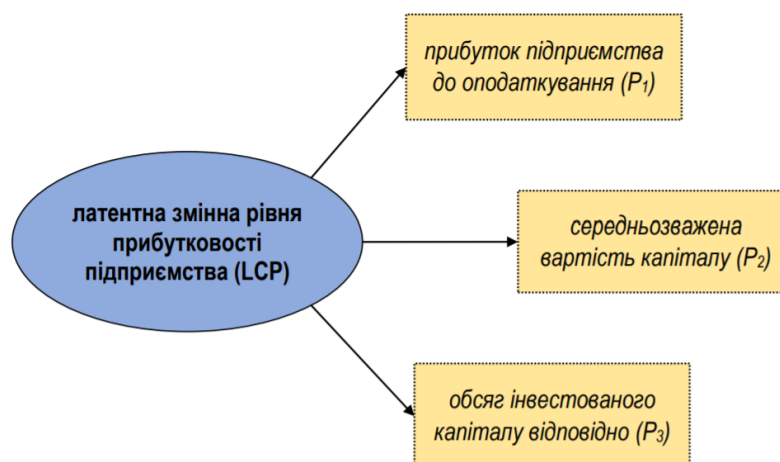


Рисунок 4.6 – Графічна інтерпретація PLS-SEM-моделі визначення рівня прибутковості підприємства Джерело: [25]

На другому етапі побудови PLS-SEM-моделі необхідно перевірити наявність, напрям та силу впливу між якісними та латентними змінними моделі.

Для цього було проведено формалізацію взаємозв'язків побудованих моделей, після чого загальна модель набуває вигляду системи рівнянь взаємозалежностей між явними та латентними змінними формативного і рефлексивного типів.

Узагальнені моделі впливу якісних змінних на латентні змінні системи управління екологічними ризиками підприємства представлена формулою (4.5).

$$\left\{ \begin{array}{l} LCP = \mu_{0j} + \mu_{jk}LERMI_{jk} + \mu_{jk}LSI_{jk} + \mu_{jk}LCZ_{jk}\varepsilon_j, \\ LSI = \mu_{0j} + \mu_{jk}SI_{jk} + \varepsilon_j, \\ LERMI = \mu_{0j} + \mu_{jk}Strat_{Ecjk} + \mu_{jk}Operat_{Envjk} + \mu_{jk}Transp_{Mjk} + \mu_{jk}Compl_{Sjk} + \varepsilon_j, \\ LCZ = \mu_{0j} + \mu_{jk}CZ_{jk} + \varepsilon_j, \\ LCP = \mu_{0j} + \mu_{jk}P_{jk} + \varepsilon_j, \end{array} \right. (4.5)$$

- де *LSI* – латентна змінна сили тиску стейкхолдерів на екологоорієнтовану діяльність підприємства;
- LERMI* – латентна змінна ефективності процесу управління екологічними ризиками підприємства;
- LCZ* – латентна змінна масштабу підприємства;
- LCP* – латентна змінна рівня прибутковості компанії

З метою апробації запропонованого підходу до визначення впливу ефективності системи управління екологічними ризиками підприємства на рівень прибутковості було проведено розрахунок на основі підприємств: ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг», ПрАТ «Запоріжжкокс», ПрАТ «Дніпроспецсталь», ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», ПрАТ «Нікопольський завод феросплавів» за період з 2012 по 2019 роки [25].

Емпіричні дані щодо оцінювання напряму та сили впливу між параметрами PLS-SEM-моделі наведено у таблиці 4.1.

Відповідно до емпіричних розрахунків графічна інтерпретація PLS-SEM моделі взаємозв'язку між досліджуваними явними та латентними змінними представлено на рисунку 4.7.

Отримані результати підтверджують висунуту на початку дослідження гіпотезу, що запровадження ефективної системи управління не лише здатне знизити ймовірність виникнення екологічних ризиків, а і підвищити результативність діяльності підприємства.

В результаті дослідження латентної змінної «сила тиску стейкхолдерів на екологоорієнтовану діяльність» було помічено, що явні змінні даного компоненту мають рівнозначний статистично значущий вплив. Цей фактор свідчить про те, що усі групи стейкхолдерів є зацікавленим у запровадженні збалансованої системи управління екологічними ризиками.

При дослідженні латентної змінної «ефективність процесу управління екологічними ризиками» слід виділити змінну «стратегічних цілей», оскільки на неї спрямований найсильніший вплив (0,935) серед інших змінних. Найменший

вплив був виявлений на явну змінну «транспарентності і транспарентності звітності підприємства» (0,829).

Таблиця 4.1 – Оцінювання напрямку та сили впливу між параметрами моделі PLS-SEM

Зв'язок	Значення	p-value
1	2	3
латентна змінна ефективності процесу управління екологічними ризиками на підприємстві		
LERMI → Operat	0,879	0,00*
LERMI → Strat	0,935	0,00*
LERMI → Transp	0,829	0,00*
LERMI → Compl	0,836	0,00*
латентна змінна сили тиску стейкхолдерів на екоорієнтовану діяльність підприємства		
LSI → SI <sub>1</sub>	0,867	0,00*
LSI → SI <sub>2</sub>	0,778	0,00*
LSI → SI <sub>3</sub>	0,638	0,00*
LSI → SI <sub>4</sub>	0,897	0,00*
LSI → SI <sub>5</sub>	0,903	0,00*
LSI → SI <sub>6</sub>	0,726	0,00*
LSI → SI <sub>7</sub>	0,634	0,00*
LSI → SI <sub>8</sub>	0,834	0,00*
латентна змінна масштабу підприємства		
LCZ → CZ <sub>1</sub>	0,889	0,00*
LCZ → CZ <sub>2</sub>	0,851	0,00*
латентна змінна рівня прибутковості підприємства		
LCP → P <sub>1</sub>	0,863	0,00*
LCP → P <sub>2</sub>	0,831	0,00*
LCP → P <sub>3</sub>	0,805	0,00*
зв'язав між латентними змінними		
LCZ → LCP	0,201	0,00*
LSI → LCP	0,116	0,00*
LERMI → LCP	0,497	0,00*

*p-value* – рівень статистичної значущості; \* – *p-value* на рівні 1 % Джерело: [25]

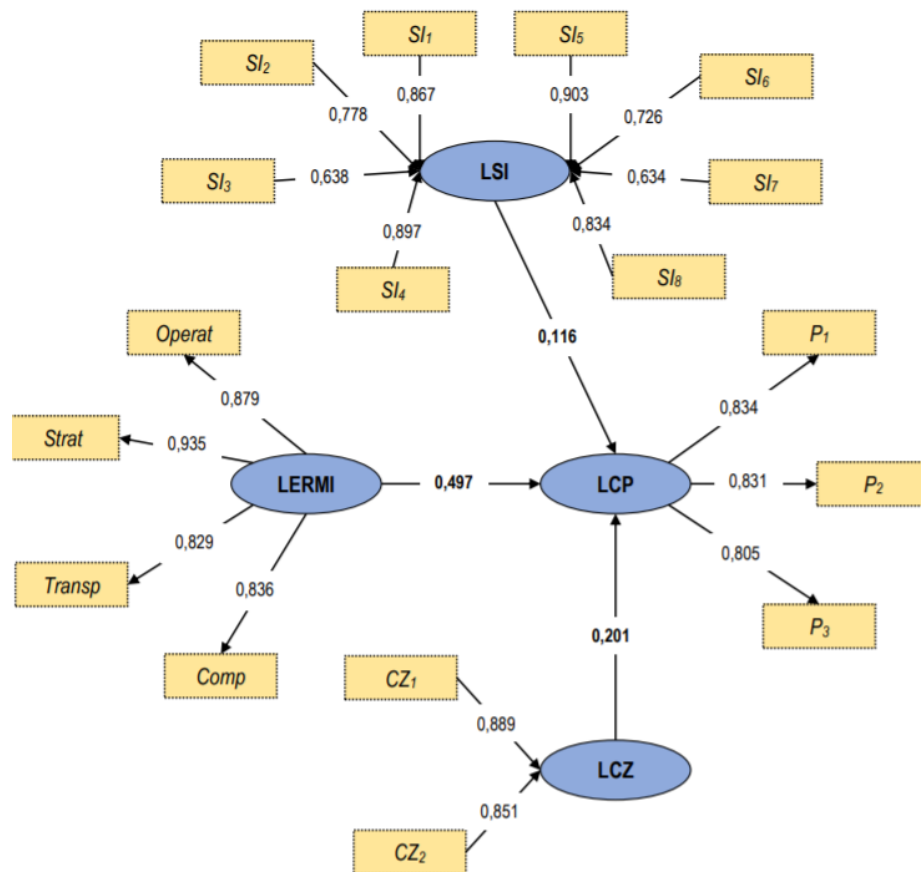


Рисунок 4.7 – Графічна інтерпретація впливу якісних змінних на латентні змінні ефективності системи управління екологічними ризиками підприємства, масштабності підприємства, рівня впливу стейкхолдерів на діяльність підприємства, рівня його прибутковості Джерело: [25]

Сила впливу на латентну змінну «масштаб підприємства» явних змінних «обсяг активів» та «кількість працюючих» також є рівнозначною (0,889 та 0,851 відповідно).

Отже, виявлені позитивні зв'язки при формуванні ефективної системи управління екологічними ризиками дозволяють підприємству одержати синергетичний ефект щодо підвищення рівня його прибутковості.

Розділ сформовано на підставі звіту про другий етап виконання НДР [15].



## 5 СИСТЕМА КРИТЕРІЇВ ТА ТАРГЕТІВ ПРИЙНЯТТЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ БАЛАНСУ МІЖ ОПТИМАЛЬНИМ ТА ФАКТИЧНИМ РІВНЯМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Результати систематизації науково-методичних підходів до оцінювання рівня енергетичної ефективності національної економіки свідчать про відсутність єдиного уніфікованого та загально прийнятого інструментарію оцінювання енергоефективності. Це пов'язано з міждисциплінарною природою показника, а також векторами розвитку досліджуваних країн.

Таким чином, було обрано науково-методичний підхід, що дозволяє оцінювати дивергентні та конвергентні складові енергетичної ефективності національної економіки України порівняно з країнами-членами Європейського Союзу, адже Україна дотримується вектора євроінтеграції та підтримує співпрацю в межах Європейської зеленої угоди, що обумовлює формування конвергентної політики загалом і в сфері енергетичної ефективності [21].

Авторами розроблена послідовна модель оцінювання дивергентних та конвергентних складових енергетичної ефективності національної економіки (рисунок 5.1).

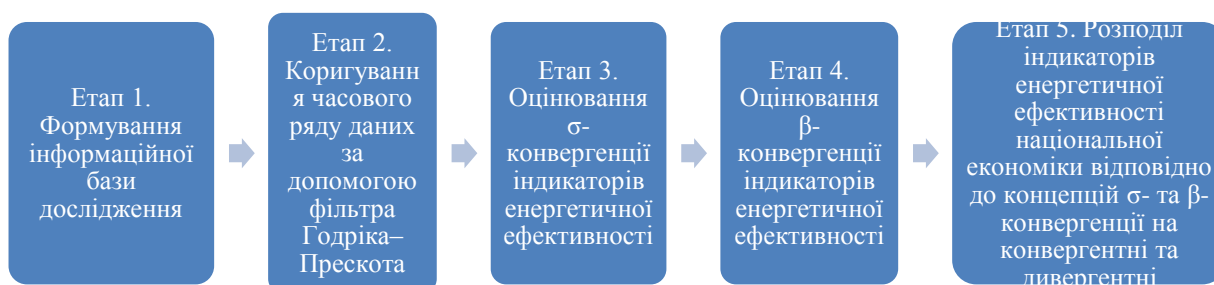


Рисунок 5.1 – Основні етапи ідентифікації рівня асинхронності й швидкості реагування державної енергетичної політики на екзогенні та ендогенні зміни в національній економіці Джерело: [21].

Відповідно на першому етапі за основу для формування інформаційної бази дослідження було обрано концепцію формування Індексу енергетичної трілеми

(Energy Trilemma Index), яка інтегрує енергетичні, економічні й екологічні індикатори 128 країн світу за основними глобальними та національними показниками, що дає можливість сформувати портрет країни за трьома основними вимірами – рівнями енергетичної безпеки, енергетичної справедливості та екологічної стійкості [15].

Інформаційна база дослідження представлена в Україні й країнах-членах Європейського Союзу (27 країн) в період 2000–2020 рр. та поділена на три сектори за сферами впливу.

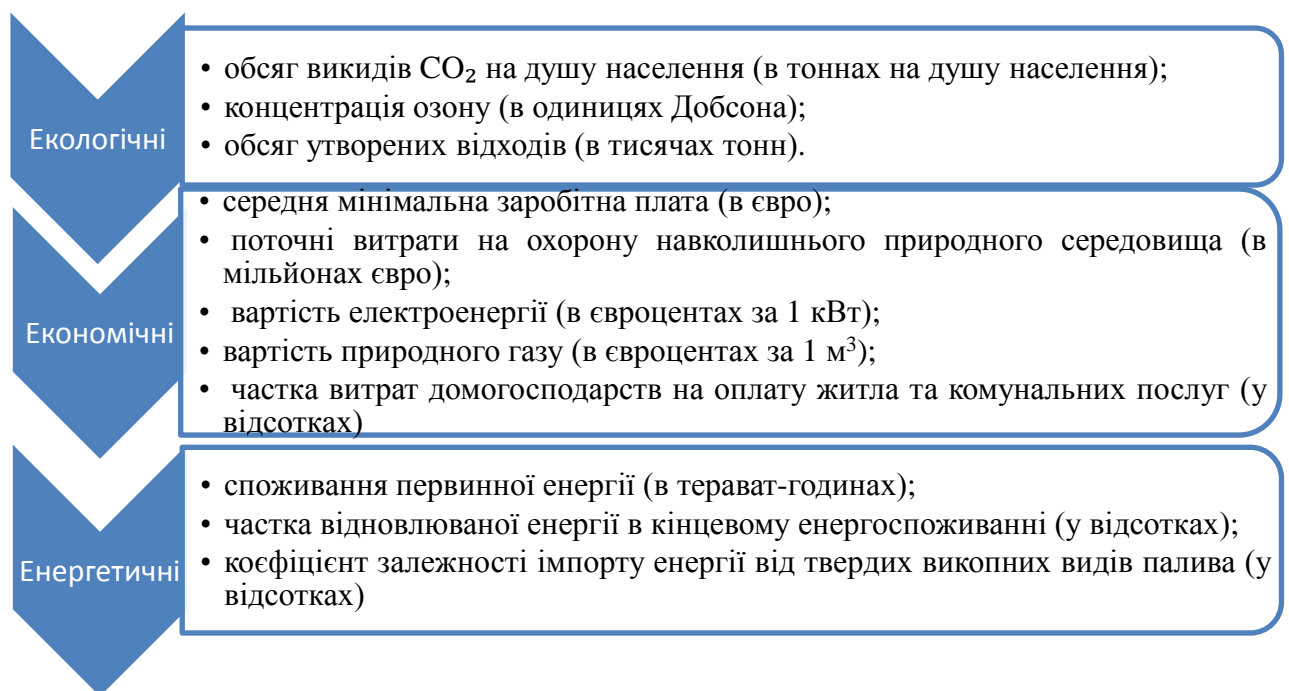


Рисунок 5.2 – Складові інформаційної бази дослідження для оцінювання рівня енергетичної ефективності національної економіки Джерело: [23]

На другому етапі провели коригування часового ряду даних за допомогою фільтра Годріка – Прескота [26]:

$$y_t = y_t^{trend} + y_t^{cycle}, \quad (5.1)$$

$$y_t^{cycle} = \sum w_t(s)y_{t-s}, \quad (5.2)$$

де  $y_t^{\text{trend}}, y_t^{\text{cycle}}$  – трендова та циклічна складові;

$t$  – період часу;

$w_t(s)$  – ваговий коефіцієнт мінливості в часі або інваріантності;

$y_t$  – часовий ряд даних;

$s$  – період згладжування.

Коригування часового ряду даних дозволяє за допомогою середньоквадратичного відхилення змінних нівелювати негативні тенденції та виділити трендову складову.

На третьому етапі провели оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за формулою

$$\sigma_t^c = (1/n \sum_{i=1}^n (\ln \text{DEF}_{i,t}^c - \overline{\ln \text{DEF}_{1,t}^c})^2)^{1/2} \quad (5.3)$$

де  $\text{DEF}_{i,t}^c$  – детермінанта енергетичної ефективності країни в  $t$ -му році;

$n$  – кількість країн для розрахунку групової конвергенції.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикатора енергетичної ефективності екологічної складової – обсяг викидів  $\text{CO}_2$  на душу населення

Рік	Обсяг викидів $\text{CO}_2$ на душу населення		
	Україна	країни ЄС	Україна та ЄС
2000	0,2248	0,4187	0,4133
2002	0,2153	0,4087	0,4033
2004	0,2052	0,3997	0,3943
2006	0,1952	0,3917	0,3864
2008	0,1861	0,3850	0,3796
2010	0,1785	0,3796	0,3742
2012	0,1727	0,3756	0,3702
2014	0,1688	0,3734	0,3680
2016	0,1656	0,3733	0,3679
2018	0,1618	0,3757	0,3702
2020	0,1566	0,3813	0,3755

Джерело: [23]

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикатора енергетичної ефективності екологічної складової – концентрація озону

Рік	Концентрація озону		
	Україна	країни ЄС	Україна та ЄС
2000	0,0067	0,1465	0,1439
2002	0,0021	0,1435	0,1409
2004	0,0023	0,1409	0,1383
2006	0,0066	0,1387	0,1362
2008	0,0106	0,1369	0,1344
2010	0,0143	0,1354	0,1330
2012	0,0178	0,1343	0,1319
2014	0,0211	0,1334	0,1311
2016	0,0245	0,1330	0,1307
2018	0,0278	0,1329	0,1306
2020	0,0311	0,1331	0,1308

Джерело: [23]

Таблиця 5.3 – Результати розрахунку оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикатора енергетичної ефективності екологічної складової – обсяг утворених відходів

Рік	Обсяг утворених відходів		
	Україна	країни ЄС	Україна та ЄС
2000	4,0114	1,5664	1,7089
2002	2,7415	1,5578	1,6122
2004	2,1987	1,5529	1,5786
2006	1,8409	1,5512	1,5611
2008	1,5684	1,5521	1,5517
2010	1,3474	1,5549	1,5473
2012	1,1651	1,5592	1,5463
2014	1,0113	1,5650	1,5482
2016	0,8758	1,5731	1,5533
2018	0,7492	1,5856	1,5632
2020	0,6224	1,6063	1,5816

Джерело: [23]

Для наочного зображення побудуємо графіки за кожною екологічною складовою, що дасть можливість відзначити конвергентність чи дивергентність досліджуваних країн-членів Європейського Союзу з Україною (рисунки 5.3–5.5).

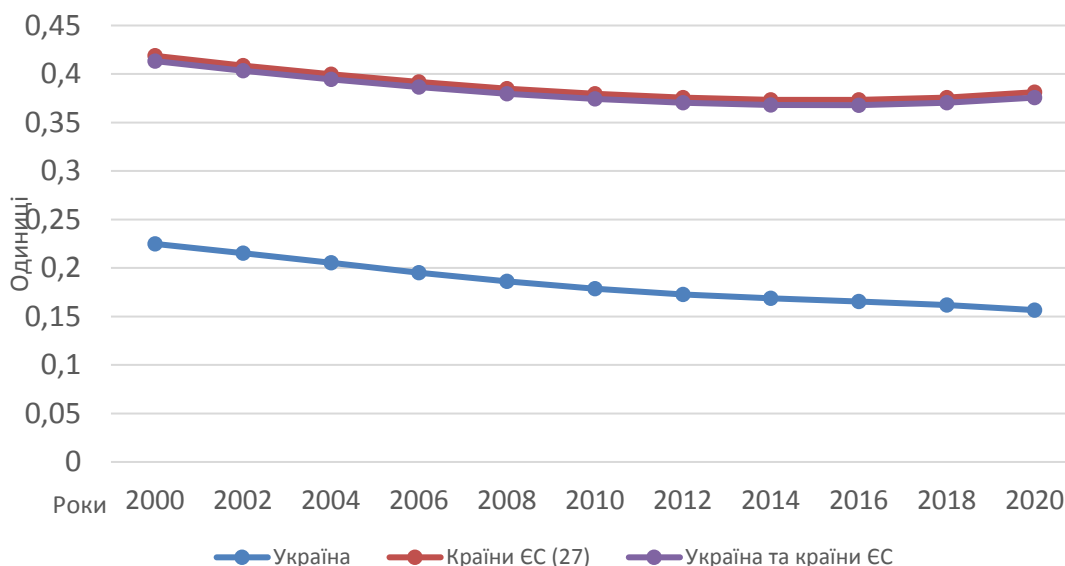


Рисунок 5.3 – Візуалізація оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягами викидів CO<sub>2</sub> на душу населення Джерело: [23]

Результати розрахованої  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягами викидів CO<sub>2</sub> на душу населення з таблиці 5.1 та рисунка 5.3 свідчать про дивергентну політику України порівняно з політикою країн-членів Європейського Союзу.

Це спричинено насамперед активним упровадженням країнами Європейського Союзу відновлюваних джерел енергії в структуру енергетичного сектору, встановленням жорстких умов для промислового сектору щодо забезпечення належними (що відповідають стандартам) очисними технологіями виробництва, а також змінами структури транспортної системи, впроваджуючи більш екологічно безпечні електрокари.

Ураховуючи розрахункові дані таблиці 5.2 та інтерпретацію рисунка 5.4, необхідно зробити висновок щодо конвергентної політики України та країн Європейського Союзу.

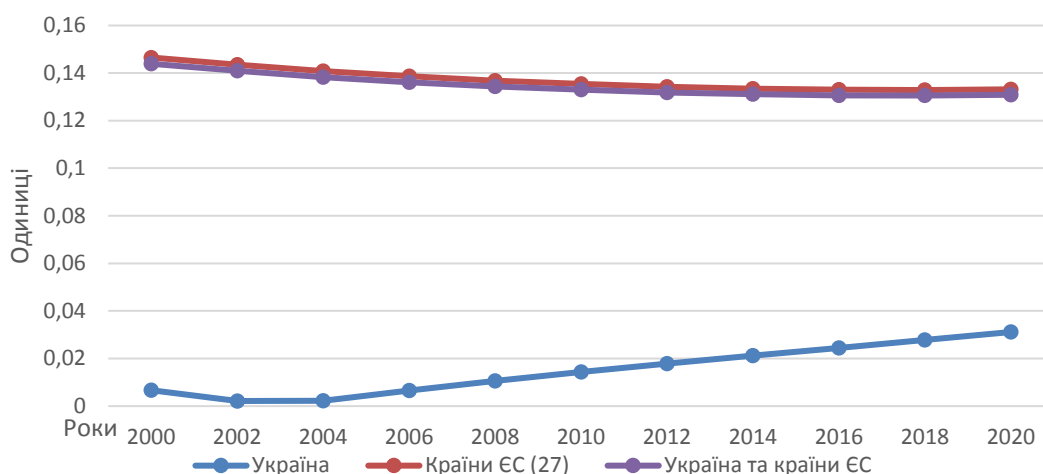


Рисунок 5.4 – Візуалізація оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за концентрацією озону Джерело: [23]

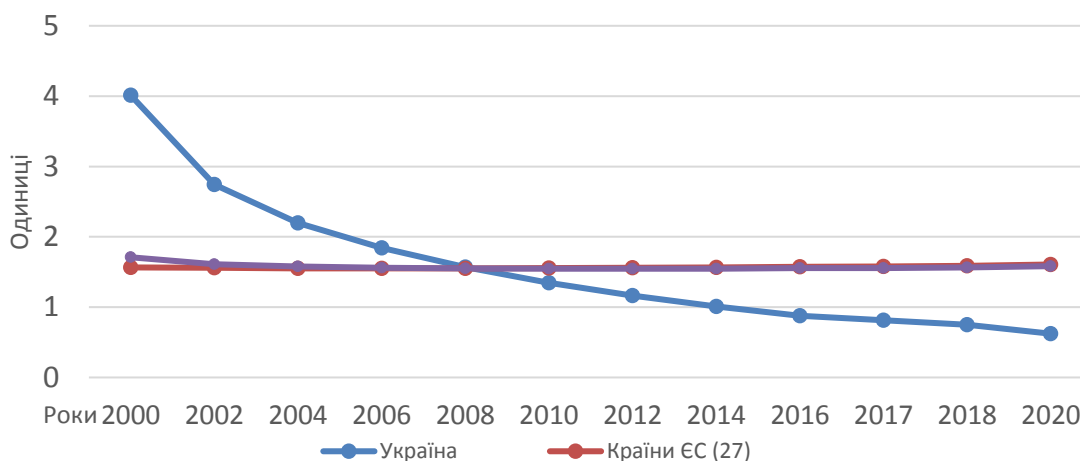


Рисунок 5.5 – Візуалізація оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом утворених відходів Джерело: [23]

Необхідно відзначити великий розрив між показниками досліджуваних напрямів, і тенденцію до спільного розвитку цієї політики щодо стабілізації концентрації озону.

Результати розрахованої  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом утворених відходів із розрахунків, наведених у таблиці 5.3 та на рисунку 5.5, свідчать про формування конвергентної політики України країнами-членами Європейського Союзу. Все ж таки існують певні занепокоєння щодо зміни на дивергентний напрям, але це можливо лише за умови

незацікавленості України в розвитку формування економіки закритих циклів виробництва, а також регулювання обсягів утворених відходів за чинними міжнародними стандартами. Україна насамперед зацікавлена в перегляді політики щодо регуляції та перетворення утворених відходів, що позитивно вплине на рівень енергетичної ефективності національної економіки і передусім на екологічний стан навколишнього природного середовища. Результати розрахунків оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності економічної складової наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати розрахунку оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикатора енергетичної ефективності економічної складової – поточні витрати на охорону навколишнього природного середовища Джерело: [23]

Рік	Поточні витрати на охорону навколишнього природного середовища		
	Україна	країни ЄС	Україна та ЄС
2000	7,60	2,17	2,56
2002	7,63	2,05	2,46
2004	7,62	1,99	2,41
2006	7,61	1,95	2,38
2008	7,59	1,92	2,35
2010	7,58	1,91	2,34
2012	7,56	1,91	2,34
2014	7,55	1,92	2,35
2016	7,53	1,95	2,37
2018	7,50	2,01	2,42
2020	7,37	2,30	2,64

Таблиця 5.5 – Результати розрахунку оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикатора енергетичної ефективності економічної складової – середня мінімальна заробітна плата Джерело: [23]

Рік	Середня мінімальна заробітна плата		
	Україна	країни ЄС	Україна та ЄС
2000	2,698	1,87	1,90
2002	2,57	1,10	1,18
2004	2,40	0,96	1,04
2006	2,29	0,87	0,95
2008	2,20	0,81	0,89
2010	2,14	0,76	0,84
2012	2,09	0,72	0,80
2014	2,05	0,68	0,77
2016	2,02	0,65	0,74
2018	1,99	0,63	0,72
2020	1,96	0,60	0,70

Таблиця 5.6 – Результати розрахунку оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикатора енергетичної ефективності економічної складової – вартість електроенергії

Рік	Вартість електроенергії		
	Україна	країни ЄС	Україна та ЄС
2000	1,78	0,63	0,70
2002	1,71	0,49	0,58
2004	1,64	0,41	0,50
2006	1,58	0,35	0,45
2008	1,51	0,30	0,41
2010	1,44	0,27	0,38
2012	1,38	0,24	0,35
2014	1,32	0,23	0,33
2016	1,26	0,22	0,32
2018	1,21	0,22	0,31
2020	1,15	0,23	0,31

Джерело: [23]



Таблиця 5.7 – Результати розрахунку оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикатора енергетичної ефективності екологічної складової – вартість природного газу

Рік	Вартість природного газу		
	Україна	країни ЄС	Україна та ЄС
2000	1,69	0,77	0,81
2002	1,56	0,65	0,70
2004	1,42	0,58	0,63
2006	1,30	0,53	0,57
2008	1,19	0,49	0,53
2010	1,08	0,45	0,48
2012	0,97	0,42	0,45
2014	0,87	0,39	0,41
2016	0,77	0,37	0,39
2018	0,67	0,35	0,37
2020	0,57	0,36	0,37

Джерело: [23]

Таблиця 5.8 – Результати розрахунку оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикатора енергетичної ефективності економічної складової – частка витрат домогосподарства на оплату житла та комунальних послуг

Рік	Частка витрат домогосподарства на оплату житла та комунальних послуг		
	Україна	країни ЄС	Україна та ЄС
2000	0,60	0,21	0,23
2002	0,58	0,19	0,22
2004	0,55	0,18	0,20
2006	0,53	0,17	0,19
2008	0,50	0,16	0,18
2010	0,47	0,16	0,18
2012	0,43	0,15	0,17
2014	0,38	0,15	0,16
2016	0,33	0,15	0,16
2018	0,29	0,15	0,16
2020	0,24	0,16	0,16

Джерело: [23]

Графічну інтерпретацію за кожною економічною складовою наведено на рисунках 5.5–5.9, що відображає конвергентність чи дивергентність досліджуваних країн-членів Європейського Союзу з Україною.

Урахувавши розрахунки оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за середньою мінімальною заробітною платою (таблиця 5.5) та побудувавши графіки з одержаними даними (рисунок 5.6), можна зробити висновок щодо дивергентної політики України порівняно з політикою країн-членів Європейського Союзу.

На сьогодні Україна регламентує одну з найменших мінімальних заробітних плат серед країн Європейського Союзу, водночас підвищення досліджуваного показника нерегулярне та неістотне, що не можна сказати про країни Європейського Союзу.

