

УДК 621.31
УКПП
N держреєстрації 0119U100766
Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2;
тел. (0542) 33 53 83; факс 33 40 58

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи,
д-р фіз.-мат. наук, професор
_____ А.М. Черноус
_____.____.____

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
Оптимізаційна модель розбудови розумних та безпечних енергетичних мереж:
інноваційні технології екологізації підприємств і регіонів

РОЗРОБКА ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОЗБУДОВИ «РОЗУМНИХ»
ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ
(проміжний)

Керівник НДР
канд. екон. наук, доц.

С.І. Колосок

2020

Рукопис закінчено 23 листопада 2020 р.

Результати цієї роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол від
25.11.2020 р. № 4

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, виконавець ЦПД, канд. екон. наук, доцент, докторант	2020.11.23	С. І. Колосок (вступ, висновки, підрозділи 1.2, 2.2, 2.3)
Відповідальний виконавець, наук. співроб.	2020.11.23	І. А. Вакуленко (підрозділ 1.3)
Старший наук. співроб., канд. екон. наук, доцент	2020.11.23	О. В. Кубатко (підрозділ 1.1)
Старший наук. співроб., канд. екон. наук	2020.11.23	І. С. Мареха (підрозділ 2.1)
Старший наук. співроб., канд. екон. наук	2020.11.23	Ю. Т. Матвеева (підрозділи 1.2, 2.1)
Старший наук. співроб., канд. техн. наук	2020.11.23	А. В. Євдокимова (підрозділ 2.1)
Старший наук. співроб., канд. екон. наук	2020.11.23	С. А. Прийменко (підрозділ 2.1)

Фахівець 2 кат., аспірант		Д. А. Півень
	2020.11.23	(підрозділ 2.1)
Виконавець ЦПД, студент		Р. В. Котюк
	2020.11.23	(підрозділ 1.2)
Виконавець ЦПД, студент		Н. О. Петренко
	2020.11.23	(підрозділ 2.1)
Виконавець ЦПД, студент		А. О. Дехтяренко
	2020.11.23	(підрозділ 2.1)
Виконавець ЦПД, студент		Д. О. Ярьоменко
	2020.11.23	(підрозділ 1.1)
Виконавець ЦПД, студент		Д. І. Григоренко
	2020.11.23	(підрозділ 2.1)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 70 с., 12 рис., 23 табл., 88 джерел.

ІННОВАЦІЙНА ЕНЕРГЕТИКА, ОПТИМІЗАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ,
РОЗУМНА ЕНЕРГОСИСТЕМА, ЦІЛІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Об'єкт дослідження – процес багатокритеріальної оптимізації енергомереж з урахуванням фінансових та часових обмежень, ресурсного потенціалу регіонів та оптимальних логістичних рішень щодо геопросторового розміщення енергопотужностей.

Метою дослідження є розробка оптимізаційної моделі розбудови «розумних» та еколого-безпечних енергомереж, реалізація якої дозволить виконання кількісного та якісного оцінювання впливу фінансових, ресурсних, геопросторових та часових факторів на екологічну, економічну та енергетичну ефективність енергомереж.

Методи дослідження – аналізу та синтезу, статистичний та регресійний аналіз. Для розрахунків використано інструментарій VOSViewer 1.6.10, Python 3.6.11.

На підставі проведених досліджень отримано наукові результати:

1. Встановлено релевантні фактори впливу на ефективність функціонування, модернізацію та будівництво енергомереж шляхом побудови матриці ідентифікації факторів реалізованої логістичної моделі.
2. Сформовано систему формалізованих даних щодо кількісного та якісного оцінювання впливу фінансових, ресурсних, геопросторових та часових факторів на екологічну, економічну та енергетичну ефективність енергомереж.
3. Обґрунтовано формалізований опис складових оптимізаційної моделі, системи обмежень та очікуваних результатів.
4. Описано результати апробації оптимізаційної моделі; обґрунтовано методичний підхід до оптимізаційного моделювання розбудови «розумних» енергетичних мереж з урахуванням фінансових, ресурсних, геопросторових та часових параметрів та встановлено схему енерго- та екологоефективної мережі.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 Економічні ефекти моделювання розумних енергомереж	8
1.1 Економіка енергоспоживання розумних мереж	8
1.2 Основні фактори розвитку відновлювальної енергетики та розумних мереж	14
1.3 Економічні ефекти та підходи до оцінювання розумних енергомереж	20
2 Індикатори, моделі та патерни розбудови розумних енергетичних мереж	26
2.1 Підхід до оптимізаційного моделювання розбудови розумних енергетичних мереж з урахуванням геопросторових та часових параметрів	26
2.2 Моделювання розбудови енергомереж на базі індикаторів сталого розвитку та ефективності енергетичної сфери	33
2.3 Аплікація логарифмічних функцій при моделюванні балансів електроспоживання мережі	48
Висновки	58
Перелік джерел посилання	60

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В сучасних умовах ретельне дослідження та планування розумних мереж й об'єктів відновлювальної енергетики може забезпечити екологічну безпеку соціо-економічних систем та територій завдяки урахуванню ключових факторів їх розвитку. У науковій спільноті простежується стійкий інтерес до досліджень геопросторових, фінансових, людських та часових факторів розвитку розумних мереж та відновлюваної енергетики.

Серед актуальних питань енергетичної галузі, особливий інтерес становлять можливості її багатокритеріальної оптимізації, особливо, при обґрунтуванні напрямів розгортання розумних мереж в енергетиці. Саме тому, заслуговують на особливу увагу питання аналізу, дослідження та моделювання факторів розвитку розумних енергетичних мереж, їх багатокритеріальної оптимізації, особливо – при впровадженні об'єктів відновлювальної енергетики.

Об'єкт дослідження: Процес багатокритеріальної оптимізації енергомереж з урахуванням фінансових та часових обмежень, ресурсного потенціалу регіонів та оптимальних логістичних рішень щодо геопросторового розміщення енергопотужностей.

Предмет дослідження: Економічні відносини, що виникають між всіма суб'єктами енергетичного ланцюга при впровадженні «розумних» енергоощадливих та еколого-безпечних інноваційних технологій.

Метою дослідження є розробка оптимізаційної моделі розбудови «розумних» та еколого-безпечних енергомереж, реалізація якої дозволить виконання кількісного та якісного оцінювання впливу фінансових, ресурсних, геопросторових та часових факторів на екологічну, економічну та енергетичну ефективність енергомереж.

Методи дослідження – аналізу та синтезу, статистичний та регресійний аналіз. Для розрахунків використано інструментарій VOSViewer 1.6.10, Python 3.6.11.

Результати роботи та їх новизна.

На підставі проведених досліджень отримано наукові результати:

- встановлено релевантні фактори впливу на ефективність функціонування, модернізацію та будівництво енергомереж шляхом побудови матриці ідентифікації факторів реалізованої логістичної моделі;
- сформовано систему формалізованих даних щодо кількісного та якісного оцінювання впливу фінансових, ресурсних, геопросторових та часових факторів на екологічну, економічну та енергетичну ефективність енергомереж;
- обґрунтовано формалізований опис складових оптимізаційної моделі, системи обмежень та очікуваних результатів та показано, що стимулювання виробництва електроенергії з відновлюваних джерел в Україні не тільки призводить до зеленого споживання енергії, але й значно збільшує нестабільність між виробництвом та споживанням електроенергії;
- описано результати апробації оптимізаційної моделі; обґрунтовано методичний підхід до оптимізаційного моделювання розбудови «розумних» енергетичних мереж з урахуванням фінансових, ресурсних, геопросторових та часових параметрів та встановлено схему енерго- та екологоефективної мережі, що враховує вимоги до мінімальних викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

1 ЕКОНОМІЧНІ ЕФЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ

1.1 Економіка енергоспоживання розумних мереж

Традиційна мережа базується на централізованих електростанціях, що постачають електроенергію споживачам через прості односторонні системи передачі та розподілу. Сучасні виробничі потужності в Україні виробляються в основному на викопному паливі, що суттєво сприяє збільшенню концентрації вуглекислого газу з відповідними негативними наслідками для клімату. У той же час у світі перевага віддається підвищенню енергоефективності та використанню енергії з відновлюваних та альтернативних джерел.

Енергетичний перехід є вирішальним для зростання економіки України, підвищення рівня життя, створення можливостей для підвищення конкурентоспроможності українських компаній та власного виробництва, просування України у світових рейтингах.

Вивчення світових енергетичних тенденцій показує, що основними факторами є енергоефективність, безпека енергопостачання, енергетична безпека та гармонізація навколишнього середовища. Водночас підвищення ступеня енергоефективності є стратегічним напрямком зменшення енергоємності економіки. Важлива роль відводиться інноваційним технологіям Smart Grid у поєднанні з технологіями "інтелектуальних" концепцій обліку та розрахунків (Smart Metering), управління попитом (Response Response), накопичувачами енергії та зарядкою електромобілів для успішного вирішення нагальних енергетичних проблем, включаючи – задоволення зростаючого попиту.

У роботі "Статистичний огляд світової енергетики 2019", що було опубліковано компанією British Petroleum, надається огляд стану й прогнозу світового енергетичного ринку попиту та пропозиції енергетичних ресурсів у світі. Аналізуючи дані зі звіту, можливо розглянути загальну картину динаміки глобального балансу енергоспоживання (рис. 1) [6].

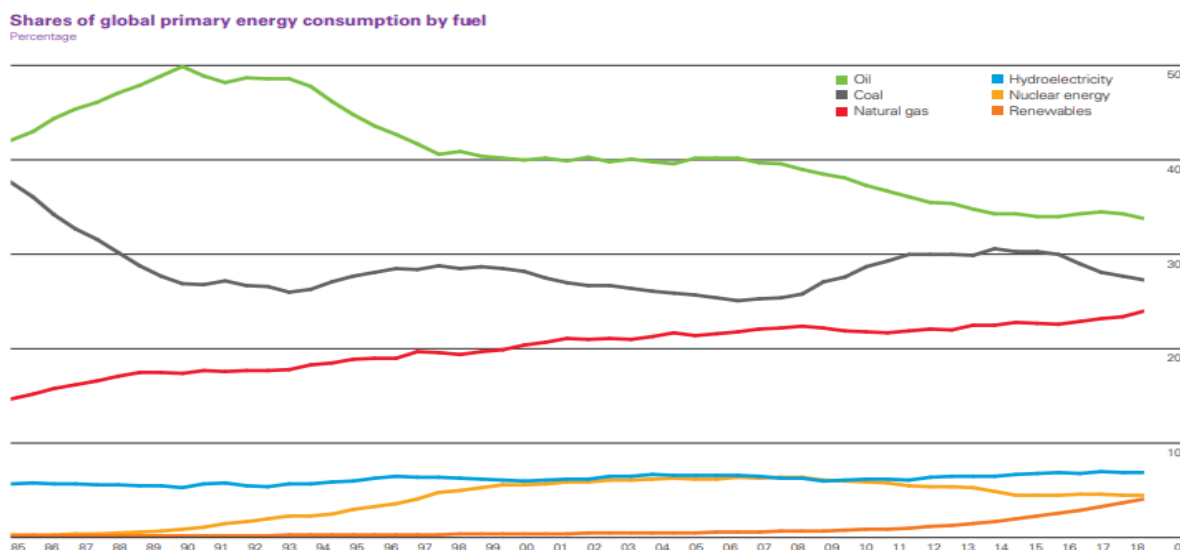


Рисунок 1.1 – Динаміка світового енергетичного балансу [6]

Як можна бачити на рис. 1.1, нафта залишається найбільш використовуваним паливом у енергетичному портфелі. Вугілля – друге за споживанням паливо, проте у 2018 році його обсяг скоротився на 27%, що є найнижчим рівнем за останні 15 років. Частка природного газу зросла до 24%, і таким чином, розрив між вугіллям і газом зменшився до трьох відсоткових пунктів. Вклад гідроенергетики та ядерної енергетики залишався відносно рівним у 2018 році – 7% та 4% відповідно. Рівень використання ВДЕ зріс, що тим самим збільшило частку відновлюваних джерел до 4%. І світове споживання електроенергії з відновлюваних джерел зростає з кожним роком.

У даний час українська економіка є серед найменш енергоефективних. Інші країни світу, зокрема країни ЄС, значно зменшили споживання енергії за останні 20 років, але в Україні значна частина їх витрачається неефективно через старе обладнання, зношені основні фонди та неефективні житлово-комунальні послуги.

Згідно з доповіддю "Міжнародна система показників енергоефективності за 2018 рік" Американської ради з енергозбереження, визначено країни, що економлять краще електроенергію [66]. Так, згідно з рейтингом, Німеччина та Італія посідають перше місце з оцінкою 75,5 бали зі 100. Франція отримала 3

місце з результатом 73,5 бали, за ними слідує Великобританія та Японія. США порівняно з 2016 роком, перемістилась на дві позиції. Інші країни розташовані в такому порядку: Канада, Мексика, Південна Корея, Польща, Індія, Туреччина, Індонезія, Австралія, Україна та інші. Німеччина зберігає свої лідируючі позиції з 2014 року переважно через впровадження плану Energiewende. Крім того, держава прагне повністю зупинити викиди вуглекислого газу в навколишнє середовище до 2050 року.

Слід також зазначити, що важливим аргументом на користь підвищення енергоефективності є інвестиції, що підтримують уряди, а також політика економії грошей, зменшення імпорту енергії та забруднення [34]. Саме тому впровадження технології «розумних» мереж має першорядне значення, оскільки сприяє підвищенню енергоефективності та збільшенню частки ВДЕ в загальному енергетичному балансі країн. Впровадження розумних технологій в енергетиці має певні переваги, зокрема:

- гарантування безперервної роботи електромереж зі збільшенням навантаження;
- зменшення втрат електроенергії за рахунок запровадження концепції «розумного» обліку з оцінкою якості електроенергії;
- формування сфери комунікації, що може підтримувати якісний та надійний двосторонній обмін інформацією між споживачами та постачальниками електроенергії.
- більш якісна електроенергія, що досягається за допомогою технологічних пристроїв та автоматизованих систем контролю якості електроенергії;
- використання «розумного» обладнання для управління мережею для забезпечення надійної роботи;
- використання накопичувача енергії необхідного обсягу для вирівнювання навантаження на мережі.

Не менш важливим показником глобальної енергетики є індекс переходу енергії – рейтинг, заснований на фактах, розроблений, щоб дозволити політикам

та бізнесу сформувані напрямки успішного енергетичного переходу. Вивчення енергетичних концепцій на основі індексу енергетичного переходу проводиться щорічно в різних країнах і є частиною ініціативи Світового економічного форуму. Індекс енергетичного переходу визначає поточну ефективність державної енергетичної системи та готовність до енергетичного переходу.

Енергетичний перехід означає використання в світовому енергетичному секторі відновлюваних джерел енергії, що зменшить викиди CO₂ та покращить світовий клімат. Слід зазначити, що глобальний енергетичний перехід є досить повільним, але стабільним. Згідно з таблицею 1.1, можна стверджувати, що найвищі показники у Швеції, Швейцарії, Фінляндії, Данії та Норвегії [17], [81].

Взагалі, застосування технологій Smart Grid та енергетичного переходу країнами базується на положеннях повністю інтегрованої, самовідновлюваної та саморегулюючої концепції електроенергії, що має свої мережі та містить повний перелік генеруючих джерел, магістралі та розподільну мережу для всіх типів споживачів електроенергії, мережу інформаційних й контрольних пристроїв та систем у реальному часі. Слід зазначити, що використання Smart Grid на глобальному рівні поєднує низку сучасних технологій, таких як:

- концепції управління енергетичним режимом та енергосистеми, включаючи "розумні" системи;
- концепції автоматизації розподілу електроенергії для класів середньої та низької напруги (автоматизація розподілу);
- «розумний» облік і розрахунки та управління рутинним навантаженням;
- інформаційна система клієнта;
- концепція зарядки електромобілів тощо.

Електричні мережі Smart Grid використовують різноманітні "розумні" датчики, такі як датчики напруги, датчики балансування навантаження, двофазні датчики, датчики динамічних ліній електропередач, що збільшують потужність, датчики рівня бездротового сигналу. Загалом, датчики в мережах Smart Grid

потрібні для збалансування навантажень, підвищення ефективності, контролю за роботою електронної мережі та управління двосторонніми потоками енергії [89].

Таблиця 1.1 – Глобальні показники енергетичного переходу (2020)

№ / рейтинг країни	Країна	Індекс%
1	Швеція	74,2%
2	Швейцарія	73,4%
3	Фінляндія	72,4%
4	Данія	72,2%
5	Норвегія	72,2%
6	Австрія	70,5%
7	Об'єднане Королівство	69,9%
8	Франція	68,7%
9	Нідерланди	68,0%
10	Ісландія	67,3%

Джерело: побудовано на основі статистичних даних Всесвітнього економічного форуму [65]

Реалізація концепції Smart Grid враховує вимоги всіх зацікавлених сторін - держави, споживача, компаній, що виробляють мережі, виробника тощо. У зв'язку з цим враховуються основні особливості нової енергетики:

- надійність та якість енергопостачання;
- ефективність усіх видів ресурсів і технологій у виробництві, передачі, розподілі та споживанні електроенергії;
- оптимізація та диференціація тарифів на енергопостачання з одночасним зменшенням загальносистемних витрат на виробництво та розподіл електроенергії;
- забезпечення споживачів енергією по всій території країни;
- зменшення негативного впливу на середовище.

