

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ВАКУЛЕНКО ІГОР АНАТОЛІЙОВИЧ**

УДК 338.24:620.9:621.8.037(043.5)

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ ЗАСАДИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ  
РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ  
УКРАЇНИ**

Спеціальність 08.00.03 – економіка та управління  
національним господарством  
08 – Економічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших  
авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ І. А. Вакуленко

Науковий керівник:  
Люльов Олексій Валентинович  
доктор економічних наук, доцент

Суми – 2020

## АНОТАЦІЯ

Вакуленко І. А. Організаційно-економічні засади запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі України. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук за спеціальністю 08.00.03 – економіка та управління національним господарством. – Сумський державний університет, Суми, 2020.

У дисертації поглиблено наукові засади щодо визначення основних тенденцій у наукових дослідженнях запровадження розумних енергомереж. Застосований підхід відрізняється від наявних системним поєднанням трендового та бібліометричного аналізів, які було здійснено із застосуванням сервісу Google Trends і VOSviewer v.1.6.10 відповідно. Використання у науковому дослідженні зазначеного інструментарію дозволило виокремити основні етапи еволюції наукового та суспільного інтересу до розбудови розумних енергомереж, описати їх імпульсні атрактори, кластеризувати міжнародні дослідницькі мережі, а також обґрунтувати домінуючі патерни крос-секторних досліджень. У роботі розглянуто розвиток економічних та організаційних принципів впровадження розумних енергомереж до енергетичного сектору для формування інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки України відповідно до єдиної енергетичної політики Європейського Союзу. Відповідно, використовуючи VOSviewer v.1.6.10 та інструменти Google Trends, у дисертації досліджено теоретичні основи структурного та функціонального середовища формування та розвитку концепції розумних енергомереж. Це дозволило виявити та описати закономірності в наступних вимірах: еволюційному: у цьому контексті було визначено та охарактеризовано чотири етапи розвитку наукового та громадського інтересу до розумних енергомереж протягом періоду 2008 - серпня 2020 рр.; географічному: аналіз досліджень розумних енергомереж у даному вимірі дозволив ідентифікувати міжнародні дослідницькі кластери з вивчення розумних енергомереж. У дослідженні виявлено, що вчені з країн Європейського Союзу мають найбільшу кількість спільних публікацій. На противагу цьому,

публікації американських дослідників є переважно мононаціональними (готуються без участі іноземних учених), хоча абсолютна кількість досліджень, проведених вченими зі Сполучених Штатів, робить їх безперечними лідерами у вивченні розумних енергомереж; семантичному: під час дослідження було виявлено п'ять міжгалузевих смислових кластерів та найбільш актуальні сфери, пов'язані з розумними енергомережами. Це галузі відновлюваної енергетики, акумулювання енергії та електрифікації, енергоменеджмент та інформаційні технології. Дослідження також виявило тенденції до зміни напрямку економічного аналізу розумних енергомереж від підходів до формування тарифів та комерціалізації розумних енергомереж до вивчення глобальної економічної моделі їх функціонування, зростання технічної та економічної ефективності раціонального енергоспоживання.

У дисертації запропоновано науково-методологічний підхід до оцінки впливу політики запровадження розумних енергомереж до енергетичного сектору економіки на соціально-економічний розвиток України. Для визначення ролі та місця розумних енергомереж у формуванні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки встановлено силу та напрямок впливу їх розбудови на індикатори соціального та економічного розвитку країни. З цією метою розроблено двоетапний науково-методичний підхід, перший етап якого полягає у підтвердженні гіпотези про наявність статистично значущої різниці щодо рівнів ефективного енергоспоживання до та після впровадження політики розгортання розумних енергомереж; другий етап передбачає визначення поелементного впливу індикаторів ефективності політики запровадження розумних енергомереж на рівень соціально-економічного розвитку в Україні шляхом застосування регресійного аналізу. Це дозволило емпірично підтвердити важливість розвитку розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки для підвищення рівня соціального та економічного розвитку країни.

У роботі запропоновано методичне підґрунтя компаративного аналізу наявних систем оцінювання ефективності розумних енергомереж, що передбачає визначення масштабу врахування основних їх характеристик (стійкість,

інформаційна, економічна, технічна та комунікативна ефективність, екологічність, наявність електротранспортної інфраструктури) та розроблення системи індикаторів для кожної з них. Це дозволило поелементно оцінити та проранжувати наявні системи вимірювання ефективності розумних енергомереж у контексті здійснення державою її регуляторних функцій відповідно до вимог єдиної енергополітики Європейського Союзу.

У дисертації розроблено підхід до інтегрального оцінювання ефективності розумних енергомереж, що передбачає встановлення оптимальної кількості напрямків оцінювання розумних енергомереж, формалізацію методичного базису їх квантифікації, агрегування індикаторів за групами та напрямками оцінювання, врахування прямих та опосередкованих ефектів, можливостей подальшої оптимізації розумної енергомережі, її інтеграції з мікромережами та енергомережами вищого рівня. Запропонований підхід відповідає стратегічним завданням розбудови в Україні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки, дозволяє підвищити точність оцінювання ефективності як уже функціонуючих енергомереж, так і тих, які розробляються. Розроблений підхід до інтегрального оцінювання може бути використаний як інструментарій для створення стратегічних та цільових програм модернізації енергетичного сектору України, встановлення таргетів енергетичної політики та моніторингу їх виконання.

У роботі удосконалено наукове підґрунтя формування дорожньої карти розбудови розумних енергомереж в Україні, що відрізняється від існуючих урахуванням результатів бенчмаркінг-аналізу досвіду країн-лідерів у даному напрямку. Досвід провадження розумних енергомереж в Європейському Союзі та Сполучених Штатах Америки дозволив виявити дві моделей розвитку розумних енергомереж: 1) поетапної розбудови розумних енергомереж (країни Європейського Союзу) – послідовне впровадження інтелектуальних технологій в енергетичному секторі економіки (від розумного вимірювання до дисперсної енергосистеми); 2) локалізації розумних енергомереж (Сполучені Штати Америки) – створення повнофункціональної розумної енергомережі на

обмеженій території з її подальшою інтеграцією до глобальної енергосистеми. На основі здійсненого аналізу було визначено оптимальну модель розвитку розумних енергомереж в Україні, якою передбачене масове розгортання базових однорідних розумних енерготехнологій з одночасною реалізацією пілотних проєктів розумних енергомереж. Такий підхід дозволяє формалізувати перелік конкретних заходів із розбудови вітчизняної енергоінфраструктури, реалізації регуляторних інтервенцій, формування політики стимулювання енергоінновацій, забезпечення клієнтоорієнтованості та відкритості енергосистеми для споживачів, апробації та масштабування енергоефективних рішень.

Дорожня карта передбачає розвиток енергетичного сектору економіки України на основі запровадження розумних енергомереж відповідно до трьох етапів: пристосування розподіленої енергогенерації до енергосистеми, створення децентралізованої енергомережі та формування дисперсної енергосистеми. У дорожній карті визначено склад основних стейкхолдерів, відповідальних за реалізацію кожного заходу на кожному етапі.

У роботі поглиблено організаційно-економічні засади запровадження розумних енергомереж до енергетичного сектору економіки, що відрізняється від наявних розроблень організаційно-комунікаційної схеми взаємодії та узгодження інтересів стейкхолдерів, яка базується на модифікації моделі зрілості розумної енергомережі, ураховує ключові параметри й стратегії її розвитку, стадію реалізації проєкту.

Розроблена організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів, спрямована на підвищення ефективності реалізації державної політики в енергетичному секторі економіки та може бути використана під час виконання заходів, передбачених дорожньою картою запровадження розумних енергомереж.

Ключові слова: розумні енергомережі, енергетичний сектор, інтегрована енергоцентрована модель економіки, стейкхолдери, національна економіка.

## ABSTRACT

Vakulenko I. A. Organizational and economic principles of smart grid implementation in the energy sector of Ukraine. – Manuscript.

Thesis for a candidate degree in Economics in specialty 08.00.03 – Economics and Management of National Economy. – Sumy State University, Sumy, 2020.

The thesis examines the development of economic and organizational principles for implementing the smart grid to form an integrated energy-centric model of Ukraine's economy following the European Union's single energy policy. Accordingly, using VOSviewer v.1.6.10 and Google Trends tools, the author investigated the theoretical foundations of the study of the structural and functional environment of the smart grids concept formation and development. It allowed us to identify and describe patterns in the following dimensions. Evolutionary: in this context, four stages of the evolution of scientific and public interest in smart grids were identified and characterized during the period 2008 – august 2020. Geographical: analysis of this dimension of smart grids allowed the development of a cluster of international research networks to study smart grids' deployment. The thesis found that scientists from EU countries have the largest number of joint publications. In contrast, American researchers' publications are mono-national (prepared without foreign scientists' participation), although the absolute number of studies conducted by scientists from the United States makes them undisputed leaders. Semantic: the research identified five cross-sectoral study clusters and the most relevant areas related to smart grids. These areas are renewable energy, energy storage and electrification, energy management, and information technologies. The research also revealed trends in changing the direction of smart grids' economic analysis from approaches to tariff formation and commercialization of smart grids to study smart grids' global economic model and their technical and economic efficiency energy consumption patterns.

The thesis proposed a scientific and methodological approach to assessing the impact of smart grids' policy on country's socio-economic development. It was done through a systematic combination of tools to verify the nature of data distribution,

equality of sample variances, comparison of their means, and regression analysis of time data. It allowed to empirically confirm the importance of developing smart grids in the economy's energy sector to increase its social and economic development.

A methodological basis for a comparative analysis of existing systems for evaluating smart grids' efficiency was formed. The approach was based on identifying functionally significant components of smart grids and the most relevant of them under the objectives of the energy sector of the national economy. These components are sustainability, information, economic, technical, communicative efficiency, environmental friendliness, and electric transport infrastructure in smart grids. It allowed to evaluating and ranking the existing systems for measuring the efficiency of smart grids in state regulation of the economy's energy sector under the standard EU energy policy requirements.

The integrated approach to smart grids` efficiency evaluation was developed. The proposed method takes into account the purpose of the assessment. It allowed for a more accurate evaluation of potential or existing smart grids and measured smart grids development's effectiveness at the regional and national levels. Establishing the optimal number of areas for assessing smart grids, formalization of the methodological basis for their quantification, aggregation of indicators by groups and areas of assessment, taking into account direct and indirect effects, opportunities for further optimization of smart grids, and ensuring their compliance with the strategic task of building an integrated energy centered model in Ukraine was presented as a component of the integrated evaluation approach.

Designed roadmap for developing smart grids in Ukraine is based on benchmarking analysis of leading countries' experience. This roadmap formalizes a list of specific measures to develop domestic energy infrastructure, regulatory interventions, and policies' openness to energy-efficient solutions. The roadmap explains each stakeholders` necessary activity according to the smart grid development process's main stages. These stages are adapting distributed energy generation to the energy system, creating decentralized and dispersed energy networks. The roadmap is based on a combination of phased development and localization of smart grids. It

provides for the mass deployment of homogeneous smart energy technologies and the simultaneous implementation of pilot projects for smart grids.

An organizational and communication scheme of stakeholder interaction is a tool to activate drivers for smart grids. It helps to implement energy-efficient smart grid projects and support their scaling to the national economy level. The scheme uses as a base the modification of the smart grid maturity model. The organizational and communication scheme promotes the integration of value chains, increases asset management efficiency, and creates the preconditions for further expansion of smart grids.

Keywords: smart grids, energy sector, integrated energy-centered economy model, stakeholders, national economy.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

### *Розділи у колективних монографіях*

1. Kolosok S., Zakharkina L., Vakulenko I. Concept of energy cooperation in Europe. *European energy collaboration: modern smart specialization strategies* : monograph / edited by T. Vasylieva, S. Kolosok. Szczecin, 2019. P. 54–71 (0,82 друк. арк.). *Особистий внесок: визначення та обґрунтування стратегій впровадження розумних енергомереж (0,35 друк. арк.)*.

2. Вакуленко І. А., Колосок С. І., Мареха І. С., Матвеева Ю. Т. Класифікація розумних та безпечних рішень в енергетиці. *Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні* : монографія / за ред. С. І. Колосок. Суми, 2019. С. 71–81 (0,40 друк. арк.). *Особистий внесок: розроблення класифікації технологій розумних енергомереж (0,20 друк. арк.)*.

### *Статті в наукових фахових виданнях України*

3. Вакуленко І. А., Лук'янихіна О. А. Сучасні тенденції розвитку ринку біопалива у світі (огляд). *Збірник наукових праць Буковинського університету* (Google Scholar). 2011. №7. С. 43–51 (0,95 друк. арк.). *Особистий внесок: визначено тенденції та перспективи ринку біопалива (0,80 друк. арк.)*.



4. Теліженко О. М., Вакуленко І. А., Мирошниченко Ю. О. Методичні підходи до оцінки соціо-еколого-економічної ефективності інвестиційних проектів з енергозбереження. *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит* (BASE та ін.). 2014. № 11. С. 40–51 (0,78 друк. арк.). *Особистий внесок: удосконалено методичні засади оцінювання енергоефективних проектів* (0,34 друк. арк.).

5. Вакуленко І. А., Денисенко П. А. Стратегічні питання розвитку енергетики України: інноваційний, інтеграційний та екологічний аспекти. *Механізм регулювання економіки* (Index Copernicus). 2018. № 4. С. 110–118 (0,69 друк. арк.) *Особистий внесок: обґрунтовано стратегію розвитку енергетичного сектору економіки* (0,41 друк. арк.).

6. Вакуленко І. А., Колосок С. І. Взаємозв'язок Smart Grids концепції з оновленням теплоенергетики України. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»* (SIS та ін.). 2019. № 1. С. 14–18 (0,35 друк. арк.). *Особистий внесок: обґрунтовано місце розумних енергомереж в модернізації теплоенергетики* (0,25 друк. арк.).

7. Матвєєва Ю. Т., Колосок С. І., Вакуленко І. А. Аналіз зарубіжного досвіду щодо забезпечення енергетичної ефективності на основі моделі smart grid. *Ефективна економіка*. (Index Copernicus та ін.). 2019. № 4. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6987> (0,81 друк. арк.). *Особистий внесок: визначено очікувані результати впровадження розумних енергомереж* (0,1 друк. арк.).

8. Вакуленко І. А. Ефективність розумних енергомереж: китайський підхід. *Механізм регулювання економіки* (Index Copernicus та ін.). 2019. № 4. С. 24–31 (0,50 друк. арк.).

9. Вакуленко І. А. Розгортання «розумних» енергетичних мереж як елемент системи модернізації енергетичного сектору економіки України. *Науковий вісник Полісся* (Index Copernicus та ін.). 2019. № 2. С. 97–106 (0,46 друк. арк.).

10. Вакуленко І. А., Колосок С. І. Типологізація «розумних» екологобезпечних енергетичних рішень, адаптованих до особливостей

вітчизняних енергомереж. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»* (SIS та ін.). 2019. № 2. С. 21–25 (0,39 друк. арк.). *Особистий внесок: визначено адаптовані до енергетичного сектору економіки України технології розумних енергомереж* (0,25 друк. арк.).

11. Вакуленко І. А., Колосок С. І., Прийменко С. А., Матвєєва Ю. Т. Формування базису проведення енергетичних реформ із застосуванням «розумних» технологій. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»* (SIS та ін.). 2019. № 3. С. 40–45 (0,42 друк. арк.). *Особистий внесок: обґрунтовано передумови для системної розбудови розумних енергомереж* (0,21 друк. арк.).

12. Вакуленко І. А. Оцінювання ефективності розгортання розумних енергетичних мереж із застосуванням моделі зрілості смарт-мережі (IBM SMART GRID MATURITY MODEL, SGMM). *Вісник Хмельницького національного університету (Index Copernicus та ін.)*. 2019. № 4. С. 16–19 (0,48 друк. арк.).

13. Вакуленко І. А., Колосок С. І., Прийменко С. А., Матвєєва Ю. Т. Підходи до розгортання розумних енергетичних мереж. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»* (SIS та ін.). 2019. № 4. С. 56–61 (0,42 друк. арк.). *Особистий внесок: визначено стратегічні підходи до впровадження розумних енергомереж* (0,30 друк. арк.).

14. Вакуленко І. А. Порівняльний огляд систем оцінювання розумних енергомереж: економічний аспект. *Галицький економічний вісник (Index Copernicus та ін.)*. 2020. Том 64, № 3. С. 128–136 (0,62 друк. арк.).

15. Вакуленко І. А. Окремі питання розбудови розумних енергомереж: система оцінювання DOE. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія «Економіка і управління» (Index Copernicus та ін.)*. 2020. № 2. С. 51–56 (0,41 друк. арк.).

#### ***Статті в зарубіжних наукових виданнях***

16. Vakulenko I., Myroshnychenko Iu. Approaches to the organization of the energy efficient activity at the regional level in the context of limited budget resources

during the transformation of energy market paradigm. *Environmental and Climate Technologies* (Scopus та ін.). 2015. Vol. 15 (1). P. 59–76 (1,24 друк. арк.). *Особистий внесок: визначено напрямки реалізації державної енергетичної політики (0,8 друк. арк.)*.

**Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

17. Вакуленко І. А. Перспективи розвитку альтернативної енергетики в сучасних умовах. Екологічний менеджмент у загальній системі управління : тези доп. X Щорічн. всеукр. наук. конф. (м. Суми, 20–21 квіт. 2010 р.). Суми, 2010. Ч. 1. С. 29–31 (0,09 друк. арк.).

18. Вакуленко І. А., Лук'янихіна О. А. Еколого-економічні аспекти трансформації системи енергетичної безпеки в Україні. *Екологічний менеджмент у загальній системі управління* : зб. тез доп. XI Щорічн. всеукр. наук. конф. (м. Суми, 20–21 квіт. 2011 р.). Суми, 2011. Ч. 1. С. 182–185 (0,17 друк. арк.). *Особистий внесок: обґрунтовано загрози національній безпеці України в енергетичному секторі економіки (0,09 друк. арк.)*.

19. Вакуленко І. А. Еколого-економічний антагонізм розвитку альтернативної енергетики в країнах, що розвиваються. *Економічні проблеми сталого розвитку* : матеріали доп. Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 20-річчю наукової діяльності ф-ту економіки та менеджменту СумДУ (м. Суми, 3–5 квіт. 2012 р.). Суми, 2012. Т. 4. С. 195 (0,05 друк. арк.).

20. Вакуленко І. А. Альтернативна енергетика в умовах фінансово-економічної кризи. *Екологічний менеджмент у загальній системі управління* : зб. тез доп. XIII Щорічн. всеукр. наук. конф. (м. Суми, 17–18 квіт. 2013 р.). Суми, 2013. С. 25–27 (0,08 друк. арк.).

21. Vakulenko I. Public planning for innovative development on the example of the energy sector. *Science of 2018. Outcomes* : proceedings of XXXX International scientific conference. Morrisville : Lulu Press, 2018. P.43–45 (0,14 друк. арк.).

22. Vakulenko I.A. Problems of the energy sector of Ukrainian economy through the implementation of state target programs. *Kluczowe aspekty naukowej działalności* :

Materiały XV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji (31 grudnia – 07 stycznia 2019). *Przemysł*, 2018. S. 15–17 (0,10 друк. арк.).

23. Вакуленко І. А., Сагер Л. Ю. Окремі питання планового розгортання «розумних» енергетичних мереж як інноваційної складової енергетичної політики України. *Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении* : материалы Междунар. науч.-техн. конф. (г. Одесса, 16-18 мая 2019 г.). Одесса, 2019. С. 28–30 (0,11 друк. арк.). *Особистий внесок: обґрунтовано системний програмно-цільовий підхід до розбудови розумних енергомереж* (0,08 друк. арк.).

24. Вакуленко І. А., Сагер Л. Ю. Комунікації між стейкхолдерами як складова розбудови розумних енергомереж. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я MicroCAD-2020* : XXVII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 13–15 трав. 2020 р.). Харків, 2020. С. 52 (0,06 друк. арк.). *Особистий внесок: обґрунтовано необхідність системної взаємодії стейкхолдерів під час розбудови розумних енергомереж* (0,04 друк. арк.).

## ЗМІСТ

ВСТУП	15
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ ТА ЇХ РОЛІ В РОЗБУДОВІ В УКРАЇНІ ІНТЕГРОВАНОЇ ЕНЕРГОЦЕНТРОВАНОЇ МОДЕЛІ ЕКОНОМІКИ	23
1.1. Структурно-логічна сутність поняття «розумні енергомережі» та передумови їх розбудови	23
1.2. Теоретичні засади дослідження структурно-функціонального середовища формування та розвитку теорії управління запровадження розумних енергомереж	50
1.3. Роль та місце розумних енергомереж у формуванні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки	67
Висновки до розділу 1	81
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОВАДЖЕННЯ РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ ЕКОНОМІКИ	84
2.1. Науково-методичні підходи до оцінювання ефективності розумних енергомереж	84
2.2. Методичний інструментарій компаративного аналізу систем оцінювання розумних енергомереж	111
2.3. Теоретичні засади формування інструментарію інтегрального оцінювання розумних енергомереж	156
Висновки до розділу 2	168
РОЗДІЛ 3. НАПРЯМКИ РЕАЛІЗАЦІЇ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ РОЗБУДОВИ РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ В УКРАЇНІ ІНТЕГРОВАНОЇ ЕНЕРГОЦЕНТРОВАНОЇ МОДЕЛІ ЕКОНОМІКИ ЗГІДНО З ВИМОГАМИ ЄДИНОЇ ЕНЕРГОПОЛІТИКИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ	171

3.1. Організаційно-економічні моделі запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі національної економіки	171
3.2. Дорожня карта запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі України у контексті формування інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки	181
3.3. Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів під час розбудови розумних енергомереж	190
Висновки до розділу 3	208
ВИСНОВКИ	210
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	213
ДОДАТКИ	236

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** В Україні динаміка розвитку енергетичного сектору економіки істотно поступається країнам Європейського Союзу: за темпом скорочення кінцевого споживання енергоресурсів – відставання майже вдвічі, за часткою енергоспоживання з альтернативних джерел – майже в 6 разів, за темпом скорочення викидів вуглецю в енергетиці – майже в 4 рази. Значною мірою це обумовлено тим, що впродовж останніх 15 років всі країни ЄС реалізують єдину енергетичну політику, одними з базових елементів якої є активна розбудова розумних енергомереж та їх повноцінна інтеграція до європейської енергосистеми. В усталеному розумінні розумна енергомережа – це комплекс заходів із декарбонізації енергетичного сектору економіки, запровадження інтелектуальних систем моніторингу та споживання енергії, розподіленої енергогенерації тощо. В Україні розумні енергомережі запроваджуються лише як окремі пілотні проекти та мікромережі, тоді як для їх масштабування на національний рівень і формування інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки необхідні скоординованість дій та узгодженість інтересів органів державної влади, місцевого самоврядування, енергопідприємств і споживачів енергії, реалізація системної державної політики щодо організаційно-економічного стимулювання трансферу енергоінновацій через запровадження розумних енергомереж.

Теоретичні та практичні аспекти розбудови розумних енергомереж відображено в працях таких зарубіжних учених: Д. Авансіні, І. Гвердера, М. Гулдена, Д. Гусінга, В. Дові, Н. Жавайда, В. Келлера, Й. Кестера, П. МакДеніела, Г. Перейри, П. Перейри да Сілви, Б. Редді, С. Руестер, Д. Тона, Г. Уалленборна, Н. Фігейредо, Д. Фрінке та ін. Шляхи підвищення енергоефективності економіки перебувають у центрі уваги і вітчизняних науковців, зокрема: Т. Васильєвої, Т. Гільорме, А. Гончарука, І. Губарєвої, В. Джеджули, С. Леонова, О. Люльова, Л. Мельника, Т. Пімоненко, Т. Салашенко, І. Сотник, М. Сотника, О. Суходолі, О. Теліженка та ін.

У той самий час узагальнення наявного наукового доробку свідчить, що остаточно не вирішеною залишається низка проблем, що стосуються, зокрема, дослідження структурно-функціонального середовища еволюції концепції розумних енергомереж, визначення впливу ефективності політики запровадження розумних енергомереж на соціально-економічний розвиток країни, компаративного аналізу наявних підходів та формування інтегрального підходу до оцінювання ефективності функціонування розумних енергомереж, розроблення механізмів узгодження інтересів стейкхолдерів при імплементації дорожньої карти розбудови розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки. Усе це обумовило вибір теми, мети і завдань дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дослідження узгоджується з базовими засадами Європейської зеленої угоди, Директив ЄС «Про енергоефективність» (2012/27/ЄС) та «Щодо розгортання інфраструктури альтернативних видів палива» (2014/94/ЄС), Резолюції 70/1 Генеральної Асамблеї ООН «Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого розвитку на період до 2030 року», Енергетичної стратегії України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (Розпорядження Кабінету Міністрів України № 605-р від 18.08.2017 р.), Плану заходів із виконання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС (Постанова Кабінету Міністрів України № 1106 від 25.10.2017 р.), Стратегії сталого розвитку України до 2030 р. (проект № 9015 від 07.08.2018 р.) та ін.

Дисертація виконана відповідно до тематики наукових досліджень Сумського державного університету. У межах теми «Оптимізаційна модель розбудови розумних та безпечних енергетичних мереж: інноваційні технології екологізації підприємств і регіонів» (№ д/р 0119U100766) розроблено пропозиції щодо оцінювання ефективності розумних енергомереж на місцевому та державному рівнях; теми «Моделювання трансферу екоінновацій в системі «підприємство – регіон – держава»: вплив на економічне зростання та безпеку України» (№ д/р 0119U100364) – щодо інтенсифікації трансферу енергоінновацій; теми «Моделювання механізмів мінімізації розривів



енергоефективності в контексті Цілей сталого розвитку: комунікативна мережа взаємодії стейкхолдерів» (№ д/р 0120U102002) – щодо узгодження інтересів стейкхолдерів під час розбудови розумних енергомереж; теми «Програмно-цільове управління екологоорієнтованим розвитком об'єктів малої гідроенергетики на регіональному рівні» (№ д/р 0118U007021) – щодо розроблення дорожньої карти запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є розвиток економіко-організаційних засад запровадження розумних енергомереж для формування в Україні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки згідно з вимогами єдиної енергополітики ЄС.

Поставлена мета зумовила необхідність вирішення таких завдань:

- визначити основні тренди розвитку досліджень у сфері розумних енергомереж;
- визначити вплив ефективності політики запровадження розумних енергомереж на соціально-економічний розвиток країни;
- розробити теоретичне підґрунтя компаративного аналізу наявних систем оцінювання функціонування розумних енергомереж;
- запропонувати методичний інструментарій інтегрального оцінювання ефективності функціонування розумних енергомереж;
- поглибити методичне підґрунтя формування дорожньої карти запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки;
- вдосконалити методичні засади узгодження інтересів стейкхолдерів під час реалізації дорожньої карти розбудови розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки.

*Об'єктом дослідження* є економічні відносини між стейкхолдерами енергетичного сектору економіки в процесі генерації, розподілення та споживання енергії, державного регулювання розвитку енергетичного сектору під час побудови інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки.

*Предметом дослідження* є науково-методичні засади та організаційно-економічний інструментарій трансформації енергетичного сектору економіки на основі запровадження розумних енергомереж.

*Методи дослідження.* Методологічну основу роботи становлять фундаментальні положення економічної теорії, теорії управління, державного регулювання економіки, макроекономічного прогнозування та планування, економіко-математичного моделювання, наукові праці щодо розвитку енергетичного сектору економіки і розбудови розумних енергомереж.

Відповідно до визначених завдань використано такі методи дослідження: трендовий і бібліометричний аналізи – під час дослідження структурно-функціонального середовища та розвитку концепції розумних енергомереж; статистичний та регресійний аналізи – при формалізації залежності індикаторів соціально-економічного розвитку країни від ефективності політики розбудови розумних енергомереж; компаративний аналіз – під час визначення груп показників ефективності запровадження розумних енергомереж; методи логічного узагальнення, аналізу та синтезу – при формуванні організаційно-комунікаційної схеми взаємодії стейкхолдерів; бенчмаркінг-аналіз – під час розроблення пропозицій щодо формування дорожньої карти запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки. Для розрахунків використано програмний продукт Stata 14/SE, для бібліометричного аналізу – інструментарій VOSViewer v.1.6.10, для трендового – Google Trends.

Інформаційно-фактологічною базою дослідження є закони України; укази Президента України; нормативні акти Кабінету Міністрів України; аналітично-звітні дані Міністерства енергетики України, Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, Державної служби статистики України, Міжнародної енергетичної агенції, Департаменту енергетики Сполучених Штатів Америки, Інституту електроенергетичних досліджень, Організації економічного співробітництва та розвитку, Світового банку, Світової енергетичної статистики Yearbook; наукові публікації з питань розбудови розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в розвитку економіко-організаційних засад запровадження розумних енергомереж для формування в Україні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки згідно з вимогами єдиної енергополітики ЄС. Найбільш вагомими науковими результатами дисертаційної роботи є такі:

*вперше:*

– запропоновано методичне підґрунтя компаративного аналізу наявних систем оцінювання ефективності розумних енергомереж, що передбачає визначення масштабу врахування основних їх характеристик (стійкість, інформаційна, економічна, технічна та комунікативна ефективність, екологічність, наявність електротранспортної інфраструктури) та розроблення системи індикаторів для кожної з них. Це дозволило поелементно оцінити та проранжувати наявні системи вимірювання ефективності розумних енергомереж у контексті державного регулювання енергетичного сектору згідно з вимогами єдиної енергополітики ЄС;

– розроблено методичний інструментарій інтегрального оцінювання ефективності розумних енергомереж, що передбачає врахування його цільового призначення (як для оцінювання окремих потенційних або вже функціонуючих розумних енергомереж, так і для вимірювання результативності їх системної розбудови на рівні регіону та країни в цілому), встановлення оптимальної кількості напрямків оцінювання розумних енергомереж, формалізацію методичного базису їх квантифікації, агрегування індикаторів за групами та напрямками оцінювання, врахування прямих та опосередкованих ефектів, можливостей подальшої оптимізації розумних енергомереж і забезпечення їх відповідності стратегічним завданням розбудови в Україні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки;

*вдосконалено:*

– науково-методичний підхід до обґрунтування ролі розумних енергомереж у розбудові в Україні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки, що на відміну від наявних, здійснено шляхом емпіричного підтвердження засобами

статистичного аналізу наявності значущої розбіжності в рівнях енергоспоживання до та після запровадження розумних енергомереж, а також виявлення засобами регресійного аналізу індикаторів соціального й економічного розвитку України, що залежать від рівня споживання електроенергії та енергоемності ВВП як цільових таргетів запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки згідно з вимогами єдиної енергополітики ЄС;

– організаційно-економічні засади запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки України, що відрізняються від існуючих розробленням організаційно-комунікаційної схеми взаємодії та узгодження інтересів стейкхолдерів, яка базується на модифікації моделі зрілості розумної енергомережі, враховує ключові параметри й стратегії розвитку розумних енергомереж, стадію реалізації проєкту, систему техніко-технологічних обмежень, соціальні та екологічні фактори. Це дозволяє виявити внутрішньосистемні та екстернальні конфлікти інтересів стейкхолдерів, підвищити потенціал їх кооперації в контексті реалізації політики державного регулювання енергетичним сектором економіки;

*набули подальшого розвитку:*

– наукові засади визначення основних трендів наукових досліджень у сфері розумних енергомереж, що відрізняються від існуючих системним поєднанням трендового (Google Trends) та бібліометричного (VOSviewer v.1.6.10) аналізів. Це дозволило виокремити основні етапи еволюції наукового та суспільного інтересу до питань розумних енергомереж, описати їх імпульсні атрактори, кластеризувати міжнародні дослідницькі мережі, а також обґрунтувати домінуючі патерни крос-секторних досліджень;

– наукове підґрунтя формування дорожньої карти розбудови розумних енергомереж в Україні, що відрізняється від існуючих урахуванням результатів бенчмаркінг-аналізу досвіду країн-лідерів та дозволило формалізувати перелік конкретних заходів із розбудови вітчизняної енергоінфраструктури, реалізації регуляторних інтервенцій, політики стимулювання енергоінновацій, забезпечення клієнтоорієнтованості та відкритості енергоефективних рішень;

структурувати їх за основними етапами (пристосування розподіленої енергогенерації до енергосистеми, створення децентралізованої та дисперсної енергомереж); визначити склад основних стейкхолдерів, відповідальних за реалізацію кожного заходу.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що основні положення дисертації доведено до рівня методичних розробок і практичних рекомендацій, які можуть бути використані органами державної влади під час розроблення стратегій та програм розвитку енергетичного сектору економіки; органами місцевого самоврядування – під час розроблення регіональних цільових програм енергозаощадження; профільними громадськими організаціями та асоціаціями – в процесі моніторингу прогресу реформ в енергетичному секторі економіки; енергогенеруючими та енергорозподільчими підприємствами – під час діагностики проблем у розвитку енергетичного господарства; суб'єктами господарювання різних видів економічної діяльності та домогосподарствами – в разі використання можливостей розподіленої енергогенерації.