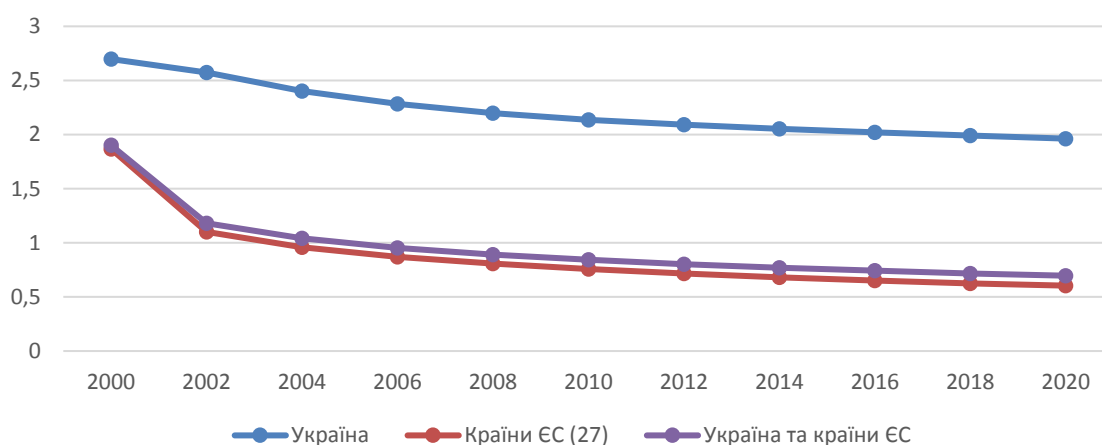


Рисунок 5.6 – Візуалізація оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за середньою мінімальною заробітною платою Джерело: [23]

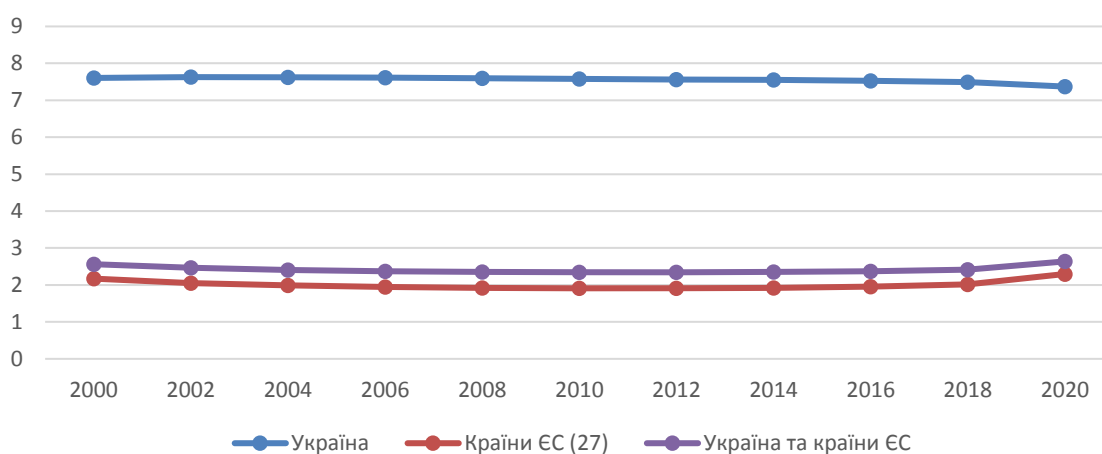


Рисунок 5.7 – Візуалізація оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за поточними витратами на охорону навколишнього середовища

Джерело: [23]

За результатами розрахунків оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за поточними витратами на охорону навколишнього середовища можна зробити висновок, що політика щодо поточних витрат на охорону навколишнього середовища має дивергентний характер.

Це спричинено насамперед фінансовою неспроможністю в належній кількості розподіляти кошти на охорону навколишнього середовища, а також розвиненим бюрократично-корупційним механізмом, що блокує ефективну діяльність забезпечення охорони навколишнього середовища грошовою підтримкою.

Ураховавши розрахунки оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за вартістю електроенергії та природного газу (таблиці 5.7–5.8) та побудувавши графіки з одержаними даними (рисунки 5.8–5.9) можна зробити висновок щодо дивергентної політики України порівняно з країнами Європейського Союзу.

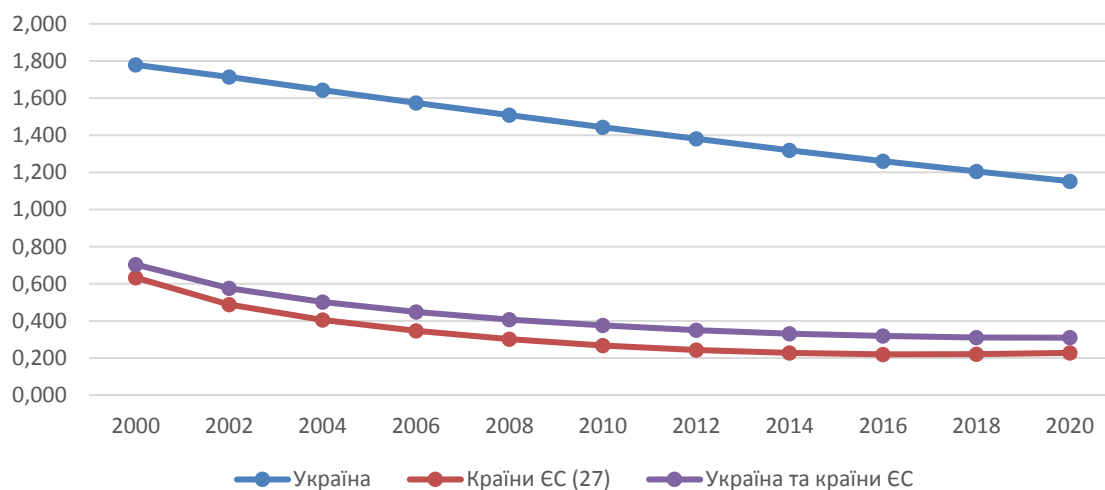


Рисунок 5.8 – Візуалізація оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за вартістю електроенергії Джерело: [23]

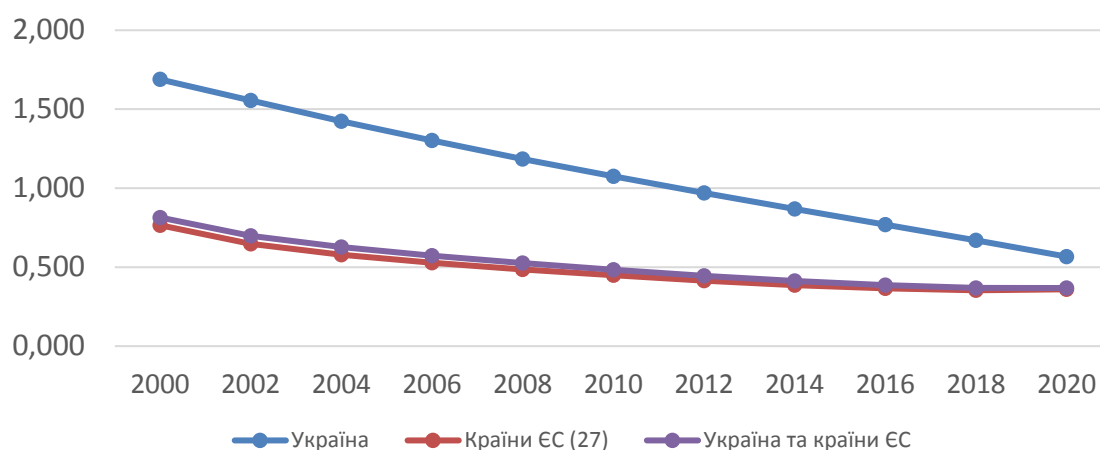


Рисунок 5.9 – Візуалізація оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за вартістю природного газу Джерело: [23]

Основною причиною дивергентної політики є різновекторність політик у процесі ціноутворення енергетичних ресурсів, зокрема, позиція Європейського Союзу – здороження енергоносіїв спричинене виробництвом їх із максимально можливої відновлюваної енергії, що не може бути дешевою, та невизнання субсидіювання, тому що це нераціональний підхід до енергоефективного заощадження.

Водночас в Україні основна тема – це зниження вартості на комунальні послуги та розширення субсидій, що є причинами неефективного використання енергії та нераціонального використання коштів.

За результатами розрахунків оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за часткою витрат домогосподарства на оплату житла та комунальних послуг (таблиця 5.8 і рисунок 5.10) можна зробити висновок, що політика України конвергентна з політикою країн-членів Європейського Союзу.

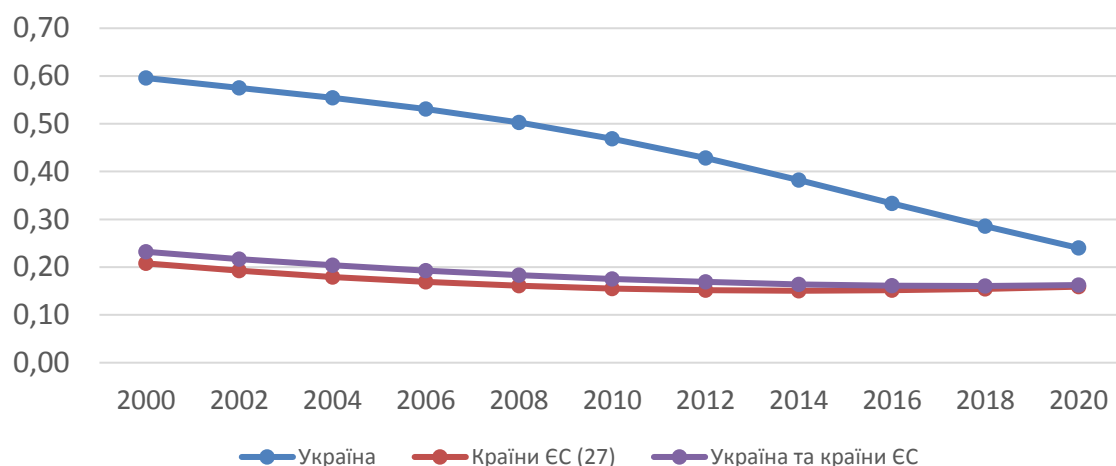


Рисунок 5.10 – Візуалізація оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за часткою витрат домогосподарства на оплату житла та комунальних послуг Джерело: [23]

Таблиця 5.9 – Результати розрахунку оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикатора енергетичної ефективності енергетичної складової – споживання первинної енергії

Рік	Споживання первинної енергії		
	Україна	країни ЄС	Україна та ЄС
2000	1,7595	1,3869	1,4005
2002	1,7244	1,3764	1,3890
2004	1,6882	1,3667	1,3781
2006	1,6499	1,3577	1,3679
2008	1,6086	1,3494	1,3583
2010	1,5631	1,3418	1,3492
2012	1,5123	1,3348	1,3405
2014	1,4551	1,3282	1,3319
2016	1,3914	1,3218	1,3234
2018	1,3215	1,3157	1,3150
2020	1,2450	1,3099	1,3069

Джерело: [23]

Таблиця 5.10 – Результати розрахунку оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикатора енергетичної ефективності енергетичної складової – частка відновлюваної енергії в кінцевому енергоспоживанні

Рік	Частка відновлюваної енергії в кінцевому енергоспоживанні		
	Україна	країни ЄС	Україна та ЄС
2000	2,1088	1,1986	1,2404
2002	1,9025	1,0223	1,0642
2004	1,7132	1,1003	1,1263
2006	1,6623	0,8987	0,9349
2008	1,6119	0,7930	0,8341
2010	1,5693	0,7244	0,7686
2012	1,5341	0,6733	0,7199
2014	1,5042	0,6333	0,6817
2016	1,4784	0,6011	0,6509
2018	1,4558	0,5747	0,6257
2020	1,4360	0,5528	0,6048

Джерело: [23]

Таблиця 5.11 – Результати розрахунку оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикатора енергетичної ефективності енергетичної складової – коефіцієнт залежності імпорту енергії від твердих викопних видів палива

Рік	Коефіцієнт залежності імпорту енергії від твердих викопних видів палива		
	Україна	країни ЄС	Україна та ЄС
2000	3,8159	0,7050	0,9903
2002	2,7579	0,7248	0,8767
2004	2,2414	0,7491	0,8451
2006	1,8851	0,7779	0,8402
2008	1,6021	0,8114	0,8504
2010	1,3574	0,8501	0,8719
2012	1,1349	0,8953	0,9041
2014	0,9282	0,9504	0,9491
2016	0,7344	1,0231	1,0139
2018	0,5456	1,1325	1,1167
2020	0,3276	1,3596	1,3365

Джерело: [23]

Для наочного зображення побудуємо графіки за кожною енергетичною складовою, що дасть можливість відзначити конвергентність чи дивергентність досліджуваних країн-членів Європейського Союзу з Україною (рисунки 5.11–5.33).

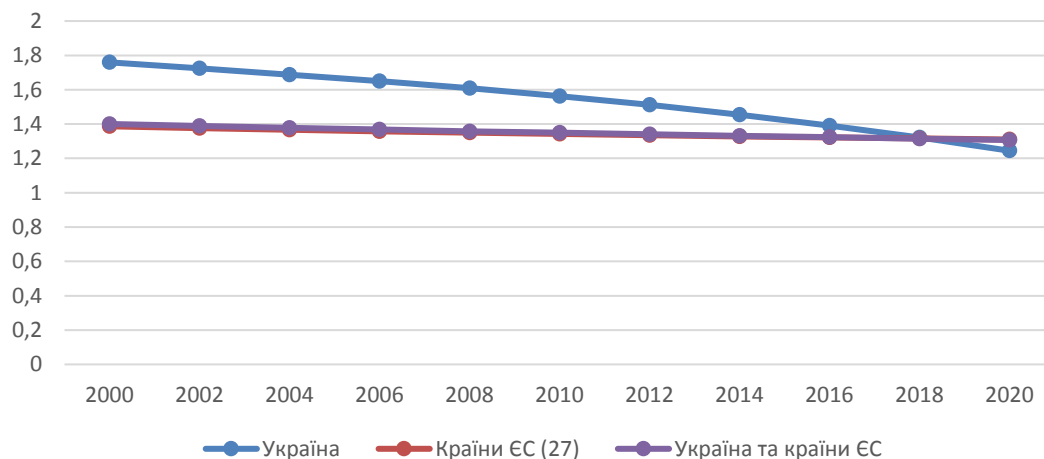


Рисунок 5.11 – Візуалізація оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за споживанням первинної енергії

Джерело: [23]

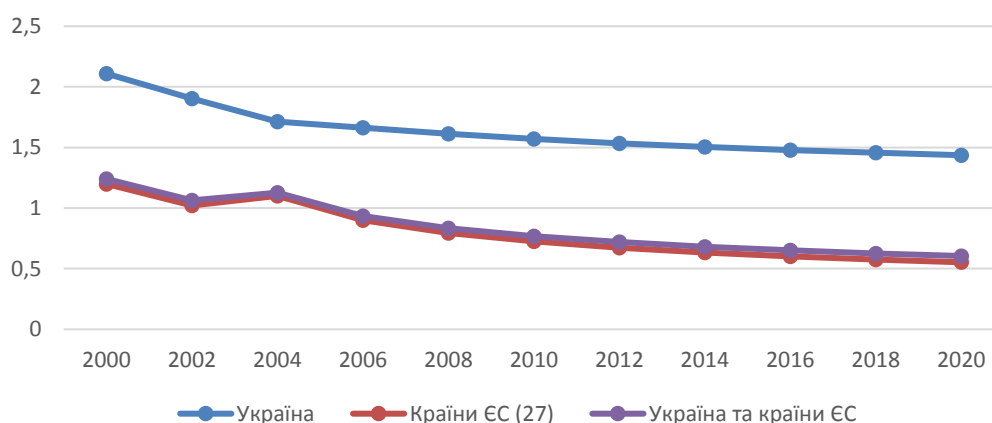


Рисунок 5.12 – Візуалізація оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за часткою відновлюваної енергії в кінцевому споживанні

Джерело: [23]

Урахувавши розрахунки оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за споживанням первинної енергії та часткою відновлюваної енергії в кінцевому споживанні (таблиця 5.10) та побудувавши графіки з одержаними даними (рисунок 5.11–5.12) можна зробити висновок щодо конвергентної політики України порівняно з країнами Європейського Союзу. Це пов'язано насамперед із продовженням політики декарбонізації Європейського

Союзу та нарощуванням питомої ваги відновлюваних джерел енергії в структурі енергетичного сектору України.

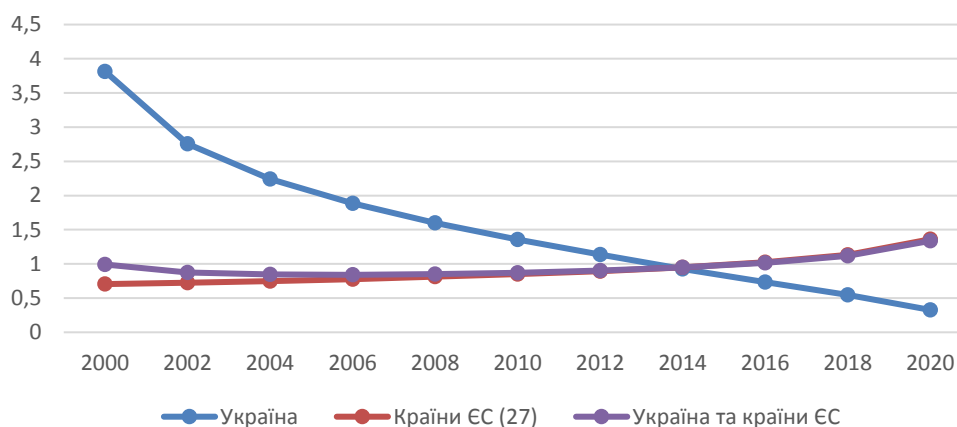


Рисунок 5.13 – Візуалізація оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за коефіцієнтом залежності імпорту енергії від твердих викопних видів палива

Джерело: [23]

За результатами розрахунків оцінювання  $\sigma$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за коефіцієнтом залежності імпорту енергії від твердих викопних видів палива (таблиця 5.11 та рисунок 5.13) можна зробити висновок щодо дивергентної політики України порівняно з країнами Європейського Союзу. Основними причинами такої ситуації на сьогодні є політична ситуація на тимчасово окупованих територіях України, яка вплинула на рівень забезпечення країни власним викопним паливом, а також слабка політика декарбонізації економіки, що не стимулює швидкого розвитку альтернативних джерел енергії в системі енергетичного сектору.

На четвертому етапі провели оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за формулою

$$\ln(\text{DEF}_{i,t}^c / \text{DEF}_{i,t-1}^c) = C + \beta \ln(\text{DEF}_{i,t-1}^c) + \delta F_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (5.4)$$



де  $C$  – константа;

$\varepsilon_{it}$  – статистична помилка;

$F_{it}$  – індикатори впливу на рівень енергетичної ефективності;

$\beta$  – швидкість конвергенції.

Розрахунок значення абсолютної  $\beta$ -конвергенції (таблиці 5.12-5.13), що дозволив виявити низку індикаторів, які формують вплив на рівень енергетичної ефективності й взаємозв'язки між швидкістю зміни індикаторів та їх початковими значеннями за всім масивом інформації за країнами, є найбільш статистично значущим.

Межі розподілу за  $\beta$ -конвергенцією такі:

$\beta > 0$  – дивергентні процеси;

$\beta \leq 0$  – конвергентні процеси.

Таблиця 5.12 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом викидів  $\text{CO}_2$  (COE) для України та країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.009731766	4	.002432941			
Residual	.023679736	555	.000042666			
Total	.033411501	559	.00005977			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
COE	.0067444	.0008814	7.65	0.000	.0050132	.0084756
F1	-1.56e-07	3.15e-08	-4.96	0.000	-2.18e-07	-9.45e-08
F2	3.44e-06	5.28e-06	0.65	0.514	-6.92e-06	.0000138
F3	-.0004557	.0000595	-7.66	0.000	-.0005726	-.0003389
_cons	1.020593	.004708	216.78	0.000	1.011345	1.029841

Примітка: COE – обсяг викидів  $\text{CO}_2$ ; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації.

Джерело: [23]

Таблиця 5.13 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом викидів CO<sub>2</sub> для країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.010612914	4	.002653228			
Residual	.022621998	535	.000042284			
Total	.033234912	539	.00006166			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
COE	.0072551	.0008841	8.21	0.000	.0055183	.0089918
F <sub>1</sub>	-1.85e-07	3.20e-08	-5.78	0.000	-2.48e-07	-1.22e-07
F <sub>2</sub>	5.21e-06	5.27e-06	0.99	0.324	-5.15e-06	.0000156
F <sub>3</sub>	-.0005008	.0000608	-8.23	0.000	-.0006203	-.0003813
_cons	1.024217	.0048	213.38	0.000	1.014788	1.033646

Примітка: COE – обсяг викидів CO<sub>2</sub>; F<sub>1</sub> – ВВП на душу населення; F<sub>2</sub> – індекс відкритості торгівлі; F<sub>3</sub> – індекс глобалізації

Джерело: [23]

Результати розрахунків (таблиці 5.12–5.13) дозволили відзначити, що Україна має власний вектор розвитку у сфері зниження рівня обсягів CO<sub>2</sub> на відміну від країн-членів Європейського Союзу. Водночас значення ВВП на душу населення та індекс глобалізації мають високу статистичну значущість і вплив на політику країн щодо зниження обсягів викидів CO<sub>2</sub>.

Таблиця 5.14 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за концентрацією озону для України та країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.000128296	4	.000032074			
Residual	.000326649	555	5.8856e-07			
Total	.000454946	559	8.1386e-07			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
OCN	-.0000515	.0002505	-8.21	0.007	-.0005436	.0004406
F <sub>1</sub>	5.54e-09	3.33e-09	1.66	0.097	-1.01e-09	1.21e-08
F <sub>2</sub>	1.71e-06	6.21e-07	2.76	0.006	-4.94e-07	2.93e-06
F <sub>3</sub>	.0000597	7.15e-06	8.35	0.000	-.0000456	.0000737
_cons	.9944095	.0012558	791.87	0.000	.9919428	.9968761

Примітка: OCN – концентрація озону; F<sub>1</sub> – ВВП на душу населення; F<sub>2</sub> – індекс відкритості торгівлі; F<sub>3</sub> – індекс глобалізації

Джерело: [23]

Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за концентрацією озону свідчать про спільний (конвергентний) напрям розвитку.

Необхідно відзначити високу статистичну значущість одержаних результатів.

Таблиця 5.15 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за концентрацією озону для країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS				
Model	.000128385	4	.000032096				
Residual	.00032214	535	6.0213e-07				
Total	.000450525	539	8.3585e-07				
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]	
OCN	.0000271	.0002554	7.11	0.005	-.0004747	.0005289	
F1	6.17e-09	3.43e-09	1.80	0.072	-5.62e-10	1.29e-08	
F2	1.66e-06	6.30e-07	2.64	0.009	4.26e-07	2.90e-06	
F3	.0000645	7.46e-06	8.65	0.000	.0000499	.0000792	
_cons	.9936664	.0012996	764.59	0.000	.9911135	.9962194	

*Примітка: OCN – концентрація озону; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації*

Джерело: [23]

Таблиця 5.16 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом утворених відходів для України та країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS				
Model	.00243715	4	.000609288				
Residual	.03287184	555	.000059229				
Total	.03530899	559	.000063165				
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]	
VGW	-.0009668	.0002807	-3.44	0.001	-.0015182	-.0004154	
F1	9.66e-08	3.38e-08	2.85	0.004	3.01e-08	1.63e-07	
F2	-.0000284	7.38e-06	-3.84	0.000	-.0000428	-.0000139	
F3	-.0002588	.0000746	-3.47	0.001	-.0004054	-.0001123	
_cons	1.031387	.0053609	192.39	0.000	1.020857	1.041917	

*Примітка: VGW – обсяг утворених відходів; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації*

Джерело: [23]

Таблиця 5.17 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом утворених відходів для країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.000902791	4	.000225698			
Residual	.008053153	535	.000015053			
Total	.008955944	539	.000016616			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
VGW	-.0004391	.0001422	-3.09	0.002	-.0007184	-.0001598
F1	1.14e-07	1.73e-08	6.60	0.000	8.02e-08	1.48e-07
F2	-.0000243	3.73e-06	-6.52	0.000	-.0000316	-.000017
F3	-.0000422	.0000384	-1.10	0.272	-.0001175	.0000332
_cons	1.006575	.0028072	358.57	0.000	1.00106	1.012089

*Примітка: VGW – обсяг утворених відходів; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації*

Джерело: [23]

Відповідно до результатів дослідження (таблиці 5.16–5.17) в Україні простежується конвергентний процес порівняно з країнами Європейського Союзу в напрямі зменшення обсягів відходів та реформування переробної промисловості як один із шляхів підвищення енергетичної ефективності.

Результати розрахунків (таблиці 5.17–5.18) дозволили відзначити, що Україна має конвергентний вектор розвитку з країнами Європейського Союзу. Водночас між країнами-членами Європейського Союзу (таблиця 5.18) існують країни з дивергентними напрямками розвитку у сфері утворення відходів та поводження з ними.

Таблиця 5.18 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом середньої мінімальної заробітної плати для України та країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.996343431	4	.249085858			
Residual	5.64933417	555	.01017898			
Total	6.6456776	559	.011888511			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
AWS	-.0748172	.0076215	9.82	0.000	.0598467	.0897877
F1	-3.10e-06	5.12e-07	-6.04	0.000	-4.10e-06	-2.09e-06
F2	.0002316	.0000832	2.78	0.006	.0000682	.0003949
F3	-.0044312	.0010716	-4.14	0.000	-.006536	-.0023264
_cons	.9693954	.0688779	14.07	0.000	.8341022	1.104689

Примітка: AWS – середня мінімальна заробітна плата; F1 – ВВП на душу населення;  
F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації

Джерело: [23]

Таблиця 5.19 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом середньої мінімальної заробітної плати для країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	1.1069509	4	.276737726			
Residual	5.5173007	535	.010312712			
Total	6.6242516	539	.012289892			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
AWS	.0804651	.0078424	10.26	0.000	.0650593	.0958708
F1	-3.16e-06	5.20e-07	-6.09	0.000	-4.19e-06	-2.14e-06
F2	.0002314	.0000839	2.76	0.006	.0000666	.0003961
F3	-.0041382	.001089	-3.80	0.000	-.0062774	-.001999
_cons	.9098457	.0717053	12.69	0.000	.7689873	1.050704

Примітка: AWS – середня мінімальна заробітна плата; F1 – ВВП на душу населення;  
F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації

Джерело: [23]

Таблиця 5.20 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом витрат на охорону навколишнього середовища для України та країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.1770747	4	.044268675			
Residual	.881726316	555	.001588696			
Total	1.05880102	559	.001894098			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
CCE	.0106225	.0010957	9.69	0.000	.0084703	.0127747
F1	6.48e-08	1.84e-07	0.35	0.724	-2.96e-07	4.25e-07
F2	.0001565	.0000374	4.18	0.000	.0000829	.00023
F3	-.0027164	.0004119	-6.59	0.000	-.0035256	-.0019073
_cons	1.121985	.0282594	39.70	0.000	1.066477	1.177494

*Примітка: CCE – витрати на охорону навколишнього середовища; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації*

Джерело: [23]

Таблиця 5.21 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом витрат на охорону навколишнього середовища для країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.057877247	4	.014469312			
Residual	.807563057	535	.001509464			
Total	6.6242516	539	.001605641			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
CCE	.0058254	.0013096	4.45	0.000	.0032528	.008398
F1	1.58e-07	1.80e-07	0.88	0.379	-1.95e-07	5.11e-07
F2	.0000877	.000038	2.31	0.021	.0000131	.0001623
F3	-.0023974	.0004166	-5.75	0.000	-.0032158	-.001579
_cons	1.137969	.0281213	40.47	0.000	1.082727	1.193211

*Примітки: CCE – витрати на охорону навколишнього середовища; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації*

Джерело: [23]

Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції (таблиці 5.20-5.21) індикаторів енергетичної ефективності за обсягом витрат на охорону навколишнього середовища дозволили виявити дивергентний вектор України порівняно з політикою Європейського Союзу, що підтверджується високими показниками статистичної значущості.

Таблиця 5.22 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за вартістю електроенергії для України та країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.03459701	4	.008649252			
Residual	.035444174	555	.000063863			
Total	.070041183	559	.000125297			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
CEL	.0192067	.000854	22.49	0.000	.0175293	.0208841
F1	-3.06e-07	3.50e-08	-8.73	0.000	-3.74e-07	-2.37e-07
F2	.0000234	6.46e-06	3.63	0.000	.0000108	.0000361
F3	-.0001273	.0000753	-1.69	0.091	-.0002751	-.0000206
_cons	1.055486	.0065715	160.62	0.000	1.042578	1.068394

*Примітка: CEL – вартість електроенергії; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації*

Джерело: [23]

Відповідно до результатів дослідження (таблиці 5.22–5.23) в Україні простежуються дивергентні процеси порівняно з країнами Європейського Союзу в напрямі формування вартості електроенергії.

Таблиця 5.23 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за вартістю електроенергії для країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.038918165	4	.009729541			
Residual	.030193822	535	.000056437			
Total	.069111987	539	.000128223			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
CEL	.0242908	.0009609	25.28	0.000	.0224032	.0261784
F1	-2.85e-07	3.33e-08	-8.57	0.000	-3.50e-07	-2.20e-07
F2	.0000194	6.10e-06	3.18	0.002	7.44e-06	.0000314
F3	-.0000977	.0000716	-1.36	0.173	-.0002384	.0000431
_cons	1.063841	.0062934	169.04	0.000	1.051478	1.076204

*Примітка: CEL – вартість електроенергії; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації*

Джерело: [23]

Таблиця 5.24 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за вартістю газу для України та країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	2.41280391	4	.603200977			
Residual	526.257514	555	.948211737			
Total	528.670318	559	.945742966			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
CNG	.1097298	.084919	-1.29	0.097	-.2765318	.0570722
F1	-6.07e-07	4.34e-06	-0.14	0.889	-9.14e-06	7.92e-06
F2	.0004302	.0008171	0.53	0.599	-.0011748	.0020353
F3	.0027709	.0089511	0.31	0.757	-.0148112	.020353
_cons	.6249362	.6884419	0.91	0.364	-.7273342	1.977207

Примітка: CNG – вартість газу; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації

Джерело: [23]

Таблиця 5.25 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за вартістю газу для країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	2.65438385	4	.663595963			
Residual	526.01543	535	.983206411			
Total	528.669814	539	.980834534			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
CNG	-.1230202	.0905341	-1.36	0.175	-.3008661	.0548256
F1	-7.28e-07	4.47e-06	-0.16	0.871	-9.51e-06	8.05e-06
F2	.0004201	.0008339	0.50	0.615	-.001218	.0020582
F3	.0020991	.0093136	0.23	0.822	-.0161965	.0203948
_cons	.6772499	.7151778	0.95	0.344	-.7276511	2.082151

Примітка: CNG – вартість газу; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації

Джерело: [23]



Таблиця 5.26 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за часткою витрат домогосподарства на житло та комунальні послуги для України і країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.002859451	4	.000714863			
Residual	.006402477	555	.000011536			
Total	.009261928	559	.000016569			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
SHE	-.0074535	.0008075	-9.23	0.000	-.0090397	-.0058673
F1	7.30e-08	1.48e-08	4.92	0.000	4.39e-08	1.02e-07
F2	-.0000267	2.79e-06	-9.58	0.000	-.0000322	-.0000213
F3	-.0001438	.0000322	-4.47	0.000	-.0002071	-.0000806
_cons	1.036132	.0027814	372.52	0.000	1.030668	1.041595

Примітка: SHE – частка витрат домогосподарства на житло та комунальні послуги; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації

Джерело: [23]

За результатами розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за вартістю газу було виявлено різновекторність (дивергентність) політик України та країн Європейського Союзу.