Сьогодні Україна використовує різні джерела енергії, такі як вугілля, петролеум, природний газ, атомна енергія, енергія сонця та вітру, гідроенергетика. Останніми роками найпопулярнішими в Україні є викопні ресурси, а саме природний газ та вугілля, що разом становлять понад 60% енергетичного балансу. Але слід зазначити, що одночасно внаслідок зміни цін, нових технологій та світових тенденцій частка альтернативної енергетики поступово зростає [88]. Для наочного прикладу можна проаналізувати потужність теплової, сонячної, вітрової енергії та гідроелектростанції.

Загальна потужність гідроелектростанцій (ГЕС) та гідроаккумуляційних електростанцій (ГАЕС) становить 6200 МВт. Однак основною метою гідроенергетиків є підтримка стабільності української енергосистеми у змінній частині графіка навантаження.

Останнім часом спостерігається явні дискусійні питання навколо вітру (ВЕС) та сонячної (СЕС) електроенергії, що багато в чому можна пояснити Паризькою угодою, яка вимагає зменшення вуглецевої енергії та зосередження уваги на відновлюваних та ядерних джерелах, щоб уникнути катастрофічних змін клімату. Прогрес економічних показників вітроелектростанцій також очевидний. Але, на жаль, його кінцеві результати не такі очевидні, враховуючи ціни на будівельні матеріали для вітряних електростанцій та електростанцій (кремній, літій тощо), що постійно змінюються, досить впливає на економію цих джерел електроенергії.

Однак основною проблемою цих джерел є нестабільність, саме тому встановлена потужність настільки низька: лише 25% для вітроелектростанцій і ще менше для СЕС, оскільки сонячні електростанції не працюють вночі. Через це існує необхідність у створенні резервної ємності. Існують різні стандарти резервного копіювання: від 30 до 70% потужності вітряних електростанцій та СЕС. Бажано призначити резервні функції для вітрових електростанцій та СЕС для газових та парогазових установок. Крім того, важливо вирішити проблему надмірності, створивши ємність для зберігання. Якщо є вітер і сонце, тоді

заряджують акумулятори. Якщо немає ні сонця, ні вітру, то є можливість використовувати накопичену електроенергію від акумуляторів [33, 35, 43].

1.2 Основні фактори розвитку відновлювальної енергетики та розумних мереж

В сучасних умовах ретельне дослідження та планування розумних мереж й об'єктів відновлювальної енергетики може забезпечити екологічну безпеку соціо-економічних систем та територій завдяки урахуванню ключових факторів їх розвитку. У науковій спільноті простежується стійкий інтерес до досліджень геопросторових, фінансових, людських та часових факторів розвитку розумних мереж та відновлюваної енергетики.

Серед актуальних питань енергетичної галузі, особливий інтерес становлять можливості гео-інформаційних технологій, особливо, при обґрунтуванні напрямів розгортання розумних мереж в енергетиці. Саме тому, заслуговують на особливу увагу питання аналізу, дослідження та урахування геопросторофих факторів під час розвитку розумних енергетичних мереж, зокрема при впровадженні об'єктів відновлювальної енергетики. Теоретичні та прикладні аспекти геопросторового розгортання відновлюваної енергетики та розумних мереж висвітлені такими вітчизняними та зарубіжними вченими, як: О. Л. Агапова, Я. О. Адаменко, С. А. Величко, М. Гріцишина, В. І. Зацерковний, В. Лір, Н. М. Москальчук, А. В. Мороз, Н. В. Оберемок О. Н. Останчук, Н. В. Попович, В. А. Пересадько, А. А. Пузик, В. В. Филенко, Б. О. Шуліка, Бай К., Лі З., Лю Ф., Лю В., Сян М., Чжоу Ц., Інга Е.

Зокрема дослідження щодо урахування технічних, фінансових, екологічних та соціальних обмежень для впровадження проєктних пропозицій із чистої енергії присвячені Тормосову Р.Ю., Романюк О.П., Сафіуліної К.Р. Вагомий внесок до досліджень відновлюваної енергії при розбудові розумних мереж зробили Цзінь Х., Сун З., Чень С. та інші.

Для дослідження термінологічної спрямованості наукових публікацій у контексті впливу ключових параметрів на розвиток відновлювальної енергетики та розумних мереж, була обрана база даних Scopus®, що містить бібліографічні відомості про наукові публікації в рецензованих журналах, книгах та конференціях. Вибірку публікацій отримано без застосування фільтру щодо галузей знань у назвах статей, короткому опису та ключових словах за пошуковими словами «smart grid» та «geo». Загалом, вихідна вибірка склала 68 публікацій за 2009-2020 рр. Візуалізація поняттєвої мережі представлена на рис. 1.2. Тематична спрямованість публікацій здійснювалася з частотою ≥ 3 та мінімальним розміром кластеру, який дорівнює 10 в середовищі програмного забезпечення VOSviewer (версія 1.6.15).

Застосування програмного забезпечення дозволило виокремити три кластери досліджень у контексті впливу геопросторових параметрів на розвиток розумних мереж. У червоному кластері (перший кластер) визначено вплив фінансових, людських та часових складових геопросторового фактору на розвиток розумних мереж. Більше всього зав'язків в першому кластері визначено за поняттям «витрати» (усього 29 зв'язків з середньою силою впливу, що дорівнює 9).

Зелений кластер (другий кластер) пов'язаний з використанням геоінформаційних систем (GIS), цифрового зберігання, інформаційних систем та картографічної інформації. Дослідження з питань відновлюваної енергії також належать до другого кластеру публікацій (рис. 1.3). Серед усіх 20 зав'язків з поняттям «відновлювальна енергія», більшу вагу мають зв'язки з третім кластером, що містить ключові слова з технологічних питань розбудови розумних мереж.

Отже, в останньому кластері (синій кластер) виокремлено усі поняття розумних мереж за технічними їх видами та в контексті напрямів оптимізації. Окрім словосполучення «розумні мережі», в синьому кластері є й такі ключові слова, як «розумні електромережі», «мережа передавання електроенергії». Так,

кластер понять «розумні електромережі» має 48 зав'язків з силою впливу – 31. В третьому кластері зосереджені поняття з найпотужнішою силою зв'язку.

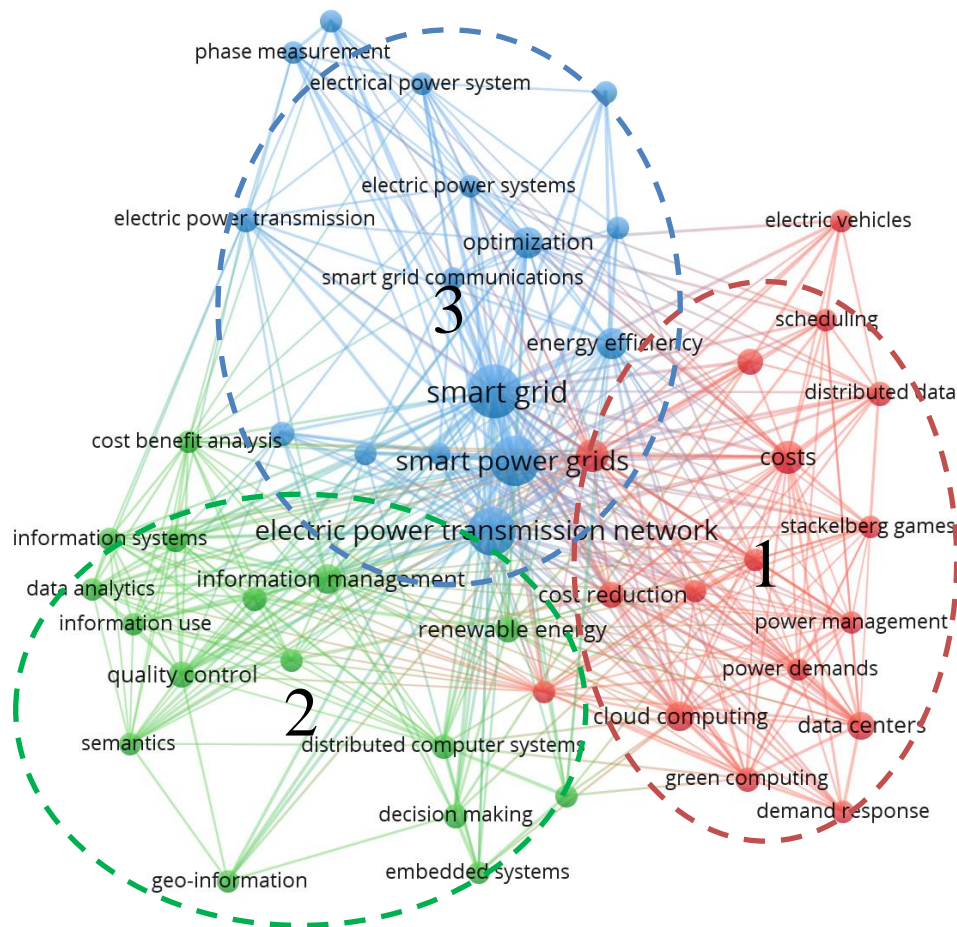


Рисунок 1.2 – Кластери досліджень за 2009-2020 рр. в БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY «Smart grid» AND «geo» [84] (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Як свідчать результати аналізу БД Scopus®, найбільший інтерес до геопросторових факторів розвитку розумних мереж був у 2016 році. Загалом, починаючи з 2012 року по 2019 рік, спостерігається позитивна динаміка до збільшення кількості робіт з цієї тематики (рис. 1.4).

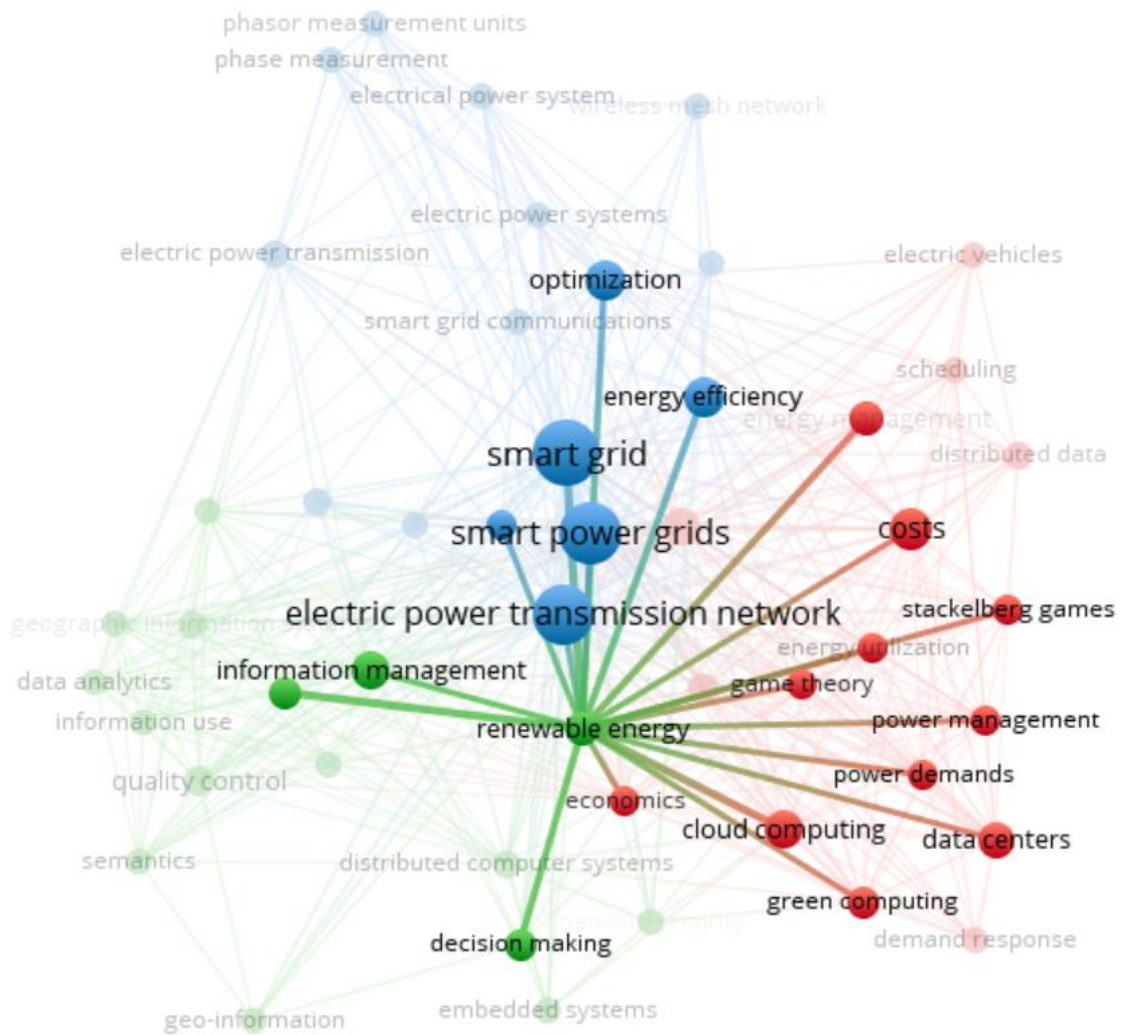


Рисунок 1.3 – Зв'язки поняття «відновлювальна енергія» серед публікацій в БД Scopus® за 2009-2020 рр., отримані за фільтрами TITLE-ABS-KEY «Smart grid» AND «geo» [84] (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Дослідження в зазначеній тематиці виконуються в різних країнах світу, проте найбільш активно аналізується вплив геопросторових параметрів на розвиток розумних мереж у трьох країнах: США, Канада та Китай (рис. 1.5). Трьома найбільшими спонсорами таких досліджень є Національний науковий фонд, Національний фонд природничих наук Китаю та Міністерство науки, ІКТ й планування майбутнього.

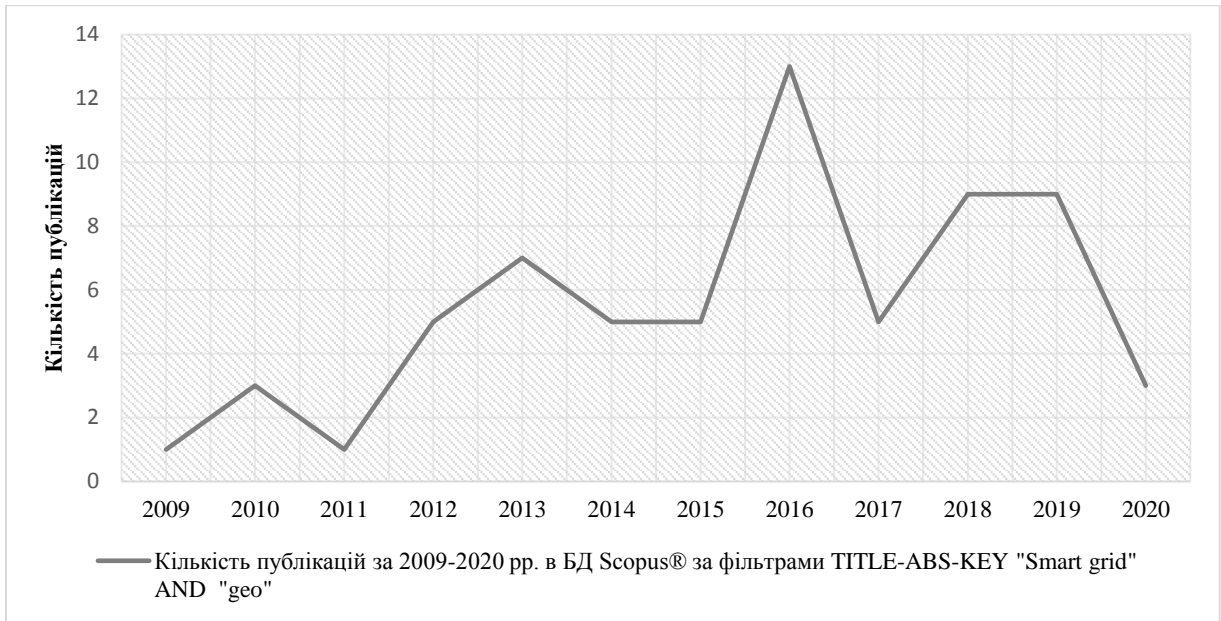


Рисунок 1.4 – Кількість публікацій за 2009-2020 рр. в БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY «Smart grid» AND «geo» [84] (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