Пропозиції щодо системної модернізації енергетичної інфраструктури впроваджено в практичну діяльність Департаментом житлово-комунального господарства та енергоефективності Сумської обласної державної адміністрації (довідка № 01-12/1078 від 27.10.2020 р.); щодо економічного обґрунтування енергоефективних рішень – Департаментом інфраструктури міста Сумської міської ради (довідка № 1566/05.01.01-07 від 26.10.2020 р.); щодо взаємодії стейкхолдерів під час реалізації проєктів із запровадження розумних енергомереж – Управлінням стратегічного розвитку міста Сумської міської ради (довідка № 148/11-11 від 20.07.2020 р.); щодо енергоаудиту з використанням модифікованої системи зрілості розумної енергомережі – КЕП «Чернігівська ТЕЦ» ТОВ ФІРМИ «ТЕХНОВА» (довідка № 03-125 від 04.08.2020 р.); щодо гармонізації інтересів держави та бізнесу під час реформування енергетичного сектору – Коаліцією малого і середнього бізнесу Сумської області (довідка № 53 від 16.07.2020 р.), щодо залучення венчурного капіталу для реалізації

енергоефективних проєктів – Українською асоціацією венчурного та приватного капіталу (довідка № 2-110820 від 11.08.2020 р.).

Результати дослідження використовуються в навчальному процесі Сумського державного університету під час викладання дисциплін «Адміністративно-територіальне управління», «Державне і регіональне управління», «Економічна політика та державне регулювання економіки» (акт від 27.05.2020 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням. Наукові положення, висновки, рекомендації та розробки, що виносяться на захист, одержані автором самостійно й відображені в опублікованих працях. Результати, опубліковані дисертантом у співавторстві, використані в дисертаційній роботі лише в межах його особистого внеску.

**Апробація результатів дослідження.** Основні результати дисертації оприлюднені на 8 всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях ([17–24] у наведеному в авторефераті списку праць).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковано у 24 наукових працях загальним обсягом 10,54 друк. арк., з яких особисто авторові належить 7,14 друк. арк., зокрема: підрозділи у двох колективних монографіях; 13 статей у наукових фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних, 1 стаття в зарубіжному виданні, що індексується базою даних Scopus, 8 публікацій у збірниках тез доповідей конференцій.

**Структура і зміст роботи.** Дисертація складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 252 сторінки, зокрема: 200 сторінок основного тексту, 60 таблиць, 42 рисунки, 3 додатки, список використаних джерел, що налічує 202 найменування.

## РОЗДІЛ 1

# ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ ТА ЇХ РОЛІ В РОЗБУДОВІ В УКРАЇНІ ІНТЕГРОВАНОЇ ЕНЕРГОЦЕНТРОВАНОЇ МОДЕЛІ ЕКОНОМІКИ

### 1.1. Структурно-логічна сутність поняття «розумні енергомережі» та передумови їх розбудови

Значна енергозалежність економіки та проникнення енергетики у всі сфери функціонування суспільства спричиняє необхідність реформування енергетичного сектору відповідно до сучасних вимог, продиктованих зміною економічних реалій. Вирішення актуальних світових проблем, зокрема, екологічних (зниження екодеструктивного впливу на довкілля, запобігання кліматичним змінам та погіршення якості природного середовища, що завдає шкоди життю та здоров'ю людей), політичних (забезпечення енергетичного суверенітету та національної безпеки) та економічних (зниження енергоемності економіки та підвищення її конкурентоспроможності) має розглядатися у контексті енергомодернізації та трансформації енергосистеми.

Розбудова розумних енергомереж (РЕ) найбільш повно вирішує названі глобальні проблеми, адже передбачає заміщення викопних ресурсів відновлюваними та розвиток чистої енергетики [126], що знижує екодеструктивний вплив на довкілля, енергозалежність країни та сприяє забезпеченню національної безпеки [51, 157], застосування інноваційних енергетичних та інформаційно-комунікаційних технологій [94], підвищує ефективність використання енергії в енергосистемі та, у комплексі з енергоефективними заходами у інших видах діяльності [159], формує передумови для зниження енергоемності національної економіки та підвищення її конкурентоспроможності. Розвиток розумних енергомереж сприяє підвищенню енергоефективності регіонів та країни в цілому [156] та має

розглядатися у контексті концепції розумних міст [92, 93], досягнення цілей сталого розвитку [191], трансформації економічної моделі [91] та зміни поведінкових патернів енергоспоживання [128, 129].

Сучасна економіка є енергоцентрованою: тісний взаємозв'язок енергетики з іншими галузями економіки та її проникнення в усі сфери діяльності суспільства перетворює її на каталізатор трансформаційних процесів в економіці в цілому за рахунок міжсекторальної взаємодії, тому запровадження розумних енергомереж дозволить викликати мультиплікативні ефекти синергетичної ланцюгової реакції під час крос-секторної взаємодії у процесі інноваційного розвитку економіки. Застосування інноваційних енергетичних та інформаційно-комунікаційних технологій в енергетичному секторі на тлі тісної інтеграції енергосистеми до усіх видів діяльності суспільства формують інтегровану енергоцентровану модель економіки, що характеризується значною залежністю індикаторів функціонування національної економіки від ефективності функціонування енергосистеми. Це дозволяє визначити енергосистему як ключову детермінанту сталого розвитку економіки країни.

Виконання прийнятих Україною зобов'язань у рамках асоціації з Європейським Союзом (ЄС) та Паризької угоди потребує реформування енергетичного сектору економіки (ЕСЕ) у напрямку його технологічного оновлення на основі альтернативної енергетики, розподіленої енергогенерації, розбудови розумних енергомереж, відкритого енергоринку та енергонезалежності як складової національної безпеки. Запровадження розумних енергомереж сприяє реалізації цілей кліматичної стратегії ЄС «European Green Deal» [7], відповідає положенням Директиви ЄС №2012/27/ЄС «Про енергоефективність» [25] та Директиви №2014/94/ЄС «Щодо розгортання інфраструктури альтернативних видів палива» [24], а також сприяє досягненню таргетів, визначених Енергетичною стратегією України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [162] і Стратегією сталого розвитку України до 2030 р.[193]. Окрім того, це сприятиме усуненню асинхронності політики України та ЄС.



Розумні енергомережі розглядаються як безальтернативний вектор розвитку енергетичної системи, представляючи собою новий еволюційний етап розвитку енергетичного сектору.

Існує значна кількість визначень поняття «розумна енергомережа». Зокрема, А. Едріс та Б. Д'Андріаде [4] пропонують називати розумні енергомережі як інтегрований набір мережевих технологій, пристроїв та систем управління, які забезпечують та використовують цифрову інформацію, комунікації та засоби управління для оптимізації ефективності, надійності та безпеки постачання електроенергії. При цьому автори зазначають ключові характеристики розумних енергомереж, які доповнюють сформульоване ними визначення. До таких характеристик належать: автобалансування, самоконтроль, здатність отримувати енергію з будь-якого енергоджерела (відновлювані ресурси); оптимізація використання відновлюваних ресурсів та мінімізація викидів вуглекислого газу; усунення вузьких місць у передачі енергії та запобігання потенційним каскадним збоям; онлайн-взаємодія між споживачем та постачальником енергії, що дозволяє споживачеві оптимізувати енергоспоживання на основі екологічних та/або цінових переваг.

У науковій спільноті та серед учасників енергоринку під терміном розумні енергомережі розуміється широке коло питань, спрямованих на вирішення ключового завдання – підвищення ефективності енергомережі та забезпечення її функціональності, що відповідає сучасним зростаючим вимогам [82, 121, 131]. Існують офіційні терміни, що використовуються в законодавчих та нормативних актах. Відповідно до Європейської технологічної платформи розумні енергомережі – це «електричні мережі, що задовольняють вимогам енергоефективного та економічного функціонування енергосистеми шляхом скоординованого управління за допомогою сучасних двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричних станцій та споживачів електроенергії» [177]. У той же час, Інститутом інженерів електротехніки і електроніки США (IEEE) та Міністерством енергетики США визначення розумної енергомережі сформульовано як концепцію повністю інтегрованої,

саморегульованої і самовідновної електроенергетичної системи, що має мережеву топологію і включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні і розподільчі мережі, а також споживачів електричної енергії, об'єднаних двостороннім потоком енергії та інформації, керованих єдиною мережею автоматизованих пристроїв у режимі реального часу [177].

Концепція розумних енергомереж включає низку сучасних напрямів і технологій, зокрема [177]:

- системи управління режимами електросистем та енергоспоживанням, у тому числі «інтелектуальні» системи управління при централізованій та розподіленій енергогенерації, включаючи альтернативні джерела енергії;

- системи автоматизації розподілу електроенергії залежно від класу напруги (Distribution automation);

- розумний облік (Smart metering);

- системи абонентського обліку та білінгу в галузі енергопостачання та комунального обслуговування (Customer Information System);

- системи зарядки електромобілів тощо.

На міжнародному рівні документально закріплено ключові цінності нової електроенергетики: доступність, надійність та якість енергозабезпечення; економічність, ефективність використання всіх видів ресурсів і технологій, зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Перелічені цінності рівноправні. Це важливо зазначити у контексті питання вибору пріоритетних проєктів розумних енергомереж.

Обсяг фінансування, необхідний для здійснення проєктів, які передбачаються до впровадження для забезпечення енергетичної політики у глобальному масштабі, за оцінкою Міжнародного енергетичного агентства [176] до 2030 р. становитиме близько 16 трлн дол. США, у тому числі понад 2 трлн дол. на розвиток розумних енергомереж [177]. Обсяг інвестицій, необхідних для розвитку енергосистеми Євросоюзу має різні оцінки у стратегічних та цільових програмах розвитку енергетичного сектору [38]. На розвиток нових транспортних енергетичних зв'язків передбачено спрямувати до 200 млрд євро. За оцінкою Єврокомісії, половину необхідних коштів може бути отримано

внаслідок розвитку енергоринку [165]. Визначено, що для покриття «інвестиційного розриву» в межах 60 млрд євро пропонується залучати приватні капіталовкладення [177].

Комплексна робота щодо уніфікації визначення розумних енергомереж була здійснена іранськими дослідниками М. Шабанзаде та М.П. Могаддам [103]. Результати контекстуального аналізу дефініції розумних енергомереж показано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Систематизація наукових підходів до визначення терміну «розумна енергомережа» [103]

Організація/ Автор	Концепція енергомереж	Сутність визначення
1	2	3
IEEE	PE	«Розумна мережа» описує систему електроенергетики наступного покоління, що характеризується все більшим використанням засобів зв'язку та інформаційних технологій у процесі виробництва, доставки та споживання електричної енергії
IET [115]	PE	Розумна мережа функціонуватиме орієнтовно до 2030 року, ефективно інтегруючи дії усіх підключених до неї користувачів – генераторів, споживачів та тих, хто робить і те, і інше, щоб забезпечити економічно ефективну, стійку енергосистему з низькими втратами та високим рівнем якості та безпеки постачання
PG&E [88]	PE	Розумна енергомережа – модернізована електрична система, яка поєднує в собі вдосконалену комунікацію та засоби управління для стійкої мережі доставки енергії
EPRI [14, 31]	Electri-NetSM	ElectriNetSM характеризує еволюцію енергосистеми у взаємопов'язану, складну та інтерактивну мережу енергосистем, електронних комунікацій, Інтернету та програм електронної комерції
Adam & Wintersteller [6]	PE	Розумна енергомережа використовує цифрові технології для оптимізації споживання енергії, оптимізує використання відновлюваних джерел енергії та залучає споживачів за допомогою розумного обліку
IESO [8] (Ontario ISO)	PE	Використання інформаційно-комунікаційних технологій (зокрема розумних лічильників) для розширення можливостей електроенергетичної системи для забезпечення ще більших переваг для споживачів
SIEMENS	PE	Опис загальної сутності покращеної доставки енергії, обґрунтованого споживання та зменшення впливу на навколишнє середовище (Siemens визнає, що розумна енергомережа означає не лише розумні лічильники)
Ofgem [32]	PE	Розумна енергомережа як частина енергосистеми може розумно інтегрувати дії всіх підключених до неї користувачів – виробників, споживачів та тих, хто робить те й інше, з метою ефективного забезпечення стійких, економічних та безпечних поставок електроенергії

## Продовження таблиці 1.1

1	2	2
ABB [116]	PE	Розумна енергомережа – це розвинена мережева система, яка здійснює управління попитом на електроенергію на основі принципів сталого розвитку, надійності та економності; побудована на передовій інфраструктурі та налаштована на полегшення взаємодії всіх залучених суб'єктів
DOE [21,22, 118] (U.S. Department of Energy)	Енерго-мережа 2030	Grid 2030 – це повністю автоматизована мережа подачі електроенергії, яка відстежує та контролює кожного замовника та вузол, забезпечуючи двосторонній потік електроенергії та інформації між електростанцією та приладом, а також усі пункти між ними. Такий тип енергомережі дає змогу здійснювати операції на ринку в режимі реального часу та ефективну взаємодію між людьми, будівлями, промисловими підприємствами, генеруючими установками та електричними мережами
AUC [8] (Alberta Utilities Commission)	PE	Розумна енергомережа – це широке поняття, яке описує інтеграцію обладнання, програмного забезпечення, комп'ютерних технологій моніторингу та управління і сучасних комунікаційних мереж в електричну мережу
Climate Group [15]	PE	Розумна енергомережа – це набір програмних та апаратних засобів, які дозволяють генераторам ефективніше направляти електроенергію, зменшуючи потребу в надлишковій потужності та дозволяючи двосторонній обмін інформацією в режимі реального часу зі своїми клієнтами для управління попитом у реальному часі. Це покращує ефективність моніторингу енергії та збору даних у процесі виробництва електроенергії та її транспортування і розподілу
AEMO [33] (Australian Energy Market Operator)	PE	Розумна енергомережа створює можливості для споживачів регулювати енергоспоживання відповідно до гнучкості тарифоутворення
Miller [87]	PE	Розумна енергомережа буде: <ul style="list-style-type: none"> <li>– забезпечувати активну участь споживачів;</li> <li>– враховувати всі варіанти генерації та зберігання;</li> <li>– спричинятиме появу нових продуктів, послуг, ринків;</li> <li>– забезпечуватиме належну якість енергії для цифрової економіки;</li> <li>– оптимізуватиме використання активів;</li> <li>– передбачатиме та реагуватиме на системні порушення;</li> <li>– буде стійкою до пошкоджень та стихійного лиха</li> </ul>
Franz, and et al. [41]	PE	Зближення електроенергетичної системи з інформаційно-комунікаційними технологіями
SmartGrid.gov	PE	Розумна енергомережа – це мережа нових технологій, обладнання та засобів управління, що працюють разом, щоб негайно відповісти на наш попит на електроенергію 21-го століття. Розумна енергомережа – це безпрецедентна можливість перевести енергетичну галузь у нову еру надійності, доступності та ефективності, яка сприятиме нашому економічному та екологічному здоров'ю

Формування єдиної інтегрованої енергосистеми є одним із пріоритетних напрямків політики ЄС. Принцип розподіленої енергогенерації та використання

альтернативних енергоджерел є підґрунтям трансформації енергосистеми ЄС [60], яка здійснюється через запровадження розумних енергомереж. В Україні існують перешкоди для використання досвіду ЄС. Водночас необхідність впровадження енергоінновацій для системної перебудови енергетичного сектору України із застосуванням передового світового досвіду (зокрема, ЄС) є очевидною з огляду на програму дій з асоціації України та ЄС, яка передбачає заходи з інтеграції енергосистем України та ЄС, а також з огляду на позитивні результати енергетичної політики ЄС, що підтверджується статистичними даними (рис. 1.1 та рис. 1.2).

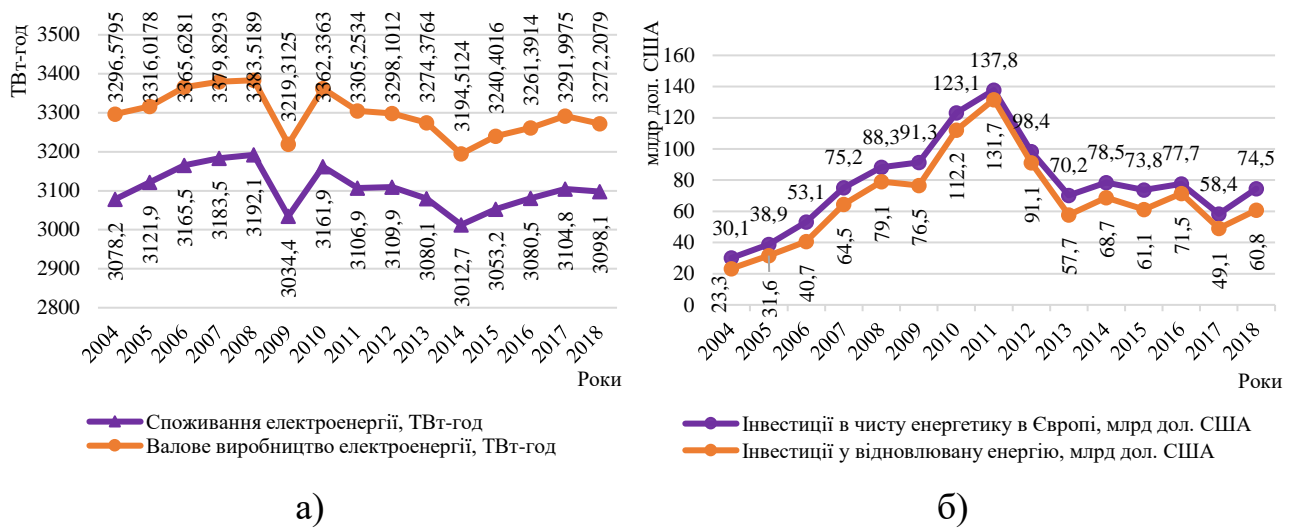


Рисунок 1.1 – Окремі показники функціонування енергосектору ЄС (сформовано на основі [163, 164, 176, 187])

Відповідно до даних на рисунках 1.1. та 1.2 в ЄС відбувається стрімке зростання енергогенерації з відновлюваних джерел без суттєвого зростання інвестування в галузь, що свідчить про сформовану прибуткову бізнес-модель розвитку відновлюваної енергетики, яка вийшла на рівень самоокупності.

Відсутність стабільної динаміки зростання енергогенерації з відновлюваних джерел енергії свідчить, що на відміну від ЄС, в Україні відсутні умови для прибутковості розвитку альтернативної енергетики без підтримки держави (зелений тариф), водночас зниження обсягів генерації електроенергії на

сонячних електростанціях є результатом змін у політиці стимулювання галузі, та має ґрунтуватися на ефективних управлінських механізмах [169], які відповідають глобальним трендам розвитку економіки [171, 172].



Рисунок 1.2 – Обсяги сонячної та вітрової енергогенерації в країнах ЄС (сформовано на основі [163, 164, 176, 187])

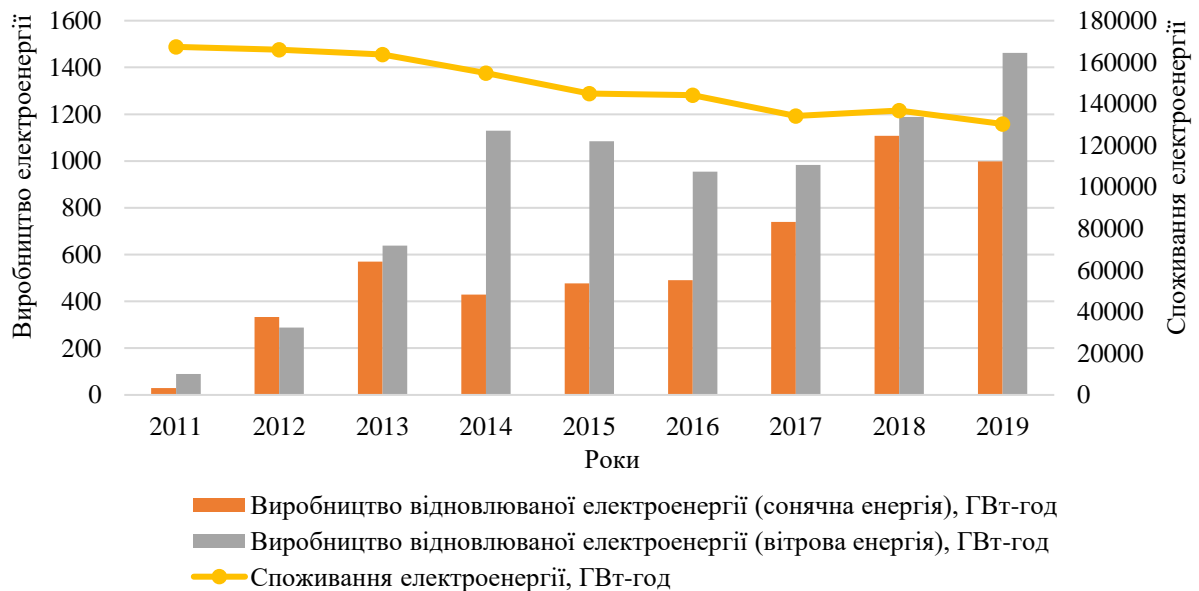


Рисунок 1.3 – Динаміка енергогенерації сонячних та вітрових електростанцій та сукупний рівень споживання електроенергії в Україні (сформовано на основі [158, 163, 164, 176, 187])

Однак питання адаптації успішно реалізованих у передових країнах (США, країни ЄС) розумних енерготехнологій до вітчизняної енергосистеми є невирішеним. Проблему становлять суттєві технічні, економічні, політичні розбіжності, а також неформоване для розвитку розумних енергомереж нормативно-правове поле в Україні. Окрім того, забезпечення безпеки енергомережі є важливим питанням у системі розбудови розумних енергомереж, яке має бути вирішене на початкових етапах [69]. Тому потрібно визначити потенційні межі використання європейського та передового світового досвіду в Україні та ідентифікувати необхідні умови, забезпечення яких необхідне для інтенсифікації трансформаційних процесів в енергетиці України на основі застосування розумних енергомереж та використання потенціалу розвитку енергетичного сектору в Україні [196].

Розумні енергомережі є майбутньою основою енергетичної системи. Вони є новим еволюційним етапом розвитку енергетики, адже у повній мірі відповідають сучасним вимогам до енергосистеми та запитам користувачів. Додатковою перевагою розумних енергомереж є підтримка ними концепції створення інноваційного розумного середовища, розбудови розумних міст.

Реалізація розумних енергомереж позначилася на ринках ЄС, США та деяких інших країн, які мають успішний досвід реалізації масштабних проєктів розумних енергомереж. Наслідками запровадження розумних енергомереж є не лише зміни технічних параметрів енергосистеми, а також моделі функціонування енергетичного ринку. Згідно дослідження колективу з кафедри електротехніки та обчислювальної техніки Університету Небраски-Лінкольна та компанії Quanta Technology, результати якого було оприлюднено у статті «Роздрібний ринок електроенергії наступного покоління в контексті розподілених енергетичних ресурсів: бачення та інтеграційні рамки», опублікованій у журналі *Energies*, розповсюдження розподіленої енергогенерації значно модифікує традиційні енергомережі, системи розподілу та реалізації електрики [27]. Зокрема, авторами визначено шість інновацій, які суттєво змінюють сектор енергорозподілення [201]. Цими інноваціями є:

- 1) системи розподіленої енергогенерації;
- 2) системи зберігання енергії;
- 3) електромобілі, які підключаються до мережі;
- 4) мікромережі;
- 5) розумні системи енерговимірювання та енергоменеджмент;
- 6) розумні навантаження (механізми балансування навантаження в мережі).

Визначені напрямки не є вичерпними переліком розумних енергомереж, проте характеризують траєкторію розвитку енергомережі на основі застосування розумних технологій.

*Системи розподіленої енергогенерації.* Відповідно до законодавства України до об'єкту розподіленої енергогенерації відносять електростанції встановленої потужності 20 МВт та менше, які приєднані до розподільної мережі [179]. Однак дане визначення суттєво звужує перелік об'єктів розподіленої енергогенерації. Більш повним, але не вичерпним буде визначення: «розподілена енергогенерація – концепція розбудови системи енергогенерації, яка стимулює енергогенерацію на місцях споживачами енергії – домогосподарствами, громадами, підприємствами, що потребує інтеграції клієнтських систем енергоменеджменту та розумного вимірювання до енергосистеми» [95]. Генерація енергії здійснюється для власних потреб, але передбачена можливість передавати її надлишки до загальної мережі на умовах “зеленого тарифу” чи за допомогою інших механізмів підтримки» [182]. Застосування систем розподіленої енергогенерації сприяє досягненню еколого-економічних та соціальних цілей, формуванню передумов для реалізації концепції розумного будинку [96].

Найбільш застосовуваними технологіями розподіленої енергогенерації є фотоелектричні системи (постійно підключені до електромережі фотоелектричні системи та гібридні системи, здатні функціонувати в режимі постійного підключення до енергомережі та заряджати батареї в періоди низьких цін на електроенергію, та розряджати їх протягом періодів, коли ціна на електрику є



високою, а також працювати в режимі «off-grid») і технології отримання енергії з вітру, водневих паливних елементів, біомаси [142, 201].

Державна підтримка виробників енергії з використанням фотоелектричних технологій спричинила стрімке зростання темпів виробництва сонячної енергії в Україні (рис. 1.3) та стимулювала розвиток фотоелектричних енерготехнологій (виробництво сонячних панелей, інверторів тощо), однак низка проблем розвитку сонячної енергетики в Україні залишається невирішеною [19], незважаючи на значну роль альтернативної енергетики у подоланні диспропорцій розвитку енергетичного сектору [20].

Розподілена енергогенерація потребує технічного забезпечення якості енергоспоживання, регулювання напруги та надання супутніх послуг.

*Системи зберігання енергії.* Найбільша проблема, яка стримує розвиток розумних енергомереж з технологічної точки зору – відсутність економічно доцільної технології зберігання надлишку енергії в системі, що дозволить перерозподіляти її відповідно до потреб ринку. Незважаючи на прогрес у дослідженнях даного питання та численних дослідках, у ході яких техніко-технологічних набір засобів зберігання енергії стрімко збільшується, не вдається досягти бажаних параметрів. Більше того немає визначеності навіть щодо технології, яка потенційно може стати провідною у даному напрямку та широко використовуватиметься енергосистемами окремих країн та об'єднаними міжнаціональними енергосистемами [142].

*Електромобілі, які підключаються до мережі.* Електромобілі є важливим елементом розумної «екосистеми». Розвиток електротранспорту має стійку тенденцію до зростання. Концепція розумного міста, яка широко впроваджується у світі, передбачає відмову від використання енергетичних ресурсів, отриманих з викопного палива, в електротранспорті [66]. Відповідно до цього, політика економічно розвинених країн у даному питанні, спрямована на стимулювання виробництва і використання (купівлі) електромобілів та подолання бар'єрів розвитку електротранспорту як складової розумної енергомережі [65, 67, 84, 108, 142] та інструменту декарбонізації економіки [109]

«Підключені до мережі електромобілі можуть надавати важливі розподілені енергоресурси, оскільки вони придатні до роботи у ролі систем акумулювання енергії для потреб диспетчеризації та компенсації навантаження. У вільний від використання за основним призначенням час, електромобілі можуть брати участь у програмах реагування на зміни попиту та знижувати пікове навантаження під час зарядки, а також можуть працювати в режимі автомобіль-мережа (vehicle-to-grid, V2G), коли заряджений електромобіль забезпечує потреби електромережі в постачанні енергії, регулюванні напруги та підтримці потужності. Електромобілі також придатні до роботи у режимі автомобіль-будівля (vehicle-to-building), та можуть обмінюватись енергією з зарядними станціями та іншими електромобілями. Вони здатні перетворитися на крупного постачальниками розподілених енергоресурсів завдяки розвитку технології акумулювання енергії, інформаційно-комунікаційних технології, регуляторним ініціативам, а також державним та приватним стимулам та інвестиціям, спрямованим на підвищення технічних характеристик та сумісності мереж. Покращення функціональних можливостей та схеми взаємодії з мережею наявних зарядних станцій для електромобілів є першим кроком у цьому напрямку» [201].

Мікромережі. Забезпечення доступу до електроенергії у віддалених місцях, де можливість підключення до централізованої енергомережі відсутня або економічно недоцільна може здійснюватися за рахунок розумних мікромереж. Такий вид мереж придатний до використання не лише у віддалених важкодоступних локаціях. Зокрема, мікромережі можуть бути успішно використані для реалізації принципу розподіленої енергогенерації на локально обмежених територіях, де доцільно використовувати альтернативні джерела енергії [26, 49], що також сприяє зниженню пікового навантаження в мережі [3, 119] та вирішенню окремих питань безпеки [101], у тому числі національної безпеки через підвищення енергоефективності енергосистеми [194, 195]. Проте розвиток енергетичних мікромереж стримують законодавчі обмеження. Невирішеність питань з механізмом функціонування мікромереж є серйозним

бар'єром на шляху їх подальшого розвитку, стримуючи також розвиток альтернативної енергетики. Окрім того негативний вплив на розвиток енергетичного сектору економіки має нестабільність державної політики щодо підтримки профільних виробництв та допоміжних галузей [142].