Таблиця 5.27 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за часткою витрат домогосподарства на житло та комунальні послуги для країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.002229198	4	.0005573			
Residual	.005851853	535	.000010938			
Total	.008081051	539	.000014993			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]
SHE	-.0055212	.0008675	-6.36	0.000	-.0072253	-.0038171
F1	9.58e-08	1.48e-08	6.48	0.000	6.68e-08	1.25e-07
F2	-.0000296	2.75e-06	-10.76	0.000	-.000035	-.0000242
F3	-.0001523	.0000317	-4.80	0.000	-.0002146	-.0000899
_cons	1.030755	.0030102	342.42	0.000	1.024842	1.036668

Примітка: SHE – частка витрат домогосподарства на житло та комунальні послуги; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації

Джерело: [23]

Відповідно до результатів розрахунку сформовано висновки щодо спільної політики України та Європейського Союзу в напрямі зменшення питомої ваги

витрат на оплату житла та комунальних послуг шляхом ефективної енергетичної політики.

Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності (таблиці 5.28–5.29) свідчать про конвергентні тенденції щодо споживання первинної енергії як в Україні, так і країнах Європейського Союзу.

Таблиця 5.28 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом споживання первинної енергії для України та країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.000675843	4	.000168961			
Residual	.002899568	555	5.2244e-06			
Total	.00357541	559	6.3961e-06			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf. Interval]	
PEC	-.0002893	.0000964	-3.00	0.003	-.0004787	-.0000999
F1	-1.05e-08	9.95e-09	-1.06	0.290	-3.01e-08	9.01e-09
F2	.000013	2.23e-06	5.83	0.000	8.60e-06	.0000173
F3	-.0000272	.0000219	-1.25	0.214	-.0000702	.0000157
_cons	1.002006	.0015641	640.61	0.000	.9989337	1.005078

*Примітка: PEC – обсяг споживання первинної енергії; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації*

Джерело: [23]

Таблиця 5.29 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за обсягом споживання первинної енергії для країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.000750454	4	.000187614			
Residual	.002536363	535	4.7409e-06			
Total	.003286818	539	6.0980e-06			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf. Interval]	
PEC	.0000897	.000104	0.86	0.389	-.0001146	.0002030
F1	-2.78e-08	9.70e-09	-2.87	0.004	-4.69e-08	-8.77e-09
F2	.0000192	2.25e-06	8.51	0.000	.0000147	.0000236
F3	-.0000765	.0000224	-3.42	0.001	-.0001204	-.0000325
_cons	1.003823	.0015379	652.71	0.000	1.000802	1.006845

*Примітки: PEC – обсяг споживання первинної енергії; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації*

Джерело: [23]

Таблиця 5.30 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за часткою відновлюваної енергії в кінцевому споживанні для України та країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS				
Model	1.59166033	4	.397915083				
Residual	47.5015849	555	.085588441				
Total	49.0932453	559	.087823337				
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]	
REC	-.0040503	.0011173	-3.62	0.000	-.0062451	-.0018556	
F1	-8.61e-07	1.27e-06	-0.68	0.499	-3.36e-06	1.64e-06	
F2	.0002792	.000244	1.14	0.253	-.0002002	.0007585	
F3	.0015166	.0027075	0.56	0.576	-.0038016	.0068347	
_cons	1.014929	.1998945	5.08	0.000	.6222868	1.407571	

Примітка: REC – частка відновлюваної енергії в кінцевому споживанні; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації

Джерело: [23]

Таблиця 5.31 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за часткою відновлюваної енергії в кінцевому споживанні для країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS				
Model	1.6030874	4	.400771851				
Residual	47.4052806	535	.088608001				
Total	49.008368	539	.090924616				
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf.	Interval]	
REC	-.0041818	.0011596	-3.61	0.000	-.0064597	-.0019039	
F1	-1.07e-06	1.32e-06	-0.81	0.417	-3.66e-06	1.52e-06	
F2	.0002878	.0002486	1.16	0.247	-.0002005	.0007762	
F3	.0017635	.0028193	0.63	0.532	-.0037747	.0073017	
_cons	1.004169	.2102813	4.78	0.000	.591091	1.417247	

Примітка: REC – частка відновлюваної енергії в кінцевому споживанні; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації

Джерело: [23]

Ураховуючи результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за часткою відновлюваної енергії в кінцевому споживанні була виявлена конвергентна політика між Україною та Європейським Союзом.

Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за коефіцієнтом імпортозалежності від викопного палива виявили дивергентні напрями між енергетичною політикою України та країнами Європейського Союзу.

Таким чином, під час розрахунку  $\sigma$ - та  $\beta$ -конвергенції було зроблено висновок, що індикатори енергетичної ефективності національної економіки відповідно до концепцій  $\sigma$ - і  $\beta$ -конвергенції необхідно поділити на дивергентні й конвергентні щодо політики Європейського Союзу.

Таблиця 5.32 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за коефіцієнтом імпортозалежності від викопного палива для України та країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.121677283	4	.030419321			
Residual	83.9350044	555	.151234242			
Total	84.0566817	559	.150369735			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf. Interval]	
SEI	.0001926	.0005106	0.38	0.706	–.0008103	.0011956
F1	–9.58e–07	1.77e–06	–0.54	0.589	–4.44e–06	2.52e–06
F2	.0002556	.0003142	0.81	0.416	–.0003615	.0008728
F3	.0008748	.0035393	0.25	0.805	–.0060772	.0078269
_cons	.9126916	.2654036	3.44	0.001	.3913733	1.43401

*Примітка: SEI – коефіцієнт імпортозалежності від викопного палива; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації*

Джерело: [23]

Таблиця 5.33 – Результати розрахунку оцінювання  $\beta$ -конвергенції індикаторів енергетичної ефективності за коефіцієнтом імпортозалежності від викопного палива для країн-членів Європейського Союзу

Source	SS	df	MS			
Model	.447766907	4	.111941727			
Residual	62.807383	535	.117396978			
Total	63.25515	539	.117356493			
Y	Coef.	Std. Err.	t	P >  t	[95 % Conf. Interval]	
SEI	–.0006947	.000458	–1.52	0.130	–.0015944	.000205
F1	–2.73e–07	1.58e–06	–0.17	0.863	–3.37e–06	2.83e–06
F2	.0002183	.0002778	0.79	0.432	–.0003275	.000764
F3	.0034231	.0032054	1.07	0.286	–.0028737	.0097198
_cons	.7628901	.2428605	3.14	0.002	.285813	1.239967

*Примітка: SEI – коефіцієнт імпортозалежності від викопного палива; F1 – ВВП на душу населення; F2 – індекс відкритості торгівлі; F3 – індекс глобалізації*

Джерело: [23]

Оскільки політика України спрямована на євроінтеграційний процес та підтримку Європейської зеленої угоди (Green Deal Policy), то необхідним є визначення основних напрямів, за якими Україна має різновекторність політик розвитку. Зокрема, до конвергентних індикаторів енергетичної ефективності національної економіки віднесено самі ті показники, які прямо корелюють із показниками країн Європейського Союзу, а до дивергентних, – ті, які відповідно до розрахунків необхідно вдосконалювати або змінювати політику їх функціонування для узгодженості з вимогами міжнародних стандартів [23].

Дивергентні:

- коефіцієнт залежності імпорту енергії від твердих викопних видів палива (енергетичні);
- обсяг викидів CO<sub>2</sub> на душу населення (екологічні);
- середня мінімальна заробітна плата (економічні);
- поточні витрати на охорону навколишнього середовища (економічні);
- вартість електроенергії (економічні);
- вартість природного газу (економічні).

Конвергентні:

- концентрація озону (екологічні);
- обсяг утворених відходів (екологічні);
- частка витрат домогосподарств на оплату житла та комунальних послуг (економічні);
- споживання первинної енергії (енергетичні);
- частка відновлюваної енергії в кінцевому споживанні енергії (енергетичні).

Розділ сформовано на підставі звіту про другий етап виконання НДР [15].

## **6 ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПИСУ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ СОЦІО-ЕКОНОМІКО-ЕКОЛОГІЧНИХ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПРИ ПРИЙНЯТТІ РАЦІОНАЛЬНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ**

Результати дослідження засвідчили, що ефективність функціонування енергетичного сектору національної економіки, а, отже, й можливість підвищення її енергетичної ефективності безпосередньо залежить від ефективності державного урядування щодо забезпечення економічної та політичної стабільності в країні, підвищення інвестиційного клімату, поширення інноваційних енергоефективних технологій. Необхідно відзначити, що дії уряду щодо підвищення рівня енергетичної ефективності національної економіки повинні формуватися з урахуванням виявлених таких аспектів:

- розроблення ефективної програми субсидіювання всіх верств населення, орієнтованою на енергоощадне використання житлово-комунальних послуг – це дозволить збільшити зацікавленість населення ощадно використовувати власні енергетичні ресурси;

- популяризація та підтримання серед домогосподарств об'єднань в ОСББ для подальшого контролю, термомодифікації та можливості енергозбереження власних будівель;

- стимулювання державою за рахунок зеленого інвестування підприємств, які впроваджують відновлювані джерела енергії, енергоощадні та інноваційні технології на виробництві, що дасть можливість знизити енергоємність ВВП країни та посилити конкурентні позиції на міжнародному ринку;

- заміщення традиційних джерел енергії (викопне паливо, газ) на відновлювані (сонячна, вітрова, гідро- та біоенергетика), цей процес дозволить у майбутньому стати енергетично-незалежною державою;

- підтримання державою підприємств із перероблення вторинної сировини та впровадження у власному виробництві замкнених циклів;

– масове впровадження в секторі пасажирських перевезень комунальних електрокарів та перехід до екологічних видів вантажообігу (річковий, повітряний, морський).

Аналіз досвіду країн Європейського Союзу засвідчив, що ефективне державне урядування сприяє підвищенню енергетичної ефективності національної економіки.

Емпіричні розрахунки підтверджують доцільність визначення ключових детермінант впливу на індекс енергетичної ефективності національної економіки. Праці Ю. Білана, Т. Васильєвої, Т. Пімоненко, О. Люльова та інших [10, 12] присвячені пошуку інституціональних, соціальних та економічних детермінантів, що впливають на рівень макроекономічної стабільності країни з допомогою загальних моделей функціонального зв'язку. Авторами доведена основна гіпотеза, що соціальний прогрес є одним із важливих факторів впливу на рівень макроекономічної стабільності.

Актуальними для вивчення в процесі аналізу інституціональних детермінант впливу на рівень енергетичної ефективності є дослідження Гончарука Анатолія Григоровича [38, 39, 40, 41], в яких проведений бенчмаркінг галузі розподілу природного газу в Україні та Італії, запропоновані основні таргети реформування газової галузі України, досліджено вплив цін енергоносіїв на рівень інвестиційної привабливості країни та визначено критичні межі цін на природний газ для металургійної та хімічної промисловостей.

З одного боку, неефективне державне урядування провокує сповільнення трансформаційних процесів переходу до вуглецево-нейтральної моделі розвитку національної економіки (де зростання енергетичної ефективності є ключовим таргетом), а з іншого – підвищення ефективності державного урядування сприяє зростанню рівня економічного розвитку країни, її відкритості й залучення до світових глобалізаційних процесів, що є каталізатором дифузії зелених інновацій та інвестицій в енергетичний сектор національної економіки.

З метою перевірки цієї гіпотези в роботі запропоновано методичний інструментарій оцінювання впливу рівня ефективності державного урядування на дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки.

Як індикатори ефективності державного урядування обрано розроблені експертами Світового банку субіндекси:

- урахування думки населення під час формування політичних інститутів і підзвітність державних органів (VA);
- політичну стабільність та ймовірність неконституційної політичної дестабілізації (PS);
- ефективність урядування (GEF);
- верховенство права (RUL);
- контролювання корупції (CC);
- здатність уряду відкрито реалізовувати політики та регуляторні заходи (REQ).

Використання інструментарію кореляційно-регресійного аналізу для України за 2000–2020 рр. дозволило емпірично обґрунтувати статистично значущий вплив на дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки таких індикаторів: верховенства права, здатності уряду відкрито реалізовувати політики та регуляторні заходи, контролювання корупції (таблиця 6.1).

Логічним продовженням дослідження є визначення сили впливу обсягів зелених інвестицій та інновацій в енергетичний сектор на дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки з урахуванням рівня ефективності державного урядування. Для цього розроблено двоетапний підхід:

1) на першому етапі сформовано вихідний масив даних (джерела: аналітичні бази даних Світового банку, Eurostat та агенції Bloomberg), який із використанням інструментарію статистичного аналізу перевірено на мультиколінеарність (коефіцієнт кореляції Пірсона) і нормальність розподілу (графічний квантильний метод порівняння двох розподілів ймовірностей);



2) на другому етапі побудовано квантильну регресійну OLS-модель, що дозволяє врахувати гетерогенність досліджуваних факторів. Практичну апробацію цього підходу здійснено з використанням програмного забезпечення EViews10 для країн Європейського Союзу та України за 2000–2020 рр.

Таблиця 6.1 - Результати дослідження впливу ефективності державного урядування на дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки

Індикатор	Коефіцієнт		SE	t-stat	P-value	R <sup>2</sup>	Corel	Сила зв'язку	Адекватність моделі	Напрямок впливу
RUL	$\alpha_0$	-1,747	0,401	-4,351	0,00	0,45	0,673	Помітна	Адекватна	Позитивний
	$\beta_j$	1,796	0,698	2,574	0,03					
GEF	$\alpha_0$	-0,868	0,081	-10,74	0,00	0,32	0,565	Помітна	Адекватна	Позитивний
	$\beta_j$	0,327	0,169	1,939	0,09					
VA	$\alpha_0$	-0,705	0,019	-36,43	0,00	0,15	0,391	Помірна	Неадекватна	Позитивний
	$\beta_j$	0,014	0,011	1,201	0,26					
PS	$\alpha_0$	-0,712	0,018	-39,07	0,00	0,13	-0,37	Помірна	Неадекватна	Негативний
	$\beta_j$	-0,012	0,011	-1,111	0,29					
REQ	$\alpha_0$	-0,902	0,054	-16,72	0,00	0,61	0,783	Висока	Адекватна	Позитивний
	$\beta_j$	0,459	0,129	3,566	0,01					
CC	$\alpha_0$	-1,334	0,084	-15,97	0,00	0,87	0,935	Дуже висока	Адекватна	Позитивний
	$\beta_j$	0,912	0,122	7,444	0,00					

Примітка: R<sup>2</sup> – коефіцієнт детермінації; Corel – коефіцієнт кореляції; P-value – статистична значущість коефіцієнта; SE – стандартна похибка регресії; t-stat – t-статистика

Джерело: розраховано автором.

$$Q_{k^d_{i,t}}(\tau) = \alpha_{1,\tau}EP_{i,t-1} + \alpha_{2,\tau}GI_{i,t} + \alpha_{3,\tau}RUL_{i,t} + \alpha_{4,\tau}REQ_{i,t} + \alpha_{5,\tau}CC_{i,t} + \mu_t \quad (6.1)$$

де  $i$  – кількість досліджуваних країн;

$\tau$  – квантиль порядку;

$\alpha_{1,..,5}$  – параметри оцінювання;

$\mu_t$  – стандартна похибка.

Систематизація наукових досліджень засвідчила, що в рамках інвестиційно-інноваційних детермінант основним драйвером підвищення енергетичної ефективності національної економіки є зростання обсягу зелених інвестицій та кількості патентів на зелені технології.

У наукових публікаціях [64, 70] проведений детальний аналіз впливу зелених інвестицій на розвиток національної економіки та зниження приросту вуглецю в навколишньому природному середовищі.

Автори [32, 102] надають визначення зелених (екологічних) інвестицій та аналізують тенденції їх залучення до процесу реформування енергетичного сектору. Результати досліджень свідчать про стимулювання національної економіки зеленими інвестиціями та підвищенням рівня енергетичної ефективності країни.

Наукові праці, присвячені дослідженню впливу патентів на екологічні виробни та розвиток зелених інвестицій [21, 49] свідчать про те, що інвестиції в екологічні проекти скорочують коротко- та довгострокові обсяги викидів вуглецю, водночас видобування природних ресурсів, розвиток фінансового сектору та енергетичні інвестиції збільшують викиди вуглецю як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі.

Параметрами ефективності державного регулювання було обрано індикатори: верховенство права, здатність уряду відкрито реалізовувати політику та регуляторні заходи і контролювання корупції, оскільки їх вплив на підвищення дивергентного субіндексу енергетичної ефективності для України є найбільш статистично значущим.

Для дослідження впливу інституціональних та інвестиційно-інноваційних детермінант на дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки було сформовано вхідний масив статистичних даних дослідження:

$$k^d = f(EP, GI, RUL, REQ, CC), \quad (6.2)$$

де  $k^d$  – дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки;

RUL – верховенство права;

REQ – здатність уряду відкрито реалізовувати політики та регуляторні заходи;

CC – контролювання корупції;

GI – обсяг залучених зелених інвестицій до енергетичного сектору національної економіки;

EP – кількість патентів на зелені технології.

Відповідно проведено кореляційний аналіз на перевірку мультиколінеарності досліджуваних детермінант (таблиця 6.2)

Таблиця 6.2 - Результати перевірки на мультиколінеарність інституціональних та інвестиційно-інноваційних детермінант на дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки

	RUL	REQ	CC	EP	GI
RUL	1	–	–	–	–
REQ	0,930	1	–	–	–
CC	0,959	0,902	1	–	–
EP	0,011	0,089	0,057	1	–
GI	0,069	0,096	0,095	–0,088	1

Джерело: розраховано автором.

Відповідно виявлено мультиколінеарність між трьома індикаторами ефективності державного урядування (RUL, REQ, CC), для усунення мультиколінеарності або її мінімізації необхідно формувати не лише повну модель (усі індикатори враховані одночасно), а й її окремі конфігурації (попарне врахування індикаторів ефективності державного урядування).

Для цього насамперед необхідно перевірити індикатори на нормальність розподілу за допомогою моделі Q-Q plot, що дозволить виявити майбутню модель

оцінювання впливу інституціональних та інвестиційно-інноваційних детермінант на дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки.

З рисунка 6.14 можемо зробити висновок, що розрахований дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки не відповідає нормальному розподілу, а тому може використовуватися в розрахунку панельної квантильної регресії для побудови моделі дослідження.

Розрахунки засвідчили, що індикатор верховенства права не відповідає нормальному розподілу, а тому може використовуватися під час розрахунку панельної квантильної регресії для побудови моделі дослідження.

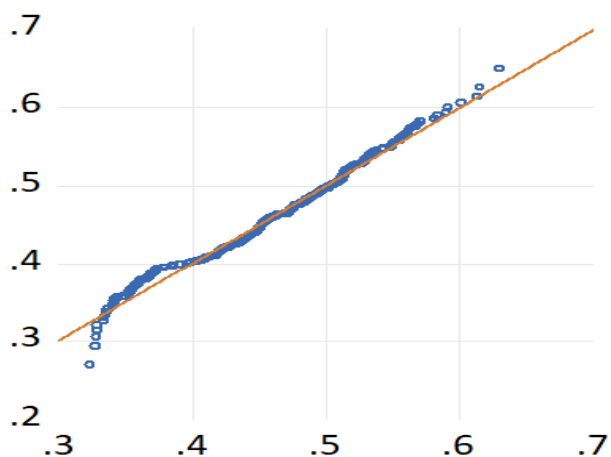


Рисунок 6.1 – Результати нормального розподілу дивергентного субіндексу енергетичної ефективності національної економіки

Джерело: побудовано авторами

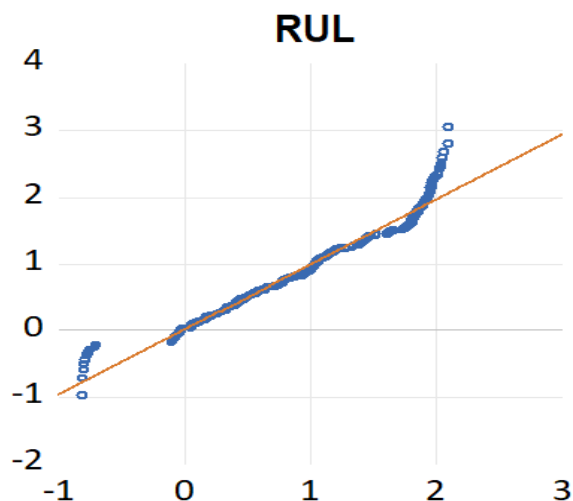


Рисунок 6.2 – Результати нормального розподілу дивергентного субіндексу енергетичної ефективності національної економіки

Джерело: побудовано авторами

Результати засвідчили (рисунок 6.2), що індикатор кількості патентів на екологічні технології не відповідає нормальному розподілу, а тому може використовуватися під час розрахунку панельної квантильної регресії для побудови моделі дослідження.

Відповідно з рисунку 6.3 можемо помітити, що індикатор здатності уряду відкрито реалізовувати політику та регуляторні заходи не відповідає нормальному розподілу, а тому може використовуватися під час розрахунку панельної квантильної регресії для побудови моделі дослідження.

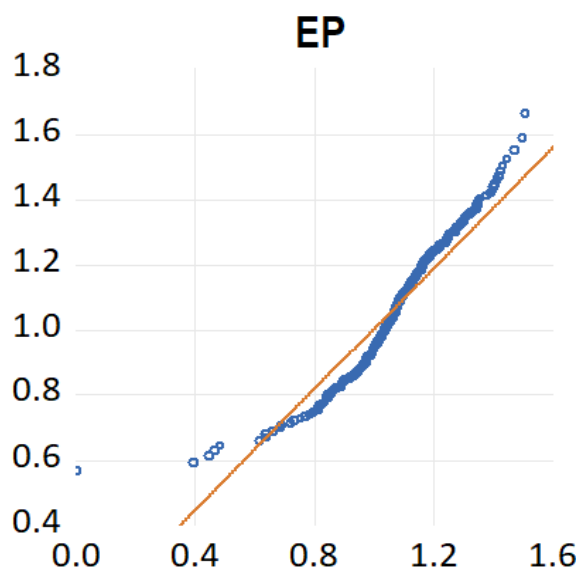


Рисунок 6.3 – Результати нормального розподілу дивергентного субіндексу енергетичної ефективності національної економіки

Джерело: побудовано авторами

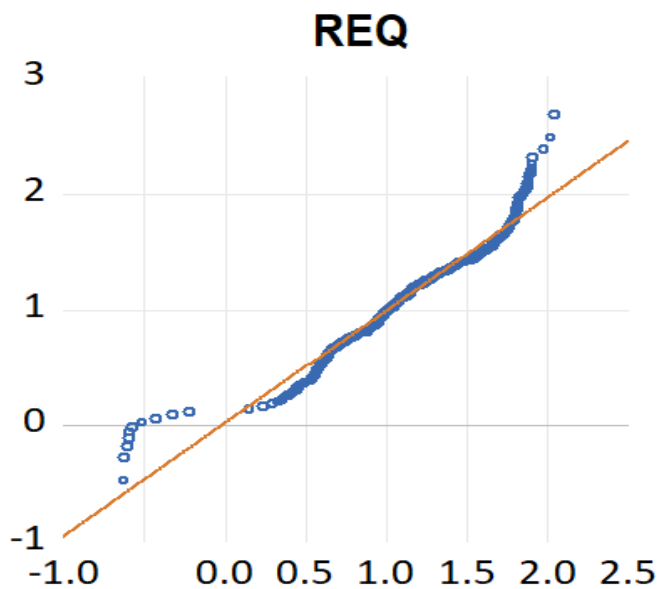


Рисунок 6.4 – Результати нормального розподілу дивергентного субіндексу енергетичної ефективності національної економіки

Джерело: побудовано авторами

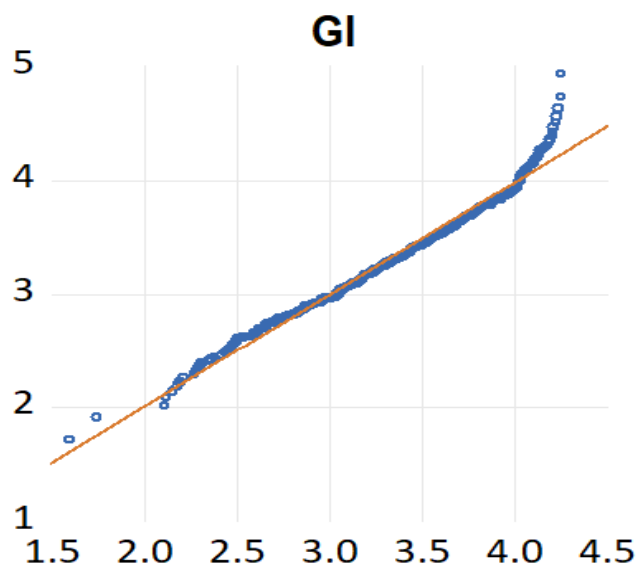


Рисунок 6.5 – Результати нормального розподілу дивергентного субіндексу енергетичної ефективності національної економіки

Джерело: побудовано авторами

Розрахунки засвідчили, що індикатор зелених інвестицій не відповідає нормальному розподілу, а тому може використовуватися під час розрахунку панельної квантильної регресії для побудови моделі дослідження (рисунок 6.5).

Відповідно з рисунка 6.6 можемо помітити, що індикатор контролю корупції не відповідає нормальному розподілу, а тому може використовуватися під час розрахунку панельної квантильної регресії для побудови моделі дослідження.

Тобто всі шість змінних ( $k^d$ , RUL, REQ, CC, GI, EP) не відповідають нормальному розподілу, оскільки діаграми розсіювання кожного графіка відхилені від діагональних ліній (позначені червоним кольором), що обумовлює необхідність використання панельної квантильної регресії для побудови моделі дослідження.

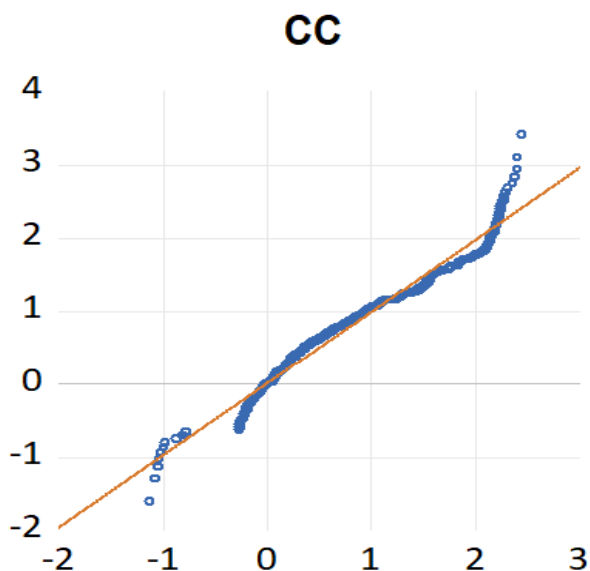


Рисунок 6.6 – Результати нормального розподілу дивергентного субіндексу енергетичної ефективності національної економіки

Джерело: побудовано авторами

Другим етапом дослідження впливу інституціональних та інвестиційно-інноваційних детермінант на дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки – побудова повної квантильної OLS-моделі.

$$Q_{k^a_{i,t}}(\tau) = \alpha_{1,\tau}EP_{i,t-1} + \alpha_{2,\tau}GI_{i,t} + \alpha_{3,\tau}RUL_{i,t} + \alpha_{4,\tau}REQ_{i,t} + \alpha_{5,\tau}CC_{i,t} + \mu_t, (3.3)$$

де  $i$  – кількість досліджуваних країн;

$\tau$  – квантиль порядку;

$\alpha_{1,\dots,5}$  – параметри оцінювання;

$\mu_t$  – стандартна похибка.



Таблиця 6.3 - Результати розрахунку оцінювання впливу інституціональних та інвестиційно-інноваційних детермінант на дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки за першою моделю з урахуванням детермінанти верховенства права

1	Quantile 2	Coefficient 3	Std. Error 4	t-Statistic 5	Prob. 6
EP	0.100	0.007424	0.001376	5.394608	0.0000
	0.200	0.011794	0.002159	5.461560	0.0000
	0.300	0.016455	0.001376	11.95731	0.0000
	0.400	0.018729	0.001511	12.39342	0.0000
	0.500	0.019042	0.001749	10.89020	0.0000
	0.600	0.022996	0.002421	9.498970	0.0000
	0.700	0.026954	0.003227	8.351712	0.0000
	0.800	0.032835	0.003043	10.78892	0.0000
	0.900	0.039055	0.003272	11.93619	0.0000
GI	0.100	6.82E-06	1.60E-06	4.252613	0.0000
	0.200	8.46E-06	1.61E-06	5.257831	0.0000
	0.300	6.50E-06	1.81E-06	3.596592	0.0004
	0.400	5.40E-06	2.10E-06	2.576126	0.0105
	0.500	8.21E-06	2.69E-06	3.057105	0.0025
	0.600	5.92E-06	3.34E-06	1.775843	0.0769
	0.700	6.66E-06	3.87E-06	1.722890	0.0860
	0.800	4.41E-06	3.91E-06	1.129469	0.2597
	0.900	2.27E-06	4.48E-06	0.505634	0.6135

*Продовження таблиці 6.3*

1	2	3	4	5	6
RUL	0.100	0.161132	0.017397	9.262065	0.0000
	0.200	0.131073	0.020615	6.358195	0.0000
	0.300	0.121003	0.014350	8.432432	0.0000
	0.400	0.126095	0.013927	9.054339	0.0000
	0.500	0.136856	0.013323	10.27226	0.0000
	0.600	0.139016	0.016004	8.686302	0.0000
	0.700	0.125844	0.020278	6.205869	0.0000
	0.800	0.112632	0.017555	6.416055	0.0000
	0.900	0.118490	0.018787	6.306874	0.0000

*Примітка: EP – кількість патентів на зелені технології; GI – обсяг залучених зелених інвестицій до енергетичного сектору національної економіки; RUL – верховенство права*

Джерело: розраховано авторами

Таблиця 6.4 - Результати розрахунку оцінювання впливу інституціональних та інвестиційно-інноваційних детермінант на дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки за другою моделю з урахуванням детермінанти – здатність уряду відкрито реалізовувати політики та регуляторні заходи

1	Quantile 2	Coefficient 3	Std. Error 4	t-Statistic 5	Prob. 6
EP	0.100	0.005565	0.001367	4.071079	0.0001
	0.200	0.008875	0.001737	5.110616	0.0000
	0.300	0.011368	0.001559	7.290217	0.0000
	0.400	0.012380	0.001678	7.377413	0.0000
	0.500	0.012664	0.001872	6.763513	0.0000
	0.600	0.014028	0.002189	6.409098	0.0000
	0.700	0.021713	0.003839	5.655528	0.0000
	0.800	0.030183	0.003349	9.013655	0.0000
	0.900	0.036870	0.002662	13.85140	0.0000
GI	0.100	5.41E-06	1.84E-06	2.936603	0.0036
	0.200	4.45E-06	1.70E-06	2.612761	0.0095
	0.300	8.19E-06	1.81E-06	4.532468	0.0000
	0.400	7.78E-06	1.98E-06	3.918018	0.0001
	0.500	8.64E-06	2.18E-06	3.959227	0.0001
	0.600	7.82E-06	2.41E-06	3.246281	0.0013
	0.700	4.48E-06	3.14E-06	1.426308	0.1549
	0.800	1.08E-06	3.09E-06	0.348408	0.7278
	0.900	-3.77E-06	3.04E-06	-1.240509	0.2158
REQ	0.100	0.189371	0.018164	10.42573	0.0000
	0.200	0.185200	0.017365	10.66487	0.0000
	0.300	0.170210	0.017018	10.00156	0.0000
	0.400	0.182393	0.016652	10.95306	0.0000
	0.500	0.201940	0.016427	12.29318	0.0000
	0.600	0.210460	0.017583	11.96960	0.0000
	0.700	0.183375	0.025679	7.141155	0.0000
	0.800	0.155700	0.021381	7.282174	0.0000
	0.900	0.160696	0.017092	9.401996	0.0000

Примітка: EP – кількість патентів на зелені технології; GI – обсяг залучених зелених інвестицій до енергетичного сектору національної економіки; REQ – здатність уряду відкрито реалізовувати політики та регуляторні заходи

Джерело: розраховано авторами

Таблиця 6.5

Результати розрахунку оцінювання впливу інституціональних та інвестиційно-інноваційних детермінант на дивергентний субіндекс енергетичної ефективності національної економіки за третьою моделю з урахуванням детермінанти – контроль корупції

1	Quantile 2	Coefficient 3	Std. Error 4	t-Statistic 5	Prob. 6
EP	0.100	0.010230	0.001332	7.679537	0.0000
	0.200	0.016667	0.001256	13.27064	0.0000
	0.300	0.018379	0.001275	14.41882	0.0000
	0.400	0.021396	0.001615	13.24447	0.0000
	0.500	0.025267	0.002196	11.50672	0.0000
	0.600	0.029954	0.002269	13.20364	0.0000
	0.700	0.032963	0.002270	14.51925	0.0000
	0.800	0.038637	0.002869	13.46627	0.0000
	0.900	0.043208	0.003912	11.04588	0.0000
GI	0.100	1.00E-05	1.76E-06	5.691716	0.0000
	0.200	1.11E-05	1.70E-06	6.493656	0.0000
	0.300	9.15E-06	1.98E-06	4.631900	0.0000
	0.400	8.56E-06	2.19E-06	3.908502	0.0001
	0.500	8.28E-06	2.67E-06	3.106262	0.0021
	0.600	5.63E-06	2.93E-06	1.922357	0.0556
	0.700	5.24E-06	3.37E-06	1.553340	0.1215
	0.800	3.35E-06	3.77E-06	0.888557	0.3750
	0.900	2.32E-05	1.37E-05	1.690177	0.0921
CC	0.100	0.107487	0.018800	5.717405	0.0000
	0.200	0.069902	0.015017	4.654932	0.0000
	0.300	0.083436	0.013052	6.392605	0.0000
	0.400	0.083633	0.013096	6.385904	0.0000
	0.500	0.077547	0.015004	5.168473	0.0000
	0.600	0.071308	0.013232	5.389218	0.0000
	0.700	0.080194	0.013353	6.005788	0.0000
	0.800	0.066638	0.016021	4.159447	0.0000
	0.900	0.030288	0.020993	1.442803	0.1502

*Примітка: EP – кількість патентів на зелені технології; GI – обсяг залучених зелених інвестицій до енергетичного сектору національної економіки; CC – контроль корупції*

Джерело: розраховано авторами

Виявлені патерни (комбінації показників), які кумулятивно накопичуючись упродовж тривалого періоду часу, сформували «слабкі місця», «критичні точки» й атрактори зміни енергетичної ефективності, що гальмуватимуть у прогностному періоді динаміку гармонізації вітчизняних та європейських енергетичних політик.