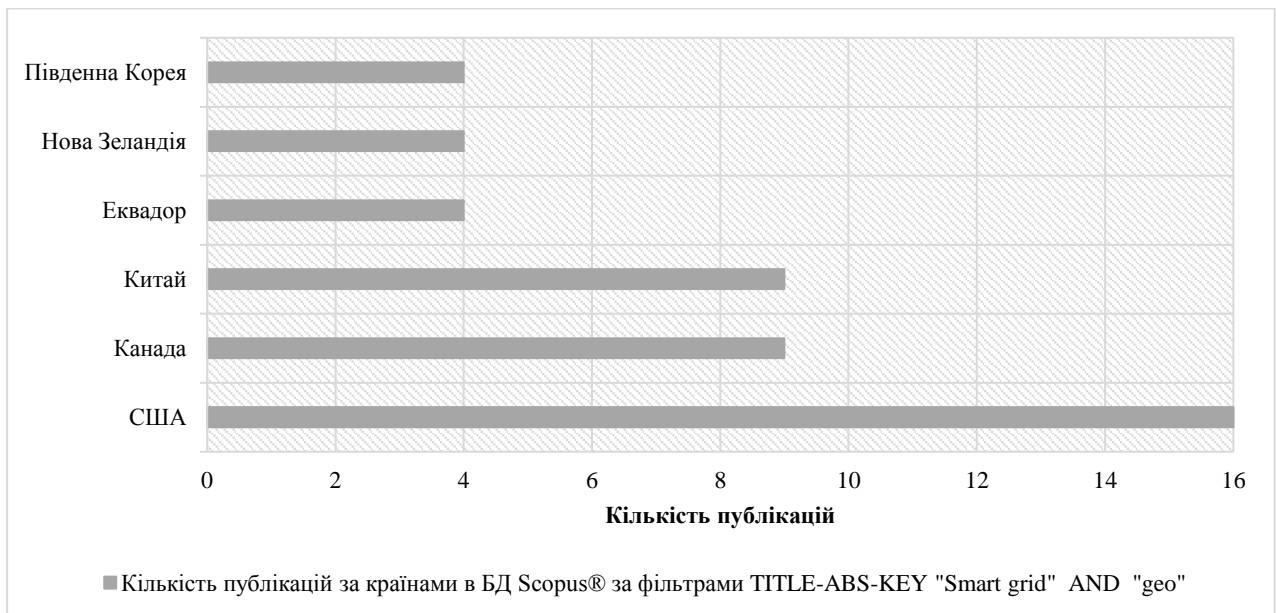


Рисунок 1.5 – Кількість публікацій за країнами в БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY «Smart grid» AND «geo» [84] (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Оптимальна розбудова розумних енергетичних мереж не можлива без відповідного фінансування наукових шкіл. За кількістю опублікованих праць слід виділити п'ять університетів, науковці яких зробили найбільший вклад у дослідження даної тематики (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Топ 5 установ за кількістю публікацій, що обрані за фільтрами TITLE-ABS-KEY «Smart grid» AND «geo» в БД Scopus® [84] (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Наукова установа	Кількість праць	Автори	Цитування праць
<i>Університет науки і технологій Хуачжун (Китай)</i>	5	Zhou Z., Liu F., Jin H., Sun Z., Chen S.	104
<i>Оклендський технологічний університет (Нова Зеландія)</i>	4	Xiang M., Bai Q., Liu W.	23
<i>Університет Кюн Хі (Південна Корея)</i>	3	Tran N.H., Tran D.H., Huh E.-N., Hong C.S., Jang S.M., Moon S.I., Seon Hong C.	67
<i>Університет Калгарі (Канада)</i>	3	Li Z.	73
<i>Університет Сіднея (Австралія)</i>	3	Zomaya A.Y., Tran N.H., Luo F.	20

Це Університет науки і технологій Хуачжун (Китай), Оклендський технологічний університет (Нова Зеландія), Університет Кюн Хі (Південна

Корея), Університет Калгарі (Канада) та Університет Сіднея (Австралія). Проте найбільш цитованими залишаються праці науковців з університетів США та Канади: Бай К., Лі З., Лю Ф., Лю В., Сян М., Чжоу Ц. та ін.

Особливу увагу дослідники в своїх працях приділяють аспектам енергетичної ефективності. Безумовно є актуальною методологія управління енергоспоживанням, що заснована на географічному балансуванні навантаження мереж з позиції енергоефективності. У роботах авторів [54, 74, 84] виконано огляд стану, підходів та методів такого енергоспоживання. Питання прогнозування навантаження для комунальних підприємств та кінцевих споживачів за допомогою геопросторової інфраструктури розумних мереж також активно обґрунтовуються в наукових дослідженнях [45, 71, 76]. А з розвитком відновлюваної енергетики, останнім часом актуалізувалися і дослідження з управління розумними мікро-мережами, системами управління енергією розподілених енергетичних ресурсів в мікро-мережах [42, 51, 70].

Проведений аналіз показав актуальність досліджень з питань розвитку відновлюваної енергетики та розумних мереж, впливу геопросторових факторів на розгортання енергетичних мереж. Можливо спрогнозувати, що в подальшому будуть поглиблюватися дослідження географічного балансування навантаження мереж з позиції енергоефективності, систем управління енергією розподілених енергетичних ресурсів в мікро-мережах [84].

1.3 Економічні ефекти та підходи до оцінювання розумних енергомереж

Кількість застосовуваних методик визначення ефективності або оцінювання розумних енергомереж є досить значною. Для порівняльного аналізу було обрано вісім систем оцінювання, а саме: модель зрілості смарт-мережі, систему оцінювання розвитку розумних енергомереж, показники оцінювання витрат та переваг від впровадження пілотних (демонстраційних) проєктів

розумних енергетичних мереж, система оцінювання переваг розумних енергомереж ЄС, система індексів «двох типів», індексна система оцінки розвитку енергомережі, індикативна система оцінювання пілотних проєктів розумних енергомереж та модель оцінювання рівня розвитку розумних енергомереж на основі диференціації попиту.

У несистематизованому вигляді найбільш згадувані напрямки/групи показників, представлені в досліджуваних системах оцінювання, можна представити у такому переліку: тарифи та регулювання, граничні ціни, нові підходи до формування ринку, оптимізація активів, портфель активів, нові підходи до управління активами, прибуток від додаткових послуг, нові послуги, ефективність трудових ресурсів, венчурні інвестиції, пілотні інвестиції, вартість нових систем, побудова бізнес-моделі, зменшення втрат, економія на матеріалах для будівництва та утриманні активів.

На основі даної сукупності можна виділити три напрямки, за якими проводиться оцінка запропонованими для дослідження системами оцінювання. Критеріями для виділення напрямків оцінювання були системність охоплення прямих та непрямих економічних ефектів, що виникають при розбудові розумних енергомереж, та частота згадування групи показників (зазвичай, під різними назвами, проте зі збереженням суті) у різних системах оцінювання.

Виділеними напрямками оцінювання економічної ефективності на основі сукупності показників систем оцінювання є: капітальні інвестиції, оптимізація управління активами та формування бізнес-моделі.

Результати порівняльного аналізу за показниками економічної ефективності розбудови розумної енергомережі наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Показники оцінювання розумної енергомережі за ступенем оцінювання показників економічної ефективності [72] (розроблено на основі праць [2, 61, 64])

«IBM Smart Grid Maturity Model»	«DOE Smart Grid Development Evaluation System»	«EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators»	«EU Smart Grid Assessment Benefits Systems»	«Two Type» grid index system»	«Grid development assessment index system»	«Smart grid pilot project evaluation indicator system»	«Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand»
<i>Капітальні інвестиції</i>							
пілотні інвестиції для підтримки використання диференційованого ресурсного портфеля	венчурні інвестиції	-	-	витрати (економія) на будівництво	економічна ефективність будівництва	витрати на будівництво	-
аналіз вартості нових систем	-	-	-	-	-	підвищення ефективності праці та усереднених інвестицій	-
моделювання інвестиційних активів для ключових компонентів на основі SG даних (даних розумних енергомереж)	-	-	-	-	-	-	-
<i>Оптимізація управління активами</i>							
оптимізація використання активів учасниками ланцюжка поставок	-	зменшення втрат від скорочення відмов мережевого обладнання	нові підходи до планування розподільчої мережі	економія на утриманні інфраструктури	переваги (вигоди) функціонування електромережі	витрати на обслуговування та експлуатацію мережі	ефективність персоналу на стадіях передачі та трансформації енергії
оптимізаційне моделювання розширення портфелю (діяльності) для нових ресурсів чи ринків	-	-	нові підходи до управління активами	-	можливість економії ресурсів у енергомережі	економія матеріалів	загальна продуктивність праці
розробка стратегії мобільної робочої сили	-	-	-	-	економічна координація	зменшення втрат на лінії (вартісне вираження)	-
розроблення стратегії для диверсифіковано-го портфеля ресурсів	-	-	-	-	-	коефіцієнт економічної ефективності	-
<i>Формування бізнес-моделі</i>							
оптимізоване формування тарифів/регуляторна політика	-	-	нові підходи до формування ринку	-	-	-	-
розподіленість ресурсів на локальних ринках (наприклад, місцеві граничні ціни)	-	-	-	-	-	-	-

Продовження таблиці 1.3

прибуток від допоміжних послуг мережі щодо розподілу чи продажу електроенергії	-	-	-	-	-	-	-
оцінка впливу нових послуг та процесів постачання	-	-	-	-	-	-	-
формування бізнес-моделі на функціональному рівні	-	-	-	-	-	-	-

На основі даних таблиці 1 здійснено ранжування досліджуваних систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання параметру економічної ефективності. Критерієм визначення ступеня оцінювання параметрів даної групи є кількість відповідних показників: понад дві групи показників у межах напрямку – високий ступінь оцінювання (3 бали); одна група показників – середній ступінь оцінювання (2 бали), решта випадків – 1 бал. Для ранжування систем оцінювання розумних енергомереж прийнято припущення про рівність трьох визначених напрямів між собою. Розподіл ступеня оцінювання наведено в таблиці 1.4.

Результати ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників, які відображають оцінювання економічної ефективності, показано в таблиці 1.5.

За охопленням показників економічної ефективності найбільш представницькими є «модель зрілості смарт-мережі» та «індикативна система оцінювання пілотних проєктів розумних енергомереж». Решта систем оцінювання характеризується меншим охопленням даного напрямку оцінювання розумних енергомереж.

Таблиця 1.4 – Характеристика систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання [72]

Система оцінювання	Складові групи показників «економічна ефективність»		
	капітальні інвестиції	оптимізація управління активами	формування бізнес-моделі
«IBM Smart Grid Maturity Model»			
«DOE Smart Grid Development Evaluation System»			
«EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators»			
«EU Smart Grid Assessment Benefits Systems»			
«Two Type» grid index system»			
«Grid development assessment index system»			
«Smart grid pilot project evaluation indicator system»			
«Evaluation Model of a Smart Grid Development Level «Based on Differentiation of Development Demand»			

	високий ступінь оцінювання
	середній ступінь оцінювання
	незначний ступінь оцінювання або оцінювання за відсутнє

Таблиця 1.5 – Ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання показників економічної ефективності [72]

Система оцінювання	Кількість балів	Ранг
«IBM Smart Grid Maturity Model»	9	1
«Smart grid pilot project evaluation indicator system»	7	2
Grid development assessment index system	6	3
«EU Smart Grid Assessment Benefits Systems»	5	4
«Two Type» grid index system»	5	4
«DOE Smart Grid Development Evaluation System»	4	5
«EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators»	4	5
«Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand»	4	5

У результаті порівняння систем оцінювання розумних енергомереж можна відзначити суттєві розбіжності у оцінюванні економічної ефективності. Зокрема,

деякі системи оцінювання мають комплексний підхід, у той час коли інші оцінюють лише конкретні економічні ефекти.

Варто зазначити наявність суттєвих відмінностей у інтеграції показників вимірювання економічної ефективності до досліджуваних систем оцінювання за двома аспектами:

- ступінь включення показників економічної ефективності до системи оцінювання розумної енергомережі, що характеризується кількістю показників, що входять до складу системи оцінювання;

- ступінь охоплення економічних процесів включеними до системи оцінювання показниками.

Перший аспект характеризує деталізацію оцінювання за певним напрямком (капітальні інвестиції, оптимізація управління активами, формування бізнес-моделі), однак не дозволяє максимізувати охоплення показниками повної сукупності процесів розгортання розумних енергомереж за всіма напрямками.

Комплексне оцінювання за обома названими аспектами простежується на прикладі лише двох із досліджуваних систем оцінювання – «моделі зрілості смарт-мережі» та «індикативної системи оцінювання пілотних проєктів розумних енергомереж». Логічно, що дані системи орієнтовані, у першу чергу, на оцінювання проєктів розумних енергомереж на передінвестиційному етапі. Натомість у системах, спрямованих на визначення рівня розвитку наявних розумних енергетичних мереж, система показників вимірювання економічної ефективності є обмеженою, що обґрунтовано їхнім функціональним призначенням [67, 72-76].

2 ІНДИКАТОРИ, МОДЕЛІ ТА ПАТЕРНИ РОЗБУДОВИ РОЗУМНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ

2.1 Підхід до оптимізаційного моделювання розбудови розумних енергетичних мереж з урахуванням геопросторових та часових параметрів

У сучасних умовах успішний досвід багатьох країн світу показує, що використання розумних енергомереж є технічно та економічно доцільним. За даними національної лабораторії відновлювальних джерел енергії США, ефективність впровадження розумних енергомереж можна оцінити такими параметрами: споживання електроенергії, енергоємність ВВП, зниження попиту електроенергії під час пікового навантаження, викиди CO₂, підвищення продуктивності, зростання реального ВВП, розмір економічних збитків для бізнесу (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Параметри ефективності впровадження розумних енергомереж [42]

№ п/п	Параметри ефективності впровадження розумних енергомереж	Вектор розвитку
1	Споживання електроенергії млрд. кВт*г, (A_1)	↓
2	Енергоємність ВВП, кВт*г/\$ВВП, (A_2)	↓
3	Зниження попиту електроенергії під час пікового навантаження, %, (A_3)	↑
4	Викиди CO ₂ , млн. тонн, (A_4)	↓
5	Підвищення продуктивності, % рік, (A_5)	↑
6	Реальний ВВП, (A_6)	↑
7	Розмір економічних збитків для бізнесу, (A_7)	↓

Для визначення ефективності від впровадження розумних енергомереж на основі параметрів таблиці 2.1, доцільним є використання індексного методу в основі якого покладені статичний та динамічний індекси. Статичний індекс відображає рівень відхилення базових значень від оптимальних. Динамічний же індекс показує динаміку енергетичного розвитку території у часі.

Розрахунок статичного індексу геопросторового розвитку розумних енергомереж базується на порівнянні показників обраної для дослідження території з показниками території-еталону. За еталонну територію може бути прийнята конкретна територія, що має позитивний досвід з впровадження проєктів розумних енергомереж (наприклад території США або ЄС). Або, в іншому випадку, можуть бути обраними найкращі параметри з n -ї кількості територій. В такому випадку еталонною територією буде віртуальна територія з оптимально можливими значеннями.

Статичний та динамічний індекси, що відображають рівень ефективності впровадження положень концепції розумних енергомереж, пропонується визначати як середньгеометричну величину її часткових параметрів [77, 79, 81, 82]. Схему формування статичного та динамічного індексів розвитку територій зображено на рис. 2.1.

Динамічний індекс геопросторового розвитку розумних енергомереж визначається за формулою 2.1:

$$I_{SmartGrid(dyn)} = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n} \quad (2.1)$$

де $I_{SmartGrid(dyn)}$ – динамічний індекс геопросторового розвитку розумних енергомереж.

У свою чергу, часткові показники ($x_1, x_2 \dots x_n$) визначаються як співвідношення відповідних індивідуальних параметрів ($A_1, A_2 \dots A_n$) геопросторового розвитку розумних енергомереж у наступному та попередньому періодах за формулою 2.2.

$$x_i = \frac{A_{t+1}}{A_t} \quad (2.2)$$

де A_t – параметри що відображають рівень ефективності геопросторового розвитку розумних енергомереж у попередньому періоді;

A_{t+1} – параметри що відображають рівень ефективності геопросторового розвитку розумних енергомереж у наступному періоді.

Алгоритм визначення статичного індексу, що відображає рівень ефективності геопросторового розвитку розумних енергомереж відображено в табл. 2.2.

Період	t	t+1	
Територія			
Територія, що досліджується	ΣA_t	ΣA_{t+1}	динамічний індекс що відображають рівень ефективності геопросторового розвитку розумних енергомереж
Еталонна територія	ΣA_{ET}	$\Sigma A_{ET,t+1}$	
	статичний індекс, що відображає рівень ефективності геопросторового розвитку розумних енергомереж	де A_t, A_{t+1}, A_{ET} – параметри що відображають рівень ефективності геопросторового розвитку розумних енергомереж в t-му, t+1 періодах та еталонній території	

Рисунок 2.1 – Схема формування статичного та динамічного індексів геопросторового розвитку розумних енергомереж [42]

Такі комплексні часткові індекси розраховуються співвідношенням відповідних індивідуальних показників розвитку території у майбутньому та минулому періодах [42].

Таблиця 2.2 – Алгоритм визначення статичного індексу, що відображають рівень ефективності геопросторового розвитку розумних енергомереж [42]

Параметри-стимулятори	Параметри-дестимулятори
$x_{ij}^{stat} = \frac{A_{ij}}{A_{ij_{ET}}}$	$x_{ij}^{stat} = \frac{A_{ij_{ET}}}{A_{ij}}$
<p>де x_{ij} – i-й стандартизований параметр, що оцінює ефективність геопросторового розвитку розумних енергомереж j-ї території;</p> <p>A_{ij} – значення i-го параметру, що характеризує ефективність геопросторового розвитку розумних енергомереж j-ї території;</p> <p>$A_{ij_{ET}}$ – еталонне значення i-го параметру, що характеризує ефективність від впровадження положень концепції Smart Grid</p>	
<p>Статичний індекс ефективності геопросторового розвитку розумних енергомереж</p> $I_{SmartGrid(stat)} = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n}$	

Щоб досягти найбільшої ефективності управління будь-якою системою, необхідно створити сукупну результативність роботи всіх її складових [27, 39-41]. Виходячи з того, що антропогенне навантаження на довкілля та величина еколого-економічних витрат i -ої стадії життєвого циклу енергетичного продукту залежить від причинно-наслідкових зв'язків на $(i-n)$ стадіях, то доцільно говорити про еколого-орієнтовану систему управління ЖЦЕП. Під еколого-орієнтованою системою управління життєвим циклом енергетичного продукту розуміють систему управління, що забезпечує екологічну безпеку на кожній із стадій та етапі шляхом координації виробничих і природоохоронних функцій та процесів енергетичних суб'єктів господарювання.