Розумні системи енерговимірювання та енергоменеджмент. Наявність систем обліку дозволяє координувати енергогенерацію, енергоспоживання, збереження та обмін енергоресурсів у межах енергетичної системи. Тобто лише за наявності приладів обліку можна реалізувати можливості розподілених енергоресурсів (їх виробників та споживачів) у роздрібному енергетичному ринку, без чого функціонування розумних енергомереж є неможливим. Також застосування розумного вимірювання дозволяє визначити патерни поведінки споживачів енергії [85]

Масштабне охоплення споживачів, виробників та посередників приладами інтелектуального обліку використання енергетичних ресурсів створює можливості для адаптивного регулювання потужності та призводить до економії електричної енергії, що використовується усіма групами споживачів: промисловими об'єктами, домогосподарства, об'єктами соціальної інфраструктури тощо [142].

«Майбутні розумні системи енергоменеджменту та енерговимірювання будуть розроблені таким чином, щоб мінімізувати витрати на закупівлю, максимізувати доходи та енергоефективність, зберігаючи при цьому прийнятний рівень комфорту клієнтів, і забезпечувати двосторонній потік енергії та інформації, що дозволить агентам розподілених енергоресурсів безпосередньо взаємодіяти з іншими ринковими агентами» [201].

Розумні навантаження. Одним із завдань, які мають бути вирішені у майбутньому є зниження навантаження на енергомережу. У другій половині ХХ століття прогнозувалося, що зростання енергогенерації буде достатнім для задоволення потреб суспільства у повній мірі. Проте зростання кількості побутових пристроїв, збільшення їхньої потужності у поєднанні зі сукупним зростанням потужності промислового устаткування залишає не вирішеним

питання скорочення навантаження на енергомережу. Особливо проблемним питанням є пікові навантаження на систему, усунення яких можливе шляхом застосування розподіленої енергогенерації в розумних енергомережах [142].

Окрім зазначених вище 6 пунктів важливим є питання інформаційної захищеності розумних енергомереж.

Інформаційно-комунікаційні системи суттєво розширюють вимоги до енергосистеми та доповнюють її складовими, які раніше були для неї нетиповими.

Для забезпечення якісно нового рівня обслуговування потреб енергомережі, підтримки взаємодії виробників та споживачів енергії необхідним є подальше зростання наступних технологій:

- енергетична on-line аналітика;
- віртуальний аудит. «Деякі енергокомпанії вивчають інновації, засновані на програмах зміни поведінки споживачів, в яких використовуються методи гейміфікації, тобто залучення користувача в певні дії, які дозволяють оперативно отримувати зворотний зв'язок і коригувати роботу самої компанії» [181];
- управління споживанням;
- штучний інтелект;
- блокчейн.

Значна кількість проєктів з побудови розумних енергомереж у ЄС та інших провідних країнах дозволяє використати цей досвід для аналогічних цілей в Україні. Системна робота має проводитися в кожному з названих вище напрямків. Однак зважаючи на технічні відмінності енергомереж в Україні та ЄС, доцільно фокусуватися на тих інноваціях та перевірених практикою технологіях, що дозволяють сформувати необхідну інфраструктуру на базовому рівні, тобто першочерговим завданням є забезпечення масштабності використання облікових засобів. Але для подальшого прогресу у напрямку розбудови розумних енергомереж необхідним є вирішення законодавчих питань, що обмежують та ускладнюють процес приєднання до енергомережі об'єктів розподіленої енергогенерації, а також забезпечення стабільної та передбачуваної

державної політики стимулювання розвитку розумних енергомереж, що сприятиме залученню інвестицій до енергетичного сектору економіки [53, 142, 152, 153].

Реалізація трансформації енергосистеми ЄС на основі запровадження розумних енергомереж ґрунтується на стратегічних документах та директивах ЄС, які визначають основні напрямки функціонування розумних енергомереж та механізми стимулювання їх розвитку. Аналіз нормативно-правової бази ЄС та аналітичних звітів щодо розбудови розумних енергомереж дозволяє визначити три категорії передумов їх запровадження:

- 1) належна нормативно-правова база запровадження розумних енергомереж до енергетичного сектору економіки;
- 2) відсутність техніко-технологічних обмежень запровадження розумних енерготехнологій;
- 3) економіко-організаційні передумови розвитку розумних енергомереж (системи стимулювання та підтримки модернізації енергетичного сектору, впровадження розподіленої енергогенерації та розвитку альтернативної енергетики).

Нормативно-правова база запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі ЄС регулюється шляхом імплементації директив у ключових напрямках, дотичних до розумних енергомереж. Вагомими для розвитку розумних енергомереж нормативно-правовими актами є Директива про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел [24] – спрямована на формування механізмів стимулювання та переходу від енергогенерації та споживання енергії з викопних та невідновлюваних джерел до відновлюваних; Директива про енергоефективність [25] – визначає основні напрямки підвищення енергоефективності у всіх сферах діяльності шляхом впровадження енергозберігаючих технологій та формування патернів енергоощадливого енергоспоживання, Рекомендації Європейської комісії щодо підготовки до впровадження інтелектуальних систем обліку [1] – визначає політику щодо формування основ розумних енергомереж, шляхом поетапного їх розгортання на

основі масового встановлення приладів розумного вимірювання та формування у такий спосіб підґрунтя для реалізації комплексних проєктів розумних енергомереж, Стратегічний план енергетичних технологій [110] – встановлює систему індикаторів вимірювання ефективності енергетичної політики ЄС, у тому числі стосовно запровадження розумних енергомереж. Розбудова розумних енергомереж в ЄС корелює із базовими засадами Європейської зеленої угоди [7] та положеннями Резолюції 70/1 Генеральної Асамблеї ООН «Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого розвитку на період до 2030 року».

Питання регулювання трансформації енергетичного сектору економіки на основі впровадження розумних технологій та реалізації концепції розумних енергомереж в Україні є проблемним. Окремі аспекти регулювання розвитку розумних енергомереж визначені у положеннях Енергетичної стратегії України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (Розпорядження Кабінету Міністрів України № 605-р від 18.08.2017 р.), Плану заходів із виконання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС (Постанова Кабінету Міністрів України № 1106 від 25.10.2017 р.), Стратегії сталого розвитку України до 2030 р. (проєкт № 9015 від 07.08.2018 р.). Відповідно до наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України (нинішня назва – Міністерство енергетики України) від 8 травня 2018 року №248 розпочато організаційний процес щодо розроблення Концепції впровадження "розумних мереж" в Україні до 2035 року та середньострокового Плану заходів з впровадження "розумних мереж" в Україні [180].

Іншою категорією факторів, які забезпечують передумови для розвитку розумних енергомереж, є техніко-технологічні обмеження. Вони визначають конфігурацію енергомережі, потенціал її розвитку, можливості інтеграції з мережею вищого рівня та масштабування від локального проєкту на рівень регіону або держави. Ключовим фактором у масштабному впровадженні розумних енергомереж є необхідна інфраструктура: базова (забезпечення розумного вимірювання на боці клієнта) або розширена (можливості створення та об'єднання повнофункціональних розумних енергомереж).

Розгортання розумних енергомереж як один з ключових напрямків розвитку світової енергетики і невід'ємною складовою інтеграції технологій різних напрямків для створення розумного комфортного та екологічно безпечного середовища потребує не лише суто енергетичних технічних рішень. Хоча значення досліджень, спрямованих на вирішення технічних проблем розвитку розумних енергомереж [34, 47, 98], мають суттєве значення. Забезпечення можливості прогресу у напрямку розбудови розумних енергомереж значною мірою залежить від розвитку суміжних галузей. У цьому контексті варто виділити кілька напрямків, які потребують уваги як такі, від яких залежать не лише темпи впровадження технологій розумних енергомереж, а подальший вектор їх розвитку. Наразі кілька ключових питань повинні бути вирішені для прискорення розвитку розумних енергомереж як однієї з домінантних складових енергосистеми. Це свідчить про те, що вектор розвитку та масштабування розумних енерготехнологій у майбутньому може значно варіюватися. На поточному етапі розвитку розумних енергомереж основна робота з їх впровадження здійснюється у напрямку забезпечення базису для подальшої реалізації інноваційних рішень. Проте спрогнозувати якими будуть ці рішення неможливо, доки не буде вирішено питання балансування навантаження (а відповідно потужностей) у енергомережі, яка використовує відновлювані джерела для енергогенерації. Це зумовлено тим, що альтернативна (відновлювана) енергетика не здатна вирішувати ключове завдання для сучасної енергосистеми, а саме забезпечити споживача необхідною кількістю електроенергії у потрібному місці та у потрібний час [36]. Саме це пояснює значну роль традиційних потужних виробників енергії у енергосистемі та стримує темпи впровадження енергетичних інновацій на основі концепції розумних енергомереж. У таких умовах не лишається іншого раціонального рішення для зацікавлених сторін як здійснювати поступове оновлення енергомережі з невеликим переліком типових техніко-технологічних рішень. Саме тому енергетична політика ЄС передбачає наявність етапів модернізації, а точніше трансформації, енергетичної мережі, де першим етапом передбачено

підготовку до подальшого розгортання енергетичних інновацій. Відтак цим пояснюється значна кількість проектів з встановлення розумних приладів обліку. Адже це є основою, без якої подальша реалізація розумних енергомереж неможлива. Це пояснює відсутність масштабної діяльності із реалізації комплексних енергоефективних проектів розгортання розумних енергомереж з широким територіальним охопленням. Адже ефективність таких проектів може значно відрізнятись від очікувань, про що свідчить низка малоуспішних проектів, які було реалізовано провідними країнами світу. Попри велике значення пілотних проектів для моделювання розумних енергомереж [12], визначення проблемних моментів та практичної перевірки технологічних рішень у робочих умовах у взаємозв'язку з іншими технологіями, їх не можна розглядати як перший крок на шляху переходу до другого етапу розгортання розумних енергетичних мереж. Водночас отримана у результаті їх реалізації інформація свідчить про необхідність ґрунтовної підготовчої роботи перед системним розгортанням розумних енергомереж на глобальному та локальному рівнях.

Перший етап розгортання розумних енергомереж можна розглядати у двох аспектах. По-перше, як самостійний етап, що передбачає впровадження значної кількості технологічних рішень та характеризується масштабністю та всеохопленням, як за територією, так і за кількістю об'єктів енергогенерації, енергорозподілу, енерготранспортування та енергоспоживання. Вище сказане справедливо для ЄС та США як територій, де даний етап є практично завершеним. По-друге, зміст першого етапу розгортання розумних енергомереж дає підстави говорити про його інфраструктурну спрямованість, у тому числі на рівні окремих підприємств [173], що дозволяє вирішити проблему високої енергоємності виробництва [185]. Він є передумовою для подальшої діяльності у даній області. Тобто, по суті, він є допоміжним етапом. Так, як час серйозних інновацій та великих проектів, здатних бути відправною точкою для трансферу енергетичних інновацій для побудови розумних енергомереж, досі не настав з огляду на суттєві технічні обмеження в питанні акумулювання енергії [54, 130],



тобто невирішеність техніко-технологічних проблем, про які йшлося вище, а саме балансування енергомережі з розподіленою енергогенерацією на основі широкого використання відновлюваних джерел енергії. Це створює суттєві обмеження у процесі реалізації стратегічних планів з трансформації енергомереж та переходу до якісно нової енергетичної системи, формування інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки. З огляду на це, можна виділити питання технічної інфраструктури як один із стримуючих факторів впровадження розумних енергомереж. Однак розвиток електрифікаційної інфраструктури має суттєве значення не лише з позицій впровадженні енергоінновацій. Це питання є утилітарним, адже створює варіативність для споживачів щодо використання різних видів енергії для забезпечення власних потреб [102, 174, 192]. Це створює переваги для споживачів. Зокрема, побутовий споживач може отримати вигоду від використання електроенергії для опалення житлових будинків електроенергією, замість природного газу, тарифоутворення на який в Україні є несправедливим стосовно нього [45].

Відповідно темпи розбудови розумних енергомереж залежать не лише від швидкості реалізації заходів передбачених першим етапом, а також від вирішення описаних техніко-технологічних проблем. Це свідчить про наявність певної межі, яка може бути досягнута на даному етапі техніко-технологічного розвитку, але через яку наразі не можна переступити з точки зору економічної доцільності. Адже реалізація глобальних проектів з розбудови енергомереж зараз може призвести у майбутньому до їх неефективності через розбіжності у застосовуваних технологіях або низькі показники синергії, що будуть отримані при об'єднанні результатів реалізації окремих проектів у одну глобальну енергетичну мережу. Відповідно доцільність значних інвестицій у глобальні проекти з розвитку розумних енергетичних мереж до появи комерційно виправданих технологічних продуктів, які розв'язують невирішені сьогодні техніко-технологічні проблеми, є сумнівною.

Однак технічна інфраструктура не обмежується засобами, власне, енергетичного характеру. Для реалізації концепції розбудови розумних

енергомереж критично важливими є деякі інші фактори. Одним з них є розвиток інформаційно-комунікаційних технологій. Інформація є ключовим питанням у багатьох сферах. Від якості роботи з нею залежить функціонування практично усіх систем, що використовуються для задоволення потреб суспільства, для забезпечення належного його функціонування відповідно до постійно зростаючих запитів та вимог, що висуваються до роботи з інформацією в міру зростання її обсягів, розвитку технології, тотальної цифровізації більшості сфер людської діяльності. Утворення децентралізованих систем потребує значних інформаційно-комунікаційних можливостей для досягнення, з одного боку, необхідного рівня керованості, а з іншого, здатності до саморегулювання. Майбутня модель енергетичної системи, безперечно, розглядається як децентралізована система з високим ступенем саморегулювання. Відтак питання забезпечення інформаційно-комунікаційного супроводу та обслуговування енергетичних мереж є ключовим питанням, що має бути належним чином вирішене для масштабного розгортання розумних енергомереж. На відміну від попереднього аспекту - інфраструктурного забезпечення, який було розглянуто вище, а саме: техніко-технологічна енергетична інфраструктура, - інформаційно-комунікаційне забезпечення для реалізації концепції розумних енергомереж дозволяє розраховувати на високий рівень задоволення переважної більшості вимог, що до нього висуваються. Головним фактором, який це засвідчує, є наявність значної кількості інформаційних систем - комерційних продуктів, які обслуговують енергетичні об'єкти та забезпечують оперативний обмін інформацією, її накопичення та зберігання, обробку та широкі аналітичні можливості. Перспективність енергетичного ринку з огляду на трансформаційні процеси, які частково відбуваються зараз та інтенсифікуються у майбутньому, сприяє удосконаленню інформаційно-комунікаційних технологій, орієнтованих на виконання запитів суб'єктів енергосистеми.

У той же час, функціонування інформаційно-комунікаційних систем нерозривно пов'язане з питаннями безпеки. Створення надійних інформаційних систем є ключовим завданням будь-якого розробника програмного забезпечення.

Адже невідповідність вимогам безпеки спричиняє не лише вразливість об'єктів, що використовують інформаційні продукти, а також завдає серйозних збитків розробникам інформаційних систем. До інформаційних систем, які обслуговують об'єкти енергетичного сектору, висуваються високі вимоги. Це пояснюється їхнім вагомим значенням для забезпечення нормального функціонування суспільства. Збій в енергетичній мережі спричиняє у більшості випадків значні збитки, ліквідація яких або компенсація втрат, які настають у разі виникнення збою, потребує значних фінансових ресурсів, а інколи не піддається вимірюванню, що трапляється у випадку загибелі людей. Таким чином, безпекове питання є надзвичайно важливим в енергетиці. Кожен з аспектів забезпечення безпеки енергосистеми, у тому числі енергомережі, потребує значного обсягу робіт та координованої діяльності спеціалістів різних галузей. На сьогодні спостерігається ситуація, коли питання безпеки енергомереж перебуває на контрольованому рівні, про що свідчить низька частота виникнення технічних проблем, що спричиняють суттєву шкоду різного характеру. Пілотні проекти, які були реалізовані у провідних країнах світу у сфері розгортання розумних енергетичних мереж, не дають підстав говорити про недостатній рівень безпеки інформаційно-комунікаційних систем, які були застосовані. Це стосується як аспекту контролю за технічними параметрами системи, якість здійснення якого вимірюється у показнику кількості відмов систем чи окремих її складових, так і безпеки внутрішньої інформації. Таким чином можна стверджувати про відповідність інформаційно-комунікаційних систем, які використовуються в енергетиці запитам та вимогам, які висуваються у процесі реформування енергосистеми, у тому числі у аспекті реалізації концепції розгортання розумних енергомереж.

Проте інформаційно-комунікаційна інфраструктура як елемент енергосистеми потребує більш широкого розгляду. Не достатньо оцінити відповідність сучасних інформаційних технологій вимогам та потребам енергетичних об'єктів. На практиці реалізація проєктів щодо трансформування енергетичної системи керується суспільними запитами під впливом змін, що

відбуваються у суспільстві. Так прогнози щодо розвитку енергетики кілька десятиліть тому ґрунтувалися на припущенні, що споживання енергії у світі буде скорочуватися, адже нові пристрої та технології потребуватимуть меншої кількості енергії, що буде зумовлено їх кращими експлуатаційними показниками. Таким чином, передбачалося, що потреба у генерації енергії буде поступово знижуватися. Однак, як показала практика, ці прогнози були хибними. Попри те, що в їхній основі лежало правильне припущення щодо покращення характеристик техніки та обладнання, споживання енергії у світі немає тенденції до скорочення. Це спричинено появою значно більшої кількості приладів, що потребують енергії для їхнього функціонування, ніж це було раніше. Тенденція до зростання кількості приладів та гаджетів, що обслуговують потреби суспільства в цілому та окремих людей зокрема, має зростаючий характер. Таким чином, наразі немає підстав прогнозувати скорочення споживання енергії у коротко та середньостроковій перспективі. Це означає, що обсяги енергогенерації мають залишатися на високому рівні, щоб забезпечувати належне функціонування суспільства.

Розроблення нових видів обладнання, пристроїв та гаджетів свідчить про виникнення нових потреб, які не були актуальними у минулому. Цифровізація практично усіх сфер життєдіяльності людини створює нові виклики для енергетики. Реалізація концепції розумних будинків була першим подібним викликом для енергетичного сектору. Наразі йдеться про створення розумних міст. Це глобальне завдання потребує змін у традиційній моделі енергозабезпечення. Це значить, що інформаційні системи, які використовуються для реалізації концепції розумного міста, повинні мати високий рівень взаємодії з інформаційними системами, що обслуговують, власне, енергетичну систему. Відтак з'явився новий аспект, у рамках якого потрібно розглядати інформаційно-комунікаційні системи не лише як елемент забезпечення функціонування енергосистеми, а як певний елемент, який є реакцією на суспільні запити внаслідок технічного прогресу, що визначає

напрямки розвитку енергетики як ключової сфери забезпечення нормальної життєдіяльності суспільства.

Окремим питанням інфраструктурного забезпечення трансформаційних процесів у енергетичному секторі є екологічна складова. У рамках традиційної моделі енергетичної системи екологічна інфраструктура передбачалася як наявність об'єктів та технологій, що зменшують екодеструктивний вплив на навколишнє природне середовище шляхом усунення понаднормових викидів шкідливих речовин, які потрапляють у повітря або інші природні сфери унаслідок функціонування енергогенеруючих об'єктів, що використовують викопні енергетичні ресурси для енергогенерації. Наразі значна частка енергії, що виробляється у світі, походить з відновлюваних джерел. Згідно Паризької угоди до 2050 року, держави, які її підписали мають забезпечити генерацію енергії з відновлюваних джерел на рівні 100%. У планах Європейського Союзу до 2030 року забезпечити генерацію з відновлюваних джерел енергії на рівні 32% від загального обсягу. Розбудова розумних енергетичних мереж є одним з напрямків, які сприяють досягненню цього показника, адже забезпечують принцип розподіленої енергогенерації, без реалізації якого швидке зростання частки виробництва енергії з відновлюваних джерел є сумнівним. Це пояснюється тим, що на даному етапі розвитку альтернативної енергетики [189] значна кількість об'єктів енергогенерації відносяться до енергогенеруючих об'єктів середньої або малої потужності. Відтак економічно доцільно збільшувати кількість енергогенеруючих об'єктів невеликої потужності у безпосередній близькості до споживача та використовувати технології, які дозволяють кінцевому споживачу не лише споживати енергію, а виробляти її, реалізуючи надлишок до енергомережі. Перший етап розгортання розумних енергетичних мереж, реалізація якого фактично завершена у ЄС та США, як говорилося вище, спрямований саме на забезпечення технічної можливості для такого типу взаємодії споживачів та виробників енергії та побудови нової моделі енергетичної мережі, що має принципові відмінності від традиційної, яка була домінуючою протягом XX століття та на початку XXI століття. Таким чином

розгортання розумних енергомереж реалізує новий принцип взаємодії людини та навколишнього середовища – запобігати виникненню екодеструктивного впливу на довкілля. Це кардинально відрізняється від попереднього підходу, який полягав у мінімізації уже завданої шкоди.

Окрім забезпечення інфраструктури для розгортання розумних енергомереж варто приділити увагу фактору, недооцінка якого може суттєво стримати цей процес. Цим фактором є інерційність та розбіжності в інтересах сторін, які залучені до цього процесу. Інерційність населення щодо встановлення потужностей для енергогенерації з метою забезпечення власних потреб та реалізації надлишків виробленої енергії може суттєво вплинути на досягнення показників стратегічних планів. Тому організаційно-інформаційна робота з учасниками енергомережі має важливе значення. Це стосується і зацікавлених осіб: органів влади, енергогенеруючих підприємств, розподільчих компаній, виробників інноваційного енергетичного обладнання тощо. Відсутність балансу інтересів може суттєво вплинути на процес розгортання розумних енергомереж.

Розвиток технологій на сучасному етапі дозволяє впроваджувати інновації, що сприяють суттєвому підвищенню ефективності цілих галузей, дозволяючи трансформувати їх до стану відповідності постійно зростаючим вимогам [168]. Енергетичний сектор економіки як один з ключових напрямків, які забезпечують функціонування виробничої та невиробничої інфраструктури, посідає одне з центральних місць у системі інноваційного розвитку, що пояснюється його важливістю та тенденціями до формування інтегрованої енергоцентрованої економіки у світі. Споживання енергії у світі стабільно зростає разом з потребою у ній для створення умов повноцінного функціонування суспільства. Водночас тенденції, спричинені зміною вимог до енергетичної системи, такими як: зниження викидів шкідливих речовин у повітря та твердих відходів від функціонування енергогенеруючих потужностей, зміна структури виробленої енергії у напрямку поступового зниження її частки, що була отримана з використанням викопних (невідновлюваних) енергетичних ресурсів, скорочення пікових навантажень на енергомережу, що призводить до її перевантаження та

негативно позначається на показниках безпечності та надійності функціонування, забезпечення принципу розподіленої енергогенерації, реалізація якого пов'язана не лише з технічними завдання створення умов для підключення додаткових енергегенеруючих об'єктів до енергомережі та забезпечення різностороннього руху енергії в її (мережі) межах, а також із забезпеченням нормативної та законодавчої бази регулювання даного процесу, формування конкурентного енергетичного ринку та створенням мотиваційного механізму для залучення споживачів енергетичних ресурсів до процесів енергоощадного користування та розподіленої енергогенерації, впровадження інтелектуальних систем обліку споживання енергії та здійснення інтеграції до традиційної моделі енергетичної системи концептуальних проєктів створення розумного життєвого середовища, – вимагають системного інноваційного розвитку енергетичного господарства, одним з ключових напрямків якого є розгортання розумних енергомереж.

Розумні енергомережі дозволяють підвищити ефективність та надійність електропостачання, рівень безвідмовної роботи систем та сприяють збереженню навколишнього середовища. Концепція реалізації розумних енергомереж залежить від поставлених цілей та глобальної кінцевої мети. Зокрема, це може бути зменшення викидів CO<sub>2</sub> за рахунок забезпечення технічної можливості збільшення частки генерації з відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в загальному енергобалансі країни.

Генерація з відновлювальних джерел енергії – розподілена енергогенерація (приєднана до мереж розподільчих компаній) зі стохастичним графіком виробітку. Збільшення обсягів такої енергії призводить до суттєвої зміни режиму електромереж та режиму балансування всієї енергосистеми.

Реалізація проєкту (проєктів) з окресленими вище цілями може відбуватися шляхом здійснення дій у таких напрямках.

1. Моніторинг. Збільшення поінформованості диспетчера енергомережі про режим її роботи шляхом онлайн моніторингу параметрів функціонування підстанцій та створення умови для прийняття нових обсягів розподіленої

генерації з відновлювальних джерел енергії. Це необхідно для виконання розрахунків режимів роботи мережі в реальному часі, як цього вимагають нормативні документи Європейської мережі системних операторів передачі електроенергії (ENTSO-E) [183].

2. Прогнозування. Впровадження системи прогнозування генерації з відновлювальних джерел енергії. Ця задача повинна вирішуватись двома сторонами:

- 1) учасниками енергомережі для уникнення енергетичних дисбалансів;
- 2) системним оператором для здійснення оцінки нових проєктів та оперативного планування енергорежимів [183].

3. Відкритість загальної інформаційної моделі (СІМ). Створення інтеграційної платформи, призначеної для збору технологічних даних по енергосистемі. Потреба у даній платформі пояснюється необхідністю реалізації технічної можливості відображення вартості нового підключення та показників якості електроенергії на конкретній ділянці енергомережі (певному регіоні) [183, 16].

4. Віртуальні електростанції та реагування на попит. Цей крок спрямований на зниження наслідків стохастичності енергогенерації з відновлювальних джерел енергії. Передбачається реалізація технології залучення споживачів до вторинного та третинного регулювання навантаження на енергомережу, а також запуск об'єднуючої технології віртуальної електростанції для консолідації генерації з відновлювальних джерел енергії з енергомережею шляхом реалізації принципу маневрових потужностей [183].

Наведений вище перелік напрямків потребує модифікації відповідно до особливостей проєкту розумних енергомереж та кінцевих цілей їх розгортання.

Загалом розбудова розумних енергомереж та використання розумних технологій має різну філософію залежно від регіону. Для Європи вектор розвитку розумних технологій в енергетиці спрямований на оптимальне функціонування енергосистеми, оптимізацію її інфраструктури і розвиток комунікаційних та інформаційних технологій; для Сполучених Штатів – на



формуванні прибуткової бізнес-моделі та низьковуглецевій і енергетичній ефективності; для Японії - на зеленій економіці; у Китаї - на покращенні можливостей розподілу ресурсів, рівня безпеки та ефективності роботи енергосистеми [99].

Одним з елементів системи трансформації (або модернізації) енергетичної системи у ЄС є діяльність Європейської мережі системних операторів передачі електроенергії (ENTSO-E), яка займається широким колом питань від інформаційної та консультаційної підтримки суб'єктів, задіяних у процесі енергогенерації, розподілу та споживання енергії, до досліджень стану енергетичної системи та умов функціонування енергетичного ринку, включно з тенденціями його розвитку; від планування та розробки безпечної, ефективної та економічної системи передачі електроенергії до координації міжнародної активності у даній сфері.

Діяльність ENTSO-E є комплексною та системною та має чітку структуру завдань в кожній з областей діяльності. Зокрема структура завдань (напрямків активності) у сфері планування розвитку системи містить [112]:

- десятирічне планування розвитку мережі та регіональні інвестиційні плани;
- середньострокове прогнозування достатності (MAF);
- квартальні огляди; побудова сценаріїв;
- моніторинг та моделювання;
- стратегічне проектування енергетичних систем тощо.

Важливим напрямком діяльності організації є формування передумов та сприяння реалізації ініціатив щодо функціонування конкурентного енергетичного ринку. Головне завдання у даному напрямку сформульовано як поступова гармонізація правил ринку електроенергії, що лежить в основі сприяння ефективному конкурентному внутрішньому ринку, який забезпечує вигоди для споживачів електроенергії та можливості для виробників енергії і торговців нею, що відповідає завданню реалізації цілей третього пакета внутрішнього енергетичного ринку та сприяння розвитку добре функціонуючого

європейського ринку електроенергії. Ключовими напрямками діяльності організації за даним напрямком є [77]:

- інтеграція ринку та управління перевантаженнями;
- посилення регіонального співробітництва;
- ринкове балансування та допоміжні послуги;
- інтеграція відновлюваних джерел енергії;
- обґрунтування європейських тарифів на транспортування;
- забезпечення прозорості інформації про ринок електроенергії;
- електронний обмін даними (EDI).

Окрім того, на організацію покладено дослідницькі функції, результатом здійснення яких є підготовка періодичних звітів, розробка дорожніх карт розбудови енергетичної системи, у тому числі впровадження інновацій в енергетику.

Діяльність ENTSO-E забезпечує можливість ефективної реалізації загальноєвропейської енергетичної політики та створення єдиного енергоринку Європи.

Євроінтеграційний напрямок України, у тому числі в енергетичній сфері, вимагає прийняття європейської концепції розбудови енергомереж з урахуванням місцевої специфіки, яка полягає у політиці заміщення імпортованих енергоресурсів місцевими, а також збільшення обсягу виробництва енергії з відновлюваних джерел при одночасній оптимізації енергомережі (у т.ч. балансування навантаження).

## **1.2. Теоретичні засади дослідження структурно-функціонального середовища формування та розвитку теорії управління запровадження розумних енергомереж**

Для всеохоплюючого розуміння досліджуваної проблеми та глибинного аналізу особливостей розвитку наукових досліджень у даному напрямку, здійснено бібліометричний аналіз на основі детального дослідження

бібліографічного матеріалу та визначення основних наукових напрямків у досліджуваній сфері. Бібліометричний аналіз є передовим інструментом для визначення наявних «прогалів» у досліджуваній тематиці, що дозволить встановити напрямки досліджень, які є найбільш актуальними та відповідають тенденціям сучасності. Бібліометричний аналіз здійснено на основі алгоритму, показаному на рисунку 1.4.