Установлено, що для України дифузія зелених інновацій призводить до незначного підвищення рівня енергетичної ефективності національної економіки на 0,7 %, тоді як для країн Європейського Союзу в середньому – на 3 %.

Досвід країн Європейського Союзу свідчить, що мультиплікативний ефект у підвищенні енергетичної ефективності національної економіки забезпечується зростанням обсягів зелених інновацій та активізацією ринку зеленого інвестування. Підвищення ефективності державного управління до рівня еталонних країн (найнижчий квантиль – Швейцарія, Данія, Швеція, Австрія, Фінляндія та Франція) дозволить підвищити дивергентний субіндекс енергетичної ефективності для України на 16,1 % верховенства права, на 18,9 % – здатність уряду відкрито реалізовувати політики та регуляторні заходи і на 10,7 % – контроль корупції.

Розділ сформовано на підставі звіту про другий етап виконання НДР [15].

## 7 ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ВПЛИВУ ДІЯЛЬНОСТІ СТЕЙКХОЛДЕРІВ В СЕКТОРІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Зростаюче використання відновлюваної біомаси створює передумови для розвитку сектору біоенергетики. Розробка ведеться за регіональним принципом у зв'язку з розміщенням ресурсів біомаси. Суб'єкти вирощування, виробництва та споживання біомаси зосереджені в різноманітних регіонах. У них однакові бізнес-цілі, але зовсім різні інтереси. Метою діяльності є конкурентоспроможна ціна на енергію, яка дозволяє підтримувати прибутковість у всіх секторах виробництва та споживання біомаси. Проте певні сектори можуть бути зацікавлені у зростанні або скороченні виробництва з різних причин. Можлива неузгодженість, самодіяльність окремих ланцюжків діяльності, недостатній контроль створюють передумови для тіньової економіки. Це може завдати шкоди як бізнесу, так і суспільству, оскільки виникне ризик непрозорої паралельної діяльності. Використовуючи їх, можна підтримувати постійний рівень цін на сировину. Поширенню відновлюваної енергії на основі біомаси суттєво перешкоджає відсутність належних умов торгівлі. У цьому випадку важливо належним чином регулювати ринок сировини для виробництва енергії, щоб уникнути конкуренції та корупції. Крім того, необхідно переглянути ефективність і потужність регіональних електростанцій, щоб запобігти неефективному використанню біомаси. Цієї мети можна досягти, інвестуючи як в інфраструктуру, так і в дослідження та розробки. Остання інвестиція є значною, оскільки вона заохочує використання нових видів біоенергетики.

Елементи тіньової економіки в біоенергетиці виявляються в різних аспектах. Водночас ці аспекти по-різному впливають на економіку країни чи регіону. Теоретична модель, розроблена [1], передбачає, що контроль за рівнем корупції може обмежити вплив тіньової економіки на забруднення. Що стосується використання біомаси, це пов'язано з необхідністю забезпечити виробництво якісного екологічно чистого палива, уникаючи при цьому дешевшого, але потенційно забруднюючого палива. Паливо може бути

забруднене різними речовинами — мастилом, лаком, а інколи навіть радіоактивним паливом. Діяльність сектору енергетики біомаси забезпечує виробництво якісного палива шляхом запобігання непрозорій торгівлі біомасою. Спалювання якісної біомаси забезпечує нейтральний вплив на навколишнє середовище, уникаючи будь-якого забруднення. Прозорість споживання біомаси залежить від рівня розвитку та публічності ринку біомаси. Існує також два ризики: формування тіньового ринку біомаси з одночасним виплатою тіньової заробітної плати [2]. Це має суттєвий негативний вплив на економіку країни та регіону — зменшується частка сплачених податків не тільки в оцінці підготовленої та реалізованої продукції біомаси, а й в оцінці трудових витрат, необхідних для підготовки виробництва. Така ситуація має негативний соціальний вплив, оскільки зменшення частки сплачених податків зменшує соціальну захищеність працівників, що впливає на розмір їхніх майбутніх пенсій. Заготівля біомаси в основному здійснюється в регіонах. Тіньова економіка найбільше страждає від регіонів, які отримують менше податкових надходжень, а наявні в них ресурси можуть бути використані не за призначенням та обліковуватися. Тіньова вартість праці дорівнює граничній продукції працівника [3–5]. Здатність забезпечити дешевшу робочу силу є одним із ключових факторів конкурентоспроможності тіньового ринку постачання біомаси. Ці можливості можливі на ринках, що розвиваються. На цих ринках бракує прозорості бізнесу та значні соціальні та бізнес-регуляторні проблеми. Це перешкоджає розвитку стійких бізнес-структур, які виконують податкові зобов'язання та забезпечують прозоре постачання біомаси. Збитки помножені на вартість тіньової економіки порівняно з традиційною економікою. Результати дослідження показали, що ефективність тіньової економіки в усіх випадках нижча, ніж у традиційної економіки [6]. Однак тіньова економіка заважає переходу до зеленої економіки, оскільки ресурси біомаси витрачаються даремно. Неefективне використання ресурсів біомаси перешкоджає створенню максимальної доданої вартості, яка може бути використана для збагачення регіону та суспільства. Перешкодою для швидкого переходу регіонів на зелену енергетику є тіньова економіка, оскільки

таке паливо продається за нижчою ціною, що знижує конкурентоспроможність прозорого бізнесу. Коли ринок біомаси не існує в країні чи регіоні, існує альтернативний ринок або тіньові ціни. Вони визначаються часом, необхідним для поглинання замінників біомаси. Чим швидше поглинання біомаси, біогазу та інших органічних елементів, тим менший вплив тіньової економіки в довгостроковій перспективі. Без умов для переходу на зелену енергетику або затримки переходу тіньова економіка зростає, на шкоду легальним бізнес-структурам. Створення легальної бізнес-структури є основою для вирощування або видобутку біомаси за конкурентними цінами, забезпечення напрямків збуту палива, усунення ризику тіньової економіки. Сучасна ситуація спонукає до дослідження впливу тіньової економіки на енергетичний сектор. Дослідження є актуальним, оскільки сектор біоенергетики об'єднує різні економічні та соціальні елементи, які відчують різні групи суспільства. В інших наукових дослідженнях відсутні емпіричні рішення для порівняння регіонів чи країн в аспекті тіньової економіки. У науковій літературі недостатньо досліджень виникнення та впливу тіньової економіки в розрізі регіонів. У країнах, що розвиваються, тіньову торгівлю визнають серйозною проблемою, яка зменшує державні доходи. Однак вирішення проблеми покладено на регіональний рівень. У цьому випадку не вистачає ресурсів та інструментів для вирішення проблеми. У секторі енергетики біомаси це питання стоїть особливо гостро — за відсутності інновацій зараз важко забезпечити походження біомаси та реальні обсяги виробництва. Водночас у науковій літературі відсутні методичні рішення, які б дозволили емпірично оцінити вплив тіньової економіки на сектор біоенергетики. Невідомо, які елементи найбільше сприяють розвитку тіньової економіки; в яких верствах вони мають найбільший вплив. Оскільки тіньова економіка зароджується в регіонах, стає ще складніше визначити відповідні фактори ризику. У кожному регіоні існує унікальне середовище для виникнення тіньової економіки. У науковій літературі відсутні універсальні значення, що описують фактори ризику тіньової економіки в енергетиці біомаси. У цій статті представлено поняття та ознаки тіньової економіки в енергетиці, заповнивши

таким чином прогалину в галузі науки. Явище тіньової економіки в енергетичному секторі є відносно мало дослідженим, оскільки це складне явище. В даному випадку наукова новизна пов'язана з розробкою методології оцінювання. Його допомога вивчає ризики тіньової економіки на регіональному рівні. Застосування методології дозволить відслідковувати зростання чи спад тіньової економіки, одночасно розробляючи відповідні рішення для покращення економічної ситуації в регіоні та країні. Метою статті є розробка методології оцінки ризиків тіньової економіки в секторі енергетики біомаси та застосування її до регіонів країн, що розвиваються. Це пов'язано з вивченням походження тіньової економіки, визначенням необхідних дослідницьких показників, застосуванням розробленого емпіричного рішення.

Витоки виникнення тіньової економіки в науковій літературі неоднозначні. В одних випадках підкреслюється національний рівень, в інших використовується регіональний вимір. Останній стикається з багатьма факторами, які можуть бути різними для кожного регіону. Негативні наслідки тіньової економіки можна проаналізувати з точки зору сталого розвитку, виділивши таким чином основні напрями адаптації. Одним із ключових факторів розвитку тіньової економіки є модель ринкової економіки. Через відсутність встановлених принципів роботи існує середовище для непрозорої діяльності, а рівень інновацій все ще відносно низький. Це також зменшує потенціал галузі.

Незважаючи на значні зусилля щодо збільшення внеску біомаси у виробництво енергії, довелося зіткнутися з кількома труднощами:

- Ринкові ціни на викопні ресурси розвивалися не так, як передбачалося, що ускладнювало конкуренцію біомаси без додаткової підтримки;
- Відповідальність за політичну структуру та фінансування НДДКР покладалася на різні міністерства; інтеграція діяльності виявилася складною;
- Завдяки федеральному устрою Німеччини навіть фінансування НДДКР було розподілено між різними міністерствами та програмами;
- Пріоритети НДДКР та бюджети сильно коливалися;



- Десятиліттями сільське господарство було головним політичним промоутером відновлюваних біологічних ресурсів і біоенергетики. Екологічна політика досить пізно виявила потенціал біоенергетики;

Ринок, який значною мірою залежить від політичних умов, не надто привабливий для промисловості. Великі енергетичні компанії, як правило, зосереджуються на своєму класичному бізнесі; менші іноді не витримують злетів і падінь політичної підтримки. Інтерес промисловості був обмеженим, як і ринкове поглинання результатів досліджень і розробок. Тіньова економіка може бути пов'язана з політичними ризиками — неспроможність блокувати дії тіньової економіки може завдати шкоди традиційним бізнес-структурам [8–10]. Існують також виняткові виробничі ризики, які також можуть бути створені аспектами тіньової економіки. Вони можуть бути двох типів: коли спостерігаються непрозорі угоди, які перешкоджають перетворенню біомаси, або коли вони реалізуються під час перетворення.

Існує асиметричний зв'язок між виробництвом енергії та тіньовою економікою [11]. У цьому випадку акцент робиться на використанні викопного палива у виробництві енергії. Використання відновлюваної енергії може допомогти зменшити розмір неформальної економіки, оскільки видобуток палива та розсіювання енергії легше відстежити, ніж у випадку нафти та газу [12–14]. Операторам відновлюваної енергетики важко працювати на тіньовому ринку. У випадку сектору енергетики біомаси можна стверджувати, що тіньова економіка може розвиватися в секторі виробництва біомаси [15,16]. Це може бути пов'язано з некомпетентністю сектору та потенційними труднощами із забезпеченням відстеження палива та обсягів його виробництва. Це може призвести до розміщення надлишку пального на ринку, крадіжки пального або неякісної підготовки палива. Політичні ризики також пов'язані з оформленням необхідних документів для початку діяльності. Потреба в дозволах і терміни їх видачі можуть суттєво змінити терміни запуску проекту та термін окупності.

Часто саме цей фактор відображає бездіяльність бюрократичних структур та рівень корупції в області. Видані дозволи регулюють діяльність компаній з

виробництва енергії, розвитку бізнесу із заготівлі біомаси або обґрунтовують обсяги транспортування. За видачу дозволів відповідають як місцеві, так і державні органи влади. Бюрократичні обмеження найбільш помітні в муніципалітеті, чия інерційна діяльність має тенденцію обмежувати залучених учасників. На державному рівні існують труднощі із запровадженням нових ініціатив із неадекватними вимогами щодо резервування. Більшість умов, які сприяють успіху сектору, важко створити з нуля [17–19]. Зміни в державній політиці є тривалими, складними, часто важкопрогнозованими, тому суб'єктам господарювання необхідно належним чином вивчати ринок, адміністративні вимоги, передбачати ресурси на непередбачені ситуації.

Систематизуючи вплив тіньової торгівлі біомасою на країну чи регіон, виділяємо три напрямки, що базуються на принципах сталого розвитку (табл. 1). Ці принципи невіддільні від прозорого функціонування сектору. Компанії, що працюють у секторі енергії з біомаси, прагнуть узгодити ці принципи, щоб отримати повну підтримку зацікавлених сторін. Тіньова економіка негативно впливає на різні рівні економіки, водночас впливає на соціальну згуртованість регіонів та стан навколишнього середовища. Останні фактори призводять до погіршення економічної ситуації в довгостроковій перспективі, оскільки це ускладнює здійснення легальної господарської діяльності. Крім того, незаконно експлуатовані державні ресурси негативно вплинуть на постачання країни біомасою в майбутньому.

Потенціал зменшення впливу тіньової економіки пов'язаний із застосуванням інтелектуальних технологій. Вважається, що конкурентоспроможність енергетичного сектору біомаси зростає в той момент, коли ланцюг постачання біомаси збалансований. Успіх його управління невіддільне від управління різними процесами. Для управління ланцюгом поставок використовуються різні стратегії. У випадку сектору енергетики біомаси ланцюг постачання можна спроектувати та керувати за допомогою картографічних даних. Це особливо корисно для неконсолідованих лісових господарств, де в регіонах багато дрібних лісів. З промислової точки зору це

некорисні ліси, оскільки їхній комерційний потенціал надто низький. Крім того, вони часто не мають догляду, на відміну від укрупнених лісових господарств. Наявність їхньої класифікації та біологічних даних дозволяє більш ефективно використовувати їхній потенціал. ГІС (географічні інформаційні системи) високо цінуються за їх здатність зберігати, відображати та аналізувати картографічні дані. Такі системи можуть з'єднувати кілька шарів географічних об'єктів. Таким чином, топографічна карта, дорожня мережа та інфрачервоне супутникове зображення можуть бути об'єднані для оцінки зрілості врожаю, виявлення незаконних насаджень або діагностики захворювань [20,21]. Цей підхід дозволяє визначити довгострокову політику постачання біомаси та відповідно відкоригувати ланцюг поставок. Це дозволить забезпечити довгострокове безперебійне постачання біомаси та управління витратами. Також буде збільшено кількість потенційних територій для виробництва ресурсів біомаси. Використання ГІС дозволило б оптимізувати витрати в ланцюжку постачання, тим самим підвищивши конкурентоспроможність компаній у процесі енергопостачання [22]. Водночас ГІС зменшить потенціал тіньової торгівлі в секторі, коли існує ризик перевиробництва або неправильної доставки біомаси на електростанцію.

Таблиця 7.1 – Тенденції тіньової економіки в аспекті сталого розвитку

Вид	Вплив
Економічні	Збої в зборі податків Пропозиції через тіньову торгівлю біомасою Збільшення експлуатаційних витрат через неправильно підготовлену біомасу Нижча заробітна плата порівняно з легальною роботою
Соціальні	Неоплачена частина соціальних виплат Зниження соціальних гарантій для працівників Імовірність незадекларованої праці Охорона праці гарантується не повністю або зовсім не гарантується
Екологічні	Слабкі сторони контролю за використанням біомаси Надвиробництво Шкода навколишньому середовищу через розкрадання біомаси Шкідлива економічна діяльність

Джерело: побудовано авторами

Збалансування ланцюжка поставок створить позитивний ефект на всіх рівнях сталого розвитку. Прозоре використання відходів біомаси може значно поповнити муніципальний бюджет новими доходами [23–25]. Збалансування ланцюжка поставок створить позитивний ефект на всіх рівнях сталого розвитку [26,27]. У цьому випадку важливо забезпечити прозорість видобутку та постачання палива, уникаючи проявів тіньової економіки. Можна констатувати, що основним чинником запобігання появі елементів тіньової економіки у секторі виробництва біомаси є масштабна система моніторингу, яка включає цифрові технології, безперервний облік даних та підзвітність як суб'єктам господарювання, так і суспільству.

Явище тіньової економіки в енергетиці в науковій літературі вивчено поверхнево. Бракує емпіричних рішень, які б дозволяли кількісно порівнювати різні території. Теоретичні побудови часто застарілі, непридатні для поточного прориву зеленої енергії. Шкода економіці від тіньової економіки фрагментарна, незалежно від специфіки країни чи її регіонів. Бракує теоретичних моделей, за допомогою яких можна було б проаналізувати напрямок тіньової економіки, щоб уникнути шкоди економіці. Формулювання нової теоретичної моделі забезпечує наукову новизну, а також дає змогу проаналізувати явище тіньової економіки в енергетиці. Аналіз галузі дозволить вжити превентивних заходів, щоб уникнути збитків для держави, регіонів та їх жителів.

Специфіку тіньової економіки та шляхи усунення цього явища можна передати в теоретичній моделі. Тіньова економіка найбільше проявляється через сектор заготівлі біомаси. Це пояснюється меншим контролем над процесами виробництва та постачання біомаси, а також можливостями для непрозорого працевлаштування. Елементи тіньової економіки в енергетичному секторі біомаси впливають на всі виміри сталого розвитку. Тіньовий ринок має значний вплив на легальний бізнес, знижуючи його конкурентоспроможність. Найбільший ризик для розвитку тіньової торгівлі є у секторі заготівлі біомаси, який знаходиться в регіональних областях. Для цього вплив економіки досліджується на регіональному рівні. Виокремлено види діяльності, які найбільше постраждали

від тіньової економіки. У другому випадку передбачені заходи щодо запобігання елементам тіньової економіки. Тіньова економіка має найкращі умови у секторі заготівлі біомаси, де відносно важко забезпечити прозорість. Прояви тіньової економіки помітні на всіх рівнях діяльності ринку факторів виробництва, створюючи комплексний негативний вплив на легально працюючий бізнес. Згідно з рисунком 1, ринок факторів виробництва складається з ринку ресурсів і ринку людських ресурсів. Це основні компоненти, які формують обсяг діяльності сектору. Цей ринок потім модифікується в продукти кінцевого використання, які розміщуються на ринку. Енергетичний сектор біомаси лише нещодавно почав формуватися завдяки швидкому розвитку ідей щодо відновлюваних джерел енергії. Новий ринок працює насамперед за принципом монопольної конкуренції — у кожному регіоні існують різні суб'єкти господарювання, які надають подібні послуги. Під час цієї фази ринку працевлаштування та підприємницька діяльність у певних регіонах відносно легкі. В умовах монополістичної конкуренції існує ризик для тіньової економіки, який може бути спричинений як внутрішнім, так і зовнішнім. Ситуацію можна вирішити за допомогою широкого спектру технологічних та управлінських інструментів моніторингу. Факторний ринок узагальнює сектор збирання біомаси, тобто діяльність у сільській місцевості. Ця діяльність охоплює широкий спектр суб'єктів господарювання, включаючи збирання біомаси, користувачів, промисловість та власників ресурсів біомаси. Саме ці учасники складають структуру енергетичного сектора біомаси.

Надлишок потужностей є основною проблемою на ринку факторів виробництва. Це може мати значний вплив як на економічну, так і на екологічну ситуацію в регіонах. Загроза перевиробництва часто виникає через безвідповідальний тіньовий видобуток біомаси. Поява цього явища ускладнює забезпечення якості виробленої біомаси, а також відповідність видобутку принципам сталого розвитку. Безвідповідальний видобуток біомаси може мати довготерміновий вплив на навколишнє середовище, сприяючи ерозії ґрунту, погіршуючи умови для посадки нових рослин, а отже, погіршуючи економічну цінність у довгостроковій перспективі. Водночас створюються умови для падіння

цін на біопаливо, що ускладнює існування легально працюючих суб'єктів господарювання. Їм важче конкурувати з підприємствами, які видобувають біомасу нелегально, в обхід екологічних вимог та вимог якості. Тіньова економіка впливає на основних суб'єктів виробництва біомаси, споживачів, а також на розпорядників міських відходів — з домінуванням тіньової економіки зростає значення сміттєспалювальних установок. Однак ця частина також може бути відзначена тіньовим обліком відходів, а розділення відходів, придатних для переробки, є аспектами, які потребують контролю.

На іншій частині ринку факторів виробництва — ринку людських ресурсів — постають проблеми, які суттєво впливають на розвиток регіону та країни. Незаконна оплата праці не тільки зменшує доходи муніципалітетів і державного бюджету, але водночас призводить до зубожіння працівників. Це виражається в нижчих пенсіях та інших соціальних гарантіях у майбутньому. Короткострокові фінансові переваги призводять до зменшення кількості людей у регіонах, які хочуть працювати легально. Таким чином вони жертвують майбутніми соціальними гарантіями заради короткострокових виплат у поточному періоді. Тіньова економіка на ринку праці ускладнює легальним підприємствам поводження з біовідходами, оскільки формується пропозиція незаконно видобутих або ввезених відходів. Водночас погіршується становище суб'єктів промисловості, оскільки прояви нелегалізації роботи знижують конкурентоспроможність легально діючих суб'єктів господарювання та становлять загрозу їхньому виживанню. Проблеми, які спостерігаються на ринку біомаси, відповідають впливу тіньової економіки на ринок ресурсів. Однак перевиробництво може бути спричинене імпортом низькоякісного біопалива з інших країн. Нечіткий облік роботи створює умови для нелегальної праці. Перевиробництво, спричинене більш дешевим, але менш якісним біопаливом, формує відтік готівки з регіону та країни. При цьому виділено основні проблеми, які впливають на ринок біомаси та знижують конкурентоспроможність компаній, що працюють у секторі. Усі заходи щодо запобігання тіньовій економіці

позитивно впливають на ринок кінцевої продукції, оскільки реструктуризація факторного ринку запобігає проникненню тіньової економіки в енергетику.

Факторний аналіз використовується для проведення дослідження, в якому досліджується сектор заготівлі біомаси в регіонах Литви. Дослідження спрямоване на пошук причинно-наслідкових зв'язків між ресурсами біомаси в муніципалітетах, соціальними витратами та надходженнями від податків на працю. У дослідженні використовуються дані за 2010–2020 роки з 50 муніципалітетів Литви, які мають мережі централізованого теплопостачання. Факторний аналіз використовується для проведення дослідження, в якому досліджується сектор заготівлі біомаси в регіонах Литви. Дослідження спрямоване на пошук причинно-наслідкових зв'язків між ресурсами біомаси в муніципалітетах, соціальними витратами та сплаченими податками на працю. Факторний аналіз дозволить визначити ті муніципалітети, де ризик тіньової економіки в секторі біомаси особливо високий. Дані, представлені в таблиці 2, розділені за перспективою сталого розвитку. Рішення прийнято, оскільки біомаса класифікується як відновлюване джерело енергії, а зменшення тіні є одним із ключових компонентів концепції екологічного, соціального управління (ESG).

Таблиця 7.2. - Необхідні дані для дослідження

Вид	Критерії	Джерело
Економічні перспективи	Бізнес-одиниці в секторі біоенергетики Доходи від податку з фізичних осіб Витрати на біомасу	[28–31]
Соціальні перспективи	Витрати на біомасу Ціна тепла Розмір компенсацій за теплову енергію	[28]
Екологічні перспективи	Кількість працівників, які отримують мінімальну заробітну плату Безробітні Проекти лісовпорядкування	[32]

Джерело: побудовано авторами

Логіка відбору даних пов'язана з метою дослідження поведінки населення регіонів на ринку праці. Оскільки сектор збирання біомаси характеризується структурою працівників нижчої кваліфікації, поведінка таких працівників вивчається. Така ситуація створює ризик для виплати тіньової заробітної плати. Це дасть змогу оцінити масштаби тіньової економіки в секторі заготівлі біомаси, а також запропонувати шляхи підвищення прозорості сектору (таблиця 7.3).

Таблиця 7.3. - Показники ризику сектору енергетики біомаси та тіньової економіки

Індикатори сектору біоенергетики	Індикатори ризику тіньової економіки
Вартість біомаси, євро	Розмір компенсацій за теплову енергію
Підприємства в секторі біоенергетики	Кількість працівників, які отримують
Доходи від податку з фізичних осіб, євро, %	мінімальну заробітну плату
Об'єкти лісовпорядкування, га	Безробітні Ціна на тепло, євро, ct./kWh

Джерело: побудовано авторами

Факторний аналіз використовується для групування певних показників за ознаками. Рішення про використання цього методу було прийнято через велику кількість і складність доступних даних. Необхідно використовувати надійні методи, щоб зв'язати їх для встановлення відповідних інтерфейсів даних. Факторний аналіз дозволяє обробляти різні групи даних з різними одиницями вимірювання. У цьому випадку використання економічних, соціальних та екологічних даних пов'язане з ризиком неправильного тлумачення даних. Застосування факторного аналізу виключає можливість суттєвої помилки. Основне завдання факторного аналізу - розділити аналізовані змінні в групи, об'єднані за певними безпосередньо важко названими факторами, враховуючи кореляцію між ними [33,34]. При переході від великої кількості змінних до певних факторів інформація концентрується і краще охоплюється. Факторний аналіз є частиною загального сімейства лінійних моделей процедур і працює за багатьох тих самих припущень, що й множинна регресія: лінійні зв'язки,



інтервальні дані, але йому бракує високої множинності та багатовимірної нормальності для виконання тестів на значимість [35,36].

Факторний аналіз створює таблицю, у якій рядки є приблизними спостережуваними змінними, а стовпці — факторами або прихованими змінними, які пояснюють найбільшу можливу варіацію цих змінних. Комірки в цій таблиці є факторними навантаженнями, і значення факторів потрібно стимулювати, бачачи, які змінні найбільше навантажені, за яким фактором це відбувається. Згідно з цією інформацією, необхідно зібрати дані, необхідні для такого дослідження, щоб висловити можливості факторного аналізу. У цьому випадку вибирається метод аналізу головних компонентів (PCA). Рішення прийнято, виходячи зі специфіки методу — аналізується сукупність даних і відповідно визначаються групи факторів. На основі цих факторів очікується, що доступні компоненти дослідження будуть розбиті відповідно до факторів, які найкраще описують фактори. PCA аналізує таблицю даних, яка представляє спостереження, описані кількома залежними змінними, які зазвичай взаємопов'язані [37]. Його мета — отримати важливу інформацію з таблиці даних і виразити цю інформацію як набір нових прямокутних змінних, які називаються головними компонентами. PCA також показує модель подібності між спостереженнями та змінними, показуючи їх як точки на картах. PCA є неконтрольованим методом, і ці типи методів важливі для практичного застосування [38,39]. PCA є обчислювально спрощеною версією класу для загального розмірного аналізу зменшення [40]. Цей метод аналізу використовується без урахування основної латентної структури змінних, використовуючи всі варіанти змінних. PCA були розроблені десятиліття тому, коли аналізи здебільшого розраховувалися вручну. Він також не вважається справжнім методом факторного аналізу, і вчені зі статистики не погоджуються щодо того, коли той чи інший метод слід використовувати. Застосування цього методу вимагає відчутної вибірки даних і спроби підтвердити певні ідеї перед дослідженням.