Управління життєвим циклом енергетичного продукту є стратегією розвитку з урахуванням трьох взаємозв'язаних причинно-наслідковими зв'язками підсистем: економічної доцільності, впливу на довкілля та соціальних наслідків. Проблемами збалансованості такої системи є наявність

хвилеподібного процесу розвитку економіки, наявність тривалих та коротких циклів. Так, наприклад, у період економічного зростання різко підвищується попит на електричну енергію, отже, й на природні ресурси, у результаті чого збільшується рівень забруднення довкілля, у той самий час пригнічуючи асиміляційний потенціал. У таких випадках природоохоронна діяльність не забезпечує достатнього захисту довкілля через низькі темпи свого розвитку щодо швидких темпів економічного зростання. В іншому випадку зменшення споживання природних ресурсів приводить до зменшення викидів відходів. Але темпи зменшення викидів у довкілля значно нижчі за темпи зниження економічної діяльності.

Основними цілями еколого-орієнтованого управління життєвим циклом енергетичного продукту є поетапний контроль та своєчасне визначення «слабких» стадій життєвого циклу енергетичного продукту для попередження виникнення еколого-економічних збитків на наступних. Під еколого-економічними збитками розуміють фактичні екологічні, економічні та соціальні втрати, що виникли внаслідок порушення природоохоронного законодавства, господарської діяльності людини, стихійних лих або катастроф. Збитки виявляються у вигляді втрат природних, трудових, матеріальних, фінансових ресурсів у народному господарстві, а також погіршення соціально-гігієнічних умов існування людини та якісних змін (втрат) економічного потенціалу країни. Наприклад, інвестування в очисні установки на нафтопереробних заводах зменшить еколого-економічні витрати та втрати електричних станцій, що працюють на нафтопродуктах, підвищить їх коефіцієнт корисної дії. У протилежному разі, еколого-економічні збитки накопичуватимуться впродовж кожної стадії життєвого циклу та будуть трансформовані на наступну стадію (рис. 2.2).

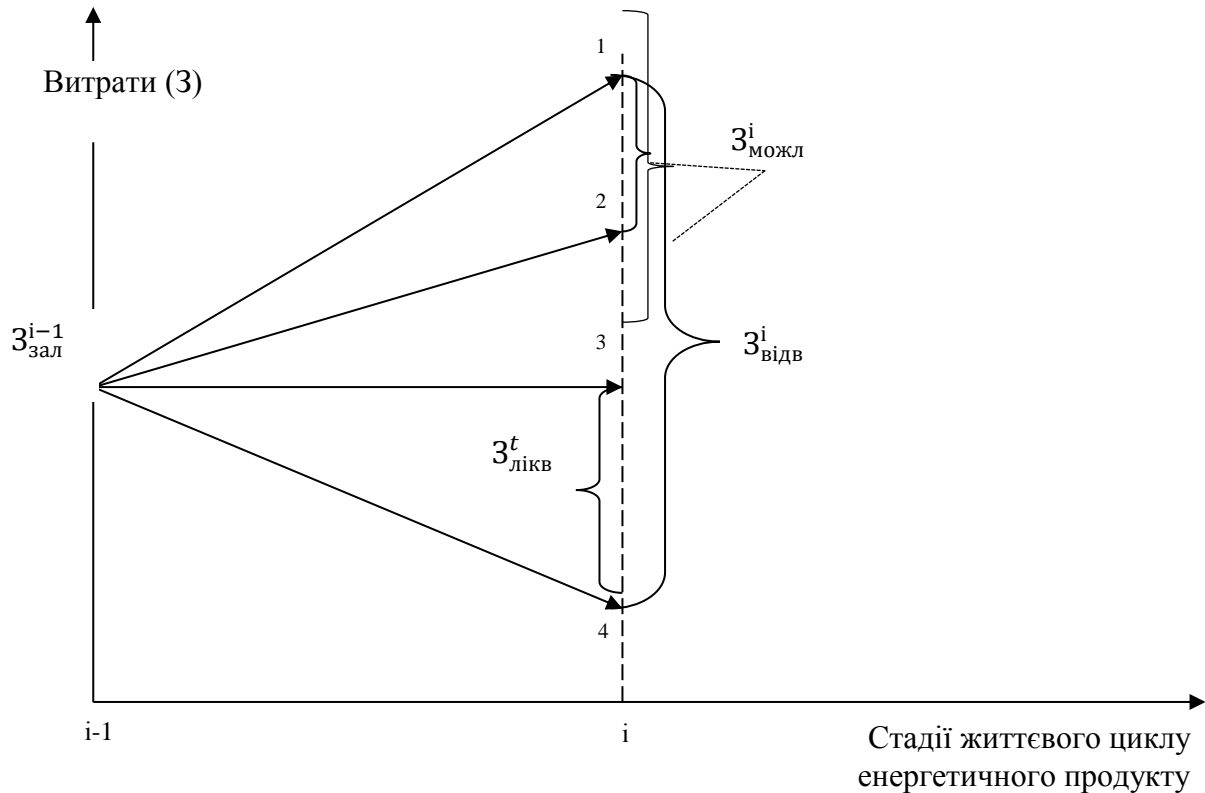


Рисунок 2.2 – Процес трансформації еколого-економічних збитків зі стадії $(i-1)$ на стадію i життєвого циклу енергетичного продукту

На рисунку 2.2 показано, що у випадку проведення екологічно спрямованих заходів на стадії $(i-1)$ щодо попередження (ліквідації) еколого-економічних збитків на наступних стадіях збитки на стадії i будуть перебувати в точці 3 або 4. У разі ігнорування екологічно спрямованих заходів на стадії $(i-1)$ еколого-економічні збитки на стадії i матимуть накопичувальний характер (точка 1 або 2). Наприклад, будівництво новітніх фільтрів під час введення в експлуатацію електричної станції призведе до незначних екологічних впливів при виробництві одиниці енергетичного продукту. Кожна стадія i повинна контролюватися наступною стадією $(i+1)$.

Визначивши можливі еколого-економічні наслідки на стадії i залежно від напрямків діяльності стадії $(i-1)$, можна дійти такого висновку: у результаті екологічної бездіяльності енергетичних підприємств на стадії ресурсного забезпечення збиток буде накопичуватися з кожною наступною стадією та

відшкодовуватися безпосередньо виробниками електроенергії (електростанціями).

Для попередження такого сценарію розвитку всі заходи управління ЖЦЕП повинні узгоджуватися як за функціями управління, так і за процесами. Виходячи із цього, дослідження системи еколого-орієнтованого управління ЖЦЕП пропонується здійснювати на засадах функціонально-процесної декомпозиції (рис. 2.3), що складається з функціональної та процесної декомпозицій.

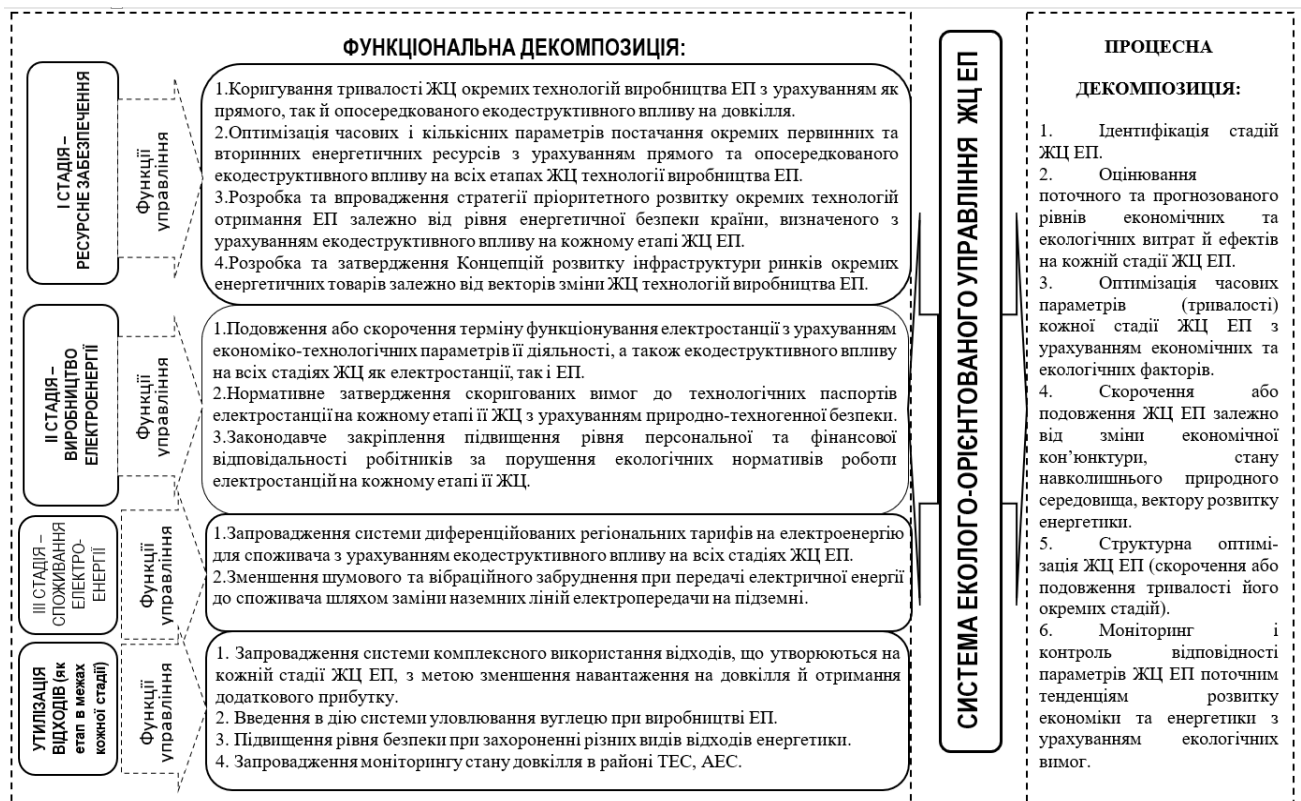


Рисунок 2.3 – Схема декомпозиції системи еколого-орієнтованого управління [86]

Функціональна декомпозиція розглядає процес управління ЖЦЕП як складну систему, процесна – дозволяє встановити черговість прийняття управлінських рішень. Першим рівнем функціональної декомпозиції є управління життєвим циклом технології виробництва енергетичного продукту на стадії ресурсного забезпечення. Другий рівень декомпозиції – це управління

життєвим циклом електростанції, третій – управління на стадії споживання електричної енергії.

Таким чином, основою забезпечення екологічно збалансованого розвитку електроенергетики є економічна екологізація системи управління життєвим циклом. Необхідно усвідомлювати, що економічний розвиток країни залежить від напрямків вирішення трьох основних проблем: виробництва енергії, економічного стану держави та якості довкілля [52, 53, 85]. Не можна допускати, щоб рівень розвитку енергетичного комплексу підвищувався нехтуючи законами економіки та ставлячи під загрозу стан довкілля. Найбільш раціональним механізмом забезпечення стійкого розвитку енергетики є її екологізація, що об'єднує всі вищезгадані залежності. Досвід провідних країн світу свідчить, що найважливішим для екологізації економіки кожної країни є питання про формування та впровадження механізмів реалізації еколого-орієнтованої системи менеджменту енергетикою [52-53].

2.2 Моделювання розбудови енергомереж на базі індикаторів сталого розвитку та ефективності енергетичної сфери

За останнє десятиріччя європейська енергетична політика зазнала докорінних змін. Наслідки світових криз, особливо в екологічному та енергетичному секторі, призвели до усвідомлення необхідності сталого розвитку та енергетичної стабільності [14]. Подальше забруднення навколишнього середовища може мати вже глобальні катастрофічні результати [24, 58]. З підписанням Паризької угоди, країни взяли на себе амбіційні зобов'язання задля досягнення кліматичних та енергетичних трансформацій своїх економік [19]. Проте впровадження такої політики не завжди дає однозначні ефекти [15, 23, 57, 59]. Відповідно до дослідження Bertoldi та Mosconi [4], в ЄС енергоефективна політика має кращі результати у промисловому секторі, посередні – у сфері послуг, а у житловому та транспортному секторах ефект залежав від політик держав щодо пом'якшення попиту на енергію.

Результативність національних політик може обмежуватися ринковими інструментами, рівнем забезпеченості розумними технологіями та сприйняттям інновацій у своїх енергетичних секторах. Тому, при прямуванні до сталого розвитку та дифузії зелених інновацій можуть постати перепони у вигляді технічної неготовності до змін та незбалансованості нових енергетичних систем [8]. Транзитивні економіки переважно інтегрують відновлювані джерела енергії та енергоефективні технології для досягнення цілей сталого розвитку [11]. І на шляху цих змін можуть зустрічати значний супротив серед вже існуючих агентів енергетичного ринку. Подібна трансформація відбувається і в Україні. Вона пов'язана з необхідністю дотримання українським урядом євроінтеграційних та екологічних ініціатив, зобов'язань перед іноземними партнерами [38]. Проте чи дійсно такі зміни призводять до покращення продуктивності енергетичного сектору в Україні? Потребується розуміння та інтегральне оцінювання ефективності енергетичної політики України.

В Європі та в ЄС було докладено значних зусиль до гармонізації європейських стандартів регулювання енергетичного ринку, вимірювання енергоефективності та енергозбереження, побудови сталої енергетичної системи [25]. В першу чергу, енергетичні ініціативи в ЄС спрямовувалися на подолання залежності від імпорту енергії. Але вони також мали за мету і зменшення викидів парникових газів шляхом виробництва та споживання відновлюваної енергії [12]. Необхідність дотримання цілей енергоефективності зазначалися у численних висновках Європейського Консула, а також – були одним з цільових показників вимірювання у «Europe 2020 Strategy» (2010). Проте, вже в 2011 році з'являється розуміння, що політика енергоефективності не дотримується, а встановлені цілі – не виконуються. Потребувалося впровадження більш комплексного підходу для реалізації енергоефективних ініціатив. І в березні 2011 року Європейською Комісією приймається «Дорожня карта переходу до конкурентоспроможної низьковуглецевої економіки до 2050 року» з метою зменшення споживання енергії на 20% шляхом кумулятивного внеску країн членів ЄС [13].

Realini та ін. [55] визначають, що тригером для оновлення законодавства щодо енергоефективності стало ухвалення Директиви 2012/27/EU. Однак, автори також підкреслюють, що оновлення та імплементація енергоефективної політики не є гомогенною для усіх членів ЄС, а отже є й відмінності у національних політиках та у досягненні цілей енергоефективності. Цієї ж думки притримуються і Abeelen та ін. [1]. Загалом, в ЄС є як численні популяризатори нової політики енергоефективності, так і непримиримі її критики.

Зокрема, Freire-González, Puig-Ventosa [18], спираючись на парадокс Джевонса, ставлять під сумнів можливість досягнення цілі зі зменшення споживання енергії (а отже, – і викидів забруднюючих речовин). Оскільки впровадження енергоефективних технологій, в цьому випадку, буде навпаки стимулювати до використання більш дешевих технологій та розширювати виробництво продуктів (тобто викиди в навколишнє середовище будуть зростати).

Brown [7] наголошує на необхідності оновлення політики енергоефективності, але, водночас, і на постійному дотриманні вимог за програмами енергоефективності, оскільки невиконання їх цілей може спричинити втрату впевненості суспільства у їх надійності. Окрім того, є й думки, що в Європі використання окремих інструментів не допоможе досягти відповідних цілей енергоефективності [68].

Проте серед робіт вчених можна знайти безліч доказів на підтримку енергоефективних ініціатив. У колективній праці [21] доводиться, що німецька політика енергоефективності має довгострокові макроекономічні ефекти. За розрахунками авторів роботи, позитивний вплив на ВВП і зайнятість становить від 0,88% до 3,38%. Можна знайти підтвердження цих результатів і вже в більш пізніших роботах. Ringel та ін. наводять докази, що політика зеленої енергетики в Німеччині впливає на зростання ВВП та створення нових робочих місць навіть у короткостроковій перспективі, має стійкі енергетичні, екологічні та соціально-економічні наслідки від впровадження енергоефективних реформ.

За висновками Pavlyk [49], між ВВП, енергоефективністю, часткою

зелених інвестицій та відновлювальних джерел енергії в енергоспоживанні є коінтеграція. А покращення якості регуляторної діяльності та удосконалення верховенства права спричинює підвищення енергоефективності в країні [50, 60].

З історичної ретроспективи безумовною є роль держави в активізації інвестиційних та інноваційних процесів, якісній трансформації екологічних перетворень [5, 22, 28, 37]. Проте і місцеві фактори можуть слугувати каталізатором успішності реформ [46]. І значним чином їх результат залежить від рівня співпраці та синергії між державними органами, приватними компаніями та громадськими організаціями [4, 32, 69].