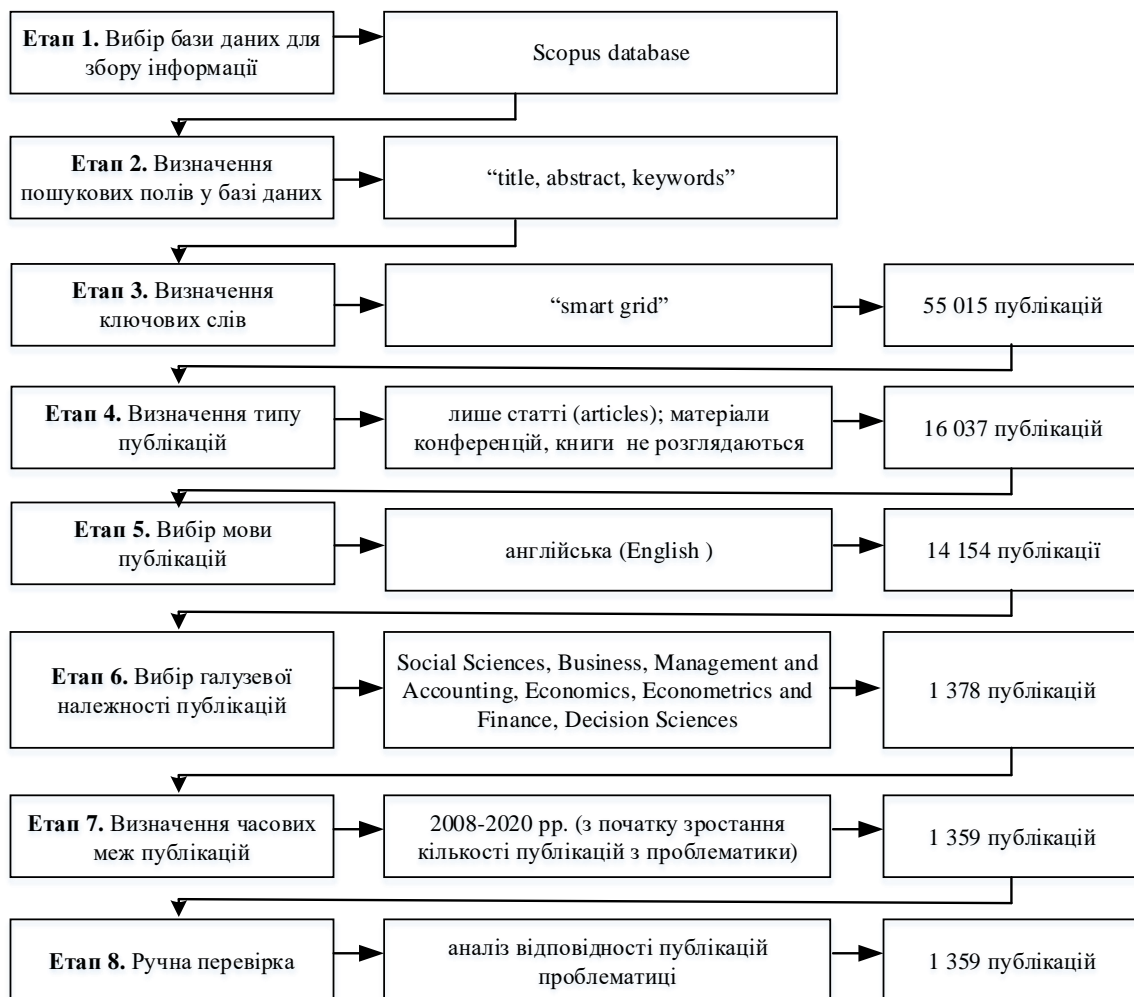


Рисунок 1.4 – Етапи проведення бібліометричного аналізу

Надійність і достовірність бібліометричного аналізу значною мірою залежить від рейтинговості та транспарентності джерел збору інформації. Відповідно, для здійснення бібліометричного аналізу була обрана одна з найбільш впливових та авторитетних наукометричних баз даних – Scopus. Для

дослідження проблеми як ключове слово було обрано «smart grid», саме цей термін є основний та офіційно використовується для характеристики модернізації енергетичного сектору на основі застосування інтелектуальних технологій. Для забезпечення комплексності та цілісності дослідження було використано пошукове поле «title, abstract, keywords».

Оскільки досліджувана проблематика є популярною та широко досліджуваною, були введені обмеження відбору релевантних матеріалів для бібліометричного аналізу. Так, для подальшого розгляду були обрані лише статті (Article) написані англійською мовою. Додатково були введені обмеження щодо галузі досліджень (основний акцент спрямований на публікації, які містять економічну складову) та періоду виходу публікацій. Додатково здійснена перевірка показала, що усі публікації відповідають досліджуваній проблематиці. Таким чином, враховуючи всі обмеження, для подальшого розгляду було обрано 1359 публікацій.

Необхідність введення такого обмеження як галузь дослідження пояснюється домінуванням публікацій технічного спрямування. Зокрема, в галузі Engineering, Computer Science та Energy (рис. 1.5).

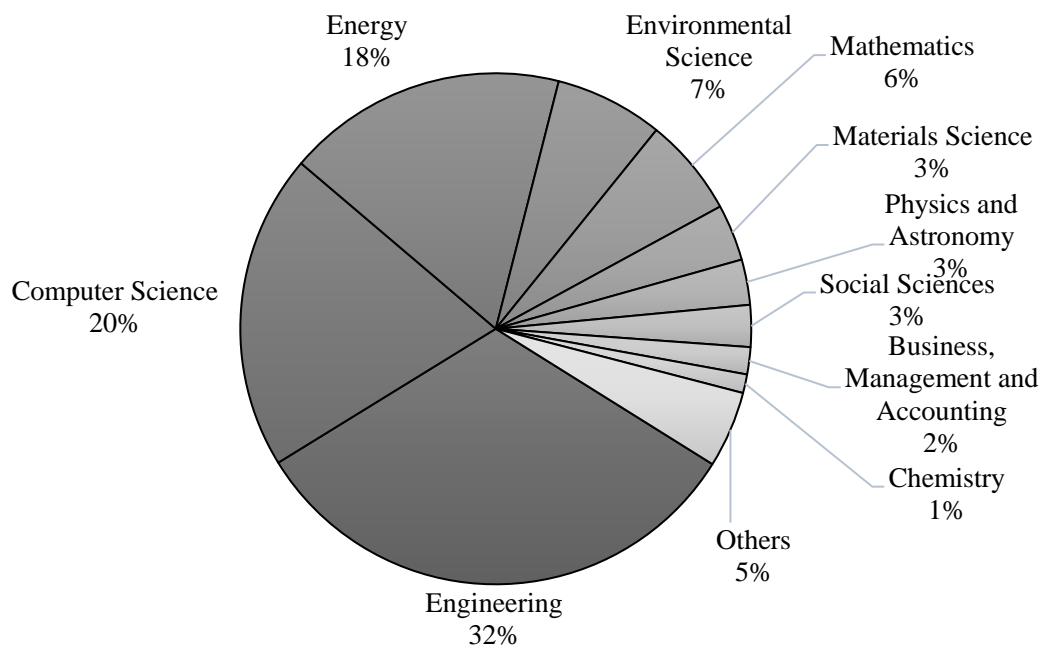


Рисунок 1.5 – Публікації в галузі розумних енергомереж, виділені за галузями досліджень (на основі бази даних Scopus)

Частка публікацій, що стосуються економічних галузей, залишається невисокою, однак прослідковується тенденція до зростання їх кількості.

Розподіл наукових праць за досліджуваними роками подано на рис. 1.6. Перша публікація з досліджуваної проблематики, що містить економічну складову, датується 1995 р. [127], однак до 2008 р. кількість публікацій не перевищувала однієї на рік.

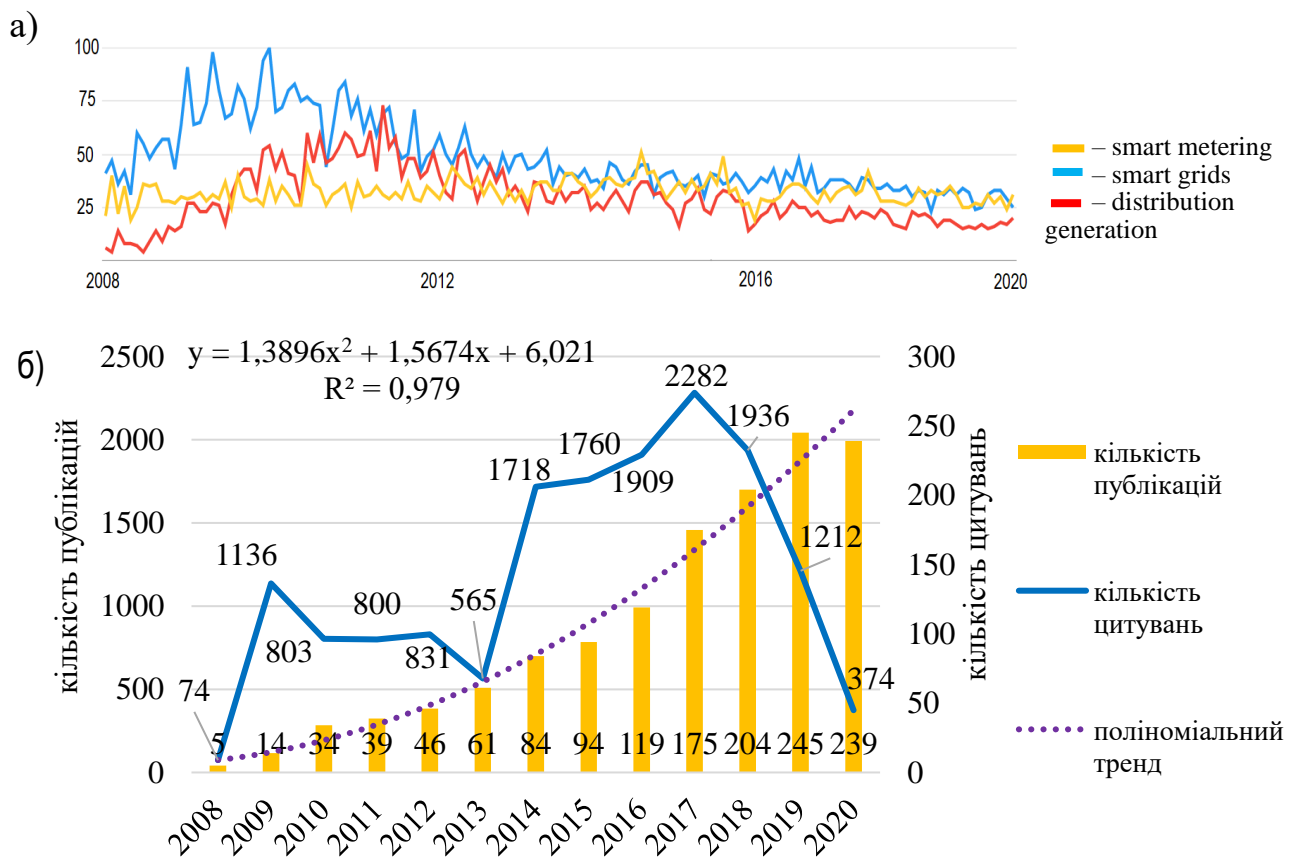


Рисунок 1.6 – Порівняння динаміки пошукових запитів у Google з питань розумних енергомереж, розумного вимірювання та розподіленої енергогенерації (а) і наукових публікацій щодо розвитку розумних енергомереж, проіндексованих наукометричною базою даних Scopus (б) за 2008–2020 рр.

Період активної зацікавленості та посилення публікаційної активності у галузі розумних енергомереж починається з 2008 р. З цього часу спостерігається

стійка тенденція до зростання кількості публікацій (що підтверджується лінією тренду) із піком у 2019 р. – 245 публікацій. Також рисунок 1.6 показує, що за останніх 5 років (з 2016 по 2020 рр.) було опубліковано понад 72,3% всіх матеріалів досліджень.

Найвищий показник цитувань – 2282 – був досягнутий у 2017 році. Однак найбільша кількість цитувань на одну публікацію припадає на 2009 рік (81 цитування на 1 публікацію), саме у 2009 р. були опубліковані дві статті, що займають відповідно 1 та 3 місце серед найбільш цитованих (табл. 1.2).

Аналіз кількості публікацій та цитувань корелює з тенденціями у розвитку розумних енергомереж. Це дозволяє здійснити аналіз еволюційного розвитку досліджень розумних енергомереж. Основою для визначення наукового інтересу є кількість опублікованих наукових праць з даної тематики, суспільний інтерес до тематики визначено на основі даних сервісу Google Trends, що дозволяє простежити кількість запитів, що стосуються розумних енергомереж, у пошуковій системі Google.

Доцільно виділити чотири етапи еволюції наукового та суспільного інтересу до розумних енергомереж. Перший етап припадає на 2008–2009 рр. Для цього періоду характерним є пошук шляхів нівелювання техніко-технологічних обмежень для масштабної реалізації першої стадії розвитку розумних енергомереж – формування підґрунтя для реалізації повнофункціональних проектів розумних енергомереж шляхом розгортання інфраструктури розумного вимірювання. Для цього періоду характерна незначна кількість наукових праць. Дефіцит наукових досліджень, які враховують останні техніко-технологічні досягнення щодо розвитку розумних енергомереж, спричиняє багатократне зростання цитувань наявних наукових праць. Другий етап – 2009–2013 рр. – припадає на перехід від етапу розумного вимірювання до створення повнофункціональних розумних енергомереж. У цей період на тлі розроблення концепцій запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі країнами-лідерами (у запровадженні розумних енергомереж) спостерігається концентрація уваги дослідників не на економічних, а на технічних питаннях

конфігурації розумних енергомереж. Зростання кількості актуальних наукових досліджень супроводжується майже двократним зменшенням їх цитування наукових праць. Результати аналізу в Google Trends показують істотне зростання суспільного інтересу до тематики розумних енергомереж. Третій етап – 2014–2017 рр. – пов’язаний із виникненням нових технологічних обмежень у розвитку розумних енергомереж. Для цього періоду характерне стрімке зростання кількості наукових публікацій та динаміки їх цитувань за одночасного зниження суспільного інтересу до цієї проблематики. Четвертий етап – з 2017 р. – пошук проривних технологій, які визначатимуть вектор розвитку розумних енергомереж у майбутньому. У даний період варто відзначити зростання кількості наукових праць на тлі багатократного зменшення цитувань наявних напрацювань та скорочення суспільного інтересу до цієї проблематики, пов’язаною з невіршеністю техніко-технологічних проблем, які не дозволяють підвищити технічну та економічну ефективність реалізованих проєктів розумних енергомереж. Це стримує інвестиції у масштабування розумних енергомереж.

Для того, щоб визначити наявні тенденції у рамках досліджуваної проблематики, а також встановити актуальні напрямки подальших досліджень, здійснено аналіз ключових слів публікацій за допомогою VOSviewer, який є надійним та ефективним інструментом для забезпечення візуалізації взаємозв’язків між основними ключовими словами в галузі досліджень. Для аналізу виділено 317 ключових слів (частота появи більше 7 разів), після перевірки ключових слів із подальшого розгляду повторювані та нерелевантні слова (наприклад, «scheduling», «China» та інші). Загалом було проаналізовано 124 ключових слова. Відповідно напрямки крос-секторних досліджень розумних енергомереж показано на рисунку 1.7.

Таким чином, згенерована мережа взаємозв’язків (network visualization) між 124 ключовими словами включає 5 кластерів. Перший (найпотужніший) кластер (червоний кластер) формується навколо поняття розумних енергомереж (поняття встановлює 643 зв’язки, сила зв’язків – 3806), цей кластер включає такі основні

ключові слова: sustainability (стабільність), alternative energy (альтернативна енергетика), electricity (електрика), electricity generation (електрогенерація).

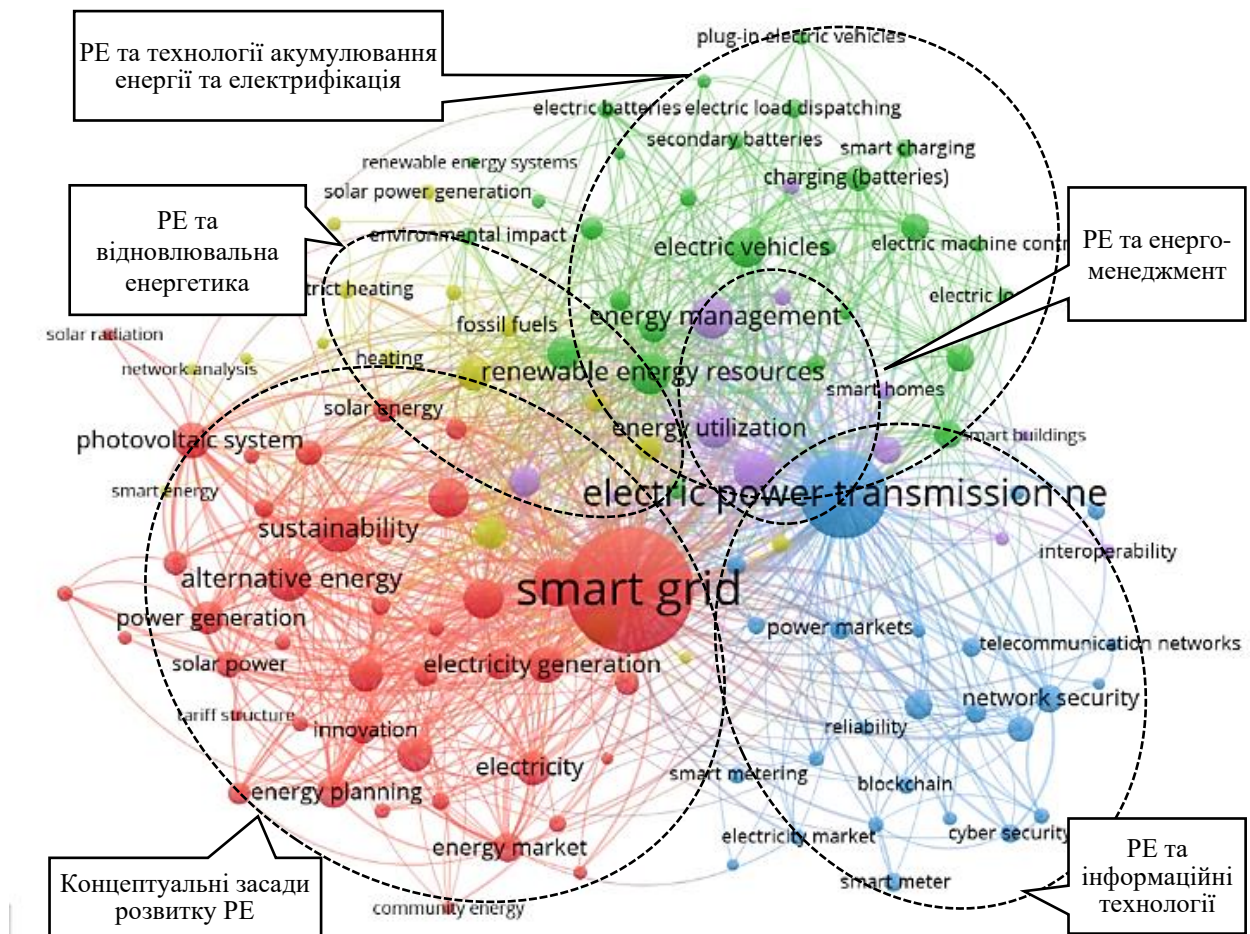


Рисунок 1.7 – Виявлення напрямків крос-секторних досліджень розумних енергомереж (більший діаметр кола означає більшу частоту згадування відповідного поняття як ключового слова поряд із розумними енергомережами в наукових статтях, проіндексованих наукометричною базою Scopus за 2008–2020 рр.)

Другий (синій) кластер охоплює такі ключові слова, як network security (безпека мережі), power markets (енергоринок), electricity market (ринок електроенергії) та інші, та формується навколо поняття «electric power transmission networks» (мережі транспортування електроенергії) (встановлює 331 зв'язок, сила зв'язків – 2548).



В основі третього (фіолетового) кластера лежить поняття «energy management» (енергоменеджмент) (встановлює 79 зв'язків, сила зв'язків – 679), до цього кластера можна віднести такі основні ключові слова: smart homes (розумні будинки), energy utilization (використання енергії).

Четвертий (зелений) кластер прив'язаний до поняття «renewable energy resources» (відновлювані джерела енергії) (встановлює 73 зв'язки, сила зв'язків – 746) та охоплює ключові слова electric vehicles (електричні транспортні засоби), electric load control (контроль навантаження), charging (batteries) (зарядні станції, акумулятори), smart charging (розумне заряджання). Останній п'ятий (жовтий) кластер формується навколо поняття «energy storage» (акумулявання енергії) (встановлює 51 зв'язок, сила зв'язків – 432), до цього кластера доцільно віднести ключові слова heating (опалення), district heating (централізоване опалення), solar power generation (виробництво сонячної енергії), fossil fuel (випокпне паливо).

Бібліометричний аналіз свідчить, що до 2017 р. дослідження вчених-економістів концентрувалися переважно на питаннях тарифоутворення та пошуку шляхів комерціалізації розумних енергомереж; у 2017–2018 рр. вектор економічних досліджень розумних енергомереж змінився, і у фокусі наукової уваги перебували питання визначення вартості запровадження розумних енергомереж. У 2018-2019 рр. акценти в наукових розробках змістилися до питань дослідження глобальної економічної моделі розбудови розумних енергомереж та їх техніко-економічної ефективності на основі патернів енергоспоживання (рис. 1.8).

Десять найбільш цитованих публікацій у галузі «smart grid» у БД Scopus наведені в таблиці 1.2. Усі 10 статей цитувались більше 100 разів. Наявність такої тенденції до цитування свідчить, що публікації були сприйняті й високо оцінені світовим науковим співтовариством, присутня наукова дискусія, що підкреслює актуальність досліджуваної тематики.

Топ-10 найцитованіших публікацій можна розділити на такі теми досліджень: безпека (пп. 1, 2), відновна енергетика та сталий розвиток (пп. 3, 8),

енергоефективність (пп. 9, 10), мікромережі (п. 5), управління енергетикою, включаючи ціноутворення, та управління попитом (п. 4, 6, 7).

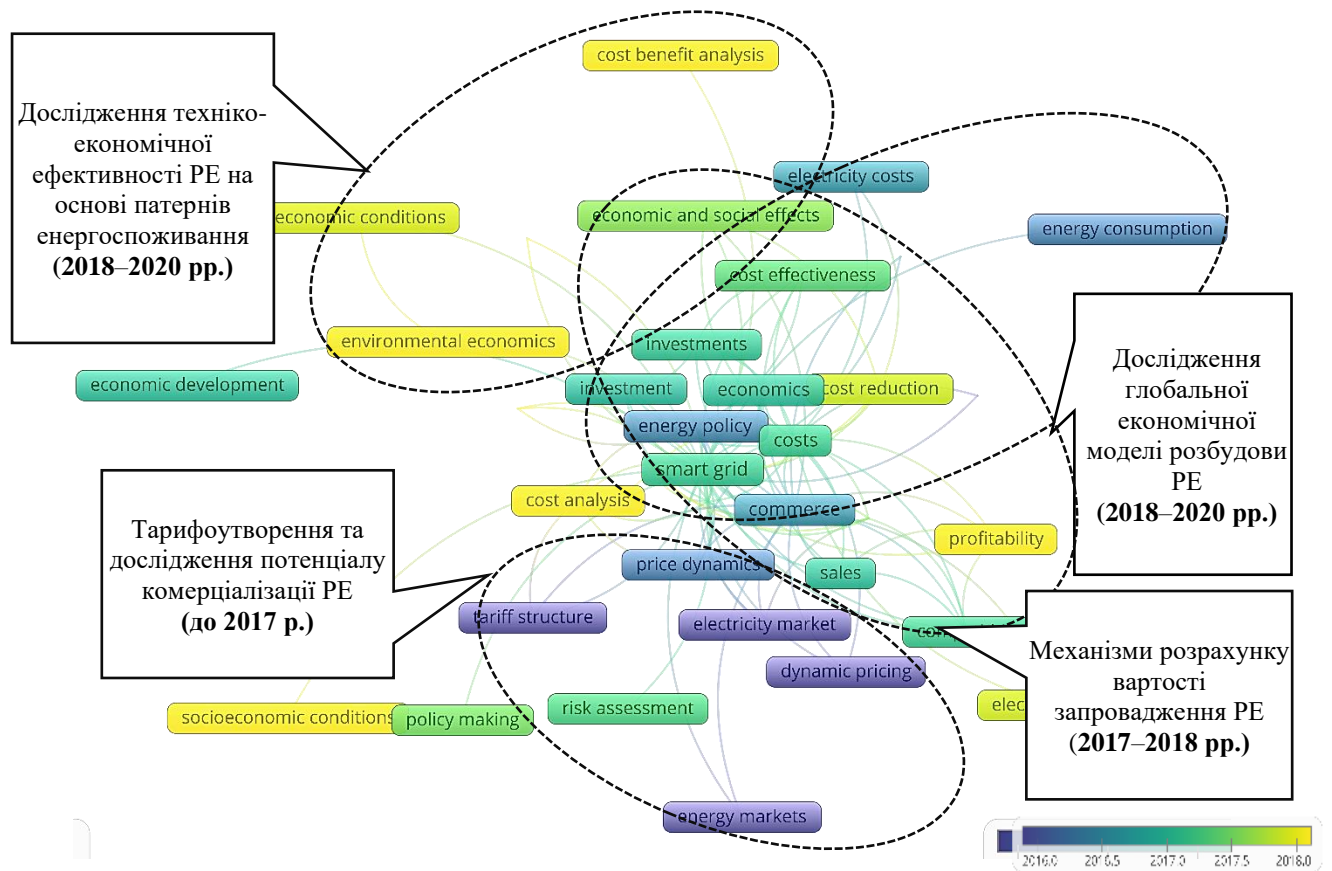


Рисунок 1.8 – Візуалізаційна карта зміни трендів економічних досліджень із питань розвитку розумних енергомереж, опублікованих у 2008–2020 рр. у виданні бази даних Scopus

Отже, найбільш цитованою (734 цитування) є публікація «Security and privacy challenges in the smart grid», автори McDaniel P., McLaughlin S. [79]. У цьому дослідженні автори розглянули стан поширення розумних енергомереж у глобальному масштабі, а також операційні, екологічні та фінансові фактори мотивації цього процесу у контексті безпеки енергомережі та збереження персональних даних. На другій позиції є публікація «Smart-grid security issues», автори Khurana H., Hadley M., Lu N., Frincke D.A. [72], яка була процитована 392 рази. У цій публікації автори детально розглянули питання, що стосуються безпеки розумних енергомереж.

Таблиця 1.2 – Топ-10 найбільш цитованих досліджень у галузі розумних енергомереж з 2008 по 2020 рр. (на основі бази даних Scopus)

№	Кількість цитувань	Назва статті	Автор	Кількість університетів/установ	Кількість країн	Видання, рік
1	2	3	4	5	6	7
1	734	Security and privacy challenges in the smart grid [79]	McDaniel P., McLaughlin S.	2	1 (США)	IEEE Security and Privacy, 2009
2	392	Smart-grid security issues [72]	Khurana H., Hadley M., Lu N., Frincke D.A.	4	1 (США)	IEEE Security and Privacy, 2010
3	231	Cleaner energy for sustainable future [28]	Dovi V.G., Friedler F., Huisingh D., Klemeš J.J.	4	3 (Угорщина, Австрія, Італія)	Journal of Cleaner Production, 2009
4	19	Rethinking real-time electricity pricing [9]	Allcott H.	1	1 (США)	Resource and Energy Economics, 2011
5	173	The U.S. Department of Energy's Microgrid Initiative [120]	Ton D.T., Smith M.A.	2	1 (США)	Electricity Journal, 2012
6	158	Big Data Analytics for Dynamic Energy Management in Smart Grids [23]	Diamantoulakis P.D., Kapinas V.M., Karagiannidis G.K.	1	1 (Греція)	Big Data Research, 2015
7	151	Smart grids, smart users? the role of the user in demand side management [50]	Goulden M., Bedwell B., Rennick-Egglestone S., Rodden T., Spence A.	1	1 (Великобританія)	Energy Research and Social Science, 2014
8	114	A technical and economic analysis of one potential pathway to a 100% renewable energy system [17]	Connolly D., Mathiesen B.V.	1	1 (Данія)	International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, 2014
9	108	Ten questions concerning model predictive control for energy efficient buildings [70]	Killian M., Kozek M.	1	1 (Австрія)	Building and Environment, 2016
10	106	An unsupervised training method for non-intrusive appliance load monitoring [90]	Parson O., Ghosh S., Weal M., Rogers A.	4	1 (Великобританія)	Artificial Intelligence, 2014

Третє місце займає публікація «Cleaner energy for sustainable future» з кількістю цитувань 231, автори – Dovi V.G., Friedler F., Huisingh D., Klemeš J.J. [28].

Серед 10 найбільш цитованих публікацій лише в одній є співпраця між країнами, а співпраця між університетами/установами – у 50% публікацій. Відповідно налагодження взаємовідносин між вченими з різних університетів/установ та країн потребує подальшого розвитку. Адже така співпраця сприятиме більш глибокому та комплексному розгляду проблеми і відіграватиме важливу роль у результатах досліджень.

Автори, які мають найбільшу кількість публікацій у галузі розумних енергомереж в базі даних Scopus, та наукові видання, у яких опубліковано найбільшу кількість публікацій із досліджуваної тематики, наведені відповідно в таблицях 1.3 та 1.4.

Таблиця 1.3 – Топ авторів за кількістю публікацій у галузі розумних енергомереж протягом 2008-2020 рр. (на основі бази даних Scopus)

Автор	Кількість опублікованих матеріалів	h-індекс автора в БД Scopus
Javaid N.	12	39
Ketter W.	7	19
Tuite D.	7	2
Skjølsvold T.M.	6	9
Afonso J.L.	5	20
Collins J.	5	18
Ryghaug M.	5	13

Отже, до трійки авторів, які мають найвищу публікаційну активність у рамках тематики, увійшли Javaid N., Ketter W., Tuite D. Крім того, 41% всіх статей був опублікований у топ-10 журналах. Більшість із цих журналів є передовими науковими виданнями, що мають високий SNIP та входять до кватилів Q1 та Q2.

Найбільшу кількість цитувань мають публікацій, розміщені в журналі «Sustainable Cities And Society» (1369), на другому місці за кількістю посилань іде журнал «Journal Of Cleaner Production» (1346), трійку лідерів закриває

«Energy Research And Social Science» (1220). Журнал «Sustainability» (Switzerland), який має найбільше публікацій, за кількістю цитувань знаходиться на четвертому місці (1024 цитування). При цьому у розрахунку на одну публікацію найбільша кількість цитувань припадає на журнал «Energy Research And Social Science» (23,0 цитування).

Таблиця 1.4 – Журнали з найбільшою кількістю публікацій щодо розумних енергомереж у період з 2008 по 2020 рік (на основі бази даних Scopus)

Журнал	Квартиль журналу	SNIP	Кількість опублікованих статей	Кількість цитувань	Кількість цитувань на одну публікацію
1	2	3	4	5	6
Sustainability (Switzerland)	Q2	1.165	172	1024	5,9
Sustainable Cities And Society	Q1	1.987	84	1369	16,3
Journal Of Cleaner Production	Q1	2.394	67	1346	20,1
Energy Research And Social Science	Q1	1.869	53	1220	23,0
Electricity Journal	Q1	0.825	49	801	16,3
International Journal Of Recent Technology And Engineering	Q4	0.012	35	28	0,8
Technology And Economics Of Smart Grids And Sustainable Energy	Q3	0.671	30	103	3,4
Computers And Security	Q1	0.671	25	303	12,1
Energy Systems	Q2	1.061	24	184	7,7
Electronic Design	Q4	-	21	3	0,1

Важливо також відмітити, що три статті з найбільш цитованих були опубліковані у журналах із табл. 1.4 – «Cleaner energy for sustainable future» в «Journal of Cleaner Production», «The U.S. Department of Energy's Microgrid Initiative» в «Electricity Journal» та «Smart grids, smart users? the role of the user in demand side management» в «Energy Research and Social Science».