Результати. По-перше, дані відстежуються, чи можна узагальнити спостережувані змінні за набором факторів. Для досягнення мети проведено аналіз критерію КМО. Прийнято вважати, що значення КМО повинно бути не менше 0,6, інакше застосовувати факторний аналіз недоцільно [41]. У цьому та наступних випадках етапи факторного аналізу виконуються для двох груп показників. У таблиці 7.4 наведено інформацію про ті показники, які описують енергетичний сектор біомаси та ризик тіньової економіки

Таблиця 7.4 - Результати КМО аналізу

Індикатори сектору енергетики біомаси		
Міра адекватності вибірки Кайзера-Майєра-Олкіна		0,715
		2418,297
Тест сферичності Бартлетта	Df	12
Sig.		0,000
Індикатори ризику тіньової економіки		
Міра адекватності вибірки Кайзера-Майєра-Олкіна		0,754
		2145,314
Тест сферичності Бартлетта	DfDf	10
Sig.		0,000

Джерело: побудовано авторами

У першому випадку значення дорівнює 0,715. Це дозволяє стверджувати, що дані придатні для подальшого факторного аналізу, а саме для формування факторів. Подібні дії проводяться з індикаторами ризику для тіньової економіки. При цьому значення КМО досягає 0,754, що підтверджує придатність показників для подальшого аналізу. Оскільки результати критерію КМО як для показників сектору енергетики біомаси, так і для показників ризику тіньової економіки є прийнятними, можливий подальший аналіз

Аналіз обертання факторів виконується після аналізу КМО. Мета полягає в тому, щоб зрозуміти значення, створене індикаторами, і значення цього значення. Він надає оцінки кореляцій між кожною змінною та оцінюваними компонентами. Обертання факторів виконується, коли необхідно перетворити дані у більш зручний для інтерпретації формат. Спочатку проводиться аналіз позитивно

класифікованих показників (табл. 7.5). Для уніфікації різних розмірів аналізованих показників в обох випадках використовуються нормалізовані показники. Як для індикаторів сектору енергетики біомаси, так і для індикаторів ризику тіньової економіки для ротації використовується метод VARIMAX. Метод було обрано для мінімізації кількості змінних, значною мірою пов'язаних з кожним фактором [42,43]. Це дозволить отримати результати, що відображають ситуацію, що слугуватиме подальшим етапам дослідження.

Таблиця 7.5 - Аналіз ротації факторів для показників сектору енергетики біомаси

Фактор	1	2
Zscore (Ціни на біомасу, EUR)	0,95	
Zscore (бізнес-одиниці у сфері біоенергетики)	0,83	
Zscore (Особисті доходи від податку євро)	0,86	
Zscore (Рівень лісистості, %)		0,84
Zscore (Лісогосподарські_проекти, га)		0,81

Джерело: побудовано авторами

Наведені в таблиці результати дозволяють стверджувати, що витрати на біомасу, кількість суб'єктів господарювання та зібрані податки на доходи фізичних осіб сильно впливають один на одного. У всіх трьох випадках значення показника більше 0,6, що свідчить про сильну кореляцію. Водночас, індикатори для лісівництва та лісогосподарських проектів присвоєно другому фактору (значення 0,84 та 0,81 відповідно), демонструючи існування сильного зв'язку між фактором та змінними. У випадку індикаторів ризику для тіньової економіки (табл. 7.6) зв'язки між факторами та змінними ще сильніші. У всіх випадках вони становлять більше 0,85. Отримані результати однозначно підтверджують правильний розподіл груп даних на фактори та якість даних.

На наступному етапі дослідження проводиться аналіз показників, що визначають створену позитивну вартість. Витрати на біомасу розглядаються як позитивне значення, яке вказує на те, що біомаса закуповується всередині країни,

а не ззовні (у випадку імпорту викопного палива). Також проаналізовано характеристики підприємств галузі в різних регіонах. Для відображення динаміки доходів найманих працівників податок на доходи фізичних осіб включається до показників позитивних значень. Опрацьовані результати в таблиці 7.7 виділяють два досить сильні фактори. Для отримання результатів використовували нормалізовані значення. Ці результати є основою для отримання значень індексу.

Таблиця 7.6 - Аналіз факторів для показників ризику тіньової економіки

	Фактор	
	1	2
Zscore (Розмір компенсацій за теплову енергію EUR)	0,87	
Zscore (Безробітні)	0,89	0,91
Zscore (Кількість працівників одержувачів мінімальної заробітної плати)		
Zscore (Ціни на тепло_euro_ct_kWh)		0,92

Джерело: побудовано авторами

Таблиця 7. Важливі результати показників сектору біоенергетики.

	Фактор	
	1	2
Zscore (Costs_for_biomass_EUR)	0,794	0,015
Zscore (Ціни на біомасу, EUR)	0,825	0,026
Zscore (бізнес-одиниці у сфері біоенергетики)	0,806	0,020
Zscore (Особисті доходи від податку_євро)	0,000	0,635
Zscore (рівень лісистості, %)	0,000	0,617
Zscore (Лісогосподарські проекти, га)		

Джерело: побудовано авторами

Серед показників сектору енергетики біомаси можна виділити два фактори. Перший фактор визначає поточну ситуацію в секторі біомаси в регіоні з точки зору економічної життєздатності. Фактор можна назвати фактором економічної життєздатності галузі. Другий фактор стосується лісової ситуації в регіоні та прогресу лісогосподарської діяльності. Останній фактор важливий для того, щоб показати, як змінилася ситуація на ринку біомаси та як це вплинуло на стан регіональних лісів відповідно до принципу сталого розвитку. Другий фактор можна назвати фактором лісової ситуації. Фактори виділяються чітко та

однозначно, що дозволяє уникнути можливих інтерпретацій. Це свідчить про те, що аналіз показників сектору біоенергетики є успішним. Показники, що відносять ризики до тіньової економіки, розглядаються нижче. Слід підкреслити, що вони пов'язані як з економічними, так і з соціальними аспектами регіонів. Оптимізація цих витрат може значно підвищити конкурентні переваги та привабливість регіону серед населення та інвесторів. Індикатори групи ризику (таблиця 7.8) є важливими для демонстрації ступеня та впливу перетворення біомаси на регіональну економічну та соціальну згуртованість. Як і у випадку з індикаторами сектору біоенергетики, дослідженими раніше, використовуються нормовані значення.

Таблиця 7.8. Важливість результатів індикаторів ризику тіньової економіки.

	Фактор	
	1	2
Zscore (Розмір компенсацій за теплову енергію EUR)	0,754	0,878
Zscore (Безробітні) Zscore (Кількість працівників одержувачів мінімальної заробітної плати)		0,825
Zscore (Ціни на тепло_euro_ct_kWh)		

Джерело: побудовано авторами

У разі ризиків тіньової економіки видно розподіл показників. У першому випадку показники відображають ризик виникнення тіньової економіки — люди, які працюють непрозоро, мають можливість отримати компенсацію за тепло. Особливо це стосується регіонів з високими цінами на тепло та сектором біомаси, який перевищує середній. Отриманий результат можна назвати причиною виникнення фактора тіньової економіки. У другому випадку ціна на тепло співвідноситься з кількістю людей, які отримують мінімальну зарплату. З низькими цінами на тепло існує припущення про зниження рівня безробіття, оскільки падіння цін пов'язане з місцевим виробництвом біомаси. У той же час нижчий рівень безробіття, пов'язаний із нижчими цінами на тепло, вказує на

здатність регіону контролювати масштаби неформальної економіки. Це називається фактором прозорості сектора. Як і в першому випадку, найменування значень цих факторів є однозначним, що дозволяє уникнути можливих інтерпретацій.

Для формування дослідницького інструментарію, необхідного для подальшого оцінювання, потрібно виділити відсоткові співвідношення факторів. Завдання виконується з використанням досліджуваного квадрата коефіцієнта навантаження, який у цьому випадку зводиться до єдиної суми у відсотках. Відповідно до статистичних інструментів, кожному показнику надається конкретне відсоткове значення, яке потім фокусується на одному значенні для конкретного фактору [44,45]. Це значення потім використовується для подальших розрахунків з нормованими показниками. Відповідно до переважної логіки попередніх етапів дослідження, спочатку виконується аналіз навантаження коефіцієнтів показників сектору заготівлі біомаси. Це показує, що найбільший відсоток накопичує фактор економічної життєздатності галузі. Проте майже третину значення показників енергетичного сектору біомаси становить фактор стану лісів (табл. 7.9).

Таблиця 7.9 - Факторний аналіз показників сектору біоенергетики

	Фактор	
	1	2
Zscore (Ціни на біомасу EUR)	0,68	
Zscore (бізнес-одиниці у сфері біоенергетики)		
Zscore (Особисті доходи від податку євро)		
Zscore (рівень лісистості, %)		0,32
Zscore (лісгосподарські проекти га)		

Джерело: побудовано авторами

Подібним чином представлено податкові навантаження у тіньовій економіці (табл. 10). При цьому значення фактора походження тіньової економіки мають дещо більшу вагу, ніж коефіцієнт прозорості сектору біомаси. Це зумовлено

специфікою першого фактора — він складається виключно із соціальних показників, на які може суттєво впливати ризик тіньових факторів. Однак фактор прозорості в секторі біомаси допомагає збалансувати можливі винятки через вплив тіньової економіки [46]. Це актуально для регіонів, які тільки починають більш прозоре управління ресурсами біомаси, що збільшить створювану додану вартість.

Таблиця 7.10 - Факторний аналіз для показників ризику тіньової економіки

	Фактор	
	1	2
Zscore (Розмір компенсації за теплову енергію, EUR) Zscore (Безробітні)	0,55	
Zscore (Кількість працівників, що отримують мінімальну заробітну плату) Zscore (Ціни на тепло_ct_kWh)		0,45

Джерело: побудовано авторами

За результатами аналізу факторів та основних компонентів створюється єдиний індекс тіньової економіки (ІТЕ). Індекс складається з двох частин, які зосереджують дані, отримані під час розрахунку субіндексу регіональної енергетичної активності (REAS) та субіндексу регіональної тіньової економіки в енергетичному секторі (RSEES). Субіндекси отримані відповідно до навантажень квадратичного коефіцієнта факторів обох показників і вилучених факторів. Таким чином отримуємо формулу для першого субіндексу

$$REAS_{SEI} = 0.68 \times \text{sector economic viability factor} + \\ + 0.32 \times \text{the forest situation factor} \quad (7.1)$$

Формула другого субіндексу отримується аналогічно. Як і в першому випадку, оцінка

враховуватиме регіональний вимір. Узагальнюючи отримані результати, сформовано формулу регіонального субіндексу тіньової економіки в енергетиці (RSEES):

$$RSEES_{SEI} = 0.55 \times \textit{origin of the shadow economy factor} + 0.45 \times \textit{sector transparency factor} \quad (7.2)$$

Дані по кожному регіону щодо діяльності з доданою вартістю та витрат для формування єдиного індексу оцінки. Це допоможе перевірити результати, отримані в теоретичній частині, показуючи таким чином вплив використання біомаси на регіональну економіку. Ризик тіньової економіки в енергетиці біомаси розраховується за формулою:

$$\begin{aligned} & \textit{SHADOW ECONOMY INDEX (SEI)} \\ & = REAS_{SEI} - RSEES_{SEI} \quad (7.3) \end{aligned}$$

На основі даних регіонів Литви та розробленого індексу виконано аналіз впливу тіньової економіки в секторі біомаси. Дослідження базується на даних за 2010–2020 роки. У дослідженні уточнюються результати 2010, 2015 та 2020 років, таким чином відстежується зміна рівня тіньової економіки. Розроблений індекс є універсальним, адаптованим для оцінки та порівняння даних з регіонів у різних країнах. Вибрано приклад Литви через історію використання біомаси та кількість даних, доступних для дослідження.

У 2010 році розмір індексу був низьким у всіх муніципалітетах через те, що розвиток енергії з біомаси був відносно низьким. Країна залежала від імпорту викопних ресурсів, а місцева біомаса використовувалася переважно в тих регіонах, які не мали доступу до газових мереж. За даними 2010 р., найвищі значення індексу в Східній Литві, яка багата на лісові ресурси. Водночас у південній Литві, яка першою почала використовувати біомасу, вплив тіньової економіки знизив значення індексу. Хоча регіон багатий на ресурси біомаси,



непрозоре управління ними призвело до низького значення індексу. У Центральній Литві зафіксовані найнижчі значення індексу. Це пояснюється нерозвиненістю сектору енергетики біомаси та слабкою економічною активністю.

У 2015 році значення індексу зросло в основному за рахунок зростання споживання біомаси. Це дозволило відслідковувати зміну показника та вплив тіньової економіки. Аналізуючи динаміку індексу, можна побачити чітку тенденцію — найповільніше значення індексу зростає в Південній Литві, енергетична система якої в основному базується на місцевій біомасі. Це пов'язано з такими компонентами тіньової економіки, як високий рівень безробіття та компенсації та низькі надходження податку на доходи фізичних осіб. Це показує, що муніципалітети Південної Литви не в змозі використовувати наявні природні ресурси для підвищення економічного процвітання. З іншого боку, прорив муніципалітетів Західної Литви демонструє можливості для розвитку регіональної економіки зі значно меншими ресурсами біомаси. Це свідчить про те, що в цих регіонах виробляється менше неврахованої біомаси, яка є ключовим фактором тіньової економіки в цьому секторі. Кращий облік ресурсів дозволяє муніципалітетам отримувати більше доходів від податків працівників.

У 2020 році, оскільки споживання біомаси продовжувало зростати, значення індексу стабільно зростали по всій країні. Найвищі темпи зростання спостерігаються в муніципалітетах Східної та Західної Литви. У той же час спостерігалася парадоксальна ситуація — Центральна Литва, яка характеризується відносно меншим обсягом ресурсів біомаси, почала випереджати Південну Литву з найвищим рівнем лісового господарства та підприємств лісового сектору. Це також підтверджує висловлені в теоретичній частині ідеї про те, що велика кількість отримувачів соціальних виплат чи інших знижок призводить до нижчого продукту в регіонах. Це припущення підтверджується офіційними даними, але не можна виключати, що обсяги виробництва також будуть більшими, включаючи тіньову економіку.

Аналіз даних показав, що лісисті регіони не в змозі використовувати наявну конкурентну перевагу (сировину) і відстають від менш лісистих регіонів, які згодом залучилися до бізнесу на біомасі. Некваліфіковані працівники в лісистих районах, швидше за все, будуть брати участь у тіньовому ринку праці. Це знижує продуктивність регіону та кількість біомаси, виробленої в регіоні. Загроза тіні в енергетичному секторі біомаси виникає через нелегальну роботу та невраховану біомасу. Прояви тіньової економіки в Литві локалізовані як географічно, так і економічно. Для зниження рівня тіньової економіки необхідно використовувати технології розумного обліку біомаси, які запобігають потраплянню необлікованої біомаси на ринок. Водночас це дозволить знизити рівень тіньового безробіття за рахунок забезпечення простежуваності та якості підготовленої біомаси.

Розробка моделі показала, що поява тіньової економіки на ринку факторів виробництва впливає не тільки на суб'єктів ринку цього ринку, а й на загальну економічну вартість, створювану на ринку кінцевої продукції. Непрозорий видобуток біомаси та нелегальна робота мають однакові негативні наслідки та часто невіддільні від тіньової діяльності.

Щоб уникнути елементів тіньової економіки, визнається, що необхідні інвестиції в новітні цифрові технології, моніторинг процесу підготовки біомаси від початку до її надходження на електростанції та перетворення в енергію.

Запобігання тіньовій економіці в енергетичному секторі збагатить економіку регіону та країни, зробивши політику зайнятості більш прозорою, а отже, збільшить збір податків. Підприємства, які працюють на тіньовому ринку, стануть неконкурентоспроможними, що звільнить місце для легальних бізнес-одиниць. Контроль тіньової економіки за допомогою енергії створив би умови для захисту навколишнього середовища шляхом контролю виробництва біомаси, таким чином уникаючи шкоди лісам чи іншим землям.

Рекомендується постійно контролювати дані щодо розміру соціальної допомоги, безробіття та мінімальної заробітної плати. Раптове зростання цих показників свідчило б про збільшення розмірів тіньової економіки. У цьому випадку необхідний регіональний аналіз для збільшення зайнятості та

регіональних доходів. Держави повинні ініціювати законодавчі зміни, щоб забезпечити виплату мінімальної заробітної плати лише за некваліфіковану роботу. Водночас необхідно зміцнити Державну податкову інспекцію, надавши можливість консультувати нові підприємства з податкових питань.

## **8 МЕХАНІЗМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ ІННОВАЦІЙНОГО, ЕКОЛОГІЧНО ОРІЄНТОВАНОГО, ТРАНСПАРЕНТНОГО КОНКУРЕНТНОГО РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ**

Сьогодні економічні системи стикаються з величезним викликом щодо майбутнього енергетики. Нинішня енергетична система є дуже неефективною, поглинаючи величезні ресурси, які, як і країни з високою енергоефективністю, можуть бути спрямовані на розвиток мереж з низьким вмістом вуглецю та відновлюваних джерел енергії. Вуглецева система з кількох великих централізованих електростанцій, які розподіляють електроенергію по всій країні, є дуже дорогою та дуже ненадійною. Традиційні джерела енергії мають колосальний вплив на розвиток енергетичної системи, яка в останні десятиліття зазнає дедалі більшої централізації, що призвело до створення великих центрів виробництва. Потужні електростанції постачають електроенергію масовим споживачам, на великій території і винятково вони засновані переважно на викопному паливі. Від вугільних електростанцій трохи більше половини виробленої електроенергії досягає кінцевих одержувачів, через що несподівана спека чи інші несприятливі атмосферні явища можуть сприяти виникненню збою електроенергії на значній території.

На даний момент в енергетичному секторі, пов'язаному з монокультурою вугілля, бракує електроенергії, а вся система передачі електроенергії застаріла. Рішенням може бути розподілена енергія, яка в кінцевому рахунку може задовольнити енергопостачання в менш урбанізованих районах і в сільській місцевості, гарантуючи при цьому сталий розвиток цих територій. Основним гарантом ринкових механізмів формування енергетичної безпеки є розподілена енергетика, поширена на всю економіку [1].

Цікавою є проблема зміни ролі кінцевого споживача енергії: від пасивного споживача до активного просьюмера, який не лише формує свою поведінку таким чином, щоб економити енергію, але прагне підвищити ефективність її

використання та виробляти надлишок енергії, який можна передати в локальну мережу. Це шлях до цивілізаційного стрибка до побудови суспільства знань у нашій країні. Переважним мотивом для розвитку розподіленої енергетики є технологічний прогрес, що сприяє зниженню вартості виробництва енергії з відновлюваних джерел, а також розвиток місцевих енергетичних ресурсів. Поточний шлях розвитку енергетичного сектору Польщі скоріше базується на постійному вдосконаленні існуючих технологій і послуг [2–4].

Для того, щоб прийняти завдання кращого розуміння та пояснення такої складної реальності, було вирішено, що дослідницькою основою цієї статті буде розподілена енергія в регіоні. Метою статті є забезпечення енергетичної безпеки в умовах інноваційної, екологічної та відкритої до конкуренції регіональної енергетики з використанням місцевих енергоресурсів. Застосування різноманітних дослідницьких підходів і методів дозволило використати методологічну триангуляцію (джерела даних, методи дослідження та дослідницьке середовище), підвищивши надійність і валідність висновків.

У літературі є багато визначень розподіленої енергії. Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA) визначає розподілену енергію як об'єкти, розташовані в розподільних мережах або біля споживачів, які постійно використовують відновлювані або звичайні ресурси. Мережі розподіленої генерації можуть включати споживачів, енергетичні асоціації та муніципальні електростанції [5]. Навпаки, за визначенням Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) [6–8] розподілене виробництво електроенергії визначається як виробництво електроенергії установками, меншими за центральні електростанції, щоб забезпечити взаємозв'язок майже всюди в енергетичній системі.

Відповідно до Закону від 20 лютого 2015 року про відновлювані джерела енергії (Законодавчий вісник 2015 року, пункт 478 наступних дат) розподіленою енергією ми визначаємо сонячну, вітрову, гідро або геотермальну енергію, а також біомасу та біогаз (в основному надходять від агрохарчової промисловості

та безпосередньо від сільського господарства), а також муніципальні відходи, які можна використовувати для енергетичних цілей [9,10].

Міжнародна рада великих електроенергетичних систем CIGRE визначає розподілену електроенергію як усі виробничі одиниці потужністю 50 МВт з крайнім обмеженням до 100 МВт, які зазвичай підключені до розподільної мережі та які не організовані централізовано та не диспетчеризовані. Друга частина їх опису передбачає, що розподілені виробничі одиниці поза контролем адміністратора мережі передачі. Таким чином, створення одиниць, побудованих адміністратором мережі передачі замість розвитку мережі та які мають заходи диспетчеризації, не розглядаються як розподілена генерація, як зазначено в цій філософії [11,12]. Порczyk визначає розподілену енергію як модель, у якій одержувач енергії, виробляючи тепло або електроенергію для власних потреб, є водночас її виробником і споживачем (prosumer). Групи споживачів – це домогосподарства, фермерські господарства та малі та середні підприємства, які розташовані переважно в районі сіл та приміських зонах. [13–15].

Розподілена генерація, яка визначається як «виробництво електроенергії в розподільних мережах або на стороні споживача» [16], здається перспективним способом надання доступу до енергії в сільських регіонах, які не приєднані до матриці [17–19]. Насправді низька густина населення та низьке споживання енергії провінційними споживачами можуть гармоніювати з адаптивністю та масштабованістю розділених електростанцій. Поєднання розділеної генерації з екологічно чистими джерелами енергії (такими як сонце, вітер, вода, біомаса та геотермальна енергія) можна описати як розподілену відновлювану енергію (DRE) [20,21].

Модель розподіленої енергії переважає над централізованою системою в тому, що вона має перевагу в економічній, технічній, соціальній і, звичайно, екологічній сферах. Чим більше енергії виробляється таким чином, тим менше енергії доведеться виробляти на електростанціях. Завдяки тому, що споживачі з власними установками зменшують попит на енергію. Використання розподіленої енергії робить кожного вигодоотримувачем, оскільки з належним чином побудованою

системою державних субсидій і системою оподаткування кожен може отримати вигоду від розподіленої енергії. Це стосується і самих продавців енергії, де вони можуть перепродавати надлишок виробленої ними енергії в мережу, а також малих виробників, оскільки процвітання розподіленої енергії сприятиме збільшенню кількості підприємств, що виконують, монтажні та обслуговування установок, а також створення нових робочих місць на місцевих ринках, а тим більше в сільській місцевості. Дуже часто розподілену енергію також називають «енергією громадян». Кассенберг визначає громадську енергію як «систему, в якій особи, організації, установи та компанії поза енергетичним сектором беруть активну участь у виробництві, передачі та управлінні енергією. Це локальне та маломасштабне виробництво електроенергії та тепла з відновлюваних джерел та використання рішень, що підвищують енергоефективність. Громадянська енергія – це також участь місцевих громад у більших проектах ВДЕ (відновлюваних джерел енергії). Це також створення місцевих альтернатив централізованій енергетичній системі, де домінують компанії» [22–24].

Основою громадянської енергії є безпосередня участь громадян. Як демократична система, вона надає всім учасникам можливість вигідно виробляти та використовувати енергію. Від його розвитку виграють усі: мешканці міст і сіл, органи місцевого самоврядування, підприємці, ЖБК та кооперативи, а також громадські організації. Серед іншого виробниками енергії зможуть стати лікарні, клініки, школи, дитячі садки та притулки для тварин. Громадянська енергія може розвиватися по всій країні, у кожному регіоні, у кожному муніципалітеті та в кожному населеному пункті [25,26]. Майбутнє з низьким рівнем викидів вуглецю сильно залежить від маломасштабної, децентралізованої та розподіленої генерації в сільській місцевості, вирішення місцевих проблем, одночасно задовольняючи попит на енергію за допомогою екологічно чистих джерел енергії, що належать місцевим громадам. Розроблені на місцевому рівні та вбудовані енергетичні проекти можуть принести користь місцевим жителям і підприємствам, підвищуючи безпеку енергопостачання. Кілька тематичних досліджень свідчать про те, що співпраця між місцевими

зацікавленими сторонами є основою для перетворення ВДЕ в масштабі громади [27,28].

Крім того, спостерігається чіткий зсув від дослідження ролі держави чи капіталу в трансформації сільської периферії до «нового регіоналізму» з чітким підходом «знизу вгору». Відповідно до цього підходу, «ключовим питанням розвитку сільської місцевості є вже не здатність регіону залучати бізнес з-за меж регіону, а використання його місцевих ресурсів для отримання збалансованого переходу». У цьому контексті місцеві підприємства та соціальні учасники були визначені як ключові рушійні сили для впровадження та інституціоналізації мікрогенерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії [29,30]. Національні консультативні фірми, фінансові установи, національні та місцеві органи влади беруть на себе менш значну роль, ніж мережеві організації, які починають процес розподіленої енергії. Основна ідея побудови стійких громад полягає в тому, що ці громади сприяють національній енергетичній безпеці, сприяють соціальному розвитку та соціальному бізнесу, розширюють можливості професійного та регіонального розвитку. Наприклад, вітроенергетичні проекти, де 100% власності є місцевою, створюють вдвічі більше довгострокових робочих місць і в 1–3 рази більший економічний ефект, ніж утримувані вітрові проекти Зрештою, важливо припустити, що сусідні мешканці залучені до покращення проекту ВДЕ на місцевому рівні, вони досить часто будуть пам'ятати про доброзичливі схеми використання енергії [31–33].

При розробці енергетичної моделі в даному регіоні слід звернути увагу на питання вибору варіантів і організації виробництва енергії. Кожен вибір у деяких випадках має надзвичайно далекосяжні наслідки, і його результати, як правило, очікуються дуже складними. Якщо при плануванні виробництва енергії на даній території вибрано оптимальний варіант, то рішення повинно бути багатоплановим, з урахуванням різних питань. Оцінюючи можливості отримання енергії, не можна покладатися лише на фінансовий аналіз інвестицій, але також брати до уваги такі важливі питання, як, наприклад, екологічні аспекти



(екологічні витрати, втрата родючості ґрунту), агроенергетичні аспекти, інноваційні аспекти, організаційні аспекти або соціальні.

Вибір варіанту реалізації проекту при плануванні створення енергетики в даному регіоні додатково вимагає вивчення варіантів на предмет їх позитивного та поганого впливу. Позитивні сторони включають в себе переваги і відкриті двері, а негативні - компоненти, пов'язані з витратами і ризиками. Проблема з оцінкою цих аспектів зазвичай полягає в труднощах виразу їх математичними термінами. Наприклад, деякі з переваг є якісними, як-от екологічні вигоди або компоненти ризику [34,35]. Вибір часто є довільним або абсолютно інтуїтивним рішенням, яке не підтверджується жодним стратегічним плануванням чи перевіркою. Щоб уникнути помилок і випадковості рішень, важливо встановити критерії та цілі діяльності до того, як приступити до проектування енергетичної моделі досліджуваного регіону. У цьому плані цілі можуть бути різними:

- конкурентна ціль — коли збільшення значення однієї з цілей призводить до зниження реалізації іншої, наприклад, максимізація прибутку та збільшення розміру його ризику,

- поєднані цілі, між якими існує зв'язок, що просування до однієї цілі супроводжується підвищенням іншої,

- додаткові цілі, які підтримують одна одну,

- додаткові цілі — незалежні одна від одної, зменшення або збільшення досягнення однієї не впливає на розмір іншої цілі [36,37].

Зв'язки, зображені між різними цілями, непостійні. Будь-яка з них може переходити до іншої, що стоїть на розмірі абсолютної генерації відновлюваної енергії. Цілі також можуть бути взаємодоповнювальними, тобто доповнювати одна одну в застосуванні одного елемента виробництва і одночасно змагатися одна з одною за інший фактор.

Важко визначити суть зв'язків між різними правилами. Їх організованість можна помітити саме під час оптимізації математичної моделі плану виробництва енергії в даному регіоні. Метою модельного планування є створення виробничого плану, який би максимально досягав індивідуальних

цілей відповідно до своїх переваг [38–43]. Таблиця 1 нижче показує схему проведеного опитування.

Таким чином, організовуючи створення енергії, важливо звертатися до перевірених наукових методів. Вони включають методи лінійного програмування.

Застосування методу лінійного програмування при побудові математичної моделі оптимізації виробництва енергії.

Застосування методу лінійного програмування дозволяє побудувати математичну модель виробництва електроенергії з ВДЕ досліджуваної території, розв'язок якої буде враховувати різні види витрат.

Таблиця 8.1 - Схема проведеного дослідження

Аналіз літератури	Аналіз літератури в галузі енергетики з метою виявлення науково-теоретичних прогалин та вибору проблеми дослідження. У результаті літературних досліджень було помічено неефективність існуючої енергетичної системи. Зазначення альтернатив де може бути розвиток мереж з низьким рівнем викидів та відновлюваних джерел енергії. Показання розподіленої енергії як ефективного вирішення проблеми роботи традиційної енергії
Проблема дослідження	Ведення до ідентифікації змінних у моделі (концептуалізація змінних).
Вибір методів дослідження	Використання тріангуляції на трьох рівнях (джерела даних, дослідження, методи та дослідницьке середовище), що підвищує достовірність і точність висновків. Вибір методу пошуку оптимального рішення - лінійне програмування з багатокритеріальною цільовою функцією
Дослідження. Аналіз даних	Збір кількісних даних, які відповідають основним критеріям і правовим умовам. Побудова математичної моделі. Побудова цільової функції – її коефіцієнти і обмежувальні умови, що випливають із правових умов енергетичного сектору. Пошук оптимального рішення з використанням методів лінійного програмування.
Висновки	Інтерпретація отриманого оптимального рішення щодо забезпечення енергетичної безпеки в умовах інноваційної, екологічної та відкритої до конкуренції регіональної енергетики з використанням місцевих енергоресурсів.

Джерело: розроблено авторами

Наступні змінні рішення повинні бути введені в модель, яку описано в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 - Змінні, використані в моделі

Змінна	Назва змінної	Одиниця	Коментарі
1	2	3	4
X1	Обсяг виробленої невідновлюваної енергії	кВт/год	
X2	Кількість енергії, виробленої в результаті спільного спалювання,	кВт/год	
X3	Обсяг виробленої гідроенергії	кВт/год	З діючих установок (до кінця 2017р)
X4	Обсяг виробленої гідроенергії	кВт/год	В нових установках (з січня 2018)*
X5	Обсяг виробленої сонячної енергії	кВт/год	
X6	Виробляється на вітряних млинах у домашньому господарстві	кВт/год	
X7	Кількість енергії, виробленої вітровими електростанціями	кВт/год	З діючих установок (до кінця 2017р)
X8	Обсяг виробництва енергії та вітру	кВт/год	В нових установках (з січня 2018)*
X9	Кількість енергії, виробленої з біогазу	кВт/год	
X10	Високоєфективна когенерація із загальною встановленою електричною потужністю менше 1 MW	кВт/год	В нових установках (з січня 2018)*
X11	Кількість енергії виробленої з біогазу	кВт/год	
X12	Кількість енергії виробленої з біопаива		
X13	Кількість енергії виробленої в результаті спалювання біомаси з існуючих котлів	кВт/год	до кінця 2017
X14	Кількість енергії в результаті спалювання біомаси	кВт/год	з січня 2018*
X15	Кількість енергії отриманої з геотермальної енергії	кВт/год	

## Продовження таблиці 8.2

1	2	3	4
X16	Річне виробництво електроенергії з різних джерел енергії	кВт/год	
X17	Розміри вирощування сировини для отримання біомаси (біомаса – міскантус)	кВт/год	
X18	Розміри вирощування сировини для отримання біомаси (біомаса-тополя)	кВт/год	
X19	розміри вирощування сировини для отримання біомаси (біомаса-сида)	кВт/год	
X20	Розміри вирощування сировини для отримання біомаси (біомаса-топінамбур)	кВт/год	
X21	Розміри вирощування сировини для отримання біомаси (біомаса-рапс)	кВт/год	
X22	розміри вирощування сировини для отримання біомаси (біомаса – зернові культури)	кВт/год	
X23	Розміри вирощування сировини для отримання біомаси (біомаса – кукуруза)	кВт/год	
X24	Розміри вирощування сировини для отримання біомаси (біомаса – свекла)	кВт/год	

Примітка: \* 29 червня 2018 року Президент Польщі підписав Закон від 7 червня 2018 року про внесення змін до Закону про відновлювані джерела енергії та деяких інших актів, на підставі якого було змінено визначення в Законі про будівництво та визначення вітрової електростанції в Законі від 20 травня 2016 року про інвестиції у вітрові електростанції. Змінені положення набули чинності заднім числом з 1 січня 2018 року.