Управлінські процеси, що зміцнюють енергоефективність та інвестиційну діяльність, можуть також стимулювати й енергетичні інновації [26]. З 2008 р. кількість досліджень з питань зелених інновацій зросла більш ніж у дев'ять разів, і надалі тільки буде збільшуватися [48]. Перспективними в галузі зелених інновацій вважаються роботи з хмарних обчислень та ERP-систем; розумних енергомереж [3]; енергетичної ефективності, циклової економіки [63].

В Україні питанням зелених інновацій та інвестицій також приділяється належна увага, особливо в сфері енергоефективності. Необхідність балансування попиту на енергію та обґрунтування ефективності тарифів з метою зменшення втрат теплової енергії та скорочення енергоспоживання усвідомлюється багатьма вченими. Зокрема, для переходу на виробництво зеленої енергії дослідники [31, 36, 44] здійснюють регіональну диференціацію тарифів на електроенергію в 13 регіонах України, де зосереджені найбільші енергетичні потужності.

Аналіз переваг фінансування зелених інвестицій для досягнення цілей сталого розвитку виконується групою вчених. Ними було доведено існування залежності між обсягом зелених інвестицій та показниками ефективності країни на шляху до досягнення цілей сталого розвитку. А отже, й обґрунтування ефективності політики держави в енергетичній сфері повинно базуватися на індикаторах цілей сталого розвитку.

Враховуючи євроінтеграційне спрямування України, для інтегрального оцінювання ефективності енергетичної політики в Україні, були обрані для моделі п'ять субіндикаторів ЄС з цілі «Доступна і чиста енергія», 2 субіндекатори з цілі «Гідна праця та економічне зростання», і по одному індикатору з цілей «Відповідальне споживання та виробництво» and «Боротьба зі зміною клімату», а також – показник інноваційних витрат промислових підприємств в енергетичній сфері (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Вхідні змінні моделі [30]

Показник	Опис показника	Одиниця виміру
SDG_07_10	споживання первинної енергії	мільйон тон нафтового еквівалента (TOE)
SDG_07_11	кінцеве споживання енергії	мільйон тон нафтового еквівалента (TOE)
SDG_07_20	кінцеве споживання енергії в домогосподарствах на душу населення	кілограм нафтового еквівалента (KGOE)
SDG_07_30	енергетична продуктивність	євро за кілограм нафтового еквівалента (KGOE)
SDG_07_50	залежність від імпорту енергії за продуктами	процент
SDG_13_20	інтенсивність викидів парникових газів при споживанні енергії	індекс, 2000=100
SDG_08_10	реальний ВВП на душу населення	євро на душу населення, ланцюгові показники обсягу (2010)
SDG_08_11	частка інвестицій у ВВП за інституційними секторами	процент
SDG_12_20	продуктивність ресурсів та внутрішнє споживання матеріалів	євро за кілограм, ланцюгові показники обсягу (2010)
INNOV	витрати на інновації промислових підприємств за напрямами інноваційної діяльності (Код D за КВЕД–2010)	тис. грн

Джерело: розроблено авторами.

Джерелом статистичних даних для вхідних змінних моделі була Державна служба статистики України. На жаль, українська статистична служба не публікує статистику за цілями сталого розвитку, що є повністю ідентичною статистичній методології ЄС. Тому, збиралися річні дані з української служби статистики за 2000-2019 рр. та розраховувалися як індикатори для моделі у відповідності до Директиви 2012/27/EU, Директиви (EU) 2018/2002, Регламенту (EC) No 1099/2008, дескрипторів даних управління статистики Європейського Союзу. Відсутні або невідомі дані за окремими роками для моделі заповнювалися за методом ковзного середнього.

Оскільки, діапазон даних досить сильно варіюється та містить різні вимірники, було прийнято рішення про їх нормалізацію. Було необхідно, щоб кожен параметр сприяв пропорційному внеску в результат оптимізації для коректної роботи моделі. Для масштабування даних до фіксованого діапазону $[0,1]$ використовувалася \min - \max нормалізація (2.3):

$$x_{norm\ it} = \frac{x_{it} - \min(x_{it})}{\max(x_{it}) - \min(x_{it})} \quad (2.3)$$

де x_{it} та $x_{norm\ it}$ є оригіналом та нормованим значенням i -ознаки за час t ;

$\max(x_{it})$ та $\min(x_{it})$ – це максимальні та мінімальні значення i -ознаки за час t в діапазоні x [30].

Після нормалізації даних, були побудовані гістограми для обрання кращої моделі для експрес оцінювання ефективності енергетичної сфери в Україні (рис. 2.4). Відповідно до отриманих результатів, не можна не побачити відмінностей у розподілі даних. Дані не центровані, мають декілька піків та відмінності в середніх значеннях (табл. 2.4). Переважає розподіл значень з перекосом вліво, оскільки їх середні менші за медіану. Аналіз статистики дисперсії також показує деякі варіації значень, від 0.270 (для індикатора витрат на інновації) до 0.372 (для індикатора споживання первинної енергії).

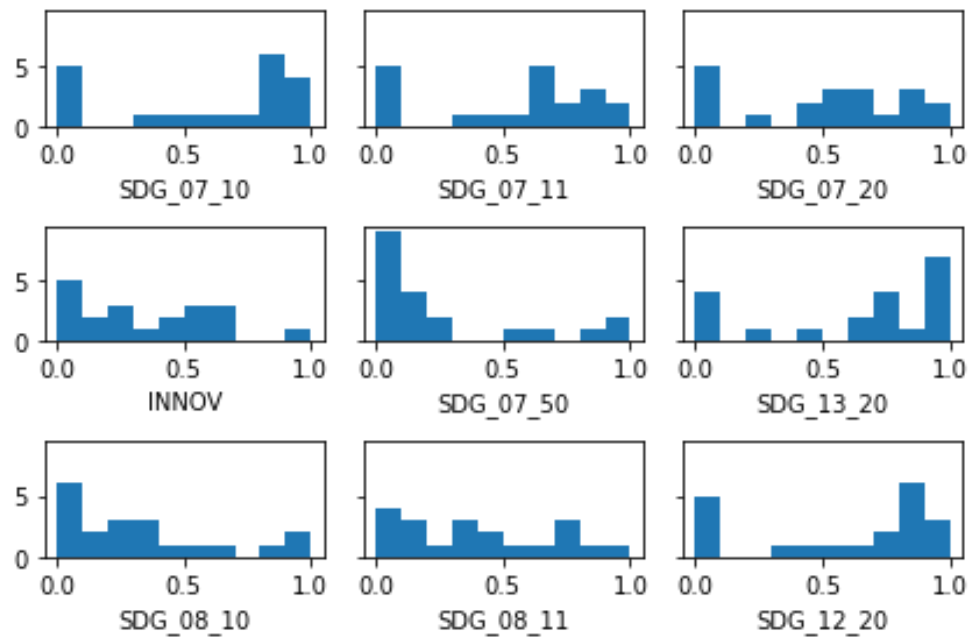


Рисунок 2.4 – Гістограми для вхідних змінних моделі [30] (Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, www.ukrstat.gov.ua [62])

Таблиця 2.4 – Описова статистика змінних [30]

	SDG_07_10	SDG_07_11	SDG_07_20	SDG_07_30	SDG_07_50	SDG_13_20	SDG_08_10	SDG_08_11	SDG_12_20	INNOV
count	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
mean	0.596	0.542	0.499	0.294	0.268	0.632	0.325	0.408	0.577	0.347
std	0.372	0.344	0.329	0.325	0.339	0.354	0.311	0.310	0.368	0.270
min	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25%	0.256	0.252	0.216	0.042	0.023	0.436	0.069	0.149	0.251	0.131
50%	0.762	0.656	0.545	0.181	0.130	0.760	0.240	0.373	0.753	0.302
75%	0.880	0.771	0.748	0.398	0.357	0.909	0.443	0.675	0.867	0.574
max	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, www.ukrstat.gov.ua [62]

Зважаючи на результати описової статистики всіх індикаторів, була обрана звичайна модель найменших квадратів для оцінювання ефектів енергетичної політики України, що в загальному вигляді має такий вигляд (2.4):

$$y_t = X_t \beta_i + \varepsilon_t \quad (2.4)$$

де $y_t - p \times 1$ вектор залежної змінної в часі t ;

$X_t - p \times q$ матриця пояснювальних змінних у часі t ;

$\beta_i - q \times 1$ вектор невідомих коефіцієнтів ($i = 1, \dots, q$);

$\varepsilon_t - p \times 1$ вектор помилок змінних у часі t [30].

Лінійна функція вхідних змінних представлена нижче (2.5):

$$\begin{aligned} \text{SDG_07_30}_t = & \beta_1 + \beta_2 \cdot \text{SDG_07_10}_t + \beta_3 \cdot \text{SDG_07_11}_t + \\ & \beta_4 \cdot \text{SDG_07_20}_t + \beta_5 \cdot \text{SDG_07_50}_t + \beta_6 \cdot \text{SDG_13_20}_t + \beta_7 \cdot \text{SDG_08_10}_t + \\ & \beta_8 \cdot \text{SDG_08_11}_t + \beta_9 \cdot \text{SDG_12_20}_t + \beta_{10} \cdot \text{INNOV}_t + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2.5)$$

де енергетична продуктивність, SDG_07_30_t , є функцією від споживання первинної енергії, SDG_07_10_t , кінцевого споживання енергії, SDG_07_11_t , кінцевого споживання енергії в домогосподарствах на душу населення, SDG_07_20_t , залежність від імпорту енергії за продуктами, SDG_07_50_t , інтенсивності викидів парникових газів при споживанні енергії, SDG_13_20_t , реального ВВП на душу населення, SDG_08_10_t , частки інвестицій у ВВП за інституційними секторами, SDG_08_11_t , продуктивності ресурсів та внутрішнього споживання матеріалів, SDG_12_20_t , витрат на інновації промислових підприємств за напрямками інноваційної діяльності, INNOV_t , у часі t ; $\beta_1.. \beta_{10}$ – коефіцієнти моделі OLS; ε_t – помилок змінних у часі t [30].

Відповідно до запропонованої моделі, було протестуване питання: «Чи допомагає якась із змінних X_t пояснити продуктивність енергії в Україні за останні двадцять років?» шляхом обґрунтування гіпотез:

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{10} = 0;$$

$$H_a : \exists \beta_i \neq 0, i = 2, \dots, 10.$$

Для пошуку змінних, що краще описують зв'язок з енергоефективною політикою була обрана стратегія просування в розрахунках від загальної до конкретної моделі. Після отримання для всіх змінних моделі значущих величин, коефіцієнти регресії були перевірені для доведення гіпотез з допомогою двох тестів: RESET та Jarque-Bera тестів.

Методичним інструментарієм для проведення дослідження стало використання мови програмування Python 3.6.11 та пакету statsmodels, з допомогою чого були виконані розрахунки та перевірка моделі.

Перед проведенням моделювання, була перевірена залежність між результатами енергоефективної політики (індикатором якої є SDG_07_30) та ендогенними індикаторами вуглецево-нейтральної економіки з допомогою діаграм розсіювання. Як показано на рис. 2.5, існує сильний позитивний лінійний зв'язок між енергоефективністю та двома з дев'яти індексів. Це 'залежність від імпорту енергії за продуктами' (SDG_07_50) та 'реального ВВП на душу населення' (SDG_08_10). Показник енергетичної ефективності інтегрально може виміряти результативність державних регуляторних інтервенцій в енергетичній сфері та є індикатором успішності або ж невдачі енергетичних реформ. В даному випадку, зважаючи на представлені дані, такий зв'язок може свідчити про покриття енергетичних потреб при зростанні виробництва реального ВВП за рахунок чистого імпорту енергії в державі. Або може вказувати на деяке завищення тарифів на енергетичні ресурси в Україні у порівнянні до тарифів країн-сусідів. Що стосується витрат на інновації в енергетичній сфері, то цей індекс не дасть змогу лінійно описати залежність, оскільки присутні сторонні точки в зоні підвищення витрат на інновації.

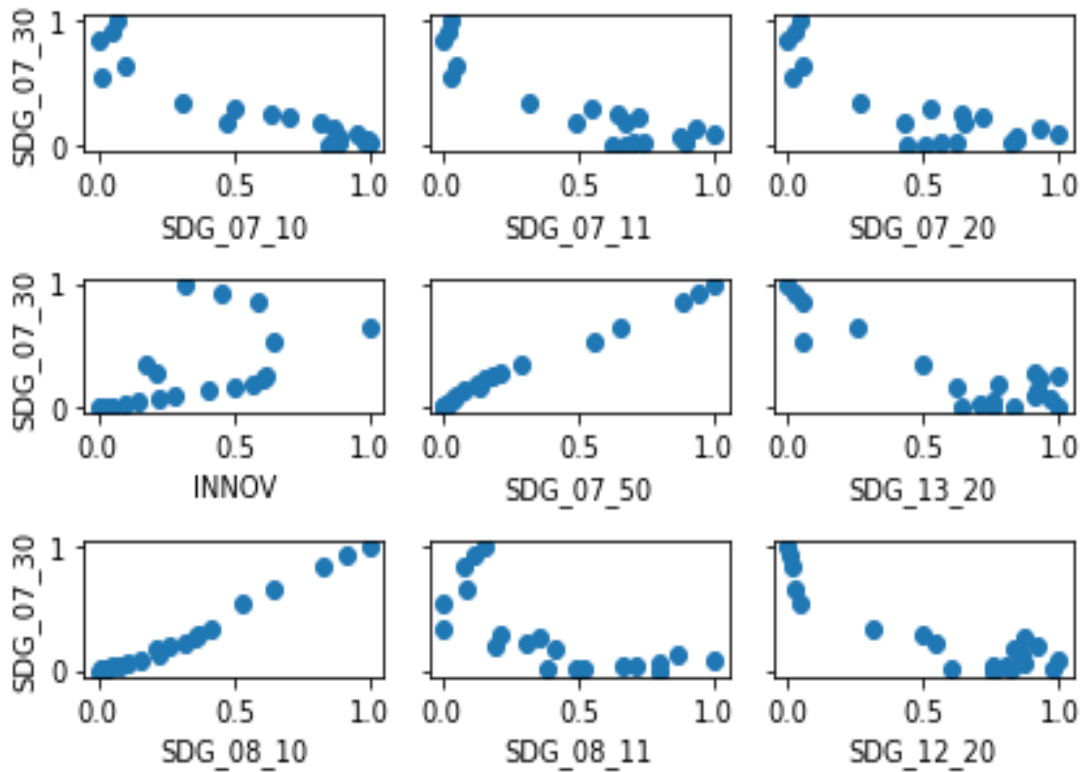


Рисунок 2.5 – Графіки розсіювання для вхідних змінних моделі [30]
 (Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики
 України, www.ukrstat.gov.ua [62])

При використанні стратегії розрахунків від загальної до конкретної моделі, було зроблено сім раундів оптимізації. Пошук завершився, коли були отримані для всіх змінних моделі значущі величини p -оцінки (з рівнем значущості $\alpha=0.05\%$).

Після проведення першого раунду оптимізації (табл. 2.5), була виключена змінна SDG_{08_11} (табл. 2.6), оскільки p -оцінка для цієї змінної була найбільша.

Таблиця 2.5 – Результати першого раунду оптимізації

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Intercept	0.0112	0.008	1.416	0.187	-0.006	0.029
SDG_07_10	0.0035	0.013	0.273	0.791	-0.025	0.032
SDG_07_11	-0.0449	0.058	-0.772	0.458	-0.175	0.085
SDG_07_20	0.0202	0.038	0.533	0.606	-0.064	0.105
SDG_07_50	0.5269	0.017	31.123	0.000	0.489	0.565
SDG_13_20	0.0044	0.004	1.000	0.341	-0.005	0.014
SDG_08_10	0.4622	0.015	30.365	0.000	0.428	0.496
SDG_08_11	-0.0004	0.005	-0.070	0.945	-0.012	0.011
SDG_12_20	0.0031	0.004	0.849	0.416	-0.005	0.011
INNOV	-0.0022	0.004	-0.591	0.567	-0.011	0.006
Omnibus:		1.258	Durbin-Watson:		2.484	
Prob(Omnibus):		0.533	Jarque-Bera (JB):		0.773	
Skew:		0.475	Prob(JB):		0.680	
Kurtosis:		2.842	Cond. No.		329.	

Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, www.ukrstat.gov.ua [62]

Таблиця 2.6 – Результати другого раунду оптимізації

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Intercept	0.0116	0.006	2.039	0.066	-0.001	0.024
SDG_07_10	0.0042	0.008	0.527	0.609	-0.013	0.022
SDG_07_11	-0.0480	0.036	-1.348	0.205	-0.126	0.030
SDG_07_20	0.0220	0.027	0.828	0.426	-0.037	0.081
SDG_07_50	0.5261	0.012	42.840	0.000	0.499	0.553
SDG_13_20	0.0045	0.004	1.122	0.286	-0.004	0.013
SDG_08_10	0.4626	0.014	34.062	0.000	0.433	0.492
SDG_12_20	0.0030	0.003	0.926	0.374	-0.004	0.010
INNOV	-0.0024	0.003	-0.766	0.460	-0.009	0.004
Omnibus:		1.238	Durbin-Watson:		2.477	
Prob(Omnibus):		0.538	Jarque-Bera (JB):		0.764	
Skew:		0.472	Prob(JB):		0.682	
Kurtosis:		2.836	Cond. No.		215.	

Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, www.ukrstat.gov.ua [62]

Для моделі третього раунду оптимізації (табл. 2.7), була виключена змінна SDG_07_10, а в четвертому раунді – SDG_08_11 SDG_07_20 (табл. 2.8).

Таблиця 2.7 – Результати третього раунду оптимізації

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Intercept	0.0106	0.005	2.037	0.064	-0.001	0.022
SDG_07_11	-0.0357	0.026	-1.370	0.196	-0.093	0.021
SDG_07_20	0.0144	0.022	0.665	0.518	-0.033	0.062
SDG_07_50	0.5277	0.012	45.752	0.000	0.503	0.553
SDG_13_20	0.0044	0.004	1.139	0.277	-0.004	0.013
SDG_08_10	0.4620	0.013	35.216	0.000	0.433	0.491
SDG_12_20	0.0035	0.003	1.163	0.268	-0.003	0.010
INNOV	-0.0020	0.003	-0.679	0.510	-0.008	0.004
Omnibus:		0.524	Durbin-Watson:			2.320
Prob(Omnibus):		0.770	Jarque-Bera (JB):			0.404
Skew:		0.312	Prob(JB):			0.817
Kurtosis:		2.692	Cond. No.			164.

Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, www.ukrstat.gov.ua [62]

Таблиця 2.8 – Результати четвертого раунду оптимізації

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Intercept	0.0077	0.003	2.685	0.019	0.002	0.014
SDG_07_11	-0.0185	0.004	-5.268	0.000	-0.026	-0.011
SDG_07_50	0.5238	0.010	53.802	0.000	0.503	0.545
SDG_13_20	0.0033	0.003	0.968	0.351	-0.004	0.011
SDG_08_10	0.4686	0.008	55.566	0.000	0.450	0.487
SDG_12_20	0.0032	0.003	1.091	0.295	-0.003	0.010
INNOV	-0.0005	0.002	-0.274	0.788	-0.005	0.004
Omnibus:		1.616	Durbin-Watson:			2.359
Prob(Omnibus):		0.446	Jarque-Bera (JB):			0.855
Skew:		0.507	Prob(JB):			0.652
Kurtosis:		3.009	Cond. No.			56.5

Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, www.ukrstat.gov.ua [62]

Результати оптимізації у п'ятому (табл. 2.9) та шостому раунді (табл. 2.10) все ще не були прийнятними, і лише в сьомому раунді було задоволено вихідні вимоги (табл. 2.11).

Таблиця 2.9 – Результати п'ятого раунду оптимізації

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Intercept	0.0076	0.003	2.779	0.015	0.002	0.013
SDG_07_11	-0.0183	0.003	-5.569	0.000	-0.025	-0.011
SDG_07_50	0.5246	0.009	58.289	0.000	0.505	0.544
SDG_13_20	0.0034	0.003	1.007	0.331	-0.004	0.011
SDG_08_10	0.4676	0.007	62.925	0.000	0.452	0.484
SDG_12_20	0.0031	0.003	1.100	0.290	-0.003	0.009
Omnibus:		2.346	Durbin-Watson:		2.338	
Prob(Omnibus):		0.309	Jarque-Bera (JB):		1.303	
Skew:		0.623	Prob(JB):		0.521	
Kurtosis:		3.097	Cond. No.		52.0	

Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, www.ukrstat.gov.ua [62]

Таблиця 2.10 – Результати шостого раунду оптимізації

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Intercept	0.0092	0.002	4.221	0.001	0.005	0.014
SDG_07_11	-0.0171	0.003	-5.598	0.000	-0.024	-0.011
SDG_07_50	0.5184	0.007	79.359	0.000	0.504	0.532
SDG_08_10	0.4722	0.006	80.793	0.000	0.460	0.485
SDG_12_20	0.0030	0.003	1.081	0.297	-0.003	0.009
Omnibus:		2.268	Durbin-Watson:		2.342	
Prob(Omnibus):		0.322	Jarque-Bera (JB):		0.791	
Skew:		0.353	Prob(JB):		0.673	
Kurtosis:		3.671	Cond. No.		33.9	

Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, www.ukrstat.gov.ua [62]

Таблиця 2.11 – Результати сьомого раунду оптимізації

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Intercept	0.0103	0.002	5.221	0.000	0.006	0.014
SDG_07_11	-0.0152	0.003	-6.014	0.000	-0.021	-0.010
SDG_07_50	0.5167	0.006	80.862	0.000	0.503	0.530
SDG_08_10	0.4726	0.006	80.584	0.000	0.460	0.485
Omnibus:		0.844	Durbin-Watson:			2.229
Prob(Omnibus):		0.656	Jarque-Bera (JB):			0.066
Skew:		0.018	Prob(JB):			0.967
Kurtosis:		3.279	Cond. No.			30.1

Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, www.ukrstat.gov.ua [62]

В таблиці 2.12 представлені всі результати OLS моделювання для функцій енергоефективності та обраних ендогенних індикаторів.

Модель оптимізації сьомого раунду наведена нижче (2.6):

$$SDG_{07_30_t} = 0.0103 + 0.0152 \cdot SDG_{07_11_t} + 0.5167 \cdot SDG_{07_50_t} + 0.4726 \cdot SDG_{08_10_t} + \varepsilon_t \quad (2.6)$$

Зважаючи на результати моделювання, підвищення залежності від імпорту енергії за продуктами на 1% в Україні призводить до підвищення енергетичної продуктивності на 51.67% за інших незмінних умов.

Підсумки тестування гіпотез для сьомої моделі OLS, представлений у таблиці 2.13. І тест RESET, і тест Jarque-Bera показують, що сьома модель може бути коректною. При статистиці 1,199 та p -оцінці 0,274 тесту RESET та при статистиці 0,011 та p -оцінці 0,994 тесту Jarque-Bera можна зробити висновок, що сьома модель є коректною (і гіпотеза H_0 відхилена на рівні 5% значимості).

Таблиця 2.12 – Результати моделювання регресії OLS [30]

	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7
SDG_07_10	0.0035 (0.0130)	0.0042 (0.0080)					
SDG_07_11	-0.0449 (0.0582)	-0.0480 (0.0356)	-0.0357 (0.0261)	-0.0185*** (0.0035)	-0.0183*** (0.0033)	-0.0171*** (0.0030)	-0.0152*** (0.0025)
SDG_07_20	0.0202 (0.0379)	0.0220 (0.0266)	0.0144 (0.0217)				
SDG_07_50	0.5269*** (0.0169)	0.5261*** (0.0123)	0.5277*** (0.0115)	0.5238*** (0.0097)	0.5246*** (0.0090)	0.5184*** (0.0065)	0.5167*** (0.0064)
SDG_13_20	0.0044 (0.0044)	0.0045 (0.0040)	0.0044 (0.0039)	0.0033 (0.0035)	0.0034 (0.0033)		
SDG_08_10	0.4622*** (0.0152)	0.4626*** (0.0136)	0.4620*** (0.0131)	0.4686*** (0.0084)	0.4676*** (0.0074)	0.4722*** (0.0058)	0.4726*** (0.0059)
SDG_08_11	-0.0004 (0.0050)						
SDG_12_20	0.0031 (0.0037)	0.0030 (0.0033)	0.0035 (0.0030)	0.0032 (0.0029)	0.0031 (0.0028)	0.0030 (0.0028)	
Intercept	0.0112 (0.0079)	0.0116* (0.0057)	0.0106* (0.0052)	0.0077** (0.0029)	0.0076** (0.0027)	0.0092*** (0.0022)	0.0103*** (0.0020)
INNOV	-0.0022 (0.0038)	-0.0024 (0.0031)	-0.0020 (0.0029)	-0.0005 (0.0019)			
R-squared	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
R-squared Adj.	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Standard errors in parentheses.
* p<.1, ** p<.05, ***p<.01

Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, www.ukrstat.gov.ua [62]

Таблиця 2.13 – Підсумок тестування гіпотез моделі OLS сьомого раунду оптимізації [30]

Назва тесту	Статистика тесту	p-оцінка	Результат тесту
RESET	F= 1.199	0.274	H_0 : Відхилена
Jarque-Bera	JB= 0.011	0.994	H_0 : Відхилена

Джерело: побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, www.ukrstat.gov.ua [62]

Аналіз питань європейської енергоефективної політики безумовно необхідний для розуміння траєкторії інноваційного руху економіки України, адаптації зелених інновацій та посилення євроінтеграційних прагнень України.

Цілям стратегії розвитку енергетичного ринку відповідає гармонізація європейських стандартів регулювання енергетики, вимірювання енергоефективності та енергозбереження, побудови сталої енергетичної системи. Фінансування зелених інновацій має свої переваги для досягнення цілей сталого розвитку.

Застосовуючи OLS моделювання для функцій енергоефективності та обраних ендогенних індикаторів було досліджено змінні для пояснення джерел енергетичної ефективності в Україні за останні двадцять років. Відповідно до результатів OLS моделювання, на показник ефективності енергетичної політики в Україні мають вплив такі параметри, як ‘залежність від імпорту енергії за продуктами’ (SDG_07_50), ‘реального ВВП на душу населення’ (SDG_08_10), та ‘кінцевого споживання енергії’ (SDG_07_11). Оцінка останньої змінної має значно менший ефект на результати регресії, та показує негативний зв'язок з показником енергоефективності. Результати моделі були перевірені з допомогою RESET та Jarque-Bera тестів, та показали коректність запропонованої моделі [29, 30].

2.3 Аплікація логарифмічних функцій при моделюванні балансів електроспоживання мережі

Для аналізу стану енергетичної системи в режимі реального часу, прогнозування внутрішніх процесів і, особливо, для розробки енергетичної політики на всіх рівнях управління важливою є наявність відкритих енергетичних даних. В даний час енергетичні системи в більшості країн модернізуються та розвиваються на основі концепції глибокої інтеграції електричних мереж та комп'ютерних інформаційно-комунікаційних мереж. Розвиток доступу до сучасної енергетичної бази даних для користувачів не є головною проблемою, але також сильно мультидисциплінарною, пов'язаною з іншими аспектами, такими як географія, охорона здоров'я, освіта та рівність. Використання відкритих даних дає нові перспективи науковому співтовариству

та політикам у створенні ефективних енергетичних систем. Крім того, розширення відкритих даних, баз даних мереж, таких як потужності з виробництва електроенергії, споживання, електричні навантаження, геореферентні дані сприяють заповненню прогалів знань та сприяють досягненню цілей сталого розвитку в галузі енергетики та порядку денного Green Deal [9]. Україна також має зобов'язання щодо кількох екологічних, енергетичних та кліматичних партнерств [10].

Наше дослідження базується на ході погодинного балансу електроенергії Інтегрованої енергосистеми (ІЕС) України. Дані були завантажені з Відкритого порталу даних України (який повністю інтегрований до Європейського порталу даних). Бази даних електричного балансу енергії на порталі доступні з 2016 року, але для дослідження використовувалась статистика електричної енергії лише для 2019 календарного року (з січня по грудень, щогодини). Щоденний цикл балансу електричної енергії розпочинається о 01:00 та закінчується о 12:00. Дані в балансах електричної енергії були представлені в мегават-годинах (МВт). Точність даних балансу електричної енергії в деяких випадках не дуже хороша. По-перше, у базі даних за 2019 рік були виявлені відсутні дані за дві години спостереження. З метою дослідження, довелося зробити виправлення порожніх клітинок за допомогою середньозважених значень, що знаходилися вище (порожні клітинки о 16:00, 17.12.2019) та нижче (о 17:00, 17.12.2019). По-друге, спостерігалися деякі помилки в результатах обчислення показника електричної енергії, що використовується для внутрішнього ринку. Статистична різниця в енергетичному балансі не висока, але вказує «на те, що деякі елементи, про які повідомляється, є неточними (або, альтернативно, про деякі елементи не повідомляється)» [16]. По-третє, ця база даних має на порталі дві різні назви («Погодинний баланс потужності ОЕС України» та «Баланс виробництва і споживання електричної енергії (прогнозований і фактичний)») [47].

Статистика електричної енергії, зібрана Національною енергетичною компанією «Укренерго» [47] відповідно до статистичної методології України. Представлений підхід не повністю узгоджений з підходами Євростату щодо

енергетичної статистики. При проведенні розрахунків, автори намагались застосувати визначення Регламенту (ЄС) № 1099/2008 про енергетичну статистику [56], але не всі дані були охоплені. «Укренерго» не повідомляє такі дані: геотермальна, вітроенергетика (але публікується вартість відновлюваних джерел); загальні витрати палива на основних підприємствах-виробниках [31].

Розглядаючи графіки розсіювання нормалізованих даних для вхідних змінних моделі погодинного балансу потужності ОЕС України (рис. 2.6), візуально спостерігається лінійна позитивна залежність між споживанням електроенергії та загальним виробництвом електроенергії в Україні (E_{TEP}), що вказує на практично 100% використання електроенергії на внутрішньому ринку (E_{UIM}).

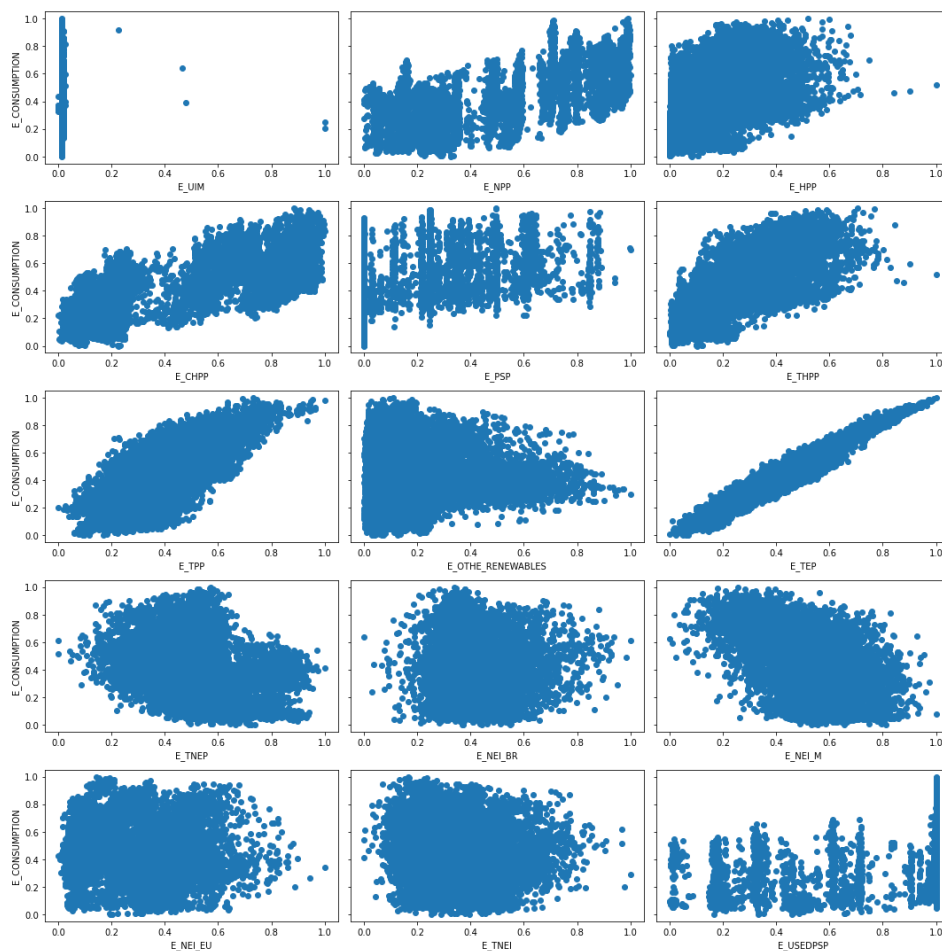


Рисунок 2.6 – Графіки розсіювання для вхідних змінних моделі балансу електроспоживання (Джерело: побудовано авторами на основі порталу відкритих даних, <https://data.gov.ua/> [47])

З зовнішнього вигляду гістограм вхідних змінних моделі балансу електроспоживання (рис. 2.7) зрозуміло, що дані мають різні функції розподілу. Дані мають як β -розподіл, так і нормальний, мультимодальний, прямокутний та дискретний розподіли даних. Проте, переважає все ж таки розподіл значень з перекосом вправо, оскільки їх середні більші за медіану (табл. 2.14, 2.15).