Також значна частина статей топ-авторів (табл. 1.3) опублікована в журналах, зазначених у табл. 1.4. Зокрема, Javaid N. має публікації у таких журналах, як «Sustainable Cities and Society», «Sustainability» (Switzerland), «Journal of Cleaner Production»; Tuite D. публікується в «Electronic Design», а

Skjølsvold T.M. в «Energy Research and Social Science» та «Sustainability» (Switzerland).

Окрему увагу необхідно приділити дослідженню географічного охоплення при дослідженні визначеної проблематики як з точки зору країни, так і з точки зору афіліації авторів (університет/установа) (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Країни з найбільшою кількістю публікацій за досліджуваною проблематикою у період з 2008 по 2020 рік (на основі бази даних Scopus)

Країна	Кількість публікацій
1	2
США	277
Китай	122
Індія	117
Великобританія	106
Німеччина	89
Італія	85
Нідерланди	64
Південна Корея	63
Австралія	48
Іран	48

Для візуалізації отриманих даних було застосовано інструментарій VosViewer. Так, на рис. 1.9 представлено взаємозв'язки, що існують між вченими-дослідникам розумних енергомереж з різних країн.

За результатами аналізу було визначено вісім країн, які займають лідируючі позиції у рамках досліджуваної проблематики. Це США (277 публікацій, 5104 цитування), Китай (122 публікацій, 876 цитувань), Індія (117 публікацій, 500 цитувань), Великобританія (106 публікацій, 1823 цитування), Німеччина (89 публікацій, 860 цитувань), Італія (85 публікацій, 1235 цитувань), Нідерланди (64 публікації, 956 цитувань) та Південна Корея (63 публікації, 424 цитування). Географію співпраці вчених різних країн, визначену на основі застосування інструментарію VosViewer демонструють п'ять найбільш потужних наукових дослідницьких мереж (кластерів): кластер 1 – країни Південно-Східної Азії та Океанії (Китай, у тому числі Тайвань та Гонконг, Сінгапур, Австралія) – економічно розвинені країни з високими темпами

запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки; кластер 2 – Сполучені Штати Америки – засновники концепції розумних енергомереж з найбільшим досвідом їх реалізації; кластер 3 – Мексика, Іспанія та Бразилія – дослідницька кооперація на основі мовно-культурної спорідненості; кластер 4 – європейські країни (Німеччина, Нідерланди, Італія, Австрія, Швейцарія, Швеція, Данія та Великобританія) – об’єднані єдиною енергетичною політикою та схожими геокліматичними умовами, які значною мірою впливають на спорідненість застосовуваних технологій альтернативної енергетики та розподіленої енергогенерації як визначальних компонентів розумних енергомереж; кластер 5 – країни Південної та Південно-Східної Азії (Південна Корея, Саудівська Аравія, Малайзія, Іран, Пакистан).

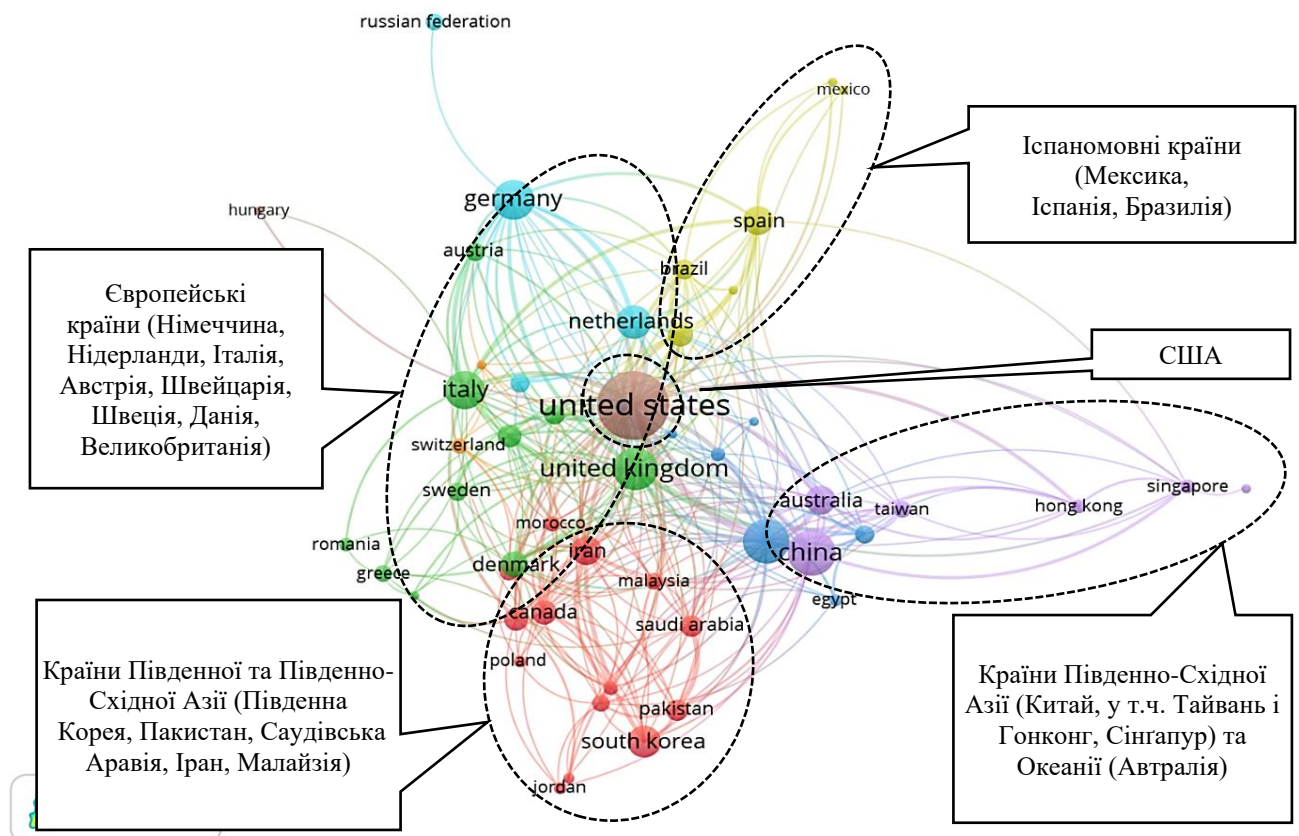


Рисунок 1.9 – Візуалізаційна карта співавторства вчених (критерій – країна, зазначена в афіліації), спільні публікації яких із питань розумних енергомереж проіндексовано базою даних Scopus у 2008–2020 рр.

Найбільшу кількість спільних публікацій мають учені з країн ЄС, тоді як публікації американських дослідників є переважно мононаціональними (підготовлені без участі іноземних учених), хоча за абсолютною кількістю досліджень учені зі США є беззаперечними лідерами.

У таблиці 1.6 показано результати дослідження кооперації між університетами (установами), наукові дослідження розумних енергомереж в яких мають вагомні результати.

Таблиця 1.6 – Університети/установи з найбільшою кількістю публікацій за досліджуваною проблематикою у період з 2008 по 2020 рік (на основі бази даних Scopus)

Афіліація авторів (університет/установа)	Кількість публікацій	Кількість цитувань	Кількість цитувань на одну публікацію	Інтервал цитувань		
				≥ 100	≥ 50	≥ 5
1	2	3	4	5	6	7
Aalborg Universitet	20	333	16,7	1	1	6
North China Electric Power University	19	201	10,6	0	1	12
COMSATS University Islamabad	16	216	13,5	0	0	11
Delft University of Technology	13	181	13,9	0	1	8
Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet	13	198	15,2	0	0	9
Technische Universiteit Eindhoven	12	165	13,8	0	1	7
Karlsruhe Institute of Technology	12	165	13,8	0	0	10
Utrecht University	11	109	9,9	0	0	6
Erasmus Universiteit Rotterdam	10	211	21,1	0	1	7
Aalto University	10	195	19,5	0	2	5

Топ-10 університетів (установ) опублікували 10% всіх праць з 2008 по 2020 рр. На першому місці за кількістю публікацій знаходиться Aalborg Universitet (Данія), на одну публікацію менше опублікували дослідники з North China Electric Power University (Китай). Решта університетів (установ) має не менше 10 публікацій з тематики розумних енергомереж. Найвище значення показника



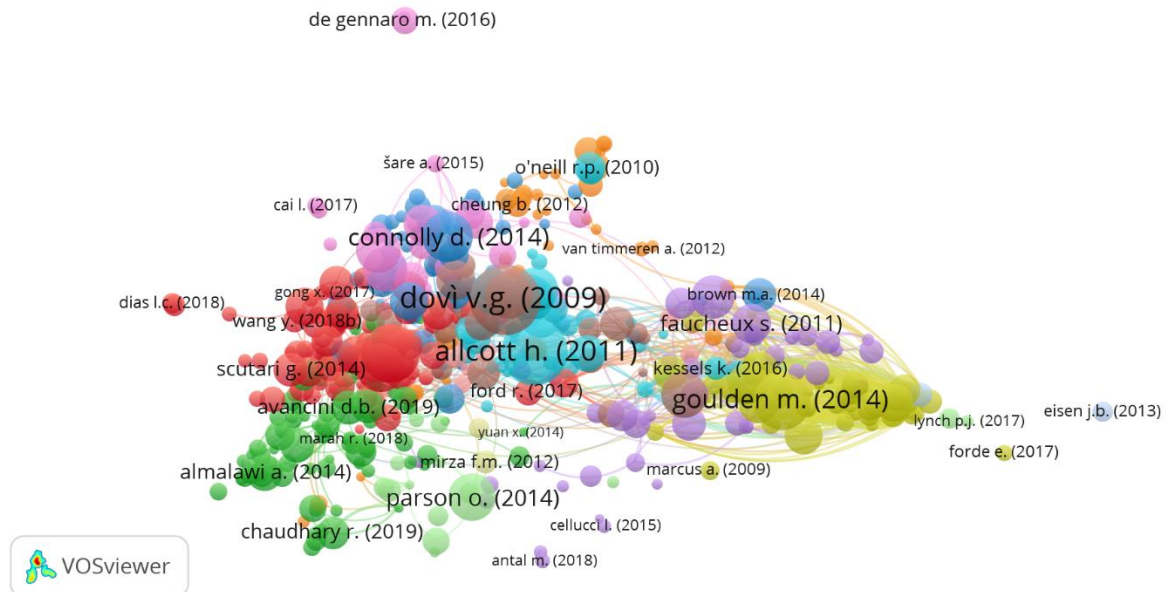
кількості цитувань на одну публікацію має Erasmus Universiteit Rotterdam (21,1 цитування на 1 публікацію) та Aalto University (19,5 цитувань на 1 публікацію). Незначно поступається їм за цим показником Aalborg Universitet (16,7 цитувань на 1 публікацію).

Додатково у таблиці 1.6 розглянуто показник, що показує інтервали цитувань, тобто кількості статей, опублікованих університетом (установою), кількість цитування якої становить більше певного значення. За досліджуваний проміжок часу лише в Aalborg Universitet є одна публікація, кількість цитувань якої перевищила 100. Крім того, 7 статей цитувались понад 50 разів, а більшість статей цитувались більше 5 разів. Серед університетів/установ, що мають найбільшу кількість публікацій, що мають понад 5 цитувань, перше місце посідає North China Electric Power University (13 статей), за ним слідує COMSATS University Islamabad (11 статей) та Karlsruhe Institute of Technology (10 статей).

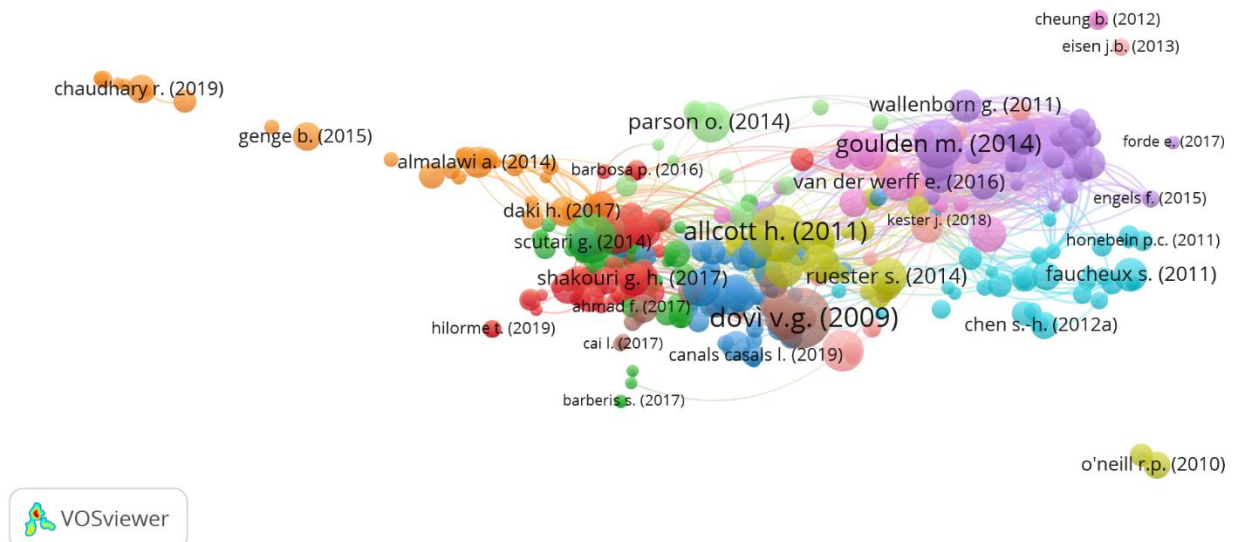
Також, відповідно до таблиці 1.6, 8 з 10 університетів з найбільшою кількістю публікацій, розташовані в Європі (передовими у дослідженнях є університети Нідерландів), а також два університети з Азії.

Важливим етапом аналізу наукових публікацій є визначення бібліографічних взаємозв'язків, що стосується збігів у списках посилань на публікації (рис. 1.10). Дана складова бібліографічного аналізу використовується для визначення зв'язку між двома або більше публікаціями, коли у них використовуються посилання на один і той же документ.

Розмір і колір вузлів представляють кількість посилань, які здійснюються авторами проаналізованих статей щодо розвитку розумних енергомереж. Проведений аналіз показує міцність взаємозв'язків, що дає можливість стверджувати про значну кількість цитованих посилань, спільних між двома публікаціями. Однак співставлення даних результатів з отриманими під час географічного та еволюційного досліджень розвитку теорії розумних енергомереж та публікаційної активності з даної тематики, дає змогу зробити висновок про зростання рівня кооперації науковців з вирішення проблемних питань розбудови розумних енергомереж.



а)



б)

Рисунок 1.10 – Візуалізаційна карта бібліографічних зв'язків публікацій з питань розумних енергомереж, що проіндексовані наукометричною базою даних Scopus у 2008–2020 рр.: а) критерій – 10 взаємоцитувань;  
б) 5 взаємоцитувань

Отже, проведений аналіз за рахунок поєднання інструментарію VOSViewer v.1.6.10 та Google Trends дозволив більш комплексно та ґрунтовно у формалізованому за рядом важливих параметрів (еволюційний, змістовний, географічний) здійснити узагальнення теоретичних аспектів запровадження

розумних енергомереж в енергетичний сектор, що створює основу для подальших емпіричних пошуків у цьому напрямку та свідчить про перспективність даного напрямку, що пов'язано зі значною кількістю невирішених наукових завдань, які стримують розвиток розумних енергомереж та формування інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки.

### **1.3. Роль та місце розумних енергомереж у формуванні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки**

Згідно з європейською зеленою угодою та проектом вітчизняної концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року [166] розбудова розумних енергомереж є основою декарбонізації економіки та каталізатором змін соціально-економічного розвитку країн. Такий підхід узгоджується з формуванням моделі інтегрованої енергоцентрованої економіки, яка характеризується глибоким проникненням енергетики у всі сфери діяльності та, як наслідок, можливістю впливати на індикатори економічного та соціального розвитку через підвищення ефективності та рівня інноваційності енергетичного сектору як драйвера соціально-економічного розвитку та каталізатора синергетичних ефектів крос-секторної взаємодії під час реалізації енергоефективних заходів та здійснення інноваційної діяльності.

Для визначення ролі та місця розумних енергомереж у формуванні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки важливо установити силу та напрямок впливу розбудови розумних енергомереж на індикатори соціального та економічного розвитку країни. З цією метою розроблено двоетапний науково-методичний підхід:

Перший етап передбачає перевірку гіпотези про існування статистично значущої різниці щодо рівнів ефективного енергоспоживання до та після впровадження політики розгортання розумних енергомереж (біфуркаційним

періодом обрано 2012 р. – прийняття Директиви Європейського парламенту та Ради № 2012/27/EU від 25.10.2012 р.).

На другому етапі за допомогою регресійного аналізу передбачено визначення поелементного впливу індикаторів ефективності політики розумних енергомереж на рівень соціального та економічного розвитку України.

Інформаційну базу дослідження ролі та місця розумних енергомереж у формуванні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки та їх впливу на соціально-економічний розвиток склали офіційні дані Організації економічного співробітництва та розвитку, Світового банку, Світової енергетичної статистики Yearbook та Державної служби статистики України.

Для отримання релевантних результатів дослідження часовий діапазон було встановлено у межах 2006-2019 років. Це дозволяє встановити зв'язок між досліджуваними показниками до реалізації політики запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки та після початку її провадження. Для здійснення розрахунків використано програмне забезпечення Stata 14.0/SE.

Для здійснення першого етапу дослідження було використано тест Шапіро-Уїлка для перевірки характеру розподілу даних. Вибір на користь використання тесту Шапіро-Уїлка було зроблено з огляду на те, що його застосування дає найкращі результати при роботі з невеликими вибірками.

W-критерій Шапіро-Уїлка, ґрунтується на регресії порядкових статистик. Обчислення W-критерію Шапіро-Уїлка здійснюють за формулою:

$$W = \frac{1}{s^2} \left[ \sum_{i=1}^m a_{n-i+1} (x_{n-i+1} - x_i) \right]^2, \quad (1.1)$$

де  $n$  – обсяг вибірки;  $s^2 = \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x}_i)^2 = s_x^2(n-1)$ ;  $\bar{x} = \sum_{j=1}^n x_j$ ;  $m$  – ціла частина  $\frac{n}{2}$ ; коефіцієнти  $a_{n-i+1}$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ;  $n = 3, 4, \dots, 14$ ) – константи [104].

Було сформовано дві гіпотези:

–емпіричний розподіл не відрізняється від нормального;

–емпіричний розподіл відрізняється від нормального.

У результаті розрахунку критерію  $W$  було підтверджено гіпотезу про нормальний розподіл вибірки (статистика тесту ( $W$ ) = 0,92857; показник відхилення від нормальності ( $V$ ) – 1,322) (рис. 1.11).

Для перевірки рівності дисперсій вибірок застосовано тест Левена, який має перевагу над іншими тестами, зокрема тестом Бартлета, адже є менш чутливим до відхилень від нормальності [73].

Тест Левене здійснюється за формулами:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 \sigma \quad (1.2)$$

$$H_a: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ принаймні для однієї пари } (i, j)$$

Test Враховуючи змінну  $Y$  зі зразком розміру  $N$ , розділеним на  $k$  підгруп,

Statistic: де  $N_i$  – розмір вибірки  $i$ -ї підгрупи, статистичний тест Левене визначається як:

$$W = \frac{(N - k)}{(k - 1)} \frac{\sum_{i=1}^k N_i (\bar{Z}_{i.} - \bar{Z}_{..})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} N_i (\bar{Z}_{ij} - \bar{Z}_{i.})^2} \quad (1.3)$$

де  $Z_{ij}$  може набувати одного із трьох значень:

$$1. \quad Z_{ij} = |Y_{ij} - \bar{Y}_i|$$

де  $\bar{Y}_i$  – це середнє значення  $i$ -ї підгрупи.

$$2. \quad Z_{ij} = |Y_{ij} - \tilde{Y}_i|$$

де  $\tilde{Y}_i$  – це медіана  $i$ -ї підгрупи.

$$3. \quad Z_{ij} = |Y_{ij} - \bar{Y}'_i|$$

де  $\bar{Y}'_i$  – це 10 % усічене середнє значення  $i$ -ї підгрупи.

$\bar{Z}_i$  – це групове середнє значення  $Z_{ij}$ ;

$\bar{Z}_{..}$  – це загальне середнє значення  $Z_{ij}$ .

Застосування тесту Левене для перевірки рівності дисперсій вибірок показало наступні результати (рис. 1.11): статистика тесту за середнім ( $W_0$ ) –

0,94 (0,35); статистика тесту за медіаною (W50) – 0,93 (0,35); статистика тесту за 10% усіченням середнього (W10) - 0,94 (0,35).

Оскільки дані мають нормальний розподіл, було застосовано параметричний тест [167].

Методика розрахунку двовибіркового t-критерію для незалежних вибірок має такий вигляд [167]:

а) у разі, якщо розміри вибірок мало відрізняються:

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}, \quad (1.4)$$

б) коли розміри вибірок значно відрізняються:

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{\frac{(N_1 - 1)\sigma_1^2 + (N_2 - 1)\sigma_2^2}{N_1 + N_2 - 2} \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right)}}, \quad (1.5)$$

де  $M_1, M_2$  – середнє арифметичне;

$\sigma_1, \sigma_2$  – стандартне відхилення;

$N_1, N_2$  – розміри вибірок.

Кількість ступенів свободи розраховують як:

$$df = N_1 + N_2 - 2. \quad (1.6)$$

Результати розрахунків за даним тестом засвідчили існування статистично значимої різниці між рівнями ефективного енергоспоживання до та після впровадження політики розгортання розумних енергомереж в Україні (рис. 1.11).

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
Ecl	14	0.92857	1.322	0.550	0.29130

Тест Левине

Summary of Ecl			
diff	Mean	Std. Dev.	Freq.
0	.20485714	.00990671	7
1	.15812381	.01569772	7
Total	.18149048	.02733184	14

W0 = 0.94009372 df(1, 12) Pr > F = 0.3513911  
W50 = 0.93451083 df(1, 12) Pr > F = 0.35277303  
W10 = 0.94009372 df(1, 12) Pr > F = 0.3513911

Two-sample t test with equal variances

Group	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
0	7	.2048571	.0037444	.0099067	.195695	.214019
1	7	.1581238	.0059332	.0156977	.1436058	.172641
combined	14	.1814905	.0073047	.0273318	.1657095	.197271
diff		.0467333	.0070159		.031447	.062019

Рисунок 1.11 – Результати тесту Шапіро-Уїлка, тесту Левене та розрахунку двовибіркового t-критерію Стьюдента

Для виявлення зв'язку між досліджуваними показниками застосовано регресійний аналіз, що дозволяє встановити форму залежності між змінними. Регресійний аналіз дозволяє за значенням (або величиною) однієї ознаки (змінна  $X$ ) визначати очікувані значення іншої ознаки (змінна  $Y$ ), якщо між ними наявний кореляційний зв'язок. Для отримання точних результатів аналізу необхідним є встановлення типу зв'язків між змінними, які досліджуються, що дозволяє виявити кількісну залежність між залежною змінною та однією або кількома незалежними змінними [184].

Для встановлення впливу розбудови розумних енергомереж на індикатори соціального та економічного розвитку України застосовано регресійний аналіз часових даних.

Регресійна модель має вигляд:

$$CE = \alpha_0 + \beta_i PE_i + \varepsilon, \quad (1.7)$$

де  $\alpha_0$  – константа рівняння;

$\beta_i$  – пошукові параметри;

SE – показники рівня розвитку соціально-економічного розвитку країни;

PE – показники прямого впливу політики запровадження розумних енергомереж;

$\varepsilon$  – похибка.

Ендогенними змінними (регресандами) в моделі виступили:

- обсяги валового основного капіталу в країні, K (дол. США);
- чисельність зайнятого населення в країні, L (осіб);
- ВВП країни, GDP (дол. США);
- обсяг чистих прямих іноземних інвестицій, FDI (дол. США);
- індекс людського розвитку, HDI (за даними аналітичних звітів ООН);
- обсяг видатків на дослідження та розвиток, R&D (% від ВВП);
- рівень відкритості економіки, Trade (% , сума експорту та імпорту товарів і послуг до ВВП);
- рівень урбанізації, U (% , частка міського населення в його загальній кількості).

Екзогенними змінними моделі прийнято:

- споживання електроенергії,  $E_e$  (кВт·год / т чистого надходження сировини);
- енергоємність ВВП,  $E_n$  (тонн нафтового еквівалента / тис. дол США).

Вихідні дані для встановлення залежності показників соціально-економічного розвитку України від політики запровадження розумних енергомереж показано в таблиці 1.7.

Вибір показників для здійснення регресійного аналізу обґрунтовано численними дослідженнями взаємозв'язків між розвитком енергетичного сектору та соціальними і економічними показниками функціонування країни. Зокрема, у дослідженні [10] встановлено зв'язок між застосуванням комунікацій у розумних енергомережах та показниками економічного розвитку країни.



Таблиця 1.7 – Вихідні дані для визначення впливу політики розгортання розумних енергомереж на рівень соціально-економічного розвитку країни

Рік	споживання електроенергії	енергоємність ВВП	обсяги валового основного капіталу в країні	чисельність зайнятого населення в країні	ВВП країни	обсяг чистих прямих іноземних інвестицій	індекс людського розвитку	обсяг видатків на дослідження та розвиток	рівень відкритості економіки	рівень урбанізації	споживання електроенергії	енергоємність ВВП	обсяги валового основного капіталу в країні	чисельність зайнятого населення в країні	ВВП країни	обсяг чистих прямих іноземних інвестицій	індекс людського розвитку	обсяг видатків на дослідження та розвиток	рівень відкритості економіки	рівень урбанізації
2006	0,22	159,1	25132475248	20730,4	1,0765E+11	5604000000	0,72	0,95	91,46	67,97	-1,52	5,07	23,95	9,94	25,40	22,45	-0,34	-0,05	4,52	4,22
2007	0,22	164,1	37235841584	20904,7	1,4258E+11	10193000000	0,72	0,85	90,81	68,15	-1,53	5,10	24,34	9,95	25,68	23,04	-0,33	-0,16	4,51	4,22
2008	0,21	163,5	45025630316	20972,3	1,7982E+11	10700000000	0,73	0,85	96,95	68,33	-1,58	5,10	24,53	9,95	25,92	23,09	-0,32	-0,17	4,57	4,22
2009	0,20	148,7	20399039942	20191,5	1,1711E+11	4769000000	0,73	0,86	89,87	68,50	-1,63	5,00	23,74	9,91	25,49	22,29	-0,31	-0,15	4,50	4,23
2010	0,21	163,1	23169892636	20266,0	1,3601E+11	6451000000	0,73	0,83	98,14	68,60	-1,58	5,09	23,87	9,92	25,64	22,59	-0,32	-0,18	4,59	4,23
2011	0,20	167,4	28791982529	20324,2	1,6316E+11	7207000000	0,73	0,74	106,24	68,69	-1,61	5,12	24,08	9,92	25,82	22,70	-0,31	-0,30	4,67	4,23
2012	0,19	166,0	33386935302	20354,3	1,7578E+11	8175000000	0,74	0,75	104,09	68,78	-1,65	5,11	24,23	9,92	25,89	22,82	-0,31	-0,29	4,65	4,23
2013	0,18	163,8	30908795196	20404,1	1,8331E+11	4509000000	0,74	0,76	95,15	68,88	-1,70	5,10	24,15	9,92	25,93	22,23	-0,30	-0,27	4,56	4,23
2014	0,17	154,8	18872100751	18073,3	1,335E+11	8470000000	0,74	0,65	100,69	68,97	-1,75	5,04	23,66	9,80	25,62	20,56	-0,30	-0,43	4,61	4,23
2015	0,16	144,9	12333517970	16443,2	9,1031E+10	3690000000	0,75	0,61	107,81	69,06	-1,84	4,98	23,24	9,71	25,23	19,73	-0,29	-0,49	4,68	4,23
2016	0,16	144,2	14429441946	16276,9	9,3356E+10	3967000000	0,74	0,48	105,52	69,15	-1,85	4,97	23,39	9,70	25,26	22,10	-0,30	-0,73	4,66	4,24
2017	0,15	134,1	17683726491	16156,4	1,1219E+11	3918000000	0,75	0,45	103,72	69,25	-1,90	4,90	23,60	9,69	25,44	22,09	-0,29	-0,80	4,64	4,24
2018	0,15	136,8	23098693039	16360,9	1,309E+11	4576000000	0,75	0,47	99,12	69,35	-1,91	4,92	23,86	9,70	25,60	22,24	-0,29	-0,75	4,60	4,24
2019	0,14	130,3	27710209862	16578,3	1,5378E+11	5833000000	0,75	0,35	90,17	69,47	-1,99	4,87	24,05	9,72	25,76	22,49	-0,29	-1,04	4,50	4,24

У дослідженні [133] на основі математичних методів досліджено значення розвитку розумних енергомереж в країнах, що розвиваються. Подібні дослідження [42, 105], здійснені українськими вченими мали на меті встановити зв'язок між запровадженням розумних енергомереж та сталим розвитком в Україні, а також факторами впливу на зростання енергоефективності економіки. Також українськими науковцями здійснено зворотній аналіз – яким чином економічні та соціальні драйвери впливають на розвиток альтернативної енергетики.