Джерело: розроблено авторами.

Цільова функція моделі оптимізації виробництва енергії (коефіцієнти зі змінними рішення від  $x_1$  до  $x_{15}$ ) складається з:

- витрат, пов'язаних з виробництвом,
- витрат, пов'язаних з екологічними сертифікатами,
- витрат на виплати EUA,
- витрат на зберігання енергії для кожного виду енергії, а також:
- витрат на втрату родючості ґрунтів, спричинені їх використанням для виробництва сировини для біомаси, біогазу, біопалива та товарного сільськогосподарського виробництва (коефіцієнти при змінних рішення від  $X_{17}$  до  $X_{24}$ ).

Коефіцієнт як функція цілі для змінних від  $X_{17}$  до  $X_{24}$  позначає собівартість одиниці виробництва енергії з енергетичних культур. Під ним розуміють кількість індивідуальних зусиль, які необхідно докласти у зв'язку з втратою родючості ґрунтів, спричиненою їх експлуатацією, щоб повернутися до початкового стану.

У оптимізаційній моделі мінімізується лише одна функція,  $L(x)$ , яка є компонентом вищевказаних компонентів.

Цільова функція моделі прийняття рішень має такий вигляд:

$$L(x) = \sum k_i \cdot x_i = k_1 \cdot x_1 + \dots + k_{24} \cdot x_{24} \rightarrow \min \quad (8.2)$$

де  $x = [x_1, x_2, \dots, x_{24}]$  вектор змінних рішень,  $k_i$  означає вартість одиниці виробництва певної кількості енергії (з  $x_1$  до  $x_{15}$ ) для виробництва енергії з енергетичних культур (з  $x_{17}$  до  $x_{24}$ ).

Усі частини наступних граничних рівнянь (8.2) - (8.14) позначені:  $e_j$  or  $e_j$   
 $k$  - це числові значення, отримані в результаті припущень, зроблених для моделі.

Відповідно до обмежувальних рівнянь (8.2) - (8.14), що впливають із припущень Проекту енергетичної політики, Польща до 2040 р. від 23 листопада 2018 р.:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} = x_{16} \quad (8.2)$$

Рівняння (8.2) передбачає, що сума виробництва та енергії з невідновлюваних і відновлюваних джерел представляє загальний обсяг виробництва та енергії:

$$x_{16} \geq e_{16} \text{ кВт/год} \quad (8.3)$$

Рівняння (8.3) припускає, що виробництво енергії в тестовій зоні буде не менше, ніж об'єм енергії, визначений а  $e_{16}$  кВт/год. Проект припускає, що надлишок енергії, вироблений у певному регіоні, може бути експортований в інші регіони.

$$x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} = 0.3 \cdot x_{16} \quad (8.4)$$

Рівняння (8.4) означає, що 30% загального виробництва буде отримано з відновлюваної енергії.

$$x_6 + x_7 + x_8 \geq e_{6-8} \text{ кВт/год} \quad (8.5)$$

Рівняння (8.5) передбачає, що виробництво енергії вітру буде не менше розміру  $e_{6-8}$  кВт/год

$$x_8 \leq e_8 \text{ кВт/год} \quad (8.6)$$

Рівняння (8.6) припускає, що відповідно до поправки до Закону про інвестиції у вітряні електростанції, широко відомого як «Антивітряк»,

загальний енергетичний потенціал території від цього виду енергії не перевищуватиме розмір  $e_8$  кВт/год

$$x_9 + x_{10} + x_{11} \geq e_{9-11} \text{ кВт /год} \quad (8.7)$$

Рівняння (8.7) передбачає, що виробництво енергії з біогазу буде не менше розміру  $e_{9-11}$  кВт /год

Рівняння (8.8) передбачає, що виробництво енергії з біопалива буде принаймні на рівні  $e_{12}$  кВт /год

$$x_{13} + x_{14} \geq e_{13-14} \text{ кВт /год} \quad (8.9)$$

Рівняння (9) передбачає, що виробництво енергії з біомаси буде не менше розміру  $e_{13-14}$  кВт /год

$$x_{15} \geq e_{15} \text{ кВт /год.} \quad (8.10)$$

Рівняння (8.10) припускає, що виробництво енергії з геотермальної енергії буде не менше, ніж рівень  $e_{15}$  кВт/год.

$$x_1 \leq e_1 \text{ кВт/год} \quad (8.11)$$

Розмір  $e_1$  кВт /год у рівнянні (8.11) означає максимальний обсяг виробництва і традиційної енергії.

$$x_2 \leq e_2 \text{ кВт /год} \quad (8.12)$$

Рівняння (8.12) припускає, що виробництво енергії від спільного спалювання становитиме не більше ніж  $e_2$  кВт/год.

$$x_3 + x_4 \geq e_{3-4} \text{ кВт /год} \quad (8.13)$$

Рівняння (8.13) припускає, що виробництво гідроенергії буде не менше розміру  $e_{3-4}$  кВт.

$$x_5 \geq e_5 \text{ kWh} \quad (8.14)$$

Рівняння (8.14) передбачає, що виробництво сонячної енергії буде не менше розміру  $e_5$  кВт через інноваційне вдосконалення фотоелементів і буде ефект масштабу, що призведе до зменшення витрат на виробництво кВт-год енергії.

При умовних краях, заданих у загальному вигляді закономірністю (8.14). Вони додають, що всі змінні рішення повинні бути невід'ємними.

$$\lambda_i x_i \geq 0 \text{ for } i \in \{1, \dots, 24\} \quad (8.15)$$

Оптимізація цільової функції, заданої формулою (8.2) з граничними рівняннями (8.3)-(8.14) і граничним рівнянням (8.15), дає рішення, включені в робочу частину оптимізації  $x = [x_1, x_2, \dots, x_{24}]$ .

Технічна інформація, необхідна для визначення значень коефіцієнтів, цільова функція та граничні значення для граничних умов.

Для побудови моделі та оптимізації спочатку були розраховані значення техніко-економічних параметрів і встановлено мінімальний або максимальний рівні балансових станів (а не граничні умови).

З урахуванням характеристик збурень у розподільній мережі nN, а також переліку технічних характеристик, експлуатаційних вимог у вибраних технологіях. Складено вимоги до систем кондиціонування енергії, обладнаних накопичувачем енергії та встановлених у мережах nN для реалізації окремих видів мережевих послуг.

Модель вибрала п'ять типів системних послуг, які будуть надаватися за допомогою накопичувачів енергії:

- Послуга 1: стабілізація потужності відновних джерел енергії;
- Послуга 2: регулювання напруги з активною та реактивною потужністю;
- Послуга 3: компенсація реактивної потужності та деформації;
- Послуга 4: стабілізація живлення неспокійних приймачів;
- Послуга 5: Зменшення потужності за потребою.



Схильність до надання індивідуальних послуг з використанням конкретної технології підсумовано в таблиці 3.

У моделі розвитку розподіленої енергетики в Західнопоморському воєводстві було обрано технологію зберігання енергії, яка відповідає критеріям п'яти типів системних послуг. Ця технологія характеризується найменшою вартістю зберігання енергії.

Таблиця 8.3 - Можливість надання системної послуги за заданою технологією накопичення електроенергії

Функціональність	Компенсація реактивної потужності та деформацій	Стабілізація потужностей ВДЕ	Стабілізація потужності приймачів	Регулювання напруги за активною та реактивною потужністю	Зниження потужності за вимогою
Система 1 (EDLC)	+	+	+	-	-
Система 2 (LIC)	+	+	+	-	-
Система 3 (LFP)	+	+	+	+	+
Система 4 (LTO)	+	+	+	+	+
Система 5 (VRLA)	+	-	-	+	+

Джерело: розроблено авторами.

У моделі розвитку розподіленої енергетики в було обрано енергетичну технологію LTO, що відповідає критеріям п'яти типів системних послуг (таблиця 8.3) і з меншою вартістю накопичення енергії (таблиця 8.4) у розмірі PLN 0,22. Виробництво електроенергії згідно з прогнозом, що міститься в проекті Енергетичної політики Польщі до 2040 року, збільшиться приблизно на 30% у 2030 році порівняно з 2015 роком. Таким чином, значення виробництва енергії у 2015 та 2030 роках становитимуть 10015,6 ГВт·год та 11956,08 ГВт·за год відповідно. Модель у 2030 році передбачає використання потенціалу виробництва енергії з біомаси на 27%. Потужність енергії, створеної з біомаси, становитиме мінімум 3228,14 ГВт-год. Тоді як, відповідно до Програми розвитку енергетики до 2015 року з перспективою до 2030 року, розрахункова потужність вітроенергетики у 2030 році збільшиться до 1000 МВт.

Таблиця 8.4 - Перелік призначених інвестиційних та експлуатаційних витрат на контейнери, виготовлені за вибраними технологіями

Тип*	Ціна зберігання енергії [злотих/кВт/год]
EDLC	0,17
LIC	0,15
LiFePO4	4,03
LTO	0,22
VRLA	2,78

Примітка: Зберігання суперконденсаторів EDLC (Electric Double Layer Capacitors); контейнер із суперконденсаторами LIC (Lithium-Ion Capacitor); лоток з акумуляторами LFP (літій-ферофосфат LiFePO4); контейнер з батареями LTO (літій титанат оксид); VRLA (свинцево-кислотна батарея, регульована клапаном).

Джерело: розроблено авторами.

Коефіцієнти цільової функції, тобто собівартість одиниці для кожного виду виробленої енергії, включені в таблицю 8.5 (від X1 до X15), а питомі витрати на виробництво енергії з енергетичних культур включені в таблицю 6 (з X17 до X24).

Таблиця 8.5 - Коефіцієнти витрат для кожного виду енергії [злотих/кВт-год]

Тип енергії	Витрати				
	Виробництво	Сертифікація	Екологічні (EUA)	Зберігання (LTO)	Кількість ( $k_i$ )
x1	0.72	0.00	0.032	0.00	0.75
x2	0.87	0.00	0.025	0.00	0.90
x3	0.04	0.03	0.001	0.22	0.29
x4	0.04	0.03	0.001	0.22	0.29
x5	0.17	0.11	0.001	0.22	0.49
x6	0.07	0.04	0.001	0.22	0.33
x7	0.07	0.04	0.001	0.22	0.33
x8	0.02	0.01	0.001	0.22	0.25
x9	0.34	0.21	0.012	0.22	0.78
x10	0.34	0.21	0.012	0.22	0.78
x11	0.34	0.21	0.012	0.22	0.78
x12	0.59	0.36	0.012	0.22	1.18
x13	0.09	0.06	0.000	0.22	0.37
x14	0.04	0.03	0.000	0.22	0.29
x15	0.09	0.06	0.001	0.22	0.37

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 8.6 - Вартість виробництва енергії з енергетичних культур [кВт·год/га]

Енергетичні ресурси	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24
Собівартість одиниці продукції, $kj$	0,18	0,35	0,17	0,07	0,04	0,50	0,34	0,50

Джерело: розроблено авторами.

Оптимізаційна модель має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 L_1(\mathbf{x}) = & 0.75 \cdot x_1 + 0.90 \cdot x_2 + 0.29 \cdot x_3 + 0.29 \cdot x_4 + 0.49 \cdot x_5 + 0.33 \cdot x_6 + 0.33 \cdot x_7 + 0.25 \cdot x_8 \\
 & + 0.78 \cdot x_9 \\
 & + 0.78 \cdot x_{10} + 0.78 \cdot x_{11} + 1.18 \cdot x_{12} + 0.37 \cdot x_{13} + 0.29 \cdot x_{14} + 0.37 \cdot x_{15} + 0.18 \cdot x_{17} \\
 & + 0.35 \cdot x_{18} + 0.17 \cdot x_{19} + 0.07 \cdot x_{20} + 0.04 \cdot x_{21} + 0.50 \cdot x_{22} + 0.34 \cdot x_{23} + \\
 & + 0.50 \cdot x_{24} \rightarrow \min \quad (8.1)
 \end{aligned}$$

Згідно з обмежувальними рівняннями (8.17) - (8.29), що впливають із припущень Проекту енергетичної політики Польщі до 2040 р. від 23 листопада 2018 р. Значення юридичної сторони наступних обмежувальних умов є результатом прийнятих припущень і узгоджуються з аналізом поточної формальної, правової та ринкової ситуації та технічних умов для використання та розвитку відновлюваних джерел енергії.

$$\begin{aligned}
 & x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + \\
 & + x_{14} + x_{15} = x_{16} \quad (8.17)
 \end{aligned}$$

Рівняння (8.17) означає, що сума кількостей виробленої енергії (від  $x_1$  до  $x_{15}$ ) дорівнює загальному виробництву енергії  $x_{16}$ .

$$x_{16} \geq 1195608000 \quad (8.18)$$

$e_{16} = 1195608000$  це кількість енергії в кВт/год, що дорівнює потребі в енергії.

Рівняння (8.18) передбачає обмеження кількості виробленої енергії для потреб цього регіону на рівні 1195608000 кВт/год.

$$x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} = 0.3 \cdot x_{16} \quad (8.19)$$

Рівняння (8.19) гарантує, що 30% загального виробництва енергії в регіоні надходить з відновлюваної енергії.

$$x_6 + x_7 + x_8 \geq 3011640000 \quad (8.20)$$

Рівняння (8.20) передбачає, що мінімальний рівень виробництва та енергії вітру буде 3011640000 кВт/год.

$$x_8 \leq 840000000 \quad (8.21)$$

Рівняння (8.21) гарантує, що виробництво енергії на нових ВЕС з 1 січня 2018 р. не перевищуватиме рівень 840000000 кВт/год.

$$x_9 + x_{10} + x_{11} \geq 608500000 \quad (8.22)$$

Рівняння (8.22) передбачає, що виробництво енергії з біогазу буде не нижчим за рівень 608500000 кВт/год.

$$x_{12} \geq 25500 \quad (8.23)$$

Рівняння (8.23) припускає, що виробництво енергії з біопалива буде рівним або більшим 25500 кВт/год.

$$x_{13} + x_{14} \geq 238200000 \quad (8.24)$$

Рівняння (8.24) передбачає, що виробництво енергії від спалювання біомаси буде не менше, ніж 238200000 кВт/год.

$$x_{15} \geq 0 \text{ kWh} \quad (8.25)$$

Рівняння (8.25) передбачає, що мінімальний обсяг виробництва енергії з геотермальної енергії може бути 0 кВт/год, допускається, що цей вид енергії не вироблятиметься.

$$x_1 = 0 \text{ кВт/год} \quad (8.26)$$

Рівняння (8.26) припускає, що звичайна енергія не буде вироблена, тобто об'єм (у загальній моделі граничне рівняння (8.10) має форму нерівностей. Через значення 0, прийняте в правій частині умови у сценаріях позначення було змінено, щоб зберегти його математичний зміст) виробництва та традиційної енергії буде 0 кВт/год.

$$x_2 \leq 6907531938 \quad (8.27)$$

Рівняння (8.27) припускає, що максимальне виробництво енергії від спільного спалювання буде не більше ніж 6907531938 кВт/год.

$$x_3 + x_4 \geq 313770000 \quad (8.28)$$

Рівняння (8.28) передбачає, що виробництво гідроенергії становитиме принаймні 313770000 кВт/год.

$$x_5 \geq 9590000 \quad (8.29)$$

Рівняння (8.29) припускає, що виробництво сонячної енергії становитиме не менше ніж 9590000 кВт·год, і в результаті технологічного розвитку фотоелектричних елементів буде діяти ефект масштабу, що призведе до зниження вартості генерації кВт·год енергії.

Граничні умови, задані загалом формулою (30), припускають, що всі змінні мають бути невід'ємними.

$$i x_i \geq 0 \text{ для } i \in \{1, \dots, 24\} \quad (8.30)$$

Оптимальний модельний розв'язок для вказаної цільової функції за граничних рівнянь (8.18)–(8.28) і граничних умов даних із загальною формулою (8.30) міститься в Таблиця 8.7  $L_1(x)$  нижче.

Інтерпретація модельного рішення. Загальне виробництво електроенергії становить 11956,08 ГВт\*год (забезпечує потребу досліджуваної території).

Основними джерелами виробництва енергії, отриманими в оптимізаційній моделі, є:

- 4200,07 ГВт-год - загальна кількість енергії, виробленої в результаті спільного спалювання;

- 320,50 ГВт-год гідроенергії від ГЕС, введених в експлуатацію до 31 грудня 2017 року;

- 4,5 ГВт-год - це гідроенергія, яка може вироблятися на нових установках з 1 січня 2018 року;

- 187,99 ГВт-год - це сума сонячної енергії від установок до 31 грудня 2018 року (9,59 ГВт-год) і нових установок, які були побудовані з 1 січня 2018 року (295,61 ГВт-год);

Таблиця 8.7.- Оптимальні рішення

Типи енергії	Виробництво енергії	Енергетичні ресурси	Розміри урожаю
x1	0.00	x17	0.00
x2	4200.70	x18	0.00
x3	320.50	x19	0.00
x4	4.50	x20	0.00
x5	187.99	x21	0.00
x6	0.00	x22	0.00
x7	3575.08	x23	0.00
x8	245.50	x24	0.00
x9	30.45	-	-
x10	12.96	-	-
x11	54.06	-	-
x12	30.00	-	-
x13	238.20	-	-
x14	3049.94	-	-
x15	6.83	-	-
x16	11,956.08	-	-

Джерело: розроблено авторами

- 3575,08 ГВт-год вітрової енергії, виробленої на існуючих ВЕС до 31 грудня 2017 року;

- 245,50 ГВт-год - це енергія, яка може бути вироблена на нових ВЕС, побудованих з 1 січня 2018 року;

- 30,45 ГВт-год – це енергія, вироблена існуючими сільськогосподарськими біогазовими установками до 31 грудня 2017 року;

- 12,96 ГВт-год - це енергія, яка може бути вироблена на біогазових установках з високоефективною когенерацією із загальною встановленою електричною потужністю менше 1 МВт, з 1 січня 2018 р.;

- 54,06 ГВт-год - це енергія, яка може бути вироблена на нових біогазових установках з очисних споруд та біогазу зі звалищ, створених з 1 січня 2018 року;

- 30,00 ГВт-год виробництва енергії з біогазу в нових установках з 1 січня 2018 р.;

- 238,20 ГВт-год - це енергія, вироблена в існуючих котлах на біомасі до 31 грудня 2017 року;

- 3049,94 ГВт-год - це енергія, яка може бути вироблена в нових котлах на біомасі з 1 січня 2018 року;

- 6,83 ГВт-год - це енергія, яка може бути вироблена в нових геотермальних установках з 1 січня 2018 року.

У випадку енергетичних культур (X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24) економічний потенціал має великий вплив. Щоб використати цей потенціал, фермери повинні отримати ціну на біомасу, яку вони отримують за своє поточне виробництво продуктів харчування, і, крім того, премію за ризик для нового виробництва. У представленій моделі економічний потенціал дорівнює 0.

Отримане значення мінімальної вартості для оптимального рішення дозволило розрахувати середню вартість енергії. Отримання будівництва 1 МВт енергії становитиме 9 315 120 злотих або 2 076 479 євро.

Для розрахунку оптимального розв'язку наведених рівнянь використовувався інструмент Excel Solver.

На даний момент в енергетичному секторі, пов'язаному з монокультурою вугілля, бракує електроенергії, а вся система передачі електроенергії застаріла. Рішенням може бути розподілена енергія, яка в кінцевому рахунку може задовольнити енергопостачання в менш урбанізованих районах і в сільській місцевості, забезпечуючи при цьому сталий розвиток цих територій. Одним із питань, яке потребує уваги, особливо в контексті забезпечення енергетичної безпеки держави, є перебудова підходу до енергетики з центрального на місцевий.

Поки що мало авторів всебічно розглядали розподілену енергію. Дотепер не опубліковано жодних детальних досліджень з проблеми розосередженої енергетики в регіоні, не проведено детального аналізу можливості отримання альтернативних джерел енергії. Розглянуті питання дослідження сприяють розвитку знань про розподілену енергію. Розвиток місцевої енергетики є вигідним не лише через можливість забезпечення енергетичної безпеки та безперервності постачання, а й через необхідність впровадження припущень



директив ЄС, які приділяють особливу увагу енергоефективності та відновлюваним джерелам енергії. Для ефективної роботи в цій сфері необхідно залучати місцеву владу та органи місцевого самоврядування, співвідносити державну стратегію з інвестиційними планами муніципалітетів, адаптувати необхідне законодавство, вдосконалювати системи моніторингу та вирішити питання фінансування. На сьогодні не було інтересу до розподіленої енергії як з боку центрального енергетичного сектору, так і з боку регіональних і місцевих органів влади, що було викликано нестабільністю нормативних актів ЄС і національних норм, які не сприяють розвитку промислової та відновлюваної енергетики. Поточна енергетична політика держави не сприяє створенню автономних регіональних енергетичних систем, де головним суб'єктом прийняття рішень щодо розміру та структури виробленої енергії буде місцева влада, а не енергетичні компанії.

У контексті розвитку регіональної енергетики також велике значення має реструктуризація інфраструктури, розширення мереж передачі та їх адаптація до поточних потреб споживачів у сільській місцевості, а також локальний моніторинг попиту на електроенергію.

Використання накопичувачів енергії в розподіленій енергетиці для надання послуг енергопостачання стає все більш важливим питанням для переходу до низьковуглецевої енергетики. Це стало можливим завдяки прогресу в технології акумуляторів і суперконденсаторів за останні десятиліття. Це, в свою чергу, було зумовлено появою на ринку електроенергії нових типів навантажень, які пов'язані з розвитком електромобільності та відновлюваних джерел енергії.

Розроблена модель оптимізації розподіленої енергії також дуже корисна в регіональному енергетичному плануванні та підтримує розробку енергетичного та кліматичного плану для муніципалітету для досягнення цільових показників енергоефективності, відновлюваних джерел енергії та скорочення викидів парникових газів.

## **9 СЦЕНАРІЇ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ З УРАХУВАННЯМ КРИТЕРІЇВ МІНІМІЗАЦІЇ РОЗРИВІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Виробництво, споживання та викиди є невід'ємними складовими сучасності. Кожен із цих аспектів життя може бути шкідливим і необхідним для розвитку людства. На сучасному етапі виробництво відновлюваної енергії можливе і бажане, але досить дороге. Кожен проект, пов'язаний з розвитком відновлюваної енергетики, є складовою безпечного майбутнього світу, з меншими викидами в атмосферу та можливим покращенням глобального енергетичного балансу в бік чистоти та екологічності в цілому. Глобальне потепління пов'язане зі збільшенням концентрації вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) в атмосфері в результаті спалювання викопних природних ресурсів (нафти, вугілля, газу). У світовій та вітчизняній практиці використовуються різні підходи до стимулювання скорочення викидів CO<sub>2</sub>: нормативно-правові норми та обмеження обсягів викидів; ринково-екологічний менеджмент, системи торгівлі викидами; tax - оподаткування палива та викидів; підтримка інноваційного розвитку; зелені інвестиції екологічна стандартизація та сертифікація, стимулювання сталого споживання енергії.

Таким чином, актуальним є оцінювання впливу масштабів розвитку відновлюваної енергетики на обсяги декарбонізації національних економік. Метою роботи є обґрунтування та емпіричне підтвердження зв'язку між зростанням виробництва відновлюваної енергії в країнах та рівнем викидів CO<sub>2</sub>.

Оцінювання ефективності використання показників відновлюваної енергії в розрізі 112 країн світу запропоновано здійснити в межах п'яти етапів.

### *1. Формування вибірки індикаторів.*

Етап перший присвячений формуванню вхідної вибірки індикаторів відновлюваної енергії та індикаторів, які визначають регуляторне та правове поле функціонування даного сектору економіки.

Для проведення оцінювання ефективності показників відновлюваної енергії використано показники споживання відновлюваної енергії для 112 країн, що обліковуються базою даних світового банку зі сталої енергетики за даними глобальної системи відстеження SE4ALL та Міжнародним енергетичним агентством. Регуляторно-правові показники сформовано на основі звітів Міжнародної агенції RISE, яка займається формуванням бази даних та дослідженням нормативних показників сталої енергетики країн світу. Це дозволяє порівняти національні політики та нормативно-правові бази сталої енергетики різних країн. Отже, вхідною вибіркою дослідження є статистичні дані, а саме: K1 – споживання відновлюваної енергії; K2 – виробництва сонячної енергії; K3 – показник загального виробництва відновлюваної енергії; M4 – правова база для відновлюваної енергетики; M5 – потенціал розширення відновлюваної енергетики; M6 – стимули та регулятивна підтримка відновлюваної енергії; M7 – атрибути фінансових і регуляторних стимулів. Кожен з індикаторів M4 – M7 є вже агрегованими і вимірюються за 100-бальною шкалою (0 – найгірше, а 100 - найкраще значення показника).

*2. Перевірка щільності та напрямків взаємозв'язків між досліджуваними індикаторами.*

Дескриптивний аналіз з використанням інструментів описової статистики використано для формування статистично значущого ознакового простору показників споживання відновлюваної енергії, виробництва сонячної енергії, загального виробництва відновлюваної енергії, правової бази для відновлюваної енергетики, планування розширення відновлюваної енергетики, стимулів та регулятивної підтримки відновлюваної енергії, атрибутів фінансового та нормативного стимулювання.

Для оцінювання щільності та напрямків взаємозв'язків між досліджуваними індикаторами буде використано коефіцієнт Спірмена:

$$\rho = 1 - \frac{6}{n(n-1)(n+1)} \sum_{i=1}^n (R_i - S_i)^2, \quad (9.1)$$

де  $n$  – обсяг спостережень,

$R_i$  – ранг спостереження  $x_i$  в ряду змінної  $x$ ,

$S_i$  – ранг спостереження  $y_i$  в ряду змінної  $y$ ,  $\rho \in [-1; 1]$ .

### 3. Обґрунтування доцільності застосування методів кластеризації.

З метою виявлення ступеню впливу на результати проведеної кластеризації та розподілу країн на класи за схожими «поведінками» в розрізі використання індикаторів відновлюваної енергії (споживання відновлюваної енергії, виробництво сонячної енергії, загальне виробництво відновлюваної енергії) та регуляторно-правових індикаторів (правової бази відновлюваної енергетики, планування бази щодо розширення відновлюваної енергетики, стимулів та регулятивної підтримки відновлюваної енергії, атрибутів фінансових і регуляторних стимулів) доцільно реалізувати четвертий етап із застосуванням інструментів дискримінантного аналізу.

Для визначення оптимальної кількості кластерів використано формулу Стерджеса:

$$k = 1 + [3,322 \lg N] \approx 7,8 \quad (9.2)$$

де  $N$  – кількість країн дослідження.

Кластерний аналіз проведено за допомогою використання трьох методів: 1) методом Уорда (в якості відстані між кластерами використано прирощення суми квадратів відстаней об'єктів до центра кластера, що отримуються в

результаті їх об'єднання, табл. 9.4, формула 9.3); 2) методом  $k$ -середніх; 3) методом «найdaleший сусід» (здійснює кластеризацію на основі максимальної відстані між об'єктами, розглядає різноманітні пари і дозволяє уникнути проблем ланцюгів) за допомогою програмного забезпечення Statgraphics.

$$V_I = \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_{jI})^2, \quad (9.3)$$

де  $I$  – номер кластера,  
 $i$  – номер країни ( $i = 1, 2, \dots, n_I$ ),  
 $n_I$  – кількість країн в  $I$ -му кластері,  
 $j$  – номер індикатора ( $j = 1, 2, \dots, l$ ),  
 $l$  – кількість індикаторів, що включаються в кожну країну.

Застосування даного підходу дозволить порівняти результати кластеризації між собою та обрати оптимальний метод для подальшого оцінювання ефективності показників відновлюваної енергії в розрізі кожного класу.

*4. Перевірка якості розподілу на кластери (класи) країн з використанням канонічних дискримінантних функцій.*

Теорія та сутність алгоритму побудови канонічних дискримінантних функцій схожа з методами та цілями головних компонент у факторному аналізі: розроблення канонічних дискримінантних функцій та подальше їхнє впровадження здійснюється за допомогою створення упорядкованих за значущістю функцій, аналогічних до головних компонентів факторного аналізу. Середні значення дискримінантної функції для різних кластерів, що найбільш суттєво відрізняються один від одного, визначають вибір першої дискримінантної функції. Друга дискримінантна функція обирається аналогічно, але так, щоб не було кореляції з першою. Третя функція не повинна корелювати з першими двома. Таким чином, перші три-п'ять дискримінантних

функцій (головних) містять усю інформацію про відмінність між кластерами (класами). Відмінності між класами за кількісними значеннями певного показника оцінюються методами дисперсійного аналізу. Отже, за своїм змістом дискримінантні функції є деякі агреговані (узагальнюючі) змінні, що складаються у вигляді лінійних комбінацій початкових ознак, у просторі яких найбільш чітко видно відмінності між класами. Коефіцієнти лінійних комбінацій визначаються з умови максимуму певного функціонала, що характеризує відмінності між класами.

У загальному випадку, можна розглядати у як деяку змінну, наприклад, одна з  $m$  з початкових ознак  $x_j$ . Необхідно визначити її загальне середнє значення  $\mu$  та середньогрупові  $u_p$  – середні значення в кожному класі. Для виявлення відмінностей між класами потрібно обчислити суми квадратів відхилень дисперсій (4, 5) (загальної  $SS_y$ , міжгрупової  $SS_e$  та внутрішньогрупові  $SS_u$ ) та визначити значення числових характеристик (9.6):

$$SS_y = SS_e + SS_u \quad (9.4)$$

Тобто

$$\begin{aligned} \sum_{p=1}^k \sum_{q=1}^{h_p} (y_{pq} - \mu)^2 \\ = \sum_{p=1}^k \sum_{q=1}^{h_p} (y_{pq} - u_p)^2 + \sum_{p=1}^k \sum_{q=1}^{h_p} (u_p - \mu)^2 \end{aligned} \quad (9.5)$$

В залежності від значень числових характеристик (9.6), здійснюються висновки про результати дискримінантного аналізу: чим більші величини цих статистик, тим більш потужним дискримінатором є ознака (показник)  $y$ :

$$\eta^2 = \frac{SS_u}{SS_y}, \lambda = \frac{SS_u}{SS_e}, F = \lambda \frac{n-k}{k-1}, \quad (9.6)$$

де  $\eta^2$  – кореляційне відношення;  
 $F$  – дисперсійне відношення Фішера;  
 $n$  – загальна кількість спостережень.