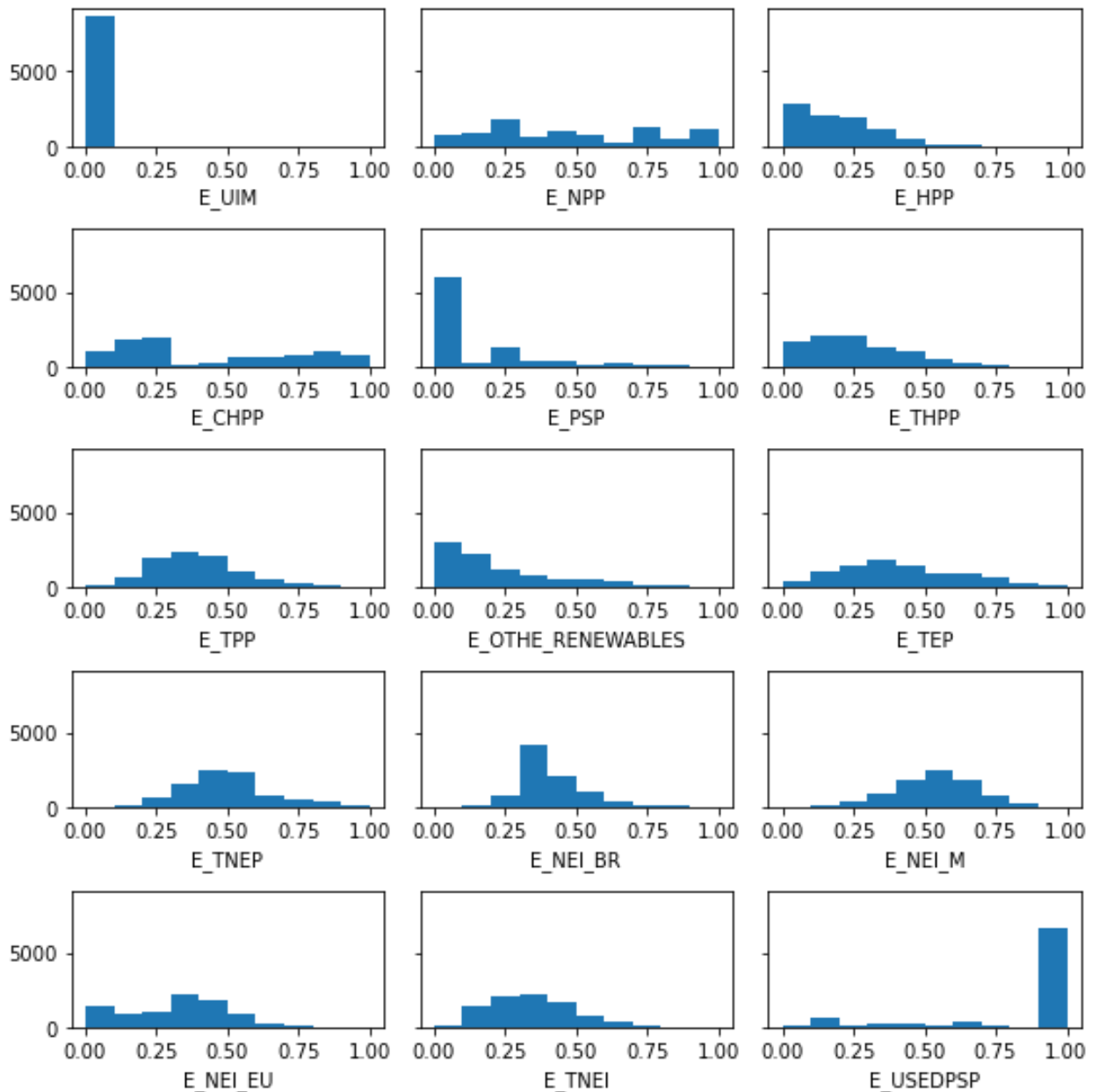


Рисунок 2.7 – Гістограми для вхідних змінних моделі балансу електроспоживання (Джерело: побудовано авторами на основі порталу відкритих даних, <https://data.gov.ua/> [47])

Таблиця 2.14 – Описова статистика змінних E_CONSUMPTION, E_NPP, E_HPP, E_CHPP, E_PSP, E_THPP, E_TPP, E_OTHE_RENEWABLES, E_TEP

	E_CONSUMPTION	E_NPP	E_HPP	E_CHPP	E_PSP	E_THPP	E_TPP	E_OTHE_RENEWABLES	E_TEP
count	8759.000	8759.000	8759.000	8759.000	8759.000	8759.000	8759.000	8759.000	8759.000
mean	0.424	0.486	0.186	0.427	0.116	0.254	0.384	0.223	0.410
std	0.210	0.293	0.141	0.308	0.199	0.165	0.148	0.193	0.200
min	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25%	0.286	0.233	0.068	0.174	0.000	0.125	0.279	0.075	0.261
50%	0.401	0.481	0.170	0.246	0.000	0.225	0.373	0.159	0.382
75%	0.566	0.738	0.280	0.727	0.247	0.367	0.475	0.321	0.551
max	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Джерело: побудовано авторами на основі порталу відкритих даних, <https://data.gov.ua/> [47]

Таблиця 2.15 – Описова статистика змінних E_TNEP, E_NEI_BR, E_NEI_M, E_NEI_EU, E_TNEI, E_USEDPSP, E_UIM

	E_TNEP	E_NEI_BR	E_NEI_M	E_NEI_EU	E_TNEI	E_USEDPSP	E_UIM
count	8759.000	8759.000	8759.000	8759.000	8759.000	8759.000	8759.000
mean	0.498	0.412	0.533	0.324	0.348	0.851	0.014
std	0.155	0.114	0.147	0.172	0.144	0.285	0.017
min	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25%	0.395	0.341	0.440	0.191	0.233	0.971	0.013
50%	0.485	0.385	0.540	0.342	0.338	1.000	0.013
75%	0.576	0.461	0.634	0.445	0.440	1.000	0.013
max	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Джерело: побудовано авторами на основі порталу відкритих даних, <https://data.gov.ua/> [47]

Тому, для цілей моделювання, баланс електроспоживання можна описати з допомогою логарифмічної функції (2.7):

$$\begin{aligned} \log(E_CONSUMPTION_i) = & E_NPP_i + E_HPP_i + E_CHPP_i + E_PSP_i + \\ & E_THPP_i + E_TPP_i + E_OTHE_RENEWABLES_i + E_TEP_i + E_TNEP_i + \\ & E_NEI_BR_i + E_NEI_M_i + E_NEI_EU_i + E_TNEI_i + E_USEDPSP_i + E_UIM_i + \\ & E_SMART_i + \varepsilon_{ldi} \end{aligned} \quad (2.7)$$

де $E_CONSUMPTION_i$ – споживання електроенергії (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

E_NPP_i – виробництво атомної енергії (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

E_HPP_i – виробництво гідроенергії (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

E_CHPP_i – комбіноване виробництво теплоелектроцентралі (МВт);

E_PSP_i – частина гідроенергії, що виробляється з насосних накопичувачів (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

E_THPP_i – загальне виробництво гідроенергії (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

E_TPP_i – звичайне виробництво теплової енергії (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

$E_OTHE_RENEWABLES_i$ – інші відновлювані джерела енергії (крім виробництва гідроенергії, МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

E_TEP_i – загальне виробництво електроенергії (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

E_TNEP_i – загальне чисте виробництво електроенергії (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

$E_NEI_BR_i$ – чистий імпорт електроенергії до Білорусі та Росії (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

$E_NEI_M_i$ – чистий імпорт електроенергії до Молдови (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

$E_NEI_EU_i$ – чистий імпорт електроенергії до ЄС (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

E_TNEI_i – загальний чистий імпорт електроенергії (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

$E_USEDPSP_i$ - електроенергія, що використовується для накопичуваного накопичувача (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

E_UIM_i – використовується для внутрішнього ринку (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

E_SMART_i – розподілена генерації енергії розумних енергосистем (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$);

$\varepsilon_{ld i}$ – втрати (перетворення, втрати розподілу та передачі) та статистична різниця (МВт) в i -балансі ($i = 1, \dots, N$).

Регресія OLS моделювання часткових змінних логарифмічної функції (таблиці 2.16 та 2.17) дає можливість зробити такі висновки:

- загальне виробництво електроенергії в Україні описувало 93,1% варіації електроспоживання (E_TEP), при чому в 2019 році переважала частка балансування з допомогою виробництва атомної енергії (E_NPP описує 41,9% варіації), а також виробництва електроенергії з викопних джерел енергії: змінна E_CHPP описувала 54,7%, E_THPP описувала 53,9%, а E_TRP – 47,3% варіації;

- для українського електроспоживання характерний досить незначний відсоток балансування попиту електроенергії з допомогою відновлюваної енергетики: 24,9% варіації споживання енергії було можливо описати з допомогою виробництва гідроенергії (E_HPP), хоча цей тип виробництва енергії є досить гнучким, та лише 0,4% – з допомогою інших відновлюваних джерел енергії ($E_OTHE_RENEWABLES$).

Таблиця 2.16 – Результати моделювання OLS E_CHPP, E_HPP, E_NPP, E_OTHE_RENEWABLES, E_PSP, E_THPP, E_TPP

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
E_CHPP			0.000*** (0.000)				
E_HPP		0.000*** (0.000)					
E_NPP	0.000*** (0.000)						
E_OTHE_RENEWABLES							0.000*** (0.000)
E_PSP				0.000*** (0.000)			
E_THPP					0.000*** (0.000)		
E_TPP						0.000*** (0.000)	
Intercept	9.058*** (0.008)	9.606*** (0.002)	9.412*** (0.003)	9.676*** (0.002)	9.481*** (0.003)	9.220*** (0.006)	9.702*** (0.002)
R-squared	0.419	0.249	0.547	0.175	0.539	0.473	0.004
R-squared Adj.	0.419	0.249	0.547	0.175	0.539	0.473	0.004
N	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8759
p-value	0.42	0.25	0.55	0.17	0.54	0.47	0.00

Standard errors in parentheses.

* p<.1, ** p<.05, ***p<.01

Джерело: побудовано авторами на основі порталу відкритих даних, <https://data.gov.ua/> [47]

Таблиця 2.17 – Результати моделювання регресії OLS E_NEI_BR, E_NEI_EU, E_NEI_M, E_TEP, E_TNEP, E_UIM, E_USEDPSP

	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
E_NEI_BR			-0.000*** (0.000)				
E_NEI_EU					-0.000*** (0.000)		
E_NEI_M				-0.002*** (0.000)			
E_TEP	0.000*** (0.000)						
E_TNEP		-0.000*** (0.000)					
E_UIM							-0.000 (0.001)
E_USEDPSP						0.000*** (0.000)	
Intercept	8.676*** (0.003)	9.759*** (0.002)	9.714*** (0.002)	9.599*** (0.003)	9.703*** (0.004)	9.748*** (0.002)	9.712*** (0.002)
R-squared	0.931	0.066	0.002	0.236	0.001	0.217	0.000
R-squared Adj.	0.931	0.066	0.002	0.236	0.001	0.217	-0.000
N	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8759
p-value	0.93	0.07	0.00	0.24	0.00	0.22	0.00

Standard errors in parentheses.

* p<.1, ** p<.05, ***p<.01

Джерело: побудовано авторами на основі порталу відкритих даних, <https://data.gov.ua/> [47]

Результати загального моделювання балансування електроенергії представлені в таблиці 2.18.

Українське виробництво електроенергії загалом орієнтується на внутрішній ринок. Пікові та найзначніші варіаційні значення виробництва та споживання електричної енергії були у січні 2019 року. Але найвищі середні значення виробництва та споживання спостерігалися у лютому 2019 року. Найнижчий рівень виробництва та споживання електричної енергії був виявлений у найтепліший сезонний період в Україні: з травня по жовтень.

Таблиця 2.18 – Результати загального моделювання регресії OLS балансу електроспоживання

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Intercept	8.7343	0.002	5109.373	0.000	8.731	8.738
E_NPP	9.371e-06	1.99e-07	46.995	0.000	8.98e-06	9.76e-06
E_HPP	3.686e-07	4.39e-07	0.840	0.401	-4.91e-07	1.23e-06
E_CHPP	1.204e-05	7.95e-07	15.143	0.000	1.05e-05	1.36e-05
E_PSP	-5.445e-07	5.26e-07	-1.034	0.301	-1.58e-06	4.87e-07
E_THPP	1.186e-05	2.92e-07	40.565	0.000	1.13e-05	1.24e-05
E_TPP	9.389e-06	1.42e-07	66.284	0.000	9.11e-06	9.67e-06
E_OTHE_RENEWABLES	1.788e-05	2.5e-07	71.538	0.000	1.74e-05	1.84e-05
E_TEP	4.851e-05	9.1e-08	533.130	0.000	4.83e-05	4.87e-05
E_TNEP	-6.815e-05	1.35e-05	-5.056	0.000	-9.46e-05	-4.17e-05
E_NEI_BR	-1.69e-05	3.53e-06	-4.781	0.000	-2.38e-05	-9.97e-06
E_NEI_M	4.579e-05	4.11e-06	11.131	0.000	3.77e-05	5.39e-05
E_NEI_EU	-1.99e-05	3.54e-06	-5.625	0.000	-2.68e-05	-1.3e-05
E_TNEI	8.998e-06	1.01e-05	0.890	0.373	-1.08e-05	2.88e-05
E_USEDPSP	3.939e-07	1.35e-05	0.029	0.977	-2.6e-05	2.68e-05
E_UIM	-5.876e-05	3.7e-05	-1.587	0.113	-0.000	1.38e-05
Omnibus:	951.175	Durbin-Watson:	0.187			
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	1285.884			
Skew:	-0.907	Prob(JB):	5.94e-280			
Kurtosis:	3.483	Cond. No.	3.80e+17			

Джерело: побудовано авторами на основі порталу відкритих даних, <https://data.gov.ua/> [47]

Але якщо подивитися на виробництво відновлюваної енергії, помітні різниці між споживанням електричної енергії та виробництвом відновлюваної енергії. Така ситуація виникає у зв'язку з виробництвом електроенергії з нових відновлюваних джерел енергії (інші відновлювані джерела в українському випадку). Оператори та агенти на енергетичному ринку врівноважують виробництво та споживання електроенергії не лише за допомогою насосних накопичувачів, але в рамках комбінованого виробництва теплоелектроцентралі (ЕСНРР). Експортно-імпортні операції не є основним джерелом збалансування ринку електроенергії в Україні через існуючі обмеження в цій галузі. Український ринок електроенергії лише на 6% синхронізований з ринком ЄС. Решта енергії проходить між Україною та Білоруссю, а також між Україною та Росією, хоча Росія й оголошена військовим супротивником України [31].

ВИСНОВКИ

Аналіз питань європейської енергоефективної політики безумовно необхідний для розуміння траєкторії інноваційного руху економіки України, адаптації зелених інновацій та посилення євроінтеграційних прагнень України. Цілям стратегії розвитку енергетичного ринку відповідає гармонізація європейських стандартів регулювання енергетики, вимірювання енергоефективності та енергозбереження, побудови сталої енергетичної системи. Фінансування зелених інновацій має свої переваги для досягнення цілей сталого розвитку та розгортання розумних енергомереж.

Застосовуючи OLS моделювання для функцій енергоефективності та обраних ендогенних індикаторів було досліджено змінні для пояснення джерел енергетичної ефективності в Україні за останні двадцять років. Відповідно до результатів OLS моделювання, на показник ефективності енергетичної політики в Україні мають вплив такі параметри, як 'залежність від імпорту енергії за продуктами' (SDG_07_50), 'реального ВВП на душу населення' (SDG_08_10), та 'кінцевого споживання енергії' (SDG_07_11). Оцінка останньої змінної має значно менший ефект на результати регресії, та показує негативний зв'язок з показником енергоефективності. Результати моделі були перевірені з допомогою RESET та Jarque-Bera тестів, та показали коректність запропонованої моделі.

Регресія OLS моделювання часткових змінних логарифмічної функції енергомереж дає можливість зробити такі висновки:

- загальне виробництво електроенергії в Україні описувало 93,1% варіації електроспоживання (E_{TEP}), при чому переважає частка балансування з допомогою виробництва атомної енергії (E_{NPP} описує 41,9% варіації), а також виробництва електроенергії з викопних джерел енергії: змінна E_{CHPP} описувала 54,7%, E_{THPP} описувала 53,9%, а E_{TRP} – 47,3% варіації;

- для українського електроспоживання характерний досить незначний відсоток балансування попиту електроенергії з допомогою відновлюваної

енергетики: 24,9% варіації споживання енергії було можливо описати з допомогою виробництва гідроенергії (E_HPP), хоча цей тип виробництва енергії є досить гнучким, та лише 0,4% – з допомогою інших відновлюваних джерел енергії (E_OTHE_RENEWABLES).

Проведений аналіз показав актуальність досліджень з питань розвитку відновлюваної енергетики та розумних мереж, впливу геопросторових факторів на розгортання енергетичних мереж. Можливо спрогнозувати, що в подальшому будуть поглиблюватися дослідження географічного балансування навантаження мереж з позиції енергоефективності, систем управління енергією розподілених енергетичних ресурсів в мікро-мережах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Abeelen C. J., Harmsen R., Worrell E. Disentangling industrial energy efficiency policy results in the Netherlands // *Energy Efficiency*. 2019. № 12(5). P. 1313-1328. DOI:10.1007/s12053-019-09780-4.
2. Assessing Smart Grid Benefits and Impacts: EU and U.S. Initiatives URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC73070/eu-us%20smart%20grid%20assessment%20-%20final%20report%20-online%20version.pdf> (дата звернення 21.04.2020).
3. Barbier E. B. Greening the post-pandemic recovery in the G20 // *Environmental and Resource Economics*. 2020. № 76(4). P. 685-703. DOI: 10.1007/s10640-020-00437-w.
4. Bertoldi P., Mosconi R. Do energy efficiency policies save energy? A new approach based on energy policy indicators (in the EU member states) // *Energy Policy*. 2020. № 139. DOI:10.1016/j.enpol.2020.111320.
5. Boichenko K. S. et al. Management of fluctuation of financial and economic integrated development of innovative enterprise // *Financial and credit activity: problems of theory and practice*. 2019. № 3(30), P. 62-69. DOI: 10.18371/fcaptp.v3i30.179506.
6. BP Statistical Review of World Energy 2019. 68th ed. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf> (дата звернення 23.11.2020).
7. Brown M. Innovative energy-efficiency policies: An international review // *Energy and Environment*. 2015. № 4(1). P. 1-25. DOI:10.1002/wene.125.
8. Bukarica V., Tomšić Ž. Energy efficiency policy evaluation by moving from techno-economic towards whole society perspective on energy efficiency market // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. № 70. P. 968-975. DOI:10.1016/j.rser.2016.12.002.

9. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal COM/2019/640 final. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN> (дата звернення 23.11.2020).
10. D/2012/04/MC-EnC: Decision on the implementation of Directive 2009/28/EC and amending Article 20 of the Energy Community Treaty. URL: https://energy-community.org/dam/jcr:f2d4b3b8-de85-41b2-aa28-142854b65903/Decision_2012_04_MC_RE.pdf (дата звернення 23.11.2020).
11. Dhakouani A., Znouda E., Bouden C. Impacts of energy efficiency policies on the integration of renewable energy // Energy Policy. 2019. № 133. DOI:10.1016/j.enpol.2019.110922.
12. Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC (Text with EEA relevance; version: 11/12/2008). URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2006/32/oj>. (дата звернення 23.11.2020).
13. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC (Text with EEA relevance; version: 26/10/2020). URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>. (дата звернення 23.11.2020).
14. Dupont C. Climate policy integration into EU energy policy : progress and prospects. London, 2016. 208 p.
15. Dupont C. Defusing contested authority: EU energy efficiency policymaking // Journal of European Integration. 2020. № 42(1). P. 95-110, DOI: 10.1080/07036337.2019.1708346.
16. Energy balances (nrg_bal) / European Commission. Eurostat. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg_bal_esms.htm (дата звернення 23.11.2020).

17. Energy Transition Index 2020: from crisis to rebound / World Economic Forum. URL: <https://www.weforum.org/reports/fostering-effective-energy-transition-2020> (дата звернення 23.11.2020).
18. Freire-González J., Puig-Ventosa I. Energy efficiency policies and the jevons paradox // *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2015. № 5(1). P. 69-79.
19. Gkonis N. et al. Multi-perspective design of energy efficiency policies under the framework of national energy and climate action plans // *Energy Policy*. 2020. № 140. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111401.
20. Harder W.J. Key performance indicators for smart grids. URL: https://essay.utwente.nl/73032/1/HARDER_MA_BMS.pdf (дата звернення 21.04.2020).
21. Hartwig J. et al. The macroeconomic effects of ambitious energy efficiency policy in germany – combining bottom-up energy modelling with a non-equilibrium macroeconomic model // *Energy*. 2017. № 124. P. 510-520. DOI: 10.1016/j.energy.2017.02.077.
22. Hrytsenko L. L., Roienko V. V., Boiarko I. M. Institutional background of the role of state in investment processes activation // *Financial and credit activity: problems of theory and practice*. 2018. № 1(24). P. 338-344.
23. Ince R. Local variations in implementing energy-efficiency policy: How third sector organisations influenced cities' responses to the green deal // *Social policy review 31: Analysis and debate in social policy*. 2019. P. 197-220.
24. Karintseva O., Benetyte R. (2018). Estimation of Efficiency of State Regulation in Economic Restructuring Based on the Environmental Factor // *SocioEconomic Challenges*. 2018. № 2(1). P. 91-102. DOI: 10.21272/sec.2(1).91-102.2018.
25. Kern F., Kivimaa P., Martiskainen M. Policy packaging or policy patching? the development of complex energy efficiency policy mixes // *Energy Research and Social Science*. 2017. № 23. P. 11-25. DOI: 10.1016/j.erss.2016.11.002.

26. Kim Y. J., Brown M. Impact of domestic energy-efficiency policies on foreign innovation: The case of lighting technologies // *Energy Policy*. 2019. № 128. P. 539-552. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.01.032.
27. Kolosok S. et al. Investment management for smart grid projects: a cross-country assessment. *Socio-Economic Challenges* : proceedings of the international scientific and practical conference, Sumy, November 3–4, 2020. Sumy, 2020. P. 470-475.
28. Kolosok S. et al. Public policy and international investment position in european integration of Ukraine // *Journal of Applied Economic Sciences*. 2018. № 13(8). P. 2375-2384.
29. Kolosok S. et al. Renewable energy innovation in Europe: energy efficiency analysis. *Innovation and Modern Applied Science in Environmental Studies* : E3S Web of Conferences, Kenitra, December 25th-27th 2020. Kenitra, 2020.
30. Kolosok S., et al. Efficiency of energy policy: impact of green innovations // *Marketing and Management of Innovations*. 2020. № 4. P. 50-60. DOI: 10.21272/mmi.2020.4-04.
31. Kolosok S., Myroshnychenko I., Zakharkina L. (2020). Open data in electrical energy balancing of ukraine: Green deal and security aspects. *ICTERI 2020 ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer* : CEUR Workshop Proceedings, Kharkiv, October 06-10, 2020. Kharkiv, 2020. URL: 270-281. <http://ceur-ws.org/Vol-2732/20200270.pdf>.
32. Kotenko N. V., Serdiuk S. G., Saltykova A. V. (2015). Marketing management tools of funding and promotion services of non-governmental organizations // *Marketing and Management of Innovations*. 2015. № 4. P. 20-33.
33. Kubatko O.V. et al. Economic optimization of resource use based on smart grid // *Mechanism of Economic Regulation*. 2020, №2. P. 37-46. DOI: 10.21272/mer.2020.88.03.
34. Kubatko O.V. et al. Investments in Renewable Energy for Smart Grid Technology Development // *Mechanism of Economic Regulation*. 2019. № 2. P. 97-105.

35. Kubatko O.V., Yaryomenko D.O., Kharchenko M.O., Almashaqbeh I.Y. A. Economic and environmental aspects of Smart Grid technologies implementation in Ukraine. *Mechanism of Economic Regulation*. 2020, №1. P. 28-37. DOI: 10.21272/mer.2020.87.01.
36. Labandeira X. et al. (2020). The impacts of energy efficiency policies: Meta-analysis // *Energy Policy*. 2020. № 147. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111790.
37. Lupenko Y. O., Gutorov A. O., Gutorov O. I. Investment ensuring for development of integration relations in the agricultural sector of Ukrainian economy // *Financial and credit activity: problems of theory and practice*. 2018. № 4(27). P. 381-389. DOI: 10.18371/fcaptp.v4i27.154221.
38. Makarenko I., Sirkovska N. Transition to sustainability reporting: evidence from EU and Ukraine // *Business Ethics and Leadership*. 2017. № 1(1). P. 16-24. DOI: 10.21272/bel.2017.1-02.
39. Marekha I., Kurbatova T. Assessment of the Impact of Financial, Resource, Geospatial and Time Factors on Power Grid Efficiency: International Outlook. *Gesellschaftsrechtliche Transformationen von wirtschaftlichen Systemen in den Zeiten der Neo-Industrialisierung* : collective monograph / Kornieiev V. et al. Nuremberg, 2020. P. 272-290.
40. Marekha I.S., Vodotyka D.V. Deployment of Smart Grids in the EU countries. *Стратегічні перспективи розвитку економічних суб'єктів в нестабільному економічному середовищі* : збірник тез IV всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., м. Кременчук, 13-15 березня 2020 р. Кременчук, 2020. С. 19-21.
41. Marekha I.S., Makarenko T.Y. European Smart Energy Market // *Держава та регіони*. 2020. № 5. P. 11-15.
42. Matvieieva Yu. Methodical approach to the optimization modeling the smart grids development considering the financial, resource, geospatial and time parameters. *New trends in the economic systems management in the context of modern global challenges*: collective monograph / edited by M. Bezpartochnyi. Sofia, 2020. Vol. 2. P. 17-43

43. Melnyk L. et al. (2020). The economic and social drivers of renewable energy development in OECD countries // *Problems and Perspectives in Management*. 2020. № 18(4). P. 37-48. DOI: 10.21511/ppm.18(4).2020.04.
44. Mentel G., et al. Regional differentiation of electricity prices: Social-equitable approach // *International Journal of Environmental Technology and Management*. 2018. № 21(5-6). P. 354-372.
45. Mirowski P., et al. Demand forecasting in smart grids // *Bell Labs Technical Journal*. 2014. № 18(4). P. 135-158. DOI: 10.1002/bltj.21650.
46. Morton C., Wilson C., Anable J. The diffusion of domestic energy efficiency policies: A spatial perspective // *Energy Policy*. 2018. № 114. P. 77-88. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.11.057.
47. Open data portal : website. URL: <https://data.gov.ua>.
48. Panchenko V. et al. Energy-Efficient Innovations: Marketing, Management and Law Supporting // *Marketing and Management of Innovations*. 2020. № 1. P. 256-264. DOI: 10.21272/mmi.2020.1-21.
49. Pavlyk V. (2020a). Assessment of green investment impact on the energy efficiency gap of the national economy // *Financial Markets, Institutions and Risks*. 2020a. № 4(1). P. 117-123. DOI:10.21272/fmir.4(1).117-123.2020.
50. Pavlyk V. Institutional Determinants Of Assessing Energy Efficiency Gaps In The National Economy // *SocioEconomic Challenges*. 2020b. № 4(1), 122-128. DOI: 10.21272/sec.4(1).122-128.2020.
51. Priyadarshana H. V. V. et al. (2019). A review on multi-agent system based energy management systems for micro grids // *AIMS Energy*. 2019. № 7(6) DOI: 10.3934/ENERGY.2019.6.924.
52. Pryymenko S.A. et al. Social justice in terms of differentiation of electricity prices // *Wiadomości Lekarskie*. 2020. № 73(5). P. 1072-1073.
53. Pryymenko S.A., Burla O.A. Functional process decomposition as a method of management of energy product lifecycle. Mechanism of Economic Regulation. 2020. № 2. P. 129-135. DOI: 10.21272/mer.2020.88.11.

54. Rahman A., Liu X., Kong F. A survey on geographic load balancing based data center power management in the smart grid environment // *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. 2014. № 16(1). P. 214-233. DOI: 10.1109/SURV.2013.070813.00183.
55. Realini A. et al. The need of harmonization in energy efficiency policies: Building a taxonomy for european industry. *eceee 2019 Summer Study on energy efficiency: Is efficient sufficient?* : proceedings, , 3-8 June 2019. 2019, P. 643-648.
56. Regulation (EC) No 1099/2008 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2008 on energy statistics (Text with EEA relevance) OJ L 304, 14.11.2008, p. 1–62. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/1099/oj>. (дата звернення 23.11.2020).
57. Reuter M., Patel M. K., Eichhammer W. Applying ex post index decomposition analysis to final energy consumption for evaluating european energy efficiency policies and targets // *Energy Efficiency*. 2019. № 12(5). P. 1329-1357. DOI: 10.1007/s12053-018-09772-w.
58. Salihaj T., Pryimenko S. Modification of the International Energy Agency Model (the IEA Model of Short-term Energy Security) for Assessing the Energy Security of Ukraine // *SocioEconomic Challenges*. 2017. № 1(4). P. 95-103. DOI: 10.21272sec.1(4).95-103.2017.
59. Scholten D., Criekemans D., Van de Graaf T. (2019). An energy transition amidst great power rivalry // *Journal of International Affairs*. 2019. № 73(1). P. 195-204. DOI: 10.2307/26872789.
60. Shkarupa O. V., Chasnyk, O. M. Sustainable energy management in a «green» economy – the case of Ukraine // *Marketing and Management of Innovations*. 2014. № 4. P. 192-199. URL: https://mmi.fem.sumdu.edu.ua/sites/default/files/mmi2014_4_192_199.pdf.
61. Smart Grid Maturity Model: Creating a Clear Path to the Smart Grid. URL: https://www.uiassist.org/references/IBM_Smart_Grid_Maturity_Model.pdf (дата звернення 21.04.2020).

62. SSSU : the official website of the State Statistics Service of Ukraine. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
63. Sun H. et al. Institutional quality, green innovation and energy efficiency // *Energy Policy*. 2019. № 135. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.111002.
64. Sun Qiang et al. Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211018571> (дата звернення 21.04.2020).
65. Table of Rankings. Energy Architecture Performance Index. *World Economic Forum*. URL: <http://reports.weforum.org/global-energy-architecture-performance-index-2017/table-of-rankings/> (дата звернення 23.11.2020).
66. The International Energy Efficiency Scorecard. *ACEEE*. URL: <https://www.aceee.org/portal/national-policy/international-scorecard> (дата звернення 23.11.2020).
67. Vakulenko I. et al. The first step in removing communication and organizational barriers to stakeholders' interaction in Smart Grids: a theoretical approach. *Innovation and Modern Applied Science in Environmental Studies* : E3S Web of Conferences, Kenitra, December 25th-27th 2020. Kenitra, 2020.
68. Wiese C., Larsen A., Pade L. Interaction effects of energy efficiency policies: A review. *Energy Efficiency*. 2018. № 11(8). P.2137-2156. DOI: 10.1007/s12053-018-9659-z.
69. Yatsenko O. M. et al. Asymmetry of the development of the world agricultural market // *Financial and credit activity: problems of theory and practice*. 2019. № 3(30). P. 423-434. DOI:10.18371/fcaptp.v3i30.179821.
70. Вакуленко І. А., Колосок С. І. Взаємозв'язок Smart Grids концепції з оновленням теплоенергетики України // *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»*. 2019. № 1. С. 14-18.
71. Вакуленко І. А., Колосок С. І. Типологізація «розумних» екологобезпечних енергетичних рішень, адаптованих до особливостей вітчизняних енергомереж // *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»*. 2019. № 2. С. 21-25.

72. Вакуленко І. Порівняльний огляд систем оцінювання розумних енергомереж: економічний аспект // Галицький економічний вісник. 2020. № 3. С. 128-136. DOI: 10.33108/galicianvisnyk_tntu2020.03.128.

73. 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. №2. С. 51-56. DOI: 10.32838/2523-4803/70-2-9.

74. Вакуленко І.А. та ін. Формування базису проведення енергетичних реформ із застосуванням «розумних» технологій // Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка». 2019. № 3. С. 40-45.

75. Вакуленко І.А., Колосок С.І., Прийменко С.А. Підходи до розгортання розумних енергетичних мереж // Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка». 2019. № 4. С. 56-61.

76. Вакуленко І.А., Сагер Л. Ю. Комунікації між стейкхолдерами як складова розбудови розумних енергомереж. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 13-15 травня 2020 р. Харків, 2020. С. 52.

77. Євдокимова А. В., Дехтяренко А. О., Петренко Н. О. Застосування проектного підходу до розбудови енергомереж в Україні // Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка». 2020. № 3. С. 290-295.

78. Євдокимова Є. А., Колосок С. І., Петренко Н. О. Європейський та український досвід реалізації енергетичних технологій // Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка». 2019. № 4. С. 109-114.

79. Колосок С. І., Васильєва Т. А. Аналіз мереж розподілу газу та електроенергії: огляд тарифного регулювання // Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка». 2020. № 2. С. 74-78 DOI: 10.21272/1817-9215.2020.2-08.

80. Копчинський Г., Шендерович В., Штейнберг М. Як в електроенергетиці України нарешті перейти від виживання до розвитку. URL:

<https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2461714-ak-v-elektroenergetici-ukraini-naresti-perejti-vid-vizivanna-do-rozvitku.html>_(дата звернення 23.11.2020).

81. Мареха І. С. Детермінанти ефективного розвитку технологічної концепції SMART GRID в умовах глобального енергетичного простору // Держава та регіони. 2020. № 3. С. 49-54. DOI: 10.32840/1814-1161/2020-3-32.

82. Мареха І. С., Колосок С. І., Макаренко Т. Ю. Глобальна оцінка економіко-технологічних факторів розвитку «розумної» енергетики. *Держава, галузі, підприємства, бізнес: реалії і тенденції економічного, інформаційного та технічного розвитку* : монографія / за ред. Л.М. Савчук, Л.М. Бандоріної. Дніпро, 2020. С. 362–378.

83. Матвєєва Ю. Т., Колосок С. І., Вакуленко І. А. Аналіз зарубіжного досвіду щодо забезпечення енергетичної ефективності на основі моделі Smart grid // Ефективна економіка. 2019. № 4. URL: www.economy.nauka.com.ua.

84. Матвєєва Ю.Т. та ін. Урахування геопросторових, фінансових, людських та часових факторів при дослідженні розвитку відновлювальної енергетики // Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка». 2020. № 3. С. 84-96.

85. Півень Д. А. Фактори використання розумних енергетичних мереж в промисловості. *Сучасний менеджмент і економічний розвиток* : матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет конф., м. Суми. Суми, 2020. URL: <https://me.fem.sumdu.edu.ua/>.

86. Прийменко С. А. Еколого-економічні засади управління життєвим циклом енергетичного продукту : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.06. Дніпропетровськ, 2015. 20 с.

87. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» : Розпорядження Кабінету Міністрів України; стратегія від 18.08.2017 № 605-р. // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text> (дата звернення 23.11.2020).

88. Стан і перспективи розвитку технологій «інтелектуальних» електромереж, управління попитом та систем режимного управління в умовах розвитку поновлюваних джерел енергії у зарубіжній енергетичній сфері 2018. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/1.-Stan-rozvytku-smart-grid.pdf> (дата звернення 23.11.2020).