Результати регресійного аналізу за різними детермінантами соціально-економічного розвитку України подано на рис. 1.12 – 1.21.

```
2006-2012 En
. regress L En
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.000115615	1	.000115615	F(1, 5)	=	0.42
Residual	.001379408	5	.000275882	Prob > F	=	0.5459
				R-squared	=	0.0773
				Adj R-squared	=	-0.1072
Total	.001495023	6	.00024917	Root MSE	=	.01661

L	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
En	-.1098166	.1696374	0.65	0.546	-.3262502 .5458834
_cons	9.371343	.8626408	10.86	0.000	7.153854 11.58883

Рисунок 1.12 – Результати регресійного аналізу: регресанд – чисельність зайнятого населення; регресор – енергоємність ВВП

```
2006-2012 En
. regress HDI En
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	1.2850e-06	1	1.2850e-06	F(1, 5)	=	0.01
Residual	.000623081	5	.000124616	Prob > F	=	0.9231
				R-squared	=	0.0021
				Adj R-squared	=	-0.1975
Total	.000624366	6	.000104061	Root MSE	=	.01116

HDI	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
En	.0115773	.1140112	0.10	0.923	-.2814977 .3046523
_cons	-.3765663	.5797701	-0.65	0.545	-1.866913 1.11378

Рисунок 1.13– Результати регресійного аналізу: регресанд – індекс людського розвитку; регресор – енергоємність ВВП

2006-2012 En

. regress RD En

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.01237571	1	.01237571	F(1, 5)	=	1.94
Residual	.031850243	5	.006370049	Prob > F	=	0.2221
				R-squared	=	0.2798
				Adj R-squared	=	0.1358
Total	.044225953	6	.007370992	Root MSE	=	.07981

RD	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
En	-1.136175	.8151389	-1.39	0.222	-3.231557	.959206
_cons	5.591741	4.145148	1.35	0.235	-5.063702	16.24718

Рисунок 1.14 – Результати регресійного аналізу: регресанд – обсяг видатків на дослідження та розвиток; регресор – енергоємність ВВП

2006-2012 En

. regress U En

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	5.5063e-06	1	5.5063e-06	F(1, 5)	=	0.26
Residual	.00010729	5	.000021458	Prob > F	=	0.6340
				R-squared	=	0.0488
				Adj R-squared	=	-0.1414
Total	.000112797	6	.000018799	Root MSE	=	.00463

U	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
En	.0239657	.0473103	0.51	0.634	-.0976492	.1455806
_cons	4.103936	.2405824	17.06	0.000	3.485499	4.722373

Рисунок 1.15 – Результати регресійного аналізу: регресанд – рівень урбанізації; регресор – енергоємність ВВП

2013-2019 En

. regress K En

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.00733604	1	.00733604	F(1, 5)	=	0.05
Residual	.666964431	5	.133392886	Prob > F	=	0.8239
				R-squared	=	0.0109
				Adj R-squared	=	-0.1869
Total	.674300471	6	.112383412	Root MSE	=	.36523

K	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
En	.430731	1.836715	0.23	0.824	-4.290694	5.152156
_cons	21.56696	9.125572	2.36	0.064	-1.891066	45.02499

Рисунок 1.16 – Результати регресійного аналізу: регресанд – обсяги валового основного капіталу в країні; регресор – енергоємність ВВП

```

2013-2019 En
. regress L En

```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.032557695	1	.032557695	F(1, 5)	=	13.80
Residual	.011797183	5	.002359437	Prob > F	=	0.0138
Total	.044354878	6	.00739248	R-squared	=	0.7340
				Adj R-squared	=	0.6808
				Root MSE	=	.04857

L	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
En	-.907407	.2442753	3.71	0.014	.2794775 1.535337
_cons	5.240624	1.213662	4.32	0.008	2.120806 8.360443

Рисунок 1.17 – Результати регресійного аналізу: регресанд – чисельність зайнятого населення в країні; регресор – енергоємність ВВП

```

2013-2019 En
. regress GDP En

```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.033311961	1	.033311961	F(1, 5)	=	0.46
Residual	.360092467	5	.072018493	Prob > F	=	0.5266
Total	.393404428	6	.065567405	R-squared	=	0.0847
				Adj R-squared	=	-0.0984
				Root MSE	=	.26836

GDP	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
En	.9178578	1.349576	0.68	0.527	-2.551338 4.387053
_cons	20.98964	6.705262	3.13	0.026	3.753215 38.22607

Рисунок 1.18 – Результати регресійного аналізу: регресанд – ВВП країни; регресор – енергоємність ВВП

```

2013-2019 En
. regress HDI En

```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.000056892	1	.000056892	F(1, 5)	=	7.87
Residual	.000036129	5	7.2259e-06	Prob > F	=	0.0377
Total	.000093021	6	.000015504	R-squared	=	0.6116
				Adj R-squared	=	0.5339
				Root MSE	=	.00269

HDI	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
En	-.0379315	.0135183	-2.81	0.038	-.0726813 -.0031817
_cons	-.1053645	.0671645	-1.57	0.177	-.2780162 .0672873

Рисунок 1.19 – Результати регресійного аналізу: регресанд – індекс людського розвитку; регресор – енергоємність ВВП

```
2013-2019 En
. regress RD En
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.3692116	1	.3692116	F(1, 5)	=	44.42
Residual	.041563268	5	.008312654	Prob > F	=	0.0011
				R-squared	=	0.8988
				Adj R-squared	=	0.8786
Total	.410774868	6	.068462478	Root MSE	=	.09117

RD	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
En	-3.055716	.4585061	6.66	0.001	1.877088 4.234344
_cons	-15.82494	2.278052	-6.95	0.001	-21.68086 -9.969021

Рисунок 1.20 – Результати регресійного аналізу: регресанд – обсяг видатків на дослідження та розвиток; регресор – енергоємність ВВП

```
2013-2019 En
. regress U En
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.000051287	1	.000051287	F(1, 5)	=	49.58
Residual	5.1722e-06	5	1.0344e-06	Prob > F	=	0.0009
				R-squared	=	0.9084
				Adj R-squared	=	0.8901
Total	.000056459	6	9.4098e-06	Root MSE	=	.00102

U	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
En	-.0360145	.0051148	-7.04	0.001	-.0491624 -.0228665
_cons	4.415352	.0254123	173.75	0.000	4.350027 4.480676

Рисунок 1.21 – Результати регресійного аналізу: регресанд – рівень урбанізації; регресор – енергоємність ВВП

Розбудова розумних енергомереж спрямована на підвищення ефективності використання енергії. Найбільш значимим наслідком підвищення ефективності використання енергоресурсів для національної економіки є зниження енергоємності ВВП. Припущення, що одним з наслідків удосконалення техніко-технологічного та організаційного аспектів розвитку енергосистеми є зниження споживання енергії не підтверджується історично. Підвищення енергоефективності, яке могло би призвести до скорочення сукупного енергоспоживання національною економікою, компенсується збільшенням кількості промислового та побутового обладнання, а це, у свою чергу, має призвести до підвищення рівня інформатизації, автоматизації та діджиталізації,

що складає передумови для підвищення якості життя, яка на рівні національної економіки відображається в індикаторах соціального розвитку.

Алгоритм здійснення та результат дослідження щодо впливу політики розгортання розумних енергомереж на рівень соціально-економічного розвитку країни показано на рисунку 1.22.

Результати здійснених розрахунків дозволили емпірично підтвердити гіпотезу щодо впливу розумних енергомереж на індикатори соціального й економічного розвитку України. Зокрема, можна стверджувати про наявність статистично значимої залежності між зниженням енергоємності ВВП та зростанням чисельності зайнятого населення, а саме зниження енергоємності ВВП на 1% призводить до збільшення чисельності зайнятого населення на 0,71%.

З'ясовано, що зниження енергоємності ВВП позитивно позначається на індексі людського розвитку (зростання на 0,04% при зниженні енергоємності ВВП на 1%) та видатках на дослідження та розвиток (3,05% зростання при зниженні енергоємності ВВП на 1%). Зниження енергоємності ВВП внаслідок реалізації політики запровадження розумних енергомереж з метою підвищення ефективності енергетичного сектору сприяє процесам урбанізації (зростання рівня урбанізації на 0,03% при зниженні енергоємності ВВП на 1%).

У той же час не виявлено зв'язку між показником енергоємності ВВП та його розміром. Встановлено, що розбудова розумних енергомереж не сприяє залученню прямих іноземних інвестицій до економіки країни, а також не має впливу на рівень відкритості економіки.

Зростання споживання електроенергії на 1% має такий вплив на досліджувані індикатори соціально-економічного розвитку країни:

- 1) зростання чисельності зайнятого населення на 0,71%;
- 2) зростання індексу людського розвитку на 0,21%;
- 3) зростання витрат на дослідження і розвиток на 2,56%;
- 4) зростання рівня урбанізації на 0,03%.

Формування інформаційної бази дослідження	<b>Джерела статистичної інформації:</b> офіційні дані ОЕСР, Світового банку, Світової енергетичної статистики Yearbook, Державної служби статистики України. <b>Часовий діапазон</b> – 2006-2019 рр.																															
<b>Етап 1.</b> Перевірка гіпотези про існування статистично значущої різниці щодо рівнів ефективного енергоспоживання до та після впровадження політики розгортання РЕ (біфуркаційним періодом обрано 2012 р. – прийняття Директиви Європейського парламенту та Ради № 2012/27/EU від 25.10.2012 р.)	<b>Методи дослідження:</b> перевірка характеру розподілу даних (тест Шапіро–Уїлка), рівності дисперсій вибірок (тест Левене), порівняння середніх двох незалежних вибірок (параметричний (t-критерій Стьюдента) або непараметричний (критерій суми рангів Уїлкоксона) тести). <b>Індикатор порівняння</b> – енергоємність ВВП. <b>Програмне забезпечення</b> – Stata 14.0/SE																															
<b>Результати тесту Шапіро – Уїлка:</b> вибірка має нормальний розподіл	<table border="1"> <tr> <td>W</td> <td>V</td> <td>z</td> <td>Prob &gt; z</td> </tr> <tr> <td>0.92857</td> <td>1.322</td> <td>0.550</td> <td>0.29130</td> </tr> </table>			W	V	z	Prob > z	0.92857	1.322	0.550	0.29130	<b>Результати тесту Левене:</b> рівність дисперсій вибірок			<table border="1"> <tr> <td>W0</td> <td>W50</td> <td>W10</td> </tr> <tr> <td>0.94 (0.35)</td> <td>0.93 (0.35)</td> <td>0.94 (0.35)</td> </tr> </table>							W0	W50	W10	0.94 (0.35)	0.93 (0.35)	0.94 (0.35)					
W	V	z	Prob > z																													
0.92857	1.322	0.550	0.29130																													
W0	W50	W10																														
0.94 (0.35)	0.93 (0.35)	0.94 (0.35)																														
<b>Результати параметричного тесту:</b> існування статистично значимої різниці між рівнями ефективного енергоспоживання до та після впровадження політики розгортання РЕ в Україні																																
<table border="1"> <tr> <td>Період</td> <td>Середнє значення</td> <td>Стандартна похибка</td> <td>Стандартне відхилення</td> <td>95 % довірчий інтервал</td> </tr> <tr> <td>2006–2012 рр.</td> <td>0.2048571</td> <td>0.0037444</td> <td>0.0099067</td> <td>[0.195695; 0.2140193]</td> </tr> <tr> <td>2013–2019 рр.</td> <td>0.1581238</td> <td>0.0059332</td> <td>0.0156977</td> <td>[0.1436058; 0.1726418]</td> </tr> <tr> <td>Ha: diff &lt; 0 (1.000)</td> <td colspan="2">Ha: diff ≠ 0 (0.000)</td> <td colspan="2">Ha: diff &gt; 0 (0.000)</td> </tr> </table>													Період	Середнє значення	Стандартна похибка	Стандартне відхилення	95 % довірчий інтервал	2006–2012 рр.	0.2048571	0.0037444	0.0099067	[0.195695; 0.2140193]	2013–2019 рр.	0.1581238	0.0059332	0.0156977	[0.1436058; 0.1726418]	Ha: diff < 0 (1.000)	Ha: diff ≠ 0 (0.000)		Ha: diff > 0 (0.000)	
Період	Середнє значення	Стандартна похибка	Стандартне відхилення	95 % довірчий інтервал																												
2006–2012 рр.	0.2048571	0.0037444	0.0099067	[0.195695; 0.2140193]																												
2013–2019 рр.	0.1581238	0.0059332	0.0156977	[0.1436058; 0.1726418]																												
Ha: diff < 0 (1.000)	Ha: diff ≠ 0 (0.000)		Ha: diff > 0 (0.000)																													
<b>Етап 2.</b> Визначення впливу політики розгортання РЕ на рівень соціально-економічного розвитку країни	<b>Методи дослідження:</b> виявлення взаємозв'язків – регресійний аналіз часових даних. <b>Специфікація моделі:</b> $CE = \alpha_0 + \beta_i PE_i + \varepsilon$ , де $\alpha_0$ – константа рівняння; $\beta_i$ – пошукові параметри; CE – показники рівня розвитку соціально-економічного розвитку країни; PE – показники прямого впливу політики РЕ; $\varepsilon$ – похибка																															
<b>Параметри моделі</b>	<b>Ендогенні змінні (регресанди):</b> K – обсяги валового основного капіталу в країні (дол. США); L – чисельність зайнятого населення в країні (осіб); GDP – ВВП країни (дол. США); FDI – обсяг чистих прямих іноземних інвестицій (дол. США); HDI – індекс людського розвитку (за даними аналітичних звітів ООН); R&D – обсяг видатків на дослідження та розвиток (% від ВВП); Trade – рівень відкритості економіки (%), сума експорту та імпорту товарів і послуг до ВВП); U – рівень урбанізації (%), частка міського населення в його загальній кількості)																															
	<b>Екзогенні змінні (регресори):</b> Ec – споживання електроенергії (кВт·год/т чистого надходження сировини); En – енергоємність ВВП (тонн нафтового еквівалента / тис. дол США).																															
<b>Результати моделювання (фрагмент)</b>																																
	<b>Змінна</b>	<b>Коеф. при регресорі</b>		<b>Значущість регресора</b>		<b>R<sup>2</sup></b>		<b>Сила зв'язку</b>		<b>Адекватність моделі</b>		<b>Напрямок впливу</b>																				
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)																			
<b>Регресор: Ec</b>	L	0.22	0.71	0.09	0.03	0.47	0.66	Помірна	Висока	Адекватна	Адекватна	Позитивний	Позитивний																			
	HDI	-0.21	0.03	0.00	0.03	0.92	0.67	Висока	Висока	Адекватна	Адекватна	Негативний	Позитивний																			
	R&D	1.28	2.56	0.06	0.00	0.52	0.92	Помірна	Висока	Адекватна	Адекватна	Позитивний	Позитивний																			
	U	26.7	0.03	0.00	0.00	0.79	0.95	Висока	Висока	Адекватна	Адекватна	Позитивний	Позитивний																			
<b>Регресор: En</b>	L	-0.11	-0.91	0.55	0.01	0.07	0.73	Слабка	Висока	Неадекватна	Адекватна	Негативний	Негативний																			
	GDP	3.48	0.92	0.07	0.53	0.49	0.08	Помірна	Слабка	Адекватна	Неадекватна	Позитивний	Позитивний																			
	FDI	5.27	-4.08	0.07	0.493	0.49	0.09	Помірна	Слабка	Адекватна	Неадекватна	Позитивний	Негативний																			
	HDI	0.01	-0.04	0.92	0.03	0.01	0.61	Слабка	Висока	Неадекватна	Адекватна	Позитивний	Негативний																			
	R&D	-1.13	-3.05	0.22	0.00	0.27	0.89	Слабка	Висока	Неадекватна	Адекватна	Негативний	Негативний																			
	Trade	1.19	0.72	0.07	0.84	0.51	0.08	Помірна	Слабка	Адекватна	Неадекватна	Позитивний	Позитивний																			
	U	0.02	-0.03	0.63	0.00	0.05	0.91	Слабка	Висока	Неадекватна	Адекватна	Позитивний	Негативний																			
(1) – 2006–2012 рр.; (2) – 2013–2019 рр.; R <sup>2</sup> – коефіцієнт детермінації. Затінені сірим комірками ідентифікують показники, з якими виявлено високий та статистично значущий зв'язок. Вплив на решту показників соціально-економічного розвитку країни є статистично не значущим																																

Рисунок 1.22 – Науково-методичний підхід та результати визначення впливу політики розгортання розумних енергомереж на рівень соціально-економічного розвитку країни

За результатами аналізу можна зауважити, що запровадження розумних енергомереж має більш виражений вплив на індикатори соціального розвитку, аніж економічного. Тобто розвиток розумних енергомереж відіграє роль каталізатора соціального розвитку, сприяє підвищенню рівня та якості життя, соціальній інтеграції населення та формуванню умов розвитку інтелектуального капіталу країни. Це доводить необхідність подальшої реалізації політики запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі.



## Висновки до розділу 1

У першому розділі досліджено передумови та драйвери розбудови розумних енергомереж, структурно-функціональне середовище розвитку концепції розумних енергомереж, вплив ефективності політики розбудови розумних енергомереж на соціально-економічний розвиток України.

На основі бенчмаркінг-аналізу досвіду країн ЄС визначено необхідні передумови та драйвери розвитку розумних енергомереж в Україні, обґрунтовано їх роль у формуванні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки України згідно з вимогами єдиної енергополітики ЄС. Це дозволило визначити напрямки системного оновлення базової вітчизняної енергоінфраструктури для прискорення масштабування окремих успішних проєктів розумних енергомереж на рівень регіону та держави.

З метою виявлення основних трендів у розвитку наукових досліджень з питань розумних енергомереж системно поєднано інструментарій VOSViewer v.1.6.10 (1 359 статей, що індексуються наукометричною базою даних Scopus за 2008 р. – серпень 2020 р.) та Google Trends (динаміка пошукових запитів у Google за цією проблематикою за аналогічний період). Це дозволило виявити закономірності в таких вимірах:

1. еволюційному. Виділено чотири етапи еволюції наукового та суспільного інтересу до розумних енергомереж: 1) 2008–2009 рр. – пошук шляхів нівелювання техніко-технологічних обмежень для масштабної реалізації першої стадії розвитку розумних енергомереж («розумне вимірювання»); незначна кількість наукових праць, але багатократне зростання їх цитувань; 2) 2009–2013 рр. – перехід від етапу «розумне вимірювання» до створення повнофункціональних розумних енергомереж, розроблення країнами-лідерами концепцій запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки; концентрація уваги дослідників не на економічних, а на технічних питаннях конфігурації розумних енергомереж, майже двократне зменшення цитування наукових праць на тлі істотного зростання суспільного інтересу;

3) 2014–2017 рр. – виникнення нових технологічних обмежень у розвитку розумних енергомереж, стрімке зростання кількості наукових публікацій та динаміки їх цитувань за одночасного зниження суспільного інтересу до цієї проблематики; 4) 2017–2020 рр. – пошук проривних технологій, які визначатимуть вектор розвитку розумних енергомереж у майбутньому, зростання кількості наукових праць на тлі багатократного зменшення цитувань існуючих напрацювань та сталого суспільного інтересу до цієї проблематики;

2. змістовному. На основі використання інструментарію VOSviewer v.1.6.10 виокремлено п'ять кластерів крос-секторних досліджень, це засвідчує, що проблема розумних енергомереж найбільш часто досліджується в поєднанні з питаннями відновлюваної енергетики, акумулювання енергії та електрифікацією, енергоменеджментом, інформаційними технологіями. У той самий час, найбільшу кількість досліджень присвячено концептуальним засадам розвитку розумних енергомереж. Аналіз засвідчив, що до 2017 р. дослідження вчених-економістів концентрувалися переважно на питаннях тарифоутворення та пошуку шляхів комерціалізації розумних енергомереж; у 2017–2018 рр. у фокусі наукової уваги перебували питання розрахунку вартості запровадження розумних енергомереж; у 2018-2019 рр. акценти в наукових розробках змістилися до питань дослідження глобальної економічної моделі розбудови розумних енергомереж та їх техніко-економічної ефективності на основі патернів енергоспоживання;

3. географічному. Застосування інструментарію VOSviewer v.1.6.10 дозволило виявити п'ять найбільш потужних наукових дослідницьких мереж, причому найбільшу кількість спільних публікацій мають учені з країн ЄС, тоді як публікації американських дослідників є мононаціональними (підготовлені без участі іноземних учених), хоча за абсолютною кількістю досліджень учені зі США є беззаперечними лідерами.

Згідно з Європейською Зеленою Угодою та проектом вітчизняної концепції «Зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року розбудова розумних енергомереж є основою декарбонізації економіки та каталізатором змін

соціально-економічного розвитку країн. Для визначення ролі та місця розумних енергомереж у формуванні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки важливо установити силу та напрямок впливу розбудови розумних енергомереж на індикатори соціального та економічного розвитку країни. З цією метою розроблено двоетапний науково-методичний підхід:

1) на першому етапі підтверджено гіпотезу про наявність статистично значущої різниці щодо рівнів ефективного енергоспоживання до та після впровадження політики розгортання розумних енергомереж;

2) на другому етапі для визначення поелементного впливу індикаторів ефективності політики розумних енергомереж на рівень соціально-економічного розвитку в Україні проведено регресійний аналіз. Розрахунки засвідчили, що впродовж 2006–2012 рр. в Україні спостерігався значний вплив енергоємності ВВП на індикатори економічного розвитку, а саме на обсяг чистих прямих іноземних інвестицій та рівень відкритості економіки. Однак після ратифікації Україною директив ЄС щодо розгортання розумних енергомереж (2013–2019 рр.) став очевидним позитивний вплив зниження рівня енергоємності ВВП на низку важливих індикаторів соціального розвитку країни.

Таким чином, емпірично підтверджено, що розбудова розумних енергомереж обумовлює конвергентність процесів зниження енергоємності ВВП та підвищення обсягів споживання електроенергії за рахунок зменшення її втрат в електромережах. Ці конвергентні процеси стають атракторами розвитку соціальної сфери, зростання рівнів зайнятості й якості життя населення, інноваційного розвитку соціальної інфраструктури та інтелектуалізації економіки. Ефективне використання енергії внаслідок подальшої розбудови розумних енергомереж дозволить істотно зменшити потребу у виробництві додаткових обсягів енергоресурсів.

Основні положення даного розділу опубліковано автором у роботах: [71, 134, 135, 136, 138, 139, 143, 147, 151, 170].

## РОЗДІЛ 2

# ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОВАДЖЕННЯ РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ ЕКОНОМІКИ

### 2.1. Науково-методичні підходи до оцінювання ефективності розумних енергомереж

Здійснення оцінювання є важливим аспектом розгортання розумних енергомереж. Комплексна система оцінювання дозволяє врахувати прямі та опосередковані ефекти функціонування наявної розумних енергомереж або встановити очікувану ефективність майбутніх проєктів на етапі їх розробки або відбору.

На сьогодні до найбільш поширених та репрезентативних (оскільки демонструють розбіжності в оцінювання розумних енергомереж у трьох найбільш ефективних у розбудові розумних енергомереж регіонах: США, ЄС, Китай) підходів до оцінювання ефективності розумних енергомереж належать:

1. Модель зрілості розумної енергомережі (IBM, IBM Smart Grid Maturity Model);
2. Система оцінювання розумних енергомереж Департаменту енергетики США (DOE, DOE Smart Grid Development Evaluation System);
3. Індикатори оцінювання розумних енергомереж Науково-дослідного інституту електроенергетики (EPRI, EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators),
4. Системи оцінювання переваг розумних енергомереж ЄС (EUA, EU Smart Grid Assessment Benefits Systems);
5. Індикативна система мережі «двох типів» (TTS, “Two Type” grid index system);

6. Індикативна система оцінювання розвитку мережі (GDA, Grid development assessment index system);

7. Індикативна система оцінювання пілотних проєктів розумних енергомереж (PPE, Smart grid pilot project evaluation indicator system);

8. Модель оцінювання рівня розвитку розумних енергомереж на основі диференціації попиту (DDD, Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand).

Представлені систем оцінювання розумних енергомереж є комплексними. Однак існує низка підходів до оцінювання окремих аспектів розумних енергомереж, зокрема економічної ефективності розумних енергомереж [30, 57, 76, 197, 198], ефективності і потенціалу розвитку альтернативної енергетики [59, 190], передінвестиційного оцінювання енергоефективних проєктів [55, 56, 160, 161, 198] або екологічних ефектів енергоощадливих заходів [199].

Кожна з названих систем оцінювання ефективності розумних енергомереж містить значну кількість конкретних вимірюваних показників, які ієрархічно утворюють трирівневу систему: показники першого рівня – сукупність показників, які характеризують окремий напрямок розвитку або функціонування розумної енергомережі; показники другого рівня – деталізовані показники, що характеризують окремий напрямок розвитку або функціонування розумної енергомережі; показники третього рівня – найбільш деталізовані показники, які характеризують перебіг або результат окремих процесів функціонування розумної енергомережі. У дослідженні як основу для здійснення компаративного аналізу використано показники другого рівня названих систем оцінювання розумних енергомереж.

Варто зазначити, що пріоритети у розвитку розумних енергомереж можна чітко прослідкувати за нормативно-правовою базою розгортання розумних енергомереж, сукупністю реалізованих проєктів розумних енергомереж та тенденційністю їх розбудови [74].

Зокрема, для Європи пріоритетними є:

– оптимальне функціонування енергомережі;

- оптимізація інфраструктури енергомережі;
- розвиток комунікаційних та інформаційних технологій.

Для США:

- розвиток енергомережі шляхом використання низьковуглецевих технологій;
- модернізація інфраструктури для підвищення енергоефективності.

Для Японії:

- використання еколого-безпечних технологій для створення зеленої економіки.

У КНР (Китайській Народній Республіці):

- покращення розподілу ресурсів;
- підвищення рівня безпеки та ефективності роботи енергомережі.

Розглянемо індикативний базис кожної з досліджуваних систем оцінювання розумних енергомереж.

*Модель зрілості розумної енергомережі*, запропонована компанією IBM, Американським центром продуктивності та якості (APQC) та Глобальною федерацією розумних мереж, використовується для мотивації та підтримки енергетичних компаній, які займаються розробкою відповідного виду енергетичних мереж та здійснюють інвестування у розгортання розумних енергомереж, їхнє масштабування з локального на глобальний рівень.

Моделі зрілості походять з сектору інформаційних технологій, де використовуються для визначення та вимірювання можливостей розробки програмного забезпечення протягом десятиліть. Такі моделі сприяють формуванню спільного бачення можливостей розвитку представниками галузі [117].

Модель зрілості розумної енергомережі характеризує підвищення надійності та ефективності системи, використання енергії та ступінь взаємодії між користувачами та мережею. Відповідно до бачення створення розумної

енергомережі, модель зрілості розумної енергомережі передбачає п'ятиетапну градацію, або інакше кажучи, п'ять рівнів зрілості розумної енергомережі.

Інтерпретувати рівні зрілості розумної енергомережі, згідно моделі IBM, можна наступним чином [62, 106, 111]:

1. Дослідження та ініціація – вивчення можливостей переходу від існуючої моделі енергомережі до розумної. На даному етапі характерним є формування бачення майбутніх трансформацій які на даному етапі не сформовані у конкретну стратегію або програму дій.

2. Функціональне інвестування – інвестування у один або декілька компонентів розумної енергомережі, що забезпечує часткову реалізації її функцій.

3. Крос-функціональна інтеграція – реалізація обмеженої кількості функцій розумної енергомережі, що призводить до запуску процесу взаємодії та інтеграції напрямків її функціонування.

4. Широка оптимізація (підприємства) – досягнення можливості інтегрувати інформацію та забезпечити такий рівень контролю діяльності підприємства шляхом трансформації інфраструктури та процесів, що може сформувати нові економічні чи торгівельні переваги.

5. Інновації наступної хвилі – здатність мережі повною мірою використовувати нові операційні, екологічні, суспільні та бізнес-можливості, коли вони з'являються, та активно розвиватися.

Згідно інформації [117] тісна співпраця IBM, Коаліції інтелектуальних комунальних мереж (IUNC) та Американського центру продуктивності та якості (APQC) дозволили сформувати методику IBM як таку, що формує спільне бачення на основі консенсусу представників галузі, а відтак визначає технічні, організаційні та процесні орієнтири для розвитку розумної енергомережі.

Компанія IBM тісно співпрацювала з іншими зацікавленими в розбудові розумних енергомереж компаніями. Але найбільш важливими учасниками кооперації з розроблення моделі зрілості розумної енергомережі були підприємства, які надають комунальні послуги, оскільки вони надали значний

обсяг технічної інформації та накопичених знань, які мають стратегічне значення [117].

Практичне значення моделі зрілості розумної енергомережі може розглядатися у двох аспектах: стратегічному та тактичному.

Стратегічне використання моделі зрілості розумної енергомережі [117]:

- формування спільного бачення майбутньої розумної енергомережі;
- формування комунікаційної системи між представниками галузі, внутрішніми та зовнішніми стейкхолдерами;
- використання як інструменту підготовки та прийняття рішень (на основі оцінювання) щодо інвестування в проекти розумних енергомереж;
- планування технологічного, методологічного та організаційного забезпечення готовності до трансформаційних змін енергомережі;
- залучення провідного досвіду реалізації аналогічних проектів (бенчмаркінг).

Тактичне використання моделі зрілості РЕ [117]:

- для розроблення дорожньої карти реалізації проекту або схеми розумної енергомережі;
- для оцінки та визначення пріоритетних можливостей та проектів розумних енергомереж;
- використання як основи для прийняття рішень для інвестицій в розумні енергомережі;
- вимірювання ефективності розумної енергомережі за допомогою ключових показників продуктивності (KPI).

Модель зрілості розумної енергомережі передбачає 8 компонентів, які формують аналітичну основу для планування розумної енергомережі [62, 146]:

- 1) стратегічне управління та регулювання;
- 2) організація та структура;
- 3) технологія;
- 4) соціальна та екологічна складова;
- 5) операції в мережі;



- б) ресурсне управління;
- 7) управління взаємодією з клієнтами;
- 8) інтеграція ланцюгів цінностей.

Модель зрілості розумної енергомережі з урахуванням рівня та компонентів розумної енергомережі містить наступні ключові процеси, цілі та показники) [62, 146]:

#### Рівень 1. Дослідження та ініціація:

- стратегічне управління та регулювання: формування візії розумної енергомережі, експериментальні дослідження, неформальна взаємодія з регуляторами, фінансування розроблення проєкту розумної енергомережі;
- організація та структура: ідентифікація змін, формалізація ініціатив, акумулювання знань;
- технологія: дослідження стратегічної IT-інфраструктури, конфігурація IT-забезпечення для підвищення ефективності функціонування енергомережі, розроблення методики оцінювання технологій розумної енергомережі;
- соціальна та екологічна складова: відповідність екологічним нормам, розроблення програми відновлюваних джерел енергії;
- операції в мережі: дослідження нових пристроїв та технологій; підтвердження концепції та тестування компонентів, дослідження управління відключенням та розподіленням енергії унаслідок автоматизації підстанцій, побудова бізнес-моделі на функціональному рівні, безпечність мережі;
- ресурсне управління: здійснення аналізу вартості нових систем; дослідження систем віддаленого моніторингу активів, дослідження проактивного/прогнозного обслуговування активів;
- управління взаємодією з клієнтами: вивчення трансформації клієнтського досвіду з використанням розумної енергомережі, детальна сегментація клієнтів (за географією, доходом), управління навантаженням комерційного та індустріального секторів;
- інтеграція ланцюгів цінностей: визначення активів у ланцюзі вартості, що сприятимуть управлінню мережею (балансування навантаження тощо),

виявлення розподілених джерел енергогенерації та наявних можливостей їх підтримки, розроблення стратегії диверсифікації ресурсного портфелю.