Для визначення дисперсійного відношення Фішера існують спеціальні таблиці, де для кожної пари числа ступенів свободи наведені квантилі  $F_{0,05}$  та  $F_{0,01}$ . Якщо обчислене значення  $F < F_{0,05}(k-1, n-k)$ , то показник  $y$  є поганим дискримінатором (за його значенням не можна зробити достовірних висновків про відмінності між класами). Добрим дискримінатором вважається показник для якого виконується умова:  $F < F_{0,01}(k-1, n-k)$ .

Кореляційне відношення  $\eta^2 = \frac{\lambda}{1+\lambda}$  змінюється від 0 до 1. Значення 0 говорить про те, що ознака  $y$  не є дискримінатором. Значення 1 – ознака  $y$  є ідеальним (найпотужнішим) дискримінатором.

*5. Оцінювання ефективності використання джерел відновлюваної енергії.*

Застосування дискримінантного аналізу дозволить виявити ступені впливу ознак відновлюваної енергії в умовах політичної нестабільності на результати кластеризації країн. Аналіз охоплення даних буде проведено з використанням програмного забезпечення Frontier Analyst. Оцінювання буде проведено за допомогою методології DEA-аналізу input-орієнтованої CCR-модель (модель Чарнеса-Купера-Родеса, що дозволяє визначити максимальний ефект за умови мінімізації зважених вхідних параметрів у відношенні до будь-якого нормованого виходу).

Ефективність визначається з точки зору мінімізації значень викидів CO<sub>2</sub>. Базовими моделями DAE-аналізу є пряма та двоїста input-орієнтована CCR-модель (9.7) (модель Чарнеса-Купера-Родеса) пряма та двоїста input-орієнтована BCC-модель (9.8) (модель Банкера-Чарнеса-Купера), двоїста сумарна VarMulti-модель (9.9) (табл. 9.2):

Таблиця 9.2 - Базові моделі DAE-аналізу

Функціональне подання моделі		
$\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \rightarrow \max$	за умови $\sum_{i=1}^r v_i x_i = 1, u_j, v_i \geq 0$	(9.7)
$\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} + a_0 \rightarrow \max$	за умови $\sum_{i=1}^r v_i x_i = 1, u_j, v_i \geq 0$	(9.8)
$\sum_{j=1}^s u_j \log(y_{j0}) - \sum_{i=1}^r v_i \log(x_{i0}) \rightarrow$ $\max$	за умови $\sum_{i=1}^r v_i x_i = 1, u_j, v_i \geq 0$	(9.9)

Джерело: побудовано авторами на основі (Scholarly, 2021; Charnes et al., 1978; Banker et al., 1984)

В формулах (7-9)  $x_i$  – вхідні показники, загальна кількість яких  $r$ ;  $y_j$  – вихідні показники, загальна кількість яких  $s$ ;  $v_i, u_j$  – вагові коефіцієнти вхідних та вихідних показників відповідно,  $a_0$  – константа (стала величина, без обмежень).

Отже, для проведення оцінювання ефективності діяльності країн щодо використання джерел відновлюваної енергії застосовано ССР-модель (модель Чарнеса-Купера-Родеса):

$$e_0 = \frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}} \rightarrow \min \quad (9.10)$$

При виконанні умов мінімізації (9.11):

$$\frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{im}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{jm}} \geq 1; m = 1, 2, \dots, n; u_j \geq 0; j = 1, 2, \dots, s; v_i \geq 0; i = 1, 2, \dots, r \quad (9.11)$$

де  $e_0$  – значення ефективності досліджуваного елемента;

$n$  – кількість одиниць, які порівнюються;

$r$  – кількість вхідних параметрів;



$s$  – кількість вихідних параметрів;

$x_{i0}$  – вираз  $i$ -того вхідного параметра досліджуваного елемента;

$y_{j0}$  – вираз  $j$ -того вихідного параметра досліджуваного елемента;

$x_{im}$  – вираз  $i$ -того вхідного параметра  $m$ -того елемента з  $i = 1, \dots, r$  і  $m = 1, \dots, n$ ;

$y_{jm}$  – вираз  $j$ -того вихідного параметра  $m$ -того елемента з  $i = 1, \dots, r$  і  $m = 1, \dots, n$ ;

$v_i$  – зважування вхідного параметра  $i$  з  $i = 1, \dots, r$ ;

$u_j$  – зважування вихідного параметра  $j$  з  $j = 1, \dots, s$ .

Ключовими показниками для проведення аналізу ефективності розвитку відновлювальних джерел енергії обрано такі показники: обсяги виробництва електроенергії з відновлюваних джерел, обсяги виробництва сонячної електроенергії, викиди діоксиду вуглецю CO<sub>2</sub>. The data were generated from analytical reports of World Bank.

Для визначення якості та статистичної значущості вхідного простору індикаторів відновлюваної енергії в межах першого етапу дослідження застосовано процедуру дескриптивного багатовимірного аналізу за допомогою програмного забезпечення Statgraphics 19, результати числових характеристик наведено у таблиці 9.3.

Значення коефіцієнту варіації перевищує 5%, це свідчить про статистичну значущість індикаторів відновлюваної енергії в умовах політичної нестабільності, що формують вхідну вибірку даних. Слід також звернути увагу на індикатори, для яких значення стандартизованих коефіцієнтів асиметрії та ексцесу виходять за межі інтервалу (-2;2), оскільки в залежності від мети їх використання, наприклад, розроблення економетричних моделей та застосування певних методів багатовимірного статистичного аналізу інтерпретації отриманих результатів, вони можуть не задовольняти відповідні тести.

Для того, щоб дослідити щільність та напрям взаємозв'язків між досліджуваними парами індикаторів, доцільно провести кореляційний аналіз.

Результати парних рангових кореляцій Спірмена наведено в таблиці 9.4, які, на відміну від парних кореляцій Пірсона, обчислюються на основі рангів значень індикаторів та менш чутливі до викидів.

Таблиця 9.3 -Дескриптивна статистика індикаторів відновлюваної енергії

Numerical characteristic	Values of numerical characteristics						
	K1	K2	K3	M1	M2	M3	M4
Count	112	112	112	112	112	112	112
Average	35,676	2,050	36,557	79,464	63,335	50,438	45,667
Median	26,375	1,075	28,540	80,000	67,5	48	50
5% Trimmed mean	34,640	1,731	35,075	81,825	64,514	50,4861	45,2824
5% Winsorized mean	35,445	1,943	36,473	79,643	63,813	50,438	45,354
Variance	831,276	6,725	977,858	500,611	583,734	783,511	830,023
Standard deviation	28,832	2,593	31,271	22,374	24,161	27,991	28,810
Coefficient of variation, %	80,82%	126,52%	85,54%	28,16%	0,381	0,555	0,631
Gini coefficient	0,456	0,620	0,482	0,142	0,215	0,320	0,363
Standard error	2,724	0,245	2,955	2,114	2,283	2,645	2,722
5% Winsorized sigma	31,177	2,456	34,160	23,956	25,023	30,070	31,038
Mean absolute deviation	24,882	1,928	26,665	15,475	19,540	23,671	24,661
MAD	18,74	1,05	23,28	20	14,335	23,500	25,000
Sbi	30,862	1,812	32,591	21,268	24,510	29,000	30,137
Minimum	0	0	0	0	0	0	0
Maximum	95,03	14,29	100	100	100	100	100
Range	95,03	14,29	100	100	100	100	100
Lower quartile	10,715	0,165	10,115	80	48	30	25
Upper quartile	60,425	2,99	61,1	100	80	75	67
Interquartile range	49,71	2,825	50,985	20	32	45	42
1/6 sextile	8,17	0,04	4,44	60	36	19	17
5/6 sextile	76,4	3,94	70,63	100	89	82	75
Intersextile range	68,23	3,9	66,19	40	53	63	58
Skewness	0,564	1,994	0,623	-1,362	-0,59682	0,065206	0,195505
Std. skewness	2,436	8,616	2,692	-5,883	-2,57857	0,281723	0,84468
Kurtosis	-1,050	4,890	-0,865	1,702	-0,20776	-0,9992	-1,01138
Std. kurtosis	-2,268	10,563	-1,868	3,677	-0,4488	-2,15852	-2,18483
Sum	3995,72	229,56	4094,39	8900	7093,51	5649	5114,67
Sum of squares	234823	1216,99	258221	762800	514061	371891	325703

Джерело: побудовано авторами засобами програмного інструментарію

Statgraphics

Таблиця 9.4 -Рангові кореляції Спірмена

	K1	K2	K3	M4	M5	M6	M7
K1		-0,0942	0,5282	-0,2375	-0,1001	-0,0901	-0,1422
		0,3208	0,0000	0,0123	0,2915	0,3424	0,1340
K2	-0,0942		0,1087	0,2097	0,3291	0,3786	0,3438
	0,3208		0,2523	0,0271	0,0005	0,0001	0,0003
K3	0,5282	0,1087		-0,0061	0,1349	0,0979	0,0404
	0,0000	0,2523		0,9490	0,1552	0,3022	0,6702
M4	-0,2375	0,2097	-0,0061		0,5452	0,4744	0,4154
	0,0123	0,0271	0,9490		0,0000	0,0000	0,0000
M5	-0,1001	0,3291	0,1349	0,5452		0,7017	0,4967
	0,2915	0,0005	0,1552	0,0000		0,0000	0,0000
M6	-0,0901	0,3786	0,0979	0,4744	0,7017		0,6389
	0,3424	0,0001	0,3022	0,0000	0,0000		0,0000
M7	-0,1422	0,3438	0,0404	0,4154	0,4967	0,6389	
	0,1340	0,0003	0,6702	0,0000	0,0000	0,0000	

Джерело: побудовано авторами засобами програмного інструментарію Statgraphics

Результати, представлені в таблиці 4 свідчать про те, що високу прямо пропорційну щільність взаємозв'язку мають індикатори M5 (потенціал розширення відновлюваної енергетики) та M6 (стимули та регулятивна підтримка відновлюваної енергії), що складає 70,17%. Для інших пар змінних спостерігається як прямо пропорційний так обернено пропорційний зв'язок на середньому рівні, що визначається в межах (45-60%) та щільність взаємозв'язку на низькому рівні (9-15%) або на рівні нижче середнього (20-40%). Так, наприклад, між індикатором K1 (споживання відновлюваної енергії) та індикатором K3 (загальне виробництво відновлюваної енергії) щільність кореляції складає 52%, що відповідає середньому рівню, K1 (споживання відновлюваної енергії) та M4 (правова база для відновлюваної енергетики) мають 23% кореляції, K2 (виробництво сонячної енергії) та M4 (правова база для відновлюваної енергетики) мають – 20% кореляції, K2 (виробництво сонячної енергії) та M5 (потенціал розширення відновлюваної енергетики) мають – 32% кореляції, K2 (виробництво сонячної енергії) та M6 (стимули та регулятивна підтримка відновлюваної енергії) мають – 37% кореляції, K2 (виробництво сонячної енергії) та M7 (атрибути фінансових і регуляторних стимулів) мають – 34% кореляції, M4 (правова база для відновлюваної енергетики) та M5 (потенціал розширення відновлюваної енергетики) мають –

54% кореляції, М4 (правова база для відновлюваної енергетики) та М6 (стимули та регулятивна підтримка відновлюваної енергії) мають – 47% кореляції, М4 (правова база для відновлюваної енергетики) та М7 (атрибути фінансових і регуляторних стимулів) мають – 41% кореляції, М5 (планування розширення відновлюваної енергетики) та М7 (атрибути фінансових і регуляторних стимулів) мають – 49% кореляції, М6 (стимули та регулятивна підтримка відновлюваної енергії) та М7 (атрибути фінансових і регуляторних стимулів) мають – 63% кореляції. Зазначені кореляційні пари змінних мають рівень значущості (P-value) нижче 0,05, що свідчить про статистично значущі ненульові кореляції при довірчому рівні 95,0%.

Результати дослідження розподілу країн на кластери (класи) як бази для оцінювання ефективності використання джерел відновлюваної енергії проведено трьома методами представлені в таблиця 9.5 – 9.7.

Таблиця 9.5 - Кластеризація країн за методом Уорда

Кластер	Кількість країн у кластері	Відсоток
1	10	8,93
2	28	25,00
3	18	16,07
4	23	20,54
5	8	7,14
6	11	9,82
7	11	9,82
8	3	2,68

Джерело: побудовано авторами засобами програмного інструментарію Statgraphics

Крім того, оптимальну кількість кластерів підтверджено протоколом агломерації (рис. 9.2). Відсутність характерних ривків між точками графіку дає можливість стверджувати, що обрана кількість кластерів для набору даних є правильною.

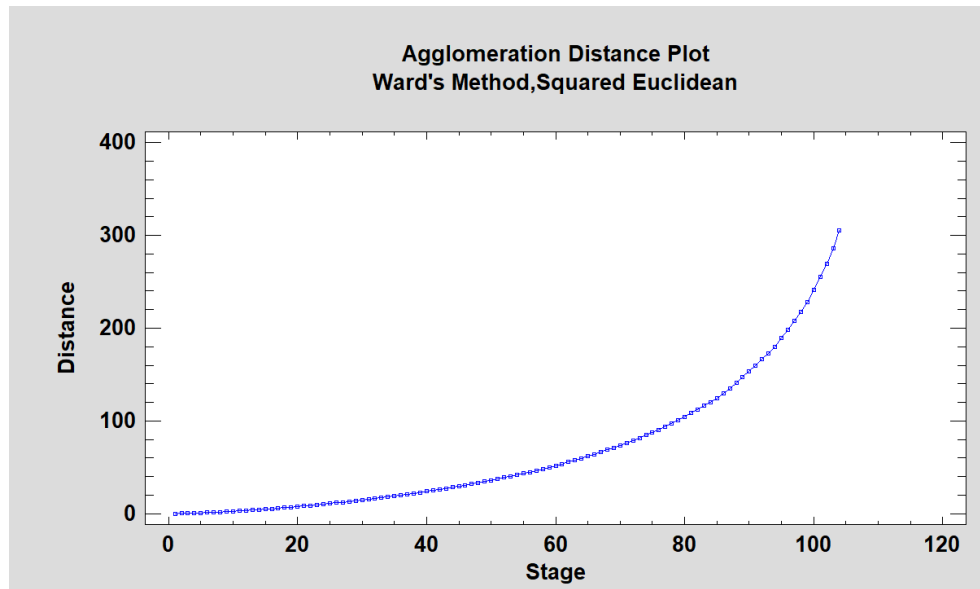


Рисунок 9.2 – Результати оцінювання проміжків агломерації: підтвердження оптимальної кількості кластерів метод Уорда

Джерело: побудовано авторами засобами програмного інструментарію Statgraphics

До першого кластеру увійшли 10 країн: Афганістан, Албанія, Центрально африканська Республіка, Гватемала, Мадагаскар, Непал, Парагвай, Сьєрра-Леоне, Судан, Таджикистан. У другому кластері 28 країн – Алжир, Аргентина, Азербайджан, Бахрейн, Бангладеш, Білорусь, Боснія і Герцеговина, Домініканська республіка, Індонезія, Ямайка, Казахстан, Косово, Малайзія, Мальдіви, Монголія, Північна Македонія, Оман, Пакистан, Філіппіни, Польща, Катар, Саудівська Аравія, Сінгапур, Таїланд, Україна, Сполучені Штати, Узбекистан, В'єтнам. Кластер 3 налічує 18 країн: Ангола, Бенін, Колумбія, Коста-Ріка, Хорватія, Ліберія, Малі, Чорногорія, Нова Зеландія, Нікарагуа, Нігер, Нігерія, Панама, Перу, Румунія, Шрі Ланка, Того, Зімбабве. Кластер 4 складається з 23 країн, а саме: Вірменія, Бельгія, Болгарія, Данія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Індія, Ізраїль, Ліван, Мексика, Марокко, Нідерланди, Португалія, Руанда, Сербія, Словацька Республіка, Південна Африка, Швейцарія, Туніс, Туреччина, Об'єднані Арабські Емірати, Об'єднане Королівство. Кластер 5 об'єднує 8 країн: Австралія, Чили, Сальвадор, Греція, Угорщина, Італія, Йорданія, Іспанія. Кластер 6 складається з 11 країн: Бразилія,

Канада, Чад, Ефіопія, Кенія, Малаві, Швеція, Танзанія, Уганда, Уругвай, Замбія. Кластер 7 теж складається з 11 країн: Буркіна Фасо, Бурунді, Камбоджа, Еритрея, Гаїті, Мозамбік М'янма, Папуа-Нова Гвінея, Сомалі, Південний Судан, Туркменістан. Останній, восьмий кластер містить 3 країни: Мавританія, Сенегал, Вануату.

Географічний розподіл країн за медом Уорда наведено на рисунку 9.3.

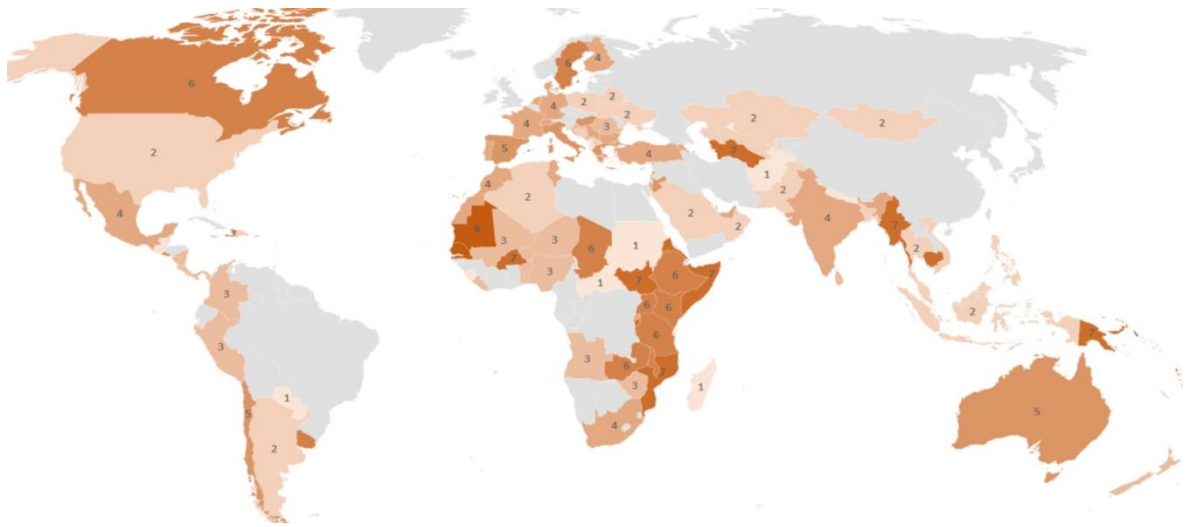


Рисунок 9.3 – Мапа кластерного розподілу країн за методом Уорда

Джерело: побудовано авторами засобами програмного інструментарію Excel

Результати кластеризації за методом  $k$ -середніх з використанням метрики Евклідових квадратів відстані наведено у табл. 9.6.

Таблиця 9.6 - Кластерний розподіл країн за методом  $k$ -середніх

Кластер	Кількість країн у кластері	Відсоток
1	6	5,36
2	6	5,36
3	25	22,32
4	14	12,50
5	18	16,07
6	18	16,07
7	13	11,61
8	12	10,71

Джерело: побудовано авторами засобами програмного інструментарію Statgraphics

Слід зауважити, що результати розподілу за методом  $k$ -середніх суттєво залежать від початкового елемента та кінцевого та кроку  $k$ , крім того відсутність можливості побудови графіку схеми агломерації примушує відмовитись від використання у подальшому дослідженні отриманих результатів.

Результати кластерного аналізу за методом «найdaleший сусід» (повна прив'язка) з використанням метрики Евклідових квадратів відстані наведено у таблиці 9.7.

Таблиця 9.7. Кластерний розподіл країн за методом «найdaleший сусід»

Кластер	Кількість країн у кластері	Відсоток
1	14	12,50
2	12	10,71
3	33	29,46
4	24	21,43
5	6	5,36
6	10	8,93
7	12	10,71
8	1	0,89

При розгляді протоколу агломерації (рис. 9.4) за методом «найdaleший сусід» чітко виявляються розриви, це свідчить про нерелевантність обраного методу.

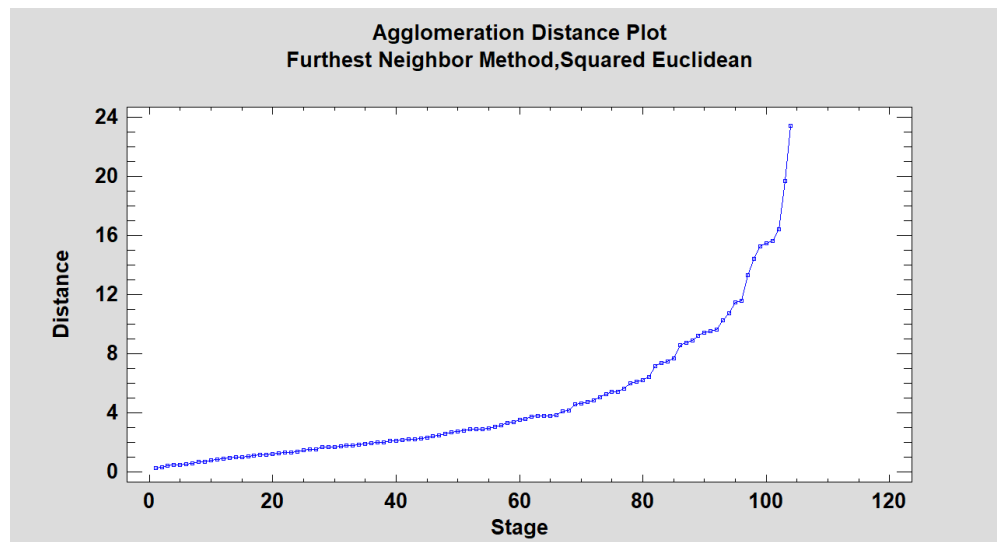


Рисунок 9.4 – Схема агломерації за методом «найdaleший сусід»

Джерело: побудовано авторами засобами програмного інструментарію Statgraphics

Для оцінювання діяльності країн в розрізі ефективності використання відновлюваної енергії запропоновано використати результати кластеризації, що отримані за методом Уорда.

Наведена методологія дискримінтного аналізу, який дає змогу оцінити якість проведеної кластеризації, реалізована за допомогою програмного забезпечення Statgraphics 19.

Результати отриманих дискримінантних функцій наведено у таблиці 9.8.

Таблиця 9.8. Стандартизовані коефіцієнти дискримінантних функцій

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
K1	-0,447294	0,327673	0,384274	0,297589	0,377388	-0,115231	0,568488
K2	0,177813	-0,792476	0,622515	0,123638	0,0422518	0,049471	0,028229
K3	-0,290784	0,393824	0,594677	-0,371049	-0,261015	0,186145	-0,494086
M4	0,535412	0,120929	0,204042	-0,687822	-0,0796015	-0,139243	0,464574
M5	0,3987	-	-0,160521	0,161783	0,859733	0,45279	-0,291758
M6	0,418919	0,312553	0,157806	0,255723	-0,266788	-0,857358	-0,150898
M7	0,261849	0,387078	-0,0458057	0,394562	-0,456168	0,658733	0,235165

Джерело: побудовано авторами засобами програмного інструментарію Statgraphics (примітка: F1 – F7 – дискримінантні функції)



Отже, у таблиці 8 відображено значення коефіцієнтів дискримінантних функцій, що формують 8 лінійних комбінацій з вхідного ознакового простору.

Наприклад, модель першої дискримінантної функції має вигляд:

$$F1 = -0,447294 \cdot K1 + 0,177813 \cdot K2 - 0,290784 \cdot K3 + 0,535412 \cdot M4 + + 0,3987 \cdot M5 + 0,418919 \cdot M6 + 0,261849 \cdot M7 \quad (9.6)$$

Проте для виявлення ступеню впливу наведених індикаторів вхідного ознакового простору достатньо використати перші п'ять дискримінантних функцій (табл. 9.9).

Вага кожного показника відображається за абсолютним значенням коефіцієнта, чим більше значення, тим більший вклад даного показника в формування кластерів.

Таблиця 9.9 - Статистичні характеристики дискримінантних функцій

Дискримі нантна функція	Власне значення	Відносний відсоток	Канонічна кореляція	Лямбда Уїлкса	Хі- квад рат	DF	P- value
F1	5,72053	54,15	0,92261	0,0081305 9	498,0547	49	0,0000
F2	2,26766	21,47	0,83305	0,0546418	300,8699	36	0,0000
F3	1,68443	15,95	0,79214	0,178551	178,3183	25	0,0000
F4	0,599608	5,68	0,61225	0,479307	76,1154	16	0,0000
F5	0,237287	2,25	0,43793	0,766703	27,4954	9	0,0012
F6	0,050911	0,48	0,22010	0,948631	5,4581	4	0,2434
F7	0,00308259	0,03	0,05544	0,996927	0,3186	1	0,5725

Джерело: побудовано авторами засобами програмного інструментарію Statgraphics

Отже, для побудови дискримінантних функцій використано індикатори відновлюваної енергії в розрізі 112 країн, розподіл яких здійснено на 8 кластерів. П'ять з семи дискримінантних функцій мають рівень значущості (P-value) нижче 0,05%, що свідчить про статистично значущі дискримінантні функції при довірчому рівні 95,0%. Значення статистики Лямбда Уїлкса у

функцій 1-2 (табл. 9.9) є найбільш близькими до нуля, а чим ближче значення до нуля, тим краща якість дискримінаційних функцій.

Отже, результати лінійних комбінацій 5 перших дискримінантних функцій доцільно використати для подальшого більш глибокого та детального аналізу перспектив розвитку відновлювальної енергетики, оскільки вони дозволяють визначити, які саме індикатори вхідного ознакового простору є найбільш вагомими для розподілу країн на кластери. Так, за абсолютною величиною коефіцієнтів у таблиці 7 можна визначити, як незалежні змінні використовуються для розрізнення груп, чим більшим є його значення, тим більший внесок здійснює індикатор на результати класифікації.

Дослідження ефективності функціонування відновлювальної енергетики на рівні національних економік на основі аналізу охоплення даних (Data Envelopment Analysis, DAE) побудовано на методах багатокритеріального оптимізаційного моделювання (Emmerich, M. et al., 2015). Тестову вибірку склав перелік таких 12 країн: Аргентина, Бангладеш, Польща, Ямайка, Казахстан, Монголія, Катар, Саудівська Аравія, Сінгапур, Пакистан, Україна, Сполучені Штати Америки. Ознаками для проведення аналізу ефективності обрано показники: обсяги виробництва електроенергії з відновлюваних джерел (ТВт·год), обсяги виробництва сонячної електроенергії (ТВт·год) та викиди діоксиду вуглецю CO<sub>2</sub> (кт) за 2019 рік.

В таблиці 9.10 представлені вихідні дані для оцінювання ефективності використання відновлюваних джерел енергії.

Таблиця 9.10 - Вихідні дані для аналізу ефективності використання енергії з відновлюваних джерел.

Країна	Викиди CO <sub>2</sub> (кТ)	Електроенергія з відновлюваних джерел (ТВт·год)	Електроенергія від сонця (ТВт·год)
Аргентина	168100	34,95007	0,799698
Бангладеш	90740	1,158567	0,327543
Польща	295130,0049	25,45441437	0,710672975
Ямайка	8390	0,61	0,61
Казахстан	212110	11,09698	11,09698
Монголія	23070	0,65	0,65
Пакистан	190570	40,97147	1,068956
Катар	91970	0,123208	0,123208
Саудівська Аравія	523780	0,206737	0,206737
Сінгапур	47380	0,954896	0,194619
Україна	174730	11,8682	2,9328
Сполучені Штати	4817720	769,1332	107,9737

Джерело: побудовано авторами на підґрунті (World bank. 2022., Our world in data. 2021)

Результати аналізу охоплення даних з використанням Frontier Analyst Application за показниками викидів CO<sub>2</sub>, виробництва електроенергії з відновлюваних джерел, виробництва електроенергії від сонця виявили, що еталонними країнами є Ямайка та Пакистан (вони мають 100% ефективність у порівнянні з іншими країнами). Інші країни отримали такі показники ефективності використання відновлювальної енергетики: Аргентина – 96,7%, Сполучені Штати Америки – 91,3%, Казахстан – 72,0%, Україна – 45,6%, Польща – 40,3%, Бангладеш – 9,0%, Монголія – 38,8%, Катар – 1,8%, Саудівська Аравія – 0,5%, Сінгапур – 12,7%,

Графік граничної ефективності (рис.5) демонструє розрив між країнами.

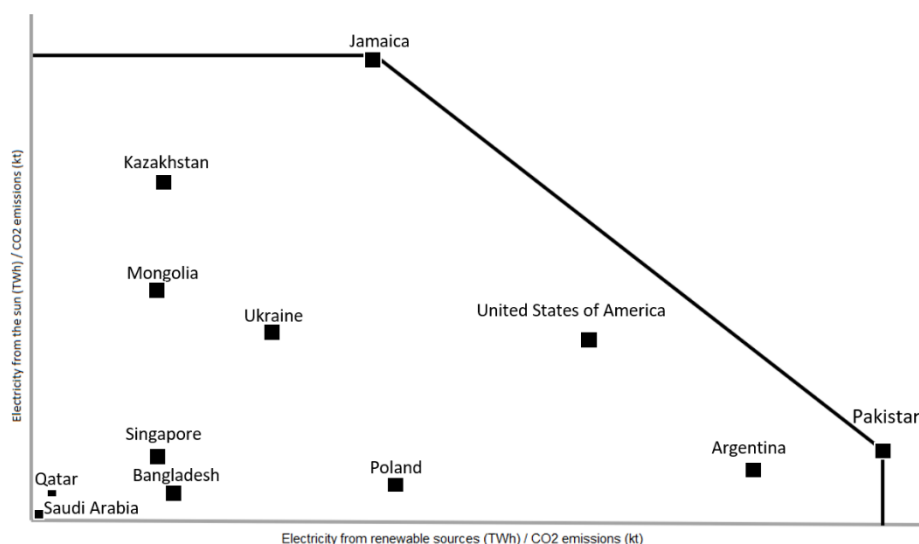


Рисунок 5 – Графік граничної ефективності

Джерело: побудовано авторами засобами програмного інструментарію Frontier Analyst Application

Отримані результати аналізу ефективності використання відновлюваної енергії свідчать про те, що тільки дві країни з дванадцяти досліджуваних є ефективними, тобто вироблення відновлюваної енергії та їх викиди CO<sub>2</sub> знаходяться в відносному балансі. Але решта країн-учасниць дослідження не можуть забезпечити таку ефективність, для цього їм потрібно збільшити вироблення відновлюваної енергії або зменшити викиди CO<sub>2</sub>.