Рівень 2. Функціональне інвестування:

– стратегічне управління та регулювання: затвердження стратегії розвитку та бізнес-плану розумної енергомережі, планування інвестицій та бюджетування, взаємодія з регуляторами та стейкхолдерами;

– організація та структура: організація ресурсів відповідно до візії проєкту, формування проєктної команди планування розумної енергомережі, оцінювання продуктивності розумної енергомережі;

– технологія: інвестиції в ІТ-технології відповідно до конфігурації ІТ-інфраструктури, застосування процедури відбору технологій, стандартизація, концептуалізація інформаційно-комунікаційної стратегії, впровадження технологій інформаційної безпеки;

– соціальна та екологічна складова: запровадження програм енергоефективності, узгодження фінансових, екологічних та соціальних цілей розбудови розумної енергомережі, забезпечення доступності інформації для споживачів;

– операції в мережі: проєктування автоматизації підстанцій, розробка та впровадження схем відновлення енергомережі, запуск дистанційного моніторингу основних активів;

– ресурсне управління: розробка стратегії управління трудовими ресурсами, впровадження підходів до відстеження, інвентаризації, руху активів під час створення розумної енергомережі, розробка інтегрованого GIS (геоінформаційні системи) та RAM (системи ресурсного управління) моніторингу;

– управління взаємодією з клієнтами: пілотний запуск AMI (інфраструктура розширеного вимірювання) / AMR (автоматизоване вимірювання), моделювання механізмів безпечного інвестування в удосконалення енергомережі, інтенсифікація передачі даних щодо

енергоспоживання в мережі, оцінка впливу нових послуг та процесів на функціонування енергомережі;

– інтеграція ланцюгів цінностей: розробка та пробне використання віддаленого енергоспоживання, повторне визначення ланцюжка вартості для формування «екосистеми», пілотні інвестиції для підтримки диференціації ресурсного портфеля, програми для просування клієнтської розподіленої генерації.

Рівень 3: Крос-функціональна інтеграція:

– стратегічне управління та регулювання: інтеграція стратегії розумної енергомережі до корпоративної стратегії, розширена модель управління розумною мережею, консенсус з регуляторними органами щодо реалізації та фінансового забезпечення розумної енергомережі;

– організація та структура: застосування розумної енергомережі для організаційних змін, вимірювання ефективності розумної енергомережі на основі збалансованої системи показників, формування коопераційної та інтеграційної моделей взаємодії;

– технологія: ідентифікація та врахування впливу розумної енергомережі на бізнес-процеси, застосування розвиненої аналітики;

– соціальна та екологічна складова: сегментована та спеціальна інформація для клієнтів (включаючи екологічні та соціальні вигоди), програми стимулювання непікового енергоспоживання;

– операції в мережі: обмін даними між функціями/системами, запровадження контрольної аналітики для підтримки прийняття рішень та системних розрахунків, перехід від оціночного планування до планування, що ґрунтується на фактах, тотальне охоплення клієнтів розумним вимірюванням як необхідний елемент управління розумною мережею;

– ресурсне управління: продуктивність компонентів та аналіз трендів, розвиток СВМ (Condition Based Mgmt.) ключових компонентів, інтеграція RAM в управління активами, мобільність робочої сили, моделювання інвестиційних активів для ключових компонентів розумної енергомережі;

– управління взаємодією з клієнтами: високий ступінь сегментації клієнтів, двостороннє вимірювання, дистанційне відключення та підключення, дистанційне управління навантаженням, виявлення відключень на підстанції, участь клієнтів в управлінні навантаженням, нові інтерактивні продукти та послуги;

– інтеграція ланцюгів цінностей: комплексне планування ресурсів, доступність ринкової та споживчої інформації для використання клієнтськими системами енергоспоживання, доступність нових ресурсів-замінників на енергоринку.

#### Рівень 4: Широка оптимізація (підприємства):

– стратегічне управління та регулювання: розумна енергомережа як драйвер стратегічного (і корпоративного) розвитку, розумна енергомережа як ключова компетенція, активізація участі зовнішніх стейкхолдерів у стратегічному розвитку розумної енергомережі, збільшення кількості схем фінансування розумної енергомережі (у тому числі енергоінновацій);

– організація та структура: організаційні трансформації на основі інтегрованих систем управління та контролю, формування управлінських важелів для стейкхолдерів на основі тотального моніторингу в енергомережі;

– технологія: наскрізні потоки даних, бізнес-процеси оптимізовані зі стратегічною IT-інфраструктурою, прогнозне та імітаційне моделювання функціонування розумної енергомережі в наближеному до реального часу режимі;

– соціальна та екологічна складова: екоінвестиції, система екологічної звітності, програми ліквідації пікового навантаження, масштабування проєктів розподіленої енергогенерації, управління кінцевим енергоспоживанням пристроями споживача;

– операції в мережі: інтеграція розумної енергомережі у виробничі процеси, динамічне управління мережею, тактичне прогнозування на основі фактичних даних, автоматизоване прийняття рішень;

- ресурсне управління: контроль підприємством над активами (місцерозташування, статус, взаємозв'язки, доступність), моделювання активів (потреби в активах) на основі фактичних даних, оптимізація активів;

- управління взаємодією з клієнтами: використання аналітики в системах ціноутворення, програми формування клієнтських рахунків, автоматизована відповідь на цінові сигнали, щоденна актуалізація даних клієнтів, клієнтське сегментування шляхом моделювання;

- інтеграція ланцюгів цінностей: прибутковість допоміжних послуг енергомережі, оптимізаційне моделювання розширення розумної енергомережі для нових ресурсів та ринків, можливість комунікації з мережею вищого порядку.

#### Рівень 5: Інновації наступної хвилі:

- стратегічне управління та регулювання: всеохоплююча стратегія розвитку розумної енергомережі, оптимізація регуляторної політики, нові бізнес-моделі;

- організація та структура: максимальне залучення стейкхолдерів до трансформаційних процесів на основі розумних енергомереж, сприяння організаційних змін створенню нових послуг та компаній, формування інноваційної культури;

- технологія: автономні обчислення, машинне навчання, передові системи стійкості енергомережі;

- соціальна та екологічна складова: актуалізація балансу фінансових, екологічних та соціальних цілей, автономність клієнтського енергоспоживання, індивідуальна аналітика, управління розподіленою енергогенерацією;

- операції в мережі: самовідновлення системи, система автоматизованих системних рішень, оптимізоване тарифоутворення та регуляторна політика, всебічна динамічна система управління;

- ресурсне управління: оптимізація використання активів учасниками ланцюжка поставок;

– управління взаємодією з клієнтами: клієнтське управління кінцевого енергоспоживання, виявлення та локалізація відключення, онлайн-доступ до даних споживачів, мобільні програми та регулювання CO<sub>2</sub>;

– інтеграція ланцюгів цінностей: узгодженість енергоменеджменту впродовж ланцюга поставок, узгодженість контролю вхідних енергоресурсів, розподіленість ресурсів на локальних ринках.

*Система оцінювання розумної енергомережі Департаменту енергетики США (DOE).* Дана система оцінювання розвитку розумних енергомереж подібно до моделі IBM поєднує у собі два підходи. По-перше, бачення розумної енергомережі, стратегічних напрямків її розвитку та очікуваних кінцевих цілей. По-друге, індикатори оцінювання ефективності розумної енергомережі.

Система оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE містить наступні шість параметрів [21, 111, 145]:

- 1) можливість поінформованої участі споживачів;
- 2) використання усіх варіантів енергогенерації та енергозбереження;
- 3) застосування нових продуктів, послуг та ринкових можливостей;
- 4) забезпечення відповідної якості енергії залежно від потреб;
- 5) оптимізація використання ресурсів та операційна ефективність;
- 6) забезпечення стійкості мережі до надзвичайних ситуацій чи умов експлуатації.

Названі параметри оцінювання ефективності розумної енергомережі дозволяють відстежити дві ключові цілі, які мають бути досягнуті при розробці та впровадженні проектів розгортання розумних енергомереж. У роботі [111] з посиланням на Міністерство енергетики США дані цілі визначені як:

- 1) надання споживачам послуг вищої якості та додаткових переваг шляхом залучення максимально можливої кількості споживачів до участі у впровадженні та експлуатації розумної енергомережі;
- 2) забезпечення гнучкості енергомережі для збереження її функціональних характеристик у випадку настання надзвичайних ситуацій.

Виходячи з шести характеристик інтелектуальної мережі, Міністерство енергетики США пропонує систему оцінювання, до якої входить низка показників. Кількість показників є варіативною залежно від виду проєкту розумної енергомережі, який оцінюється. Детальне оцінювання проєкту розумної енергомережі може потребувати розрахунку 81 індикатора. З метою систематизації показників оцінювання у роботі використано укрупнену методику розрахунку: використання показників другого рівня, розділених на чотири групи (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Система оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE [11, 21, 61, 111, 120]

Група показників	Показники	Група показників	Показники
<b>Регіональні та національні особливості (режими координування)</b>	динамічне ціноутворення	<b>Інформаційні мережі та фінанси</b>	Комп'ютерна (інформаційна) безпека
	оперативний онлайн обмін даними		Відкрита архітектура/стандарти
	політика (правила) енергорозподілу		Венчурні інвестиції
	енергетична політика та регулювання		
<b>Технологія розподілених енергоресурсів</b>	ресурсне забезпечення експлуатації енергосистеми	<b>Транспортна та розподільча інфраструктура</b>	надійність системи транспортування та розподілу енергії
	обслуговування мікро-мережі		автоматизація
	залучення розподіленої енергогенерації		передові системи вимірювання
	гібридні та електричні транспортні засоби		коефіцієнти потужності
	відповідність немережевого обладнання для забезпечення енергогенерації		ефективність виробництва, транспортування та розподілу енергії
	динамічна потужність мережі		
	якість електроенергії		

Система оцінювання ефективності розумної енергомережі DOE, попри поділ показників на чотири групи, формує систему показників, які можна

класифікувати на: показники створення енергомережі (технічні показники) та вартісні показники.

Технічні показники характеризують властивості розумної енергомережі, які якісно відображають ступінь розвитку та прогрес у її створенні. Вартісні показники кількісно описують результати, яких має бути досягнуто у результаті розроблення та функціонування розумної енергомережі.

Суттєвою перевагою використання даної оціночної моделі є отримання результатів у формі кількісної оцінки, що необхідно для аналізу ефективності будівництва та експлуатації розумної енергомережі.

*Індикатори оцінювання розумної енергомережі Науково-дослідного інституту електроенергетики (EPRI).* Американський Науково-дослідний інститут електроенергетики розробив систему побудови розумної енергомережі та оцінки проєктів на основі матриці оцінювання розвитку розумної енергомережі. Система індикаторів використовується для оцінки усього процесу розгортання розумних енергомереж та створення окремих проєктів, спрямована на оцінку рівня розгортання та переваг розумних енергомереж.

Порівняно з характеристиками розумної енергомережі, запропонованими Міністерством енергетики США (DOE), EPRI підкреслює важливість функції самовідновлення мережі. Це означає, що під час використання EPRI фокус уваги зміщується в бік технічних параметрів мережі, порівняно з DOE. На основі цього можна зробити висновок, що цільове використання оціночної моделі EPRI є функціонально обмеженим.

Комбінацію напрямків розвитку розумних енергомереж та відповідних їм індикаторів оцінювання ефективності показано в таблиці 2.2.

*Системи оцінювання переваг розумних енергомереж ЄС (EUA).* Ключовими параметрами, за якими здійснюється оцінка розумних енергомереж у ЄС є характеристики енергоринку, безпечність, якість електроенергії та вплив на навколишнє природне середовище. Увага до важливості охорони навколишнього середовища та зростаючих викликів змушує європейську розумну енергомережу концентруватися на взаємозв'язку відновлюваної та розподіленої



енергогенерації, надійності, якості електроенергії та створення доданої вартості послуг мережі для всіх замовників [61, 111].

Таблиця 2.2 – Показники оцінювання ефективності розумних енергомереж згідно оціночної системи EPRI [11, 31, 111]

Елементи системи створення розумних енергомереж	Показники оцінки створення розумних енергомереж
Можливості поінформованої участі споживачів	відсоток керованого навантаження; кількість клієнтів (споживачів), які використовують системи енергогенерації та енергозберігання
Застосування усіх можливостей виробництва та зберігання енергії	відсоток розподіленої енергогенерації та зберігання, які можуть контролюватися безпосередньо пропорцією розподіленої енергогенерації на основі комбінованого вироблення тепла та електроенергії або поновлюваних джерел енергії тощо
Застосування нових продуктів, послуг та ринкових можливостей	кількість нових товарів, кількість енергії або її потужність, що постачається в якості допоміжної, кількість і частка щорічних продажів транспортних засобів з гібридною або електричною силовою установкою тощо
Забезпечення якості енергії залежно від потреб	зменшення втрат в енергетичній системі та зниження частоти відмов обладнання; кількості під'єднаних мікромереж, їхня частка і величина загального навантаження тощо.
Оптимізація використання ресурсів та операційна ефективність	рівень використання активів або коефіцієнт навантаження (на енергомережу), зменшення втрат від скорочення відмов мережевого обладнання тощо
Запобігання перебоєм в системі завдяки функціям автоматизації та відновлення	відсоток мережевих вузлів та інтерфейсів клієнтів, які відстежуються в режимі реального часу, підвищення надійності статистики, уникнення відключень за рахунок поліпшення моніторингу та розгортання систем управління попитом і розподіленої енергогенерації тощо.
Стійкість проти усіх видів загроз	кількість несанкціонованих проникнень до системи управління попитом (навантаженням), кількість успішних кібератак, скорочення часу відновлення після відключень системи тощо

Європейська модель розумних енергомереж фокусується на безперебійному постачанні електричної енергії до споживачів з дотриманням передових вимог безпеки, використовуючи інноваційні продукти та послуги, інтелектуальний моніторинг, контроль, комунікації, технології самодіагностики. Європейська розумна енергомережа конструюється за принципом максимально можливого залучення споживачів до процесу розподіленої генерації енергії, покладаючи на них роль не лише споживача, а також постачальника електроенергії.

На підставі вищеописаних характеристик розумної енергомережі Європейська мережа операторів системи передачі (ENTSO) та Європейська мережа операторів розподільної мережі (EDSO) опублікували систему оцінювання переваг розумних енергомереж, якою визначено дев'ять груп показників («переваг»), які максимально містять 185 індикаторів оцінювання ефективності розумних енергомереж.

Основними перевагами створення розумних енергомереж, які мають оцінюватися, відповідно до EUA є [11, 111]:

- 1) підвищення стійкості енергосистеми;
- 2) достатність пропускної здатності електромережі для розподілу та транспортування електроенергії, виробленої з усіх енергоджерел, до кінцевого споживача;
- 3) гармонізація та стандартизація процедур підключення до мережі, що надають доступ до неї будь-яким користувачам;
- 4) підвищення рівня безпеки та якості енергопостачання;
- 5) підвищення ефективності та покращення обслуговування в процесі функціонування електромережі та здійснення електропостачання;
- 6) ефективна підтримка загальноєвропейського ринку електроенергії за допомогою контролю навантажень;
- 7) узгоджене планування та розвиток мереж із залученням спільної європейської, регіональної та місцевої енергомереж;
- 8) економічна ефективність реалізованих (запроваджених) рішень
- 9) забезпечення нових бізнес-моделей та розвиток інноваційних продуктів та послуг.

На основі показників, які входять до даних груп, здійснюється оцінка переваг (вигоди) від створення розумної енергомережі. Функція даної системи оцінювання полягає у визначенні доцільності застосування та розробці ефективних технологій розумних енергомереж, оцінці та ранжуванні проєктів створення розумних енергомереж для відбору найбільш ефективних з них [111].

*Індикативна система мережі «двох типів» (TTS)* застосовується у Китайській Народній Республіці (КНР) як модель для оцінювання ефективності розумних енергомереж. Фокус при використанні моделі спрямований на ефективному використанні ресурсів. Мета даної системи оцінювання полягає у визначенні параметрів збалансованої енергомережі, адаптованої до умов (стану) соціально-економічного розвитку та спрямованої на оптимізацію її взаємодії з навколишнім середовищем. По суті, система TTS є аналогом концепції сталого розвитку, яка застосовується в енергетичному секторі КНР.

На основі загальноприйнятої оцінки надійності, безпеки та економічності електромереж, система TTS додатково містить параметри, що описують економію ресурсів та сприятливість середовища, які трансформуються у кількісні показники.

Система TTS містить узагальнені показники, які характеризують загальну ситуацію розвитку енергомереж, та конкретні показники, що відображають перебіг окремих процесів.

До моделі оцінювання TTS входять [111]:

- аналітичні показники (індекси) з позицій планування, конструювання, будівництва, складання розкладу та побудови процесів (операцій);
- аналіз прямих та опосередкованих показників (індексів) стосовно об'єкту (розумної енергомережі);
- аналіз реферальних та обмежувальних показників (індексів)
- аналіз індексів ефективності ресурсозбереження та захисту природного навколишнього середовища.

Використання моделі ґрунтується на застосуванні деревовидної ієрархії цілей, де спочатку визначаються значення конкретних показників, у кількісному вимірі, а потім формується система узагальнених показників. Таким чином, алгоритм розрахунку характеризується рухом від процесу до результату та від дій до ефекту. Модель оцінювання спочатку передбачає аналіз робіт, які було здійснено у сфері планування енергомережі, її розробки, будівництва, виробничих процесів та технічних перетворень (трансформацій), а потім формує

вимірювані показники (індекси), після чого вони (показники) аналізуються з позицій ефективності.

Таблиця 2.3 – Підхід TTS до оцінювання ефективності розумних енергомереж [111, 137]

Вимірювані показники	Етап планування	<ul style="list-style-type: none"> <li>- інтенсивність мережі,</li> <li>- масштаб мережі,</li> <li>- передові технологій передачі даних (запитів)</li> </ul>
	Етап будівництва	<ul style="list-style-type: none"> <li>- оптимізація,</li> <li>- охорона довкілля</li> </ul>
	Етап функціонування	<ul style="list-style-type: none"> <li>- диспетчеризація операцій,</li> <li>- технологічні інновації,</li> <li>- управління попитом (балансування навантаження в мережі)</li> </ul>
Показники ефективності	Економія ресурсів	<ul style="list-style-type: none"> <li>- економія енергоресурсів,</li> <li>- збереження земельних ресурсів,</li> <li>- споруди та матеріал</li> </ul>
	Екологічна чистота	<ul style="list-style-type: none"> <li>- скорочення викидів,</li> <li>- екологічне управління</li> </ul>

*Індикативна система оцінювання розвитку мережі (GDA).* Система індексної оцінки розвитку енергомережі, яка застосовується у КНР та фокусується на здійсненні оцінювання розвитку енергомережі у таких напрямках як: економічний розвиток, зростання потужності системи, обсяги (масштаб) будівництва, - пропонуючи спосіб та модель кількісного оцінювання розумної енергомережі.

Перший варіант GDA формувався раніше, ніж було чітко визначено поняття та складові розумних енергомереж, на етапі, коли відбувалися попередні дискусії про те, що має бути визначено як розумна енергомережа, які принципи мають бути закладені у її основу, та яким чином відбуватиметься взаємодія елементів розумної енергомережі між собою та зовнішнім середовищем.

Еволюція GDA призвела до формування напрямків, за якими здійснюється оцінка розумної енергомережі. До базових факторів, які традиційно використовувалися для оцінювання енергомережі, зокрема, безпечності та

економічності було додано соціальні та екологічні фактори. Спрощену структуру показників системи GDA показано у таблиці 2.4.

Система GDA була розбита на безпекову, економічну та інші підсистеми. Були визначені ієрархії підсистем, з яких економічна оцінка розвитку енергомережі використовує метод аналізу середовища функціонування (data envelopment analysis), для оцінки якості використовується метод ентропії для визначення вагомості індексів, а метод TOPSIS використовується для обчислення результатів оцінки, коефіцієнт кореляції застосовується для обчислення взаємозалежності індексів, які використовуються у системі оцінки, для побудови інтелектуальної моделі оцінки використовується комбінація методів кількісного та якісного аналізу (АНР). Остаточну комплексну оцінку всієї енергосистеми можна отримати шляхом підсумкового всеохоплюючого аналізу зважених результатів оцінки підсистем [111].

Таблиця 2.4 – Структура показників індикативної системи оцінювання розвитку енергомережі [111]

Напрямки оцінювання	Показники
Безпека	структурна безпека, експлуатаційна безпека, стабільність, достатність та стійкість
Економіка	переваги (вигоди) електромереж, ефективність нового будівництва та економічність створення електромереж
Якість	якість експлуатації та побудови енергомережі, можливість економії ресурсів у енергомережі
Координація	координація ресурсів, соціальна гармонія, економічна координація, екологічна координація
Інтелектуальність	інформаційна технологія як основа розумної енергомережі, здатність підтримувати технологію РЕ, ефект від застосування розумних технологій

Враховуючи різноманітність та складність показників, система GDA внесла інноваційні елементи у методику оцінювання. Дана методика використовує багат шаровий метод змішаної оптимізаційної оцінки. Спираючись на традиційний середньозважений алгоритм та метод експертного балу, ця система запропонувала модель оцінювання, яка використовує поєднання об'єктивних та суб'єктивних параметрів.

*Індикативна система оцінювання пілотних проєктів* розумних енергомереж (*RPE*) ґрунтується на розподілі проєктів розумних енергомереж на три групи: [81, 111]

- інтелектуальні підстанції (або підсистеми);
- системи автоматизації розподілу (автоматизовані розподільчі системи);
- аналітичні системи (системи збирання інформації про використання енергії).

Відповідно до даної класифікації проєктів у сфері розумних енергомереж системою RPE передбачено здійснення оцінки їхньої ефективності за допомогою низки показників. На основі аналізу таких аспектів як: технічний рівень, економічні та соціальні переваги та практичність, - з'являється можливість узгодити, узагальнити та уніфікувати пілотні проєкти розгортання розумних енергомереж.

Оцінка пілотного проєкту розумної енергомережі враховує критерії SMART:

- Specific – особливості;
- Measurable – вимірюваність;
- Attainable – досяжність;
- Relevant – значимість;
- Trackable – контрольованість.

Система оцінювання пілотних проєктів розумних енергомереж використовує поєднання методів кількісного та якісного аналізу, fuzzy-аналізу для розрахунку підсумкових значень індексів.

Відповідно до поділу усієї сукупності пілотних проєктів розумних енергомереж на три групи їхнє оцінювання відбувається із застосуванням різного набору показників (індексів), проте у межах спільних (однакових) груп індикаторів.

Інтелектуальні (розумні) підстанції. До даної групи належать невеликі підстанції напругою 110 кВ і вище. Технологічна, економічна, соціальна складові та придатність до практичної реалізації можуть бути оцінені кількісно та якісно.

Система індикаторів (індексів) для оцінки даної категорії проектів розбудови розумних енергомереж показано в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Система індикаторів оцінювання розумних підстанцій [111]

Показники першого рівня	Показники другого рівня	Показники третього рівня
Технологічні	Інтерактивні показники	- інформаційна стандартизація, - стандартизація конфігурації, - функціональна взаємодія
	Розширені показники	- розумне обладнання, - точність вимірювання, - простота експлуатації та обслуговування
	Показники якості	- допоміжне обладнання, - заходи оптимізації
Економічні	Показники вартості/витрат	- витрати на будівництво, експлуатацію та обслуговування
Соціальні	Показники соціального впливу	- економія земельних ресурсів, - економія матеріалів

Автоматизовані розподільчі системи. Системи автоматизації розподілу енергії, спрямовані на підвищення надійності функціонування розподільчих мереж та якості постачання енергії, а також зростання показників безпечності енергомережі, у тому числі пов'язаних з необхідністю реагування на надзвичайні ситуації. Типові показники, які використовуються для оцінювання проектів автоматизованих розподільчих мереж у системі РРЕ наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Система індикаторів оцінювання автоматизованих розподільчих систем [111]

Показники першого рівня	Показники другого рівня	Показники третього рівня
1	2	3
Технічні	Показники безпеки	- структура мережі, - вторинне обладнання
	Показники самовідновлення	- порушення обробки (розподілу) потужності
	Показники якості	- якість електроенергії
	Інтерактивні показники	- енергетичний інтернет
	Розширені показники	- охоплення обладнанням, - програмне забезпечення розподільної мережі, - інтелектуальна функція

## Продовження таблиці 2.6

1	2	3
Економічні	Показники зниження витрат	- операційні та експлуатаційні витрати
	Показники підвищення ефективності	- зростання постачання енергії
	Показники економічної ефективності	- коефіцієнт економічної ефективності
Соціальні	Показники впливу на навколишнє середовище	- економія енергії, - скорочення викидів

*Аналітичні системи (системи збору інформації про використання енергії).*

Мета даних систем – збір інформації про споживання електричної енергії та взаємодія системи та споживачів, що є однією з найважливіших характеристик розумної енергомережі. Типові показники, які використовуються для оцінювання аналітичних систем показано в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Система індикаторів оцінювання аналітичних систем [111]

Показники першого рівня	Показники другого рівня	Показники третього рівня
Технічні	Показники безпеки	- надійність системи, - показники безпеки
	Інтерактивні показники	- енергетичний інтернет
	Розширені показники	- сукупний відсоток акумульованих даних, - передплачені витрати
	Показники якості	- доступність каналів, - оптимізація продуктивності, - оптимізація управління
Економічні	Показники зниження витрат	- підвищення продуктивності праці та ефективності інвестицій
	Показники підвищення ефективності	- зменшення втрат на лінії
	Показники економічної ефективності	- коефіцієнт економічної ефективності
Соціальні	Показники впливу на навколишнє середовище	- економія енергії, - скорочення викидів

*Модель оцінювання рівня розвитку розумних енергомереж на основі диференціації попиту (DDD).*

Модель оцінювання рівня розвитку розумних енергомереж на основі диференціації попиту (Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based



on Differentiation of Development Demand) фокусується на визначенні рівня розвитку розумних енергомереж на певній території, що дозволить визначити необхідність майбутніх дії щодо підвищення ефективності її функціонування, а також допоможе у вирішенні питання розробки нових розумних енергомереж з використанням набутого досвіду та з урахуванням необхідності спрощення інтеграційних процесів для поєднання розрізнених розумних енергомереж.

При розгляді системи DDD необхідно зазначити, що розвиток розумних енергомереж у Китаї поділяється на три етапи [74]:

- пілотний етап планування;
- етап комплексного будівництва;
- етап управління та вдосконалення

Система DDD має дві складові, що, у свою чергу, поділяються на групи показників за окремими напрямками. Складові називаються прошарками. Першим є ефектний прошарок (прошарок ефектів), а другим – базовий прошарок.

Прошарок ефектів, спрямований на розвиток розумних енергомереж та сприяє виконанню завдань з їх розроблення. Базовий прошарок сфокусований на питаннях будови розумної енергомережі.

До прошарку ефектів належать показники таких напрямків:

- безпека та надійність;
- економічність та ефективність;
- екологічність (екологічно чисті та зелені технології);
- відкритість та взаємодія [74].

Дані напрямки у методиці оцінювання рівня розвитку розумних енергомереж розцінюються як показники першого рівня, що деталізуються шляхом введення конкретних показників, другого та третього рівня, утворюючи деревоподібну ієрархічну індикативну систему.

Доцільно деталізувати сукупність пропонованих авторами системи DDD показників за прошарком ефектів перш, ніж перейти до аналізу базового

прошарку. Деталізацію показників другого та третього рівня буде здійснено із зазначенням приналежності до показників першого рівня та відповідного прошарку.

Безпека та надійність. Прошарок ефектів. Безпечна та надійна робота – це ключові завдання майбутнього розвитку електромережі. До даної групи показників належать: безпека живлення та надійність постачання електроенергії, підвищення безпеки, стабільність (у тому числі систем із залученням альтернативних енергоресурсів [48]) та запобігання аварійності великих електромереж. Також до цієї групи належить комплекс показників, які характеризують безпечність інформаційно-комунікаційних технологій, що використовуються для забезпечення функціонування розумних енергомереж [74, 99]. Систему показників безпеки та надійності розумної енергомережі згідно DDD показано в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Система індексів безпеки та надійності [74, 99]

Показники другого рівня	Показники третього рівня	Код
Безпека та надійність електромережі	Кількість аварій при транспортуванні електроенергії	E1
	Кількість аварій при перетворенні енергії	E2
	Швидкість самовідновлення розподільної мережі	E3
	Відсоток випадків самовідновлення розподільної мережі	E4
	Надійність джерела живлення (міський користувач)	E5
	Надійність джерела живлення (сільський користувач)	E6
Безпечність передавання інформації	Відсоток безпечних операцій інформаційно-комунікаційної системи	E7
	Кількість інформаційних подій	E8

Економічність та ефективність. Прошарок ефектів. До даної групи показників входять індикатори, які відповідають за підвищення ефективності роботи енергосистеми та ефективності передачі енергії, зниження експлуатаційних витрат та сприяння раціональному використанню енергоресурсів та активів [74, 99].

Система індексів економії та ефективності електромережі переважно складається з трьох аспектів:

- економічні вигоди;
- ефективність мережі;
- ефективність роботи персоналу [74].

Детально показники даної групи другого та третього рівня показано в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Система індексів економічності та ефективності [74, 99]

Показники другого рівня	Показники третього рівня	Код
Економічні вигоди	Дохід від послуг з доданою вартістю	E9
	Відновлення електропостачання	E10
	Коефіцієнт справедливого споживання електроенергії	E11
Ефективність мережі	Річне максимальне навантаження	E12
	Відсоток максимального навантаження ліній електропередачі	E13
	Середньорічний відсоток експлуатації ліній (	E14
	Річний рівень максимального навантаження основного трансформатора (перетворення енергії)	E15
	Річний середній еквівалентний рівень навантаження (експлуатації) основного трансформатора	E16
Ефективність роботи персоналу	Ефективність персоналу на стадії передачі	E17
	Ефективність персоналу на стадії трансформації	E18
	Ефективність персоналу міських розподільчих мереж	E19
	Загальна продуктивність праці	E20

Екологічність (екологічно чисті та зелені технології). Прошарок ефектів.

Дана група показників спрямована на оцінювання таких аспектів функціонування розумних енергомереж, як: покращення структури енергії, підвищення рівня електрифікації, масштаби розвитку чистої енергії та оптимізація її конфігурації в широкому діапазоні, заміна отриманої з викопних джерел енергії на екологічно безпечну. Таким чином, одним із завдань розумних енергомереж є створення та реалізація умов, за яких чиста енергія стане домінуючою енергією в майбутньому [74, 99].

Детально показники другого та третього рівня даної групи показано в таблиці 2.10.

Відкритість та взаємодія. Прошарок ефектів. Дана група показників характеризує процеси використання інтелектуальних та інформаційно-

комунікаційних технологій для забезпечення гнучкості мережі та підвищення її експлуатаційних характеристик.

Таблиця 2.10 – Система індексів екологічності [74, 99]

Показники другого рівня	Показники третього рівня	Код
Виробництво зеленої енергії	Частка виробництва енергії з відновлюваних джерел	E21
	Коефіцієнт часу використання відновлюваної енергії	E22
	Коефіцієнт використання енергії вітру	E23
	Розподілена енергопроникність	E24
Транспортування зеленої електроенергії	Використана площа на генерацію одиниці електрики	E25
	Площа, збережена розумною енергетикою	E26
	Відсоток сукупних втрат енергії при транспортуванні	E27
Споживання зеленої електроенергії	Економія енергії за рахунок управління споживанням	E28
	Частка зеленої енергії у сукупному енергоспоживанні	E29
	Коефіцієнт заміщення енергогенерації	E30

Система показників відкритості та взаємодії енергомереж встановлюється з чотирьох аспектів [74, 99]:

- прозорість електромережі;
- відкритість електромережі;
- якість обслуговування;
- інтерактивний ефект.

Показники другого та третього рівня даної групи показано в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Система індексів відкритості та взаємодії [74]

Показники другого рівня	Показники третього рівня	Код
1	2	3
Прозорість електромережі	Глибина розкриття інформації	E31
	Швидкість оновлення інформації	E32
	Зручність отримання інформації	E33
Відкритість електромережі	Темпи зростання обсягу електроенергії на енергоринку	E34
	Інвестиції у відкритість енергетичного бізнесу	E35
	Масштаб та пропорція закупівлі електроенергії крупними споживачами	E36
	Повнота доступу до стандартної системи усіма групами споживачів	E37
Якість обслуговування	Індекс оцінки якості обслуговування	E38

## Продовження таблиці 2.11

1	2	3
Інтерактивний ефект	Темп зростання максимального енергоспоживання	E39
	Частка електроенергії, що споживається у пікові години	E40
	Економія енергії за рахунок управління споживанням	E41
	Можливості моніторингу та контролю навантаження	E42
	Частка використання електричних транспортних засобів	E43

До базового прошарку належать показники таких напрямків [74]:

- автоматизація;
- взаємодія;
- інформатизація.

Показники другого та третього рівня базового прошарку показано в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Система індексів автоматизації, взаємодії та інформатизації [74]

Показники другого рівня	Показники третього рівня	Код
1	2	3
Індексна система автоматизації		
Автоматизація передачі (транспортування)	Загальна ємність пристроїв передачі змінного струму	B1
	Частка енергозберігаючих ліній передачі	B2
	Застосування технологій зниження аварійності	B3
	Частка ліній, де застосовуються технології моніторингу	B4
	Частка ліній, де застосовуються інтелектуальні технології інспектування	B5
Автоматизація підстанцій	Частка розумних підстанцій	B6
	Забезпечення (охоплення) автоматизацією підстанцій	B7
	Забезпечення (охоплення) моніторингу стану трансформаторного обладнання	B8
Автоматизація розподілу	Забезпечення (охоплення) автоматизації розподілу	B9
	Забезпечення (охоплення) автоматизації лінії передач	B10
	Забезпечення (охоплення) аварійної ремонтпридатності платформи енергорозподілу	B11
	Забезпечення (охоплення) автоматизації терміналу енергорозподілу	B12
Автоматизація диспетчеризації	Охоплення системи управління диспетчерською мережею на регіональному рівні	B13
	Охоплення системи планування режиму очікування на регіональному рівні	B14
	Охоплення подвійного доступу до мережі передачі даних	B15
	Швидкість доступу до термінального обладнання мережі передачі даних	B16
	Охоплення вторинної системи безпеки	B17

Продовження таблиці 2.12

1	2	3
Індексна система взаємодії		
Взаємодія при використанні енергії	Охоплення системами збору інформації	B18
	Охоплення інтелектуальним амперметром	B19
	Охоплення платформи управління енергомережею	B20
	Метод реакції попиту на ціни на електроенергію	B21
	Площа щільності інтерактивного бізнес-залу	B22
Електричні транспортні засоби	Щільність станцій заряджання	B23
	Лінійна щільність наповненості шосе станціями заряджання	B24
	Ступінь відповідності автомобіля та зарядної станції	B25
Широкомасштабний доступ до нових джерел енергії	Охоплення нової системи прогнозування енергії	B26
	Швидкість освоєння вітрових та фотоелектричних мереж	B27
	Питома вага нових встановлених енергетичних потужностей	B28
Розподілене енергопостачання	Частка встановленої потужності розподіленої енергогенерації	B29
	Прогноз швидкості розповсюдження розподіленої енергогенерації	B30
Індексна система інформатизації		
Розбудова комунікаційної мережі	Охоплення підстанції (понад 35кВ) оптико-волоконною мережею	B31
	Кабельне покриття магістральної мережі зв'язку	B32
	Потужність пропускної здатності мережевої платформи передачі зв'язку	B33
	Кабельне покриття мережі зв'язку 10 кВ	B34
	Відсоток підключення клієнтів до PE	D35
Інформаційна структура	Охоплення PE-ERP-системою	B36
	Система автоматичного моніторингу обладнання інформаційного зв'язку	B37
	Відсоток доступності інформаційної мережі	B38
	Рівень доступності бізнес-систем	B39

Ураховуючи наявність взаємозв'язків між показниками методики, які входять до прошарку ефектів (показників першого рівня) та базового прошарку (показників першого рівня), у рамках системи DDD її авторами шляхом кореляційного аналізу визначено зв'язок між показниками другого рівня прошарку ефектів та показниками третього рівня базового прошарку. Результати наведено в табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Зв'язок між показниками прошарку ефектів [74]

Показники другого рівня прошарку ефектів	Показники третього рівня базового прошарку
1	2
Безпечність та надійність електромережі	B1, B3~B14, B26, B27, B30
Безпека (комунікаційної) інформації	B15~B17, B31~B34, B37~B39
Економічні переваги	B18~B21, B23~B25, B35

Продовження таблиці 2.13

1	2
Ефективність енергомережі	B1, B13, B21
Ефективність персоналу	B5~B9, B11~B13, B36
Виробництво зеленої електроенергії	B13, B26~B28
Транспортування (передача) зеленої енергії	B2, B6
Споживання зеленої електроенергії	B20, B21, B23~B25
Прозорість мережі	B21, B22
Відкритість мережі	B23~B25, B29
Якість обслуговування	B11, B20, B22
Ефект взаємодії	B18, B21~B25

Модель системи DDD є авторською методикою, розробленою групою китайських вчених, та наразі має обмежене застосування. Однак пропонується система індексів (показників) забезпечує можливість оцінювання рівня розвитку розумних енергомереж у рамках окремої території (регіону), що є суттєвою її перевагою перед більшістю досліджуваних систем оцінювання розумних енергомереж.

## **2.2. Методичний інструментарій компаративного аналізу систем оцінювання розумних енергомереж**

Розглянуті вище методики: Модель зрілості розумної енергомережі (IBM, IBM Smart Grid Maturity Model); Система оцінювання розумних енергомереж Департаменту енергетики США (DOE, DOE Smart Grid Development Evaluation System); Індикатори оцінювання розумних енергомереж Науково-дослідного інституту електроенергетики (EPRI, EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators); Системи оцінювання переваг розумних енергомереж ЄС (EUA, EU Smart Grid Assessment Benefits Systems); Індикативна система мережі «двох типів» (TTS, “Two Type” grid index system); Індикативна система оцінювання розвитку мережі (GDA, Grid development assessment index system); Індикативна система оцінювання пілотних проєктів розумних енергомереж (PPE, Smart grid pilot project evaluation indicator system); Модель оцінювання рівня розвитку

розумних енергомереж на основі диференціації попиту (DDD, Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand), – мають спільні характеристики та відмінні риси, продиктовані розбіжностями у підходах, що застосовувалися при їхній розробці, та поставлених перед ними завданнями.

Системи оцінювання розумних енергомереж, розглянуті у даній роботі, мають суттєві відмінності за логікою формування показників для визначення поточних параметрів функціонування розумних енергомереж. Акцентування на окремих складових розгортання розумних енергомереж має на меті отримання точних вимірюваних та придатних для інтерпретації показників, які висвітлять переваги проєкту розумної енергомережі, що дозволить, у свою чергу, з'ясувати доцільність його реалізації (для потенційних проєктів, реалізація яких передбачається у майбутньому) або виявити ефекти, сформовані в результаті функціонування наявної розумної енергомережі.

Формування систем оцінювання розумних енергомереж відбувається залежно від поставлених цілей у процесі їх розбудови. Дані цілі визначаються пріоритетами, які, як правило, документально відображені у планах, стратегіях розвитку, рекомендаціях щодо стимулювання енергетичного та суміжного секторів. Сукупність таких документів є базисом, що формує місцеву, регіональну, державну та міжнародну енергетичну політику.

Таким чином, значна кількість напрямків, які є важливими з позицій оцінювання, є заздалегідь визначеною та має бути врахована при формуванні методичного підходу до оцінювання (системи оцінювання). Адже це дозволяє здійснювати моніторинг виконання планових показників у їх співставленні з фактично досягнутими протягом визначеного періоду. Для проєктів, реалізації яких передбачає залучення державних та / або муніципальних коштів, визначення показників ефективності (індикаторів) за даними напрямками є необхідним.

У той же час, формування системи оцінювання розумних енергомереж на основі нормативно-правових актів є вкрай обмеженим підходом, адже не



дозволяє повністю врахувати сукупність ефектів, які прямо чи опосередковано є результатом її функціонування. Відповідно використання нормативно-правової бази як джерела формування системи оцінювання є доцільним для визначення ключових напрямків або індикаторів розвитку галузі, але не більше того.

Іншим джерелом формування системи оцінювання розумних енергомереж є накопичений досвід компаній, що реалізують проекти у даному напрямку. Зокрема, такий базис створення системи оцінювання був реалізований компанією IBM при розробленні моделі зрілості розумної енергомережі (IBM), яка є однією з досліджуваних систем оцінювання в даній роботі. Переваги такого підходу – у послідовному формуванні системи вимірюваних показників ефективності, які володіють високим ступенем деталізації процесів, які ними описуються. Зокрема, модель зрілості розумної енергомережі (IBM), окрім значної кількості (у деяких випадках близько 175) показників та високої їх деталізації, супроводжується алгоритмом дій щодо реалізації проектів розумних енергомереж та має індивідуальний характер. Такий підхід суттєво сприяє реалізації проекту та моніторингу його стану на конкретних етапах впровадження. Однак оцінювання наявних проектів потребує адаптації даної системи оцінювання, адже закладені у неї показники мають схильність до надання характеристики одного напрямку функціонування розумних енергомереж, проте на різних стадіях проекту. Відповідно сукупність показників даної системи оцінювання для наявних проектів буде відмінною від її вихідного стану, тобто оцінювання здійснюватиметься на основі модифікованої (у даному випадку скороченої), а не оригінальної системи.

Недоліком такого підходу може бути низький ступінь врахування розробниками системи оцінювання стороннього досвіду. Окрім того, спеціалізація реалізованих компанією (групою компаній) проектів може призвести до розбалансування показників у оцінювальній системі, тобто фокус може бути на окремих аспектах, що є пріоритетними для компанії-розробника, наприклад, технічні характеристики, продуктивність чи рівень використання інформаційних технологій.

Формування системи оцінювання можливо також на основі наукових досліджень, що містять результати аналітичної роботи щодо визначення оптимальних показників, які можуть слугувати індикаторами розвитку розумних енергомереж або надають комплексну характеристику проєктів, що плануються до реалізації. Результатом такого підходу може стати створення нової, відмінної від наявних, системи оцінювання розумних енергомереж. Прикладом якісної аналітичної роботи щодо формування системи оцінювання розумних енергомереж з використанням переваг наявних систем оцінювання розумних енергомереж є модель оцінювання рівня розвитку розумних енергомереж на основі диференціації попиту (DDD), яка вивчається у рамках даного дослідження.

Для реалізації державної політики запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки критично важливим є питання оцінювання ефективності проєктів та рівня територіального розвитку розумних енергомереж (на місцевому, регіональному та державному рівнях). Це сприятиме підвищенню ефективності енергоощадних заходів, формуванню інтегрованої національної енергетичної системи, яка стане каталізатором розвитку моделі енергоцентрованої економіки України.

У цьому контексті необхідним є вирішення таких завдань:

– визначення спеціалізації наявних систем оцінювання розумних енергомереж:

- 1) оптимальні для оцінювання майбутніх проєктів;
- 2) наявних проєктів;
- 3) територіального рівня розвитку розумних енергомереж.

– визначення доцільності та ефективності використання наявних систем оцінювання розумних енергомереж з позицій максимального охоплення показниками прямих та опосередкованих ефектів у кожному напрямку функціонування розумної енергомережі.

Вирішення першої задачі дозволить диференціювати наявні системи оцінювання розумних енергомереж відповідно до цільового призначення

оцінювання. Розв'язання другої – за допомогою компаративного аналізу наявних систем оцінювання розумних енергомереж проранжувати системи оцінювання за критерієм максимізації охоплення ефектів від функціонування розумних енергомереж.

Розбіжність застосовуваних підходів у кожній системі оцінювання не дозволяє максимально повно врахувати індивідуальні особливості кожної з них. Таким чином, при спробі систематизації систем оцінювання відбувається розмиття типових для них груп показників унаслідок класифікації їх (показників) сукупності за іншими класифікаційними ознаками, що призводить до формування інших, більш відповідних з позиції максимізації охоплення ефектів від функціонування розумних енергомереж, груп показників. У той же час, це дозволяє виявити спільні риси між системами оцінювання.

З метою порівняння систем оцінювання розумних енергомереж було виділено 7 груп показників, згідно яких буде здійснено розподіл (класифікацію) усієї сукупності показників кожної методики. Для спрощення порівняння за окремими групами показників здійснено оптимізацію показників – укрупнення або деталізацію відповідно до необхідності забезпечення їх порівнюваності.

Критеріями перерозподілу показників наявних систем оцінювання визначено: приналежність до функціонального напрямку розумної енергомережі, самодостатність показників, відсутність дублювання показників, відповідність показників визначеним нормативно-правовою базою напрямкам розвитку розумних енергомереж.

До 7 виділених груп показників, за якими буде здійснено компаративний аналіз систем оцінювання ефективності розумних енергомереж належать:

– *стійкість енергомережі (безпека та надійність)* – група показників, що характеризує технічні аспекти функціонування розумних енергомереж стосовно забезпечення заявлених експлуатаційних параметрів, здатності реагувати на деструктивні впливи природного та штучного характеру та відновлювати повнофункціональний стан енергомережі;

– *інформаційна ефективність (інформаційні технології та кібербезпека)* – характеризує застосування інформаційно-комунікаційних систем збору, зберігання, обробки та передачі даних розумних енергомереж (у тому числі систем моніторингу, контролю та автоматизації функцій), що забезпечує приналежність мережі до виду розумних енергомереж шляхом розширення її функціональних можливостей, порівняно з традиційною енергомережею. До даної групи показників належать індикатори моніторингу, контролю та інформатизації клієнтів; енергетичний інтернет та інформатизація клієнтів; застосування ERP-систем та підтримання ухвалення рішень.

– *економічна ефективність* – сукупність ефектів, які можна виразити в грошовому еквіваленті для визначення вартості проекту, доходів та витрат на всіх або окремих етапах його реалізації. Економічну ефективність запропоновано вимірювати показниками обсягу, структури та джерел капітальних інвестицій, наявністю систем оптимізації управління активами і ефективністю сформованої бізнес-моделі.

– *технічна ефективність* – сукупність характеристик техніко-технологічного стану мережі. До показників даної групи належать індикатори рівня автоматизації обладнання та продуктивності процесів, застосування техніко-технологічних рішень з інтегрування розподіленої енергогенерації до енергосистеми.

– *екологічність* – група узагальнених показників, до якої належать індикатори, які характеризують рівень екодеструктивного впливу та декарбонізації розумних енергомереж, запровадження технологій відновлюваної енергетики та ефективності використання земельних ресурсів [89].

– *комунікаційна ефективність (відкритість та взаємодія)* – група показників що, характеризує рівень відкритості розумних енергомереж для стейкхолдерів через використання інформаційної політики рівного доступу, універсальних процедур та стандартів, а також залучення споживачів до віддаленого управління енергоспоживанням.

– наявність електротранспортної інфраструктури – група показників, що оцінює динаміку та геопросторові параметри розбудови електрифікаційної інфраструктури і враховує її зростання в межах інтегрованої розумної енергомережі.

З метою здійснення комплексного порівняння названих вище систем оцінювання розумних енергомереж доцільно здійснити покомпонентний компаративний аналіз, за виділеними групами показників.

Для максимального врахування прямих та опосередкованих ефектів у межах кожної групи визначено підгрупи показників. Порівняння наявних систем оцінювання за ступенем охоплення напрямків розумних енергомереж буде здійснено на основі бального оцінювання за кожною підгрупою показників з розрахунком агрегованої групової та підсумкової оцінки для кожної системи оцінювання розумних енергомереж.

Здійснення кількісного (на основі бального оцінювання) аналізу показників оцінювання функціонування розумних енергомереж передбачає застосування наступного механізму:

$$\begin{cases} B_i \geq 3 \Rightarrow A_{ij} = \max, \\ 2 \leq B_i \Rightarrow A_{ij} = \text{ave}, \\ B_i \leq 1 \Rightarrow A_{ij} = \min, \end{cases} \quad (2.1)$$

де  $B_i$  – кількість  $k$ -х показників у підгрупі  $i$ ;

$A_{ij}$  – бальна оцінка  $i$ -ї підгрупи в межах  $j$ -ї групи;

$\max = 3$ ;  $\text{ave} = 2$ ;  $\min = 1$

Агреговане оцінювання наявних систем оцінювання в межах визначених груп показників здійснюється наступним чином:

$$I_{gr} = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (2.2)$$

де  $I_{gr}$  – групова оцінка;

$n$  – кількість під-груп у межах групи.

Перевірка адекватності розподілу показників ефективності розумних енергомереж здійснюється з метою уникнення дублювання показників по визначених групах:

$$\begin{cases} L_i \in Mas_i, \\ L_i \notin Mas_g, \\ i \neq g, \end{cases} \quad (2.3)$$

де  $L_i$  – показник  $i$ -ї підгрупи;

$i$  та  $g$  – ідентифікатори підгрупи показників;

$Mas$  – сукупність показників підгрупи.

Кількісна характеристика охоплення напрямків розумних енергомереж системами оцінювання з урахуванням коригування, яке урівноважує значення показників у групах з різною кількістю підгруп здійснюється за формулою:

$$I_{agg} = \sum_{j=1}^m I_{gr} \cdot q, \quad (2.4)$$

де  $I_{agg}$  – підсумкове оцінювання охоплення напрямків РЕ;

$m$  – кількість груп показників;

$q$  – урівноважувальний коефіцієнт.

Відповідно до визначеного алгоритму компаративного аналізу здійснено оцінювання наявних оцінювальних систем розумних енергомереж.

*Група показників «Стійкість».* Результати порівняльного аналізу за показниками даної групи наведено в таблиці 2.14.

На основі даних таблиці 2.14 можливо здійснити ранжування досліджуваних систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання параметрів стійкості енергомережі. Відповідно до розробленого підходу до оцінювання критерієм визначення ступеня охоплення параметрів стійкості енергомережі є кількість відповідних показників. Характеристика

систем оцінювання розумних енергомереж за охопленням групи «стійкість» наведено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.14 – Показники оцінювання розумних енергомереж за групою «стійкість»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
<i>Самовідновлення системи</i>							
показники самовідновлення системи*		скорочення часу відновлення системи	середній час усунення несправності		показники достатності та стійкості		індекс (відсоток) самовідновлення розподільчої мережі
			швидкість зниження пікового навантаження				швидкість самовідновлення розподільчої мережі
<i>Надійність системи</i>							
рівень виявлення відключень у ланках мережі	показники надійності системи**	зниження частоти відмов обладнання	показники підвищення надійності системи**		стабільність системи	показники надійності системи*	надійність джерела живлення (окремо за категоріями споживачів)
		підвищення надійності	забезпечення лімітування напруги				порушення у розподілі потужності
		скорочення відключень у мережі***	збільшення терміну служби трансформаторів				
<i>Безпека системи</i>							
показники безпечності та фізичної безпеки		відсоток вузлів та клієнтів контрольованих онлайн	забезпечення лімітування напруги		показники структурної безпеки	показники безпеки*	застосування технологій зниження аварійності
					показники експлуатаційної безпеки		кількість аварій при транспортуванні енергії
							кількість аварій при перетворенні енергії

\* показники варіюються залежно від проекту;

\*\* показники варіюються залежно від типу проекту

\*\*\* за рахунок поліпшення моніторингу та розгортання систем управління попитом і розподіленої енергогенерації

Таблиця 2.15 – Характеристика систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «стійкість»

Система оцінювання	Складова групи показників «стійкість»		
	самовідновлення системи	надійність системи	безпека системи
IBM			
DOE			
EPRI			
EUA			
TTS			
GDA			
PPE			
DDD			
	високий ступінь оцінювання		
	середній ступінь оцінювання		
	незначний ступінь оцінювання або оцінювання за відсутнє		

На основі отриманих у таблиці 2.15 результатів, виходячи з припущення про однакову значимість параметрів самовідновлення, надійності та безпеки системи як складових групи показників «стійкість» та присвоюючи кількісну оцінку ступеню оцінювання від 1 до 3, де 3 – високий ступінь оцінювання (охоплення напрямку функціонування розумної енергомережі), 2 - середній ступінь оцінювання, а 1 – низький ступінь оцінювання або оцінювання за даним параметром відсутнє у системі оцінювання розумних енергомереж, можна здійснити ранжування на основі кількісної (бальної) оцінки.

Результати ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «стійкість» показано в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «стійкість»

Система оцінювання	Кількість балів	Ранг
EUA	8	1
DDD	8	1
EPRI	7	2
GDA	7	2
IBM	6	3
PPE	6	3
DOE	4	4
TTS	3	5



Відповідно на основі здійсненого ранжування можна зробити висновок, що найбільше значення серед досліджених систем оцінювання РЕ питанню стійкості енергомережі приділяється у системі оцінювання EUA та системі DDD. Достатньо актуальним даний аспект є у системі EPRI та GDA. Решта систем оцінювання менше акцентується на даному аспекті. Однак варто зауважити, що у окремих випадках оцінювання даного аспекту оцінювальними системами може варіюватися залежно від специфічних особливостей конкретного проекту.

*Група показників «інформаційна ефективність».* Результати порівняльного аналізу за даною групою показників наведено в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Показники оцінювання розумних енергомереж за групою «інформаційна ефективність»: підгрупи «системи моніторингу, контролю та інформатизація клієнтів» та «енергетичний інтернет та кібербезпека»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Системи моніторингу, контролю та інформатизація клієнтів</i>							
онлайн-доступність даних споживачам, накопичення даних за всіма інформаційними каналами	оперативний обмін даними в режимі реального часу		інформаційний моніторинг: моніторинг та контроль мереж	передові технології передачі даних		реалізація інтелектуальної функції	відсоток підключення клієнтів до РЕ
програми для формування рахунків споживачів			автоматичне вимірювання на стороні споживача	диспетчеризація операцій			система автоматичного моніторингу обладнання інформаційного зв'язку
системи віддаленого моніторингу активів							
<i>Енергетичний інтернет та кібербезпека</i>							
можливість комунікації з мережею вищого порядку	комп'ютерна безпека	проникнення до системи управління попитом (навантаженням)	категоризація інформації		формування основи розумної енергомережі	забезпечення функції енергетичного інтернету	відсоток безпечних операцій інформаційно-комунікаційної системи

## Продовження таблиці 2.17

1	2	3	4	5	6	7	8
обмін даними між функціями/системами	відкрита архітектура/стандарти	кількість успішних кібератак	технології управління мережею		здатність підтримувати технологію смарт-мережі	програмне забезпечення розподільної мережі	кількість інформаційних подій
						інформаційна стандартизація	охоплення підстанцій оптико-волоконною мережею та кабельне покриття магістралі
						стандартизація конфігурації	пропускна здатність платформи мережі передачі зв'язку
							швидкість доступності інформаційної мережі

Таблиця 2.18 – Показники оцінювання розумних енергомереж за групою «інформаційна ефективність»: підгрупи «ERP-системи та підтримка прийняття рішень»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
<i>ERP-системи та підтримка прийняття рішень</i>							
тактичне прогнозування на основі фактичних даних	динамічне ціноутворення		удосконалення прогнозування		координація ресурсів	заходи і оптимізації	охоплення PE ERP-системою
автоматизоване прийняття внутрішніх рішень			використання даних розумного вимірювання				рівень доступності бізнес-систем
контроль над активами: місцезнаходження, статус, взаємозв'язки, доступність							
використання аналітики в системах ціноутворення							
автоматизована відповідь на цінові сигнали							
запровадження контрольної аналітики для підтримки прийняття рішень та системних розрахунків							

Використовуючи аналогічний підхід до ранжування досліджуваних систем, застосований для групи показників стійкості енергомережі, отримано результат групи показників «інформаційна ефективність». Критерії та припущення, які використовуються для ранжування залишаються незмінними. Розподіл ступеня оцінювання наведено в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Характеристика систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «інформаційна ефективність»

Система оцінювання	Складова групи показників «інформаційна ефективність»		
	Системи моніторингу, контролю та інформатизація клієнтів	Енергетичний інтернет та кібербезпека	ERP-системи та підтримка прийняття рішень
IBM			
DOE			
EPRI			
EUA			
TTS			
GDA			
PPE			
DDD			

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

Результати ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «інформаційна ефективність» показано в таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «інформаційна ефективність»

Система оцінювання	Кількість балів	Ранг
EUA	9	1
DDD	9	1
IBM	9	1
PPE	7	2
DOE	7	2
GDA	6	3
EPRI	5	4
TTS	5	4

Відповідно до здійсненого ранжування найбільш повно оцінюються параметри інформаційної ефективності у системі EUA, DDD та IBM. Високий ступінь оцінювання за даною групою показників мають DOE та GDA. PPE, EPRI та TTS, порівняно з іншими методиками, мають незначний ступінь оцінювання групи показників «інформаційна ефективність».

**Група показників «економічна ефективність».** Результати порівняльного аналізу за показниками економічної ефективності наведено в таблиці 2.21.

Таблиця 2.21 – Показники оцінювання розумних енергомереж за групою «економічна ефективність»: підгрупи «капітальні інвестиції» та «оптимізація управління активами»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
1	2	3	4	5	6	7	8
<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 продуктивності праці та ефективності інвестицій	
моделювання інвестиційних активів для ключових компонентів на основі даних PE							
<i>Оптимізація управління активами</i>							
розроблення стратегії для диверсифікованого портфеля ресурсів						коефіцієнт економічної ефективності	

## Продовження таблиці 2.21

1	2	3	4	5	6	7	8
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 для нових ресурсів чи ринків, інтеграція RAM в управління активами			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)	

Формування таблиць 2.21-2.22 здійснено на основі переформатування вихідних оригінальних показників, включених до досліджуваних систем оцінювання, з виділенням блоків: капітальні інвестиції, оптимізація управління активами, формування бізнес-моделі та збереження змістовного наповнення оригінальних показників.

Таблиця 2.22 – Показники оцінювання розумних енергомереж за групою «економічна ефективність»: підгрупа «формування бізнес-моделі»

ІВМ	ЕУА
<i>Формування бізнес-моделі</i>	
оптимізоване формування тарифів/регуляторна політика	нові підходи до формування ринку
розподіленість ресурсів на локальних ринках (наприклад, місцеві граничні ціни)	
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 таблиць 2.21-2.22 здійснено ранжування досліджуваних систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання параметру економічної ефективності. Розподіл ступеня оцінювання наведено в таблиці 2.23.

Таблиця 2.23 – Характеристика систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «економічна ефективність»

Система оцінювання	Складова групи показників «економічна ефективність»		
	капітальні інвестиції	оптимізація управління активами	формування бізнес-моделі
IBM			
DOE			
EPRI			
EUA			
TTS			
GDA			
PPE			
DDD			

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

Результати ранжування систем оцінювання PE за групою показників «економічна ефективність» показано в таблиці 2.24.

Таблиця 2.24 – Ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «економічна ефективність»

Система оцінювання	Кількість балів	Ранг
IBM	9	1
PPE	7	2
GDA	6	3
EUA	5	4
TTS	5	4
DOE	4	5
EPRI	4	5
DDD	4	5

За охопленням показників економічної ефективності найбільш представницькими є системи IBM та PPE. Решта систем оцінювання характеризується меншим охопленням даного напрямку оцінювання розумних енергомереж. 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 РЕ, що характеризується кількістю показників, які 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 (включно з їх проектуванням (формуванням бізнес-моделі, будівництвом та функціонуванням).

Комплексне оцінювання за обома названими аспектами простежується на прикладі лише двох із досліджуваних систем оцінювання - IBM та PPE. Логічно, що дані системи мають розвинений інструментарій оцінювання проєктів розумних енергомереж на передінвестиційному етапі. Натомість у системах, спрямованих на визначення рівня розвитку наявних розумних енергомереж, система показників вимірювання економічної ефективності є обмеженою.

*Група показників «технічна ефективність».* Результати порівняльного аналізу за показниками технічної ефективності наведено в таблиці 2.25-2.27.

Таблиця 2.25 – Показники оцінювання розумної енергомережі за групою «технічна ефективність»: підгрупа «автоматизація»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Автоматизація</i>							
комплекс автоматизованих системних рішень	комплекс автоматизованих системних рішень		використання стандартизованого обладнання та протоколів			застосування розумного обладнання	частка ліній, де застосовуються технології моніторингу та контролю
розширення комунікаційних мереж							

## Продовження таблиці 2.25

1	2	3	4	5	6	7	8
виявлення відключення за місцем розташування споживача/пристрою	відповідність немережевого обладнання для енергогенерації					точність вимірювання	частка розумних підстанцій
узгодженість енергоменеджменту впродовж ланцюга поставок	передові системи вимірювання					сукупний відсоток збору інформації	Забезпечення (охоплення) моніторингу стану трансформаторного обладнання; автоматизація розподілу та передачі
узгодженість контролю вхідних енергоресурсів							охоплення системи управління диспетчерською мережею
інтеграція виробничих процесів							швидкість доступу до термінального обладнання мережі передачі даних
динамічне управління мережею							охоплення системою збору інформації про електроенергію
перехід від оціночного планування до планування, що ґрунтується на фактах							охоплення платформи управління електроенергією
виявлення відключень на підстанції							охоплення системою прогнозування енергії
автоматизація підстанцій							
запуск дистанційного моніторингу основних активів для (ручного) прийняття рішень							
запуск AMI/AMR							

Таблиця 2.26 – Показники оцінювання розумної енергомережі за групою «технічна ефективність»: підгрупа «розподілена енергогенерація»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
<i>Розподілена енергогенерація</i>							
клієнтське управління кінцевим рівнем постачання та споживання енергії	залучення розподіленої енергогенерації (включно з відновлюваними та невідновлюваними джерелами)		розподілена потужність				охоплення подвійного доступу до мережі передачі даних



## Продовження таблиці 2.25

1	2	3	4	5	6	7	8
			відсоток підключення лічильників				частка встановленої потужності розподіленої енергогенерації
продуктивність компонентів та аналіз трендів			інтеграція розподіленої енергогенерації у системах низької, середньої та високої напруги				прогноз швидкості розповсюдження розподіленої енергогенерації
наявність лічильників у споживачів, у т.ч. двоспрямоване вимірювання			інтеграція технологій зберігання в управління мережею				
використання розподілених джерел енергогенерації та наявних можливостей їх підтримки							

Таблиця 2.27 – Показники оцінювання розумної енергомережі за групою «технічна ефективність»: підгрупа «продуктивність»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Продуктивність</i>							
СВМ