Так, за результатами проведеного аналізу щодо зменшення викидів CO<sub>2</sub> для Саудівської Аравії доцільно звести до 99,46%, та збільшити споживання відновлюваної енергії на 28,88%; зменшення викидів CO<sub>2</sub> для Катару доцільно зробити на 99,84% та збільшити споживання відновлюваної енергії на 287,46%; потенціал зменшення викидів CO<sub>2</sub> для Сполучених Штатів Америки складає 99,79%, а збільшення споживання сонячної енергії – на 4,98%; зменшення викидів CO<sub>2</sub> для Сінгапура – на 97,84%, а збільшення споживання відновлюваної сонячної енергії – на 31,72%; зменшення викидів CO<sub>2</sub> для Казахстану складає 97,16%, а збільшити споживання відновлюваної енергії – 284,58%; зменшення викидів CO<sub>2</sub> для України складає 96,07%, збільшення виробництва відновлюваної енергії – 54,02%; потенціал для Аргентини щодо зменшення викидів CO<sub>2</sub> складає 91,37%, та збільшення споживання

відновлюваної енергії – 46,32%; щоб дістатися показників еталонних країн Польща має провести робота по зменшенню викидів CO<sub>2</sub> на 96,18%, та збільшення виробництва відновлюваної енергії – 25,30%; зменшення викидів CO<sub>2</sub> для Монголії оптимально скоротити на 75,02% та збільшити споживання відновлюваної енергії на 88,10%; для Бангладеш – зменшити викиди CO<sub>2</sub> на 74,82% та збільшити виробництво відновлюваної енергії на 292,75%.

Зростання процесів антропогенного навантаження, пандемія COVID, посилення військових конфліктів у світі та, одночасно з цим, глобальна трансформація економічного розвитку в напрямку його екологізації привертає все більше уваги до відновлювальних джерел енергії. Враховуючи наведені в дослідженні роботи висновки, державам необхідно збільшувати обсяги виробництва та використання відновлювальної енергії, що в свою чергу буде зменшувати викиди CO<sub>2</sub>. Як наслідок, імплементація інноваційних екологічних проєктів та використання невичерпних джерел енергії, які будуть підвищувати енергонезалежність держав. Відновлювана енергетика здатна забезпечити достатнє виробництво теплової та електроенергії для промисловості, домогосподарств, транспортної галузі та сільського господарства. Вона дозволить створити нові робочі місця для виготовлення та встановлення обладнання, монтування та обслуговування сонячних систем, проведення енергоаудиту. Отримані результати розрахунків не суперечать існуючим дослідженням у галузі оцінювання результатів впровадження відновлювальної енергетики на рівні національних економік.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи було узагальнено основні типи соціо-еколого-економічних конфліктів при реформуванні екологічної політики, що обумовлюють появу розривів енергоефективності у національній економіці.

Розроблено методичний інструментарій оцінювання розривів енергоефективності у національній економіці, що базується на використанні стохастичного фронтального аналізу та функції енерговідстані Шепарда, враховує випадковий характер ендегенних детермінант розривів енергоефективності, а також їх причинно-наслідковий зв'язок із рівнями глобалізації, відкритості національної економіки та урбанізації як екзогенними детермінантами. Це дозволило дослідити ретроспективну динаміку зміни рівня розривів енергоефективності в Україні, визначити критичні біфуркаційні точки, оцінити результативність вжитих державою заходів щодо мінімізації розривів енергоефективності.

Сформовано інструментарій для прогнозування обсягу розривів енергоефективності у національній економіці, здійснено на засадах методології Бокса – Дженкінса з використанням авторегресійного інтегрованого моделювання ARIMA та дозволило визначити таргети державної стратегії переходу до вуглецево-нейтральної економіки.

Розроблено організаційно-комунікаційну схему взаємодії та узгодження інтересів стейкхолдерів, яка базується на модифікації моделі зрілості розумних енергомереж, враховує ключові параметри й стратегії їх розвитку, стадію реалізації проєкту, систему техніко-технологічних обмежень, соціальні та екологічні фактори.

У результаті виконання роботи було удосконалено науково-методичний підхід до формування матриці витрат та ефектів для стейкхолдерів при реалізації енергоефективних проєктів для досягнення балансу між оптимальним та фактичним рівнями енергоефективності на основі методу PLS-PM, що відрізняється від існуючих врахуванням явних та латентних ефектів, які

виникають внаслідок ірраціональної поведінки стейкхолдерів під час прийняття енергоефективних рішень.

Розроблено економіко-математичну модель для опису коінтеграційних зв'язків у ланцюзі «якість інституційного середовища ↔ обсяг залучених зелених інвестицій в енергетику ↔ рівень енергоефективності», що базується на системному поєднанні інструментарію VEC-моделювання та тестування Йохансена. Це дозволило обґрунтувати таргети інвестиційних та інституційних детермінант, досягнення яких обумовлює щорічне підвищення рівня енергоефективності країни.

Удосконалено концептуальні основи формування та реалізації державної політики підвищення енергоефективності країни, що відрізняються від існуючих формалізацією її цільових орієнтирів згідно з індикаторами вуглецево-нейтральної моделі розвитку національної економіки, а також обґрунтуванням принципів, механізмів та інструментів підвищення енергоефективності країни.

Розроблено методологію оцінювання ризиків впливу діяльності стейкхолдерів в секторі відновлювальної енергетики з урахуванням особливостей регіонів та країн, що розвиваються.

Побудовано механізм забезпечення енергетичної безпеки в умовах інноваційного, екологічно орієнтованого, транспарентного конкурентного розвитку енергетичної системи національної економіки та її регіональних особливостей.

Сформовано сценарії ефективного функціонування енергетичного сектору з урахуванням критеріїв мінімізації розривів енергоефективності за рахунок впровадження відновлювальної енергетики.

Розроблено дорожню карту сталого енергетичного розвитку країни на базі цільових орієнтирів вуглецево-нейтральної моделі розвитку національної економіки. систему техніко-технологічних обмежень, соціальні та екологічні фактори. Результати дослідження опубліковано у працях [1–3; 16; 18; 24; 28; 29; 31; 33–36; 38; 65; 68–77; 87; 91; 101].

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вакуленко І. А. Окремі питання розбудови розумних енергомереж: система оцінювання DOE. Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія «Економіка і управління». 2020. No 2. С. 51-56.
2. Вакуленко І. А. Порівняльний огляд систем оцінювання розумних енергомереж: економічний аспект. Галицький економічний вісник. 2020. Том 64, No 3. С. 128-136.
3. Вакуленко І. А., Сагер Л. Ю. Комунікація між стейкхолдерами як складова розбудови розумних енергомереж. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я MicroCAD-2020: XXVII Міжнар. наук.-практ. Конф, м. Харків, 13–15 травня 2020 р. С. 52
4. Єльнікова, Ю.В. Відповідальне інвестування у контексті реалізації державної інвестиційної політики (дис. д-ра екон. наук). Сумський державний університет, Суми.
5. Зябіна, Є. А. (2021) Детермінанти підвищення енергетичної ефективності національної економіки (дис. кандидата екон. наук). Сумський державний університет, Суми.
6. Комеліна О. В., Болдирєва Л. М. Проблеми і перспективні напрями розвитку відновлюваної енергетики. Енергоефективність та відновлювальна енергетика в Україні: проблеми управління: кол. моногр. Суми: Універ. книга, 2019. С. 59-72.
7. Коробець, О. М. (2020). Передумови формування маркетингових інструментів управління екологічними ризиками підприємства. Naukowa przestrzeń Europy – 2020 (Sekcjach: Ekonomiczne nauki): proceeding of the international Scientific and Practical Conference, Poland, 5, 70–74.
8. Коробець, О. М. (2021) Організаційно-економічні засади управління екологічними ризиками підприємства (дис. кандидата екон. наук). Сумський державний університет, Суми.



9. Леонов С. В., Васильєва Т. А., Буряк А. В. Ефективність банківського бізнесу в Україні: стохастичний фронтірний аналіз. Вісник Національного банку України. 2013. № 6. С. 19-25.

10. Люльов, О. В. (2018). Макроекономічна стабільність національної економіки: соціальні, політичні та маркетингові детермінанти (дис. д-ра екон. наук). Сумський державний університет, Суми.

11. Люльов, О.В., Пімоненко, Т.В., Коробець, О.М., Овусу, Евелін Кума, Осеї, Овусу Едвард. (2021). Управління трудовими ресурсами підприємства: гендерний фактор. Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка, 4, 72-80. 10.21272/1817-9215.2021.4-9

12. Люльов, О.В., Пімоненко, Т.В., Решетняк, Я. В., Овусу, Евелін Кума, Осеї, Овусу Едвард. (2021). Суспільна довіра до бренду території: гендерні, вікові та освітні детермінанти. Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка, 3, 182-189. 10.21272/1817-9215.2021.3-20

13. Малярєнко О. Є., Майстрєнко Н. Ю., Станиціна В. В., Богославська О. Ю. Удосконалений комплексний метод прогнозування енергоспоживання на довгострокову перспективу. Енергетика. 2019. 53.

14. Моделювання механізмів мінімізації розривів енергоефективності в контексті Цілей сталого розвитку: комунікативна мережа взаємодії стейкхолдерів. Методичний інструментарій узгодження соціо-еколого-економічних протиріч при мінімізації розривів енергоефективності: звіт про НДР (проміжний) / кер. Ю. В. Білан. Суми: СумДУ, 2021. 70 с. № 0120U102002.

15. Моделювання механізмів мінімізації розривів енергоефективності в контексті Цілей сталого розвитку: комунікативна мережа взаємодії стейкхолдерів. Практичні засади формалізації взаємозв'язків між стейкхолдерами при прийнятті енергоефективних рішень, що викликають розриви енергоефективності: звіт про НДР (проміжний) / кер. Ю. В. Білан. Суми: СумДУ, 2020. 73 с. № 0120U102002.

16. Павлик В. В. Детермінанти мінімізації розривів енергоефективності у національній економіці: дисертація... канд. екон. наук, спец.: 08.00.03 –

економіка та управління національним господарством. Суми: СумДУ, 2020. 221 с.

17. Пімоненко, Т., Люльов, О., Зябіна, Є., Васирина, Т. Оцінювання причинно-наслідкових зв'язків між детермінантами енергоефективності країни в контексті імплементації європейської зеленої угоди. *Вісник економіки*. 2021. Вип. 2. С. 80–89. DOI: <https://doi.org/10.35774/visnyk2021.02.080>

18. Росохата А. С., Сагер Л. Ю. Окремі питання економічної безпеки: дослідження впливу змін у міграційних процесах на економічний та інноваційний розвиток країн. *Вісник СумДУ*. 2020. №1. С. 62-74.

19. Семяновський В. М., Товмаченко Н. М., Клименко К. В. Використання метода Брауна для прогнозування розвитку біоенергетичної галузі України. Нові джерела та методи поширення даних у статистиці: матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції з нагоди Дня працівників статистики. Київ: «Інформаційно-аналітичне агентство», 2019. С. 194-199.

20. Семяновський В. М., Товмаченко Н. М., Клименко К. В. Використання метода Брауна для України. Нові джерела та методи поширення даних у статистиці: матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції з нагоди Дня працівників статистики. Київ: «Інформаційно-аналітичне агентство», 2019. С.194-199.

21. Устенко С. В., Шараєвський Д. В. Ефективність посередництва комерційних банків в Україні: порівняльний аналіз банків з іноземним та українським капіталом. *Економічний часопис-XXI*. 2011. № 9-10. С. 69-72.

22. Чигрин, О. Ю. (2021) Маркетингові детермінанти управління зеленою конкурентоспроможністю (дис. д-ра екон. наук). Сумський державний університет, Суми.

23. Шараєвський Д. В. Інформаційно-аналітична система оцінювання ефективності діяльності комерційних банків. *Ефективна економіка*, 2011. №12. С. 1-5. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/efek\\_2011\\_12\\_37.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/efek_2011_12_37.pdf)

24. Akhundova N., Pimonenko T., Us Y. Sustainable growth and country green brand: visualization and analysis of mapping knowledge. *Economic and Social Development: Book of Proceedings*. 2020. P. 234-243.

25. Andersen, T. J., & Roggi, O. (2012). *Strategic Risk Management and Corporate Value Creation*. Paper presented at Strategic Management Society 32nd Annual International Conference. SMS 2012, Prague, Czech Republic.

26. Ayres R. U., van den Bergh J. C. J. M., Lindenberger D. Warr B. The underestimated contribution of energy to economic growth. *Structural Change and Economic Dynamics*. 2013. №27. P. 79-88. doi:10.1016/j.strueco.2013.07.004

27. Bataille C., Melton N. Energy efficiency and economic growth: A retrospective CGE analysis for Canada from 2002 to 2012. *Energy Economics*. 2017. №64. P. 118-130. doi:10.1016/j.eneco.2017.03.008

28. Bilan Y., Mishchuk H., Roshchuk I., Joshi O. Hiring and retaining skilled employees in SMEs: problems in human resource practices and links with organizational success. *Business: Theory and Practice*. 2020. №21(2). P. 780-791. <https://doi.org/10.3846/btp.2020.12750>

29. Bilan Y., Pimonenko T., Starchenko L. Sustainable business models for innovation and success: bibliometric analysis. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2020. p. 04037.

30. Bilan Y., Streimikiene D., Vasylieva T., Lyulyov O., Pimonenko T., Pavlyk, A. Linking between renewable energy, CO2 emissions, and economic growth: Challenges for candidates and potential candidates for the EU membership. *Sustainability (Switzerland)*. 2019. №11(6). doi:10.3390/su11061528

31. Bilan Y., Tiutiunyk I., Lyeonov S., Vasylieva T. Shadow economy and economic development: A panel cointegration and causality analysis. *International Journal of Economic Policy in Emerging Economies*. 2020. №13(2). P. 173-193. doi:10.1504/IJEPEE.2020.107929

32. Bilan Y., Vasilyeva T., Lyeonov S., Bagmet K. Institutional complementarity for social and economic development. *Business: Theory and Practice*. 2019. №20. P. 103-115. doi:10.3846/BTP.2019.10

a. Bilan Y., Vasilyeva T., Lyulyov O., Pimonenko T. EU vector of Ukraine development: linking between macroeconomic stability and social progress. *International Journal of Business & Society*. 2019. №20(2).

33. Chygryn O., Bilan Y., Kwilinski A. Stakeholders of Green Competitiveness: Innovative Approaches for Creating Communicative System. *Marketing and Management of Innovations*. 2020. №3. P.358-370. <https://doi.org/10.21272/mmi.2020.3-26>

34. Chygryn O., Lyulyov O. Pimonenko T., Kostornova S. Green competitiveness: Ukraine's business sector in the worldwide trends framework. *Galician economic journal (Tern.)*. 2020. №63(2). P. 223-230. [https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk\\_tntu2020.02.223](https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2020.02.223)

35. Chygryn O., Lyulyov O., Khanlarov, E. Marketing and management strategies for enhancing green competitiveness. 55th International Scientific Conference on Economic and Social Development. Baku, Azerbaijan. 2020. 884-893

36. Chygryn O., Lyulyov O., Kostornova S. Green production and green competitiveness: linking between categories. III International Science Conference SER. September, 17-19, 2020 Igalo (Montenegro). 2020. P. 71.

37. Chygryn O., Pimonenko T., Lyulyov O., Goncharova A. Green bonds like the incentive instrument for cleaner production at the government and corporate levels: Experience from EU to Ukraine. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2018. №9(7). P. 1443-1456. doi:10.14505/jemt.v9.7(31).09

38. Chygryn O.Y., Zdoima A. Green competitiveness: assessment of modern trends. *Економічні проблеми сталого розвитку: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених імені професора Балацького О. Ф. «Економічні проблеми сталого розвитку» / за заг. ред.: Т. А. Васильєвої, О. В. Шкарупи. – Суми: Сумський державний університет, 2020*

39. Chygryn, O., Lyulyov, O., Pimonenko, T., & Myronenko, N. (2021, September). Key indicators of green competitiveness: the EU and Ukraine's performance. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 307, p. 03003). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130703003>

40. Cole M. A. Does trade liberalization increase national energy use?. *Economics Letters*. 2006. №92(1). P. 108-112.

41. Costantini V., Martini C. The causality between energy consumption and economic growth: A multi-sectoral analysis using non-stationary cointegrated panel data. *Energy Economics*. 2010. №32(3). P. 591–603. doi:10.1016/j.eneco.2009.09.013

42. Eurostat. [Online] <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> [Accessed: 2020-05-20]

43. Gerarden T. D., Newell R. G., Stavins R. N., Stowe R. C. An assessment of the energy-efficiency gap and its implications for climate-change policy (No. w20905). National Bureau of Economic Research. 2015.

44. Hilorme T., Nazarenko I., Okulicz-Kozaryn W., Getman O., Drobyazko S. Innovative model of economic behavior of agents in the sphere of energy conservation. *Academy of Entrepreneurship Journal*. 2018. 9. 1. P. 1–7.

45. Honma S., Hu J. L. A meta-stochastic frontier analysis for energy efficiency of regions in Japan. *Journal of Economic Structures* 2018. №1. P. 21.

46. IEA Atlas of Energy. [Online] <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487> [Accessed: 2020-05-15]

a. Kester J. Conducting a smarter grid: Reflecting on the power and security behind smart grids with foucault. *Smart Grids from a Global Perspective*, 2016. P.197–213. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/314931978\\_Conducting\\_a\\_Smarter\\_Grid\\_Reflecting\\_on\\_the\\_Power\\_and\\_Security\\_Behind\\_Smart\\_Grids\\_with\\_Foucault](https://www.researchgate.net/publication/314931978_Conducting_a_Smarter_Grid_Reflecting_on_the_Power_and_Security_Behind_Smart_Grids_with_Foucault)

47. Kolosok, S., Bilan, Y., Vasylieva, T., Wojciechowski, A., & Morawski, M. (2021). A scoping review of renewable energy, sustainability and the environment. *Energies*, 14(15) doi:10.3390/en14154490

48. Kostrzewski M., Kostrzewska J. Probabilistic electricity price forecasting with Bayesian stochastic volatility models. *Energy Economics*. 2019. №80. P. 610-620.

49. Krukov Yu., Chernyagin D.. An Arima model for forecasting a values of network traffic. *Journal of Information Technologies and Computing Systems*. 2011. №2. P. 41-49
50. Kuzior, A., Lyulyov, O., Pimonenko, T., Kwilinski, A., Krawczyk, D. (2021). Post-Industrial Tourism as a Driver of Sustainable Development. *Sustainability*, 13, 8145. <https://doi.org/10.3390/su13158145>
51. Li K., Fang L., He L. How urbanization affects China's energy efficiency: a spatial econometric analysis. *Journal of Cleaner Production*. 2018. №200. P. 1130–1141. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.234>.
52. Li K., Lin B. Metafroniter energy efficiency with CO 2 emissions and its convergence analysis for China. *Energy Economics*. 2015. №48. P. 230–241.
53. Lieonov S., Pavlyk A. Collaboration drivers on renewable energy. *European energy collaboration: modern smart specialization strategies: monograph / edited by Vasilyeva T. A., Kolosok S. I.* Szczecin: Centre of Sociological Research, 2019. 172 p.
54. Lindberg K. B., Seljom P., Madsen H., Fischer D., Korpås M. Long-term electricity load forecasting: Current and future trends. *Utilities Policy*. 2019. №58. P. 102-119
55. Lyeonov S., Pimonenko T., Bilan Y., Štreimikiene D., Mentel G. Assessment of green investments' impact on sustainable development: Linking gross domestic product per capita, greenhouse gas emissions and renewable energy. *Energies*. 2019. №12(20). doi:10.3390/en12203891
56. Lyulyov, O., Pimonenko, T., Shvindina, H., & Pudryk, D. (2021). Migration process in Ukraine: the financial, social and economic determinants. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*, 4(39), 452–474. <https://doi.org/10.18371/.v4i39.241415>
57. Lyulyov, O., Pimonenko, T., Kwilinski, A., & Us, Y. (2021). The heterogeneous effect of democracy, economic and political globalisation on renewable energy. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 250, 03006). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125003006>

58. Lyulyov, O., Pimonenko, T., Kwilinski, A., Dzwigol, H., Dzwigol-Barosz, M., Pavlyk, V., Barosz, P. (2021). The Impact of the Government Policy on the Energy Efficient Gap: The Evidence from Ukraine. *Energies*, 14(2):373. <https://doi.org/10.3390/en14020373>

59. Lyulyov, O., Vakulenko, I., Pimonenko, T., Kwilinski, A., Dzwigol, H., Dzwigol-Barosz, M. (2021). Comprehensive Assessment of Smart Grids: Is There a Universal Approach? *Energies*, 14(12), 3497. <https://doi.org/10.3390/en14123497>

60. Ma L., Hu Ch., Lin R., Han. Y.. ARIMA model forecast based on EViews software. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Scienc. 2018. doi:10.1088/1755-1315/208/1/012017

61. Markandya A., Pedroso-galinato S., Streimikiene D. Energy intensity in transition economies: is there convergence towards the EU average? *Energy Economy*. 2006. №28. P. 121–145.

62. Mishra, V., Smyth, R., Sharma, S. (2009). The energy-GDP nexus: evidence from a panel of pacific island countries. *Resources Energy Economy*. 2009. №31. P. 210–220.

63. Miśkiewicz R.. The importance of knowledge transfer on the energy market. *Polityka Energetyczna*. 2018. №21(2). P. 49-62. <http://dx.doi.org/10.24425/2F122774>

64. Modis T. Forecasting energy needs with logistics. *Technological Forecasting and Social Change*. 2019. №139. P. 135-143.

65. Omran E.A.M., Bilan Y. The Impact of Fiscal Policy on the Unemployment Rate in Egypt. *Montenegrin Journal of Economics*. 2020. №16(4). P. 199-209

66. Panchenko, O., Domashenko, M., Lyulyov, O., Dalevska, N., Pimonenko, T. & Letunovska, N. (2021). Objectivation of the Ecological and Economic Losses from Solid Domestic Waste at the Heating Enterprises. *Management Systems in Production Engineering*, 29(3), 235-241. <https://doi.org/10.2478/mspe-2021-0029>

67. Parikh J., Shukla V. Urbanization, energy use and greenhouse effects in economic development — results from a crossnational study of developing countries. *Glob. Environ. Chang*. 1995. №5. P. 87–103.

68. Pavlyk V. Assessment of green investment impact on the energy efficiency gap of the national economy. *Financial Markets, Institutions and Risks*. 2020. № 4 (1). P. 117–123
69. Pavlyk V. Institutional determinants of assessing energy efficiency gaps in the national economy. *SocioEconomic Challenges*. 2020. № 4 (1). P. 22–28
70. Pavlyk V., Panchenko V., Harust Yu., Us Ya., Korobets O. Energy-Efficient Innovations: Marketing, Management and Law Supporting. *Marketing and Management of Innovations*. 2020. № 1. P. 256–264
71. Pavlyk V., Reshetnyak Ya. Energy efficiency gap: EU experience to minimize. *Science without borders – 2020: proceeding of the Int. scient. and pract. conf.* United Kingdom: Sheffield. Science and Education, 2020. P. 23–26
72. Pavlyk V., Reshetnyak Ya. Linking between green energy and energy gap. *Naukowa przestrzeń Europy – 2020: proceeding of the Int. scient. and pract. conf.* Poland: Nauka i studia, 2020. P. 20–22
73. Petroye O., Lyulyov O., Lytvynchuk I., Paida Y., Pakhomov V. Effects of information security and innovations on country's image: Governance aspect. *International Journal of Safety and Security Engineering*. 2020. №10(4). P. 459-466. <https://doi.org/10.18280/ijssse.100404>
74. Pimonenko T., Bilan, Y., Horák J., Starchenko L., Gajda W. Green Brand of Companies and Greenwashing under Sustainable Development Goals. *Sustainability* 2020. №12(4). P. 1679. <https://doi.org/10.3390/su12041679>
75. Pimonenko T., Lyulyov O., Us Ya, Lyulyova L. Foresight of national economy stability: social, ecological and economics dimensions. *International Scientific Conference „Emerging Trends in Economics, Culture and Humanities (etECH2020)”* – Conference abstracts proceedings. – EKA University of Applied Science / Alberta College, 2020. P. 19-20.
76. Pimonenko T.V., Lyulyov O.V., Us Ya. O. Retrospective Energy Efficiency Profiles in Developing the Free-Carbon Economy. Prospects for effective managerial decisions in business and projects *Proceedings of the 6th International Scientific Conference September 17–18, 2020. Abstracts Proceedings* P. 118-121.



77. Pimonenko, T., Lyeonov, S., Shaforost. Yu. Energy efficiency gap on national economy. III International Science Conference SER. September, 17-19, 2020 Igalo (Montenegro). 2020. P. 74.

78. Pimonenko, T., Lyulyov, L., Us, Y. (2021). Cointegration between Economic, Ecological and Tourism Development. *Journal of Tourism and Services*, 23(12), 169-180. doi: 10.29036/jots.v12i23.293

79. Pimonenko, T., Lyulyov, O., Us, Ya., Dubyna, O., Kumah, Os.Ow.E. (2021). Gender Stereotypes and Green Banking Toward Carbon-Free Economy. *Financial Markets, Institutions and Risks*, 5(4), 29-38. [http://doi.org/10.21272/fmir.5\(4\).29-38.2021](http://doi.org/10.21272/fmir.5(4).29-38.2021)

80. Poumanyong P., Kaneko S. Does urbanization lead to less energy use and lower CO2 emissions? A cross-country analysis. *Ecol. Econ.* 2010. №70. P. 434–444.

81. Rafiq S., Salim R., Nielsen I. Urbanization, openness, emissions and energy intensity: A study of increasingly urbanized emerging economies. *Energy Economics*. 2016. №56. P. 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.02.007>.

82. Sadorsky P. Do urbanization and industrialization affect energy intensity in developing countries? *Energy Econ.* 2013. №37. P. 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.01.009>.

83. Samimi P., Jenatabadi H. S. Globalization and economic growth: Empirical evidence on the role of complementarities. *PloS one*. 2014. №9(4). P. e87824.

84. Scimago Journal & Country Rank. [Online] <https://www.scimagojr.com/> [Accessed: 2020-12-11]

85. Scopus. [Online] <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic> [Accessed: 2020-04-11]

86. Scopus. Retrieved from <https://www.scopus.com/>.

87. Sokolovska A., Zatonatska T., Stavytskyy A., Lyulyov O., Giedraitis V. The impact of globalization and international tax competition on tax policies. *Research in World Economy*. 2020. №11(4). P. 1-15. doi:10.5430/rwe.v11n4p1

88. Sotnyk I. M., Volk O. M., Chortok Y. V.. Increasing ecological & economic efficiency of ict introduction as an innovative direction in resource saving. Actual Problems of Economics. 2013. №147(9). P. 229-235.

89. Sotnyk I., Kurbatova T., Dashkin V., Kovalenko Y. Green energy projects in households and its financial support in Ukraine. International Journal of Sustainable Energy. 2020. №39(3). P. 218-239. doi:10.1080/14786451.2019.1671389

90. The World Bank. [Online] <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KD?locations=UA> [Accessed: 2020-05-20]

91. Us Ya., Tambovceva T., Pimonenko T.V., Lyulyov O.V. The link between green consciousness and green brand development. 61th International Scientific Conference of Riga Technical University “Scientific Conference on Economics and Entrepreneurship SCEE’2020”. Book of Abstracts. Riga: RTU Press, 2020.

92. Us, Y., Pimonenko, T., Lyulyov, O. (2021). Energy efficiency profiles in developing the free-carbon economy: on the example of Ukraine and the V4 countries. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, 23(4), 49-66. <https://doi.org/10.33223/epj/127397>

93. Van Eck N. J., Waltman L. VOS: A New Method for Visualizing Similarities Between Objects. *Advances in Data Analysis*. 2019. P. 299–306. doi:10.1007/978-3-540-70981-7\_34

94. Vasylieva, T., Pavlyk, V., Bilan, Y., Mentel, G., & Rabe, M. (2021). Assessment of energy efficiency gaps: The case for ukraine. *Energies*, 14(5) doi:10.3390/en14051323

95. Vasylyeva T. A., Pryymenko S. A. Environmental economic assessment of energy resources in the context of ukraine’s energy security. Actual Problems of Economics. 2014. №160(1). P. 252-260

96. World Energy Council. Retrieved from <https://trilemma.worldenergy.org/>.

97. Wu W., Ma X., Zeng B., Wang Y., Cai, W. Forecasting short-term renewable energy consumption of China using a novel fractional nonlinear grey Bernoulli model. *Renewable energy*. 2019. №140. P. 70-87.
98. Ying Y. H., Chang K., Lee C. H. The impact of globalization on economic growth. *Romanian Journal of Economic Forecasting*. 2014. №17(2). P. 25-34.
99. York R. Demographic trends and energy consumption in European Union Nations. 1960–2025. *Soc. Sci. Res*. 2007. № 36. 2007. P. 855–872.
100. Zhang X., Zhao X., Jiang Z., Shao S. How to achieve the 2030 CO<sub>2</sub> emission-reduction targets for china's industrial sector: Retrospective decomposition and prospective trajectories. *Global Environmental Change*. 2017. №44 P. 83-97. doi:10.1016/j.gloenvcha.2017.03.003
101. Ziabina Y., Pimonenko T. The Green Deal Policy for Renewable Energy: A Bibliometric Analysis. *Virtual Economics*. 2020. № 3(4). P. 137-145. [https://doi.org/10.34021/ve.2020.03.04\(8\)](https://doi.org/10.34021/ve.2020.03.04(8))
102. Ziabina, Y. A., Pimonenko, T. V., & Starchenko, L. V. (2020). Energy efficiency of national economy: social, economic and ecological indicators. *SocioEconomic Challenges*, 4(4), 160-174. [https://doi.org/10.21272/sec.4\(4\).160-174.2020](https://doi.org/10.21272/sec.4(4).160-174.2020)
103. Ziabina, Y., Pimonenko, T., & Prasol, L. (2020). Carbon-free economy: meta-analysis. *Innovation, Social and Economic Challenges: Proceedings of the International Scientific Online Conference, Sumy, December 1-3, 2020* / edited by Dr. Oleksii Lyulyov, Dr. Tetyana Pimonenko – Sumy: Sumy State University, 2020, 18-20.
104. Ziabina, Y., Pimonenko, T., Lyulyov, O., Us, Y., & Proshkin, D. (2021, September). Evolutionary development of energy efficiency in the context of the national carbon-free economic development. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 307, p. 09002). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130709002>
105. Ziabina, Ye., & Pimonenko, T. (2020). The Green Deal Policy for renewable energy: a bibliometric analysis. *Virtual Economics*, 3 (4), 147–168.

106. Ziabina, Ye., Kovalenko, Ye. (2021). Regularities In The Development Of The Theory Of Energy Efficiency Management. *SocioEconomic Challenges*, 5(1), 117-132. [https://doi.org/10.21272/sec.5\(1\).117-132.2021](https://doi.org/10.21272/sec.5(1).117-132.2021).

107. Ziabina, Ye., Pimonenko, T., & Lyulyov, O. (2020). The development of green energy within the European Green Deal. In VI International Interdisciplinary Scientific Conference, Proceedings of the Int. scient. and pract. conf. (Pol.). (pp. 287–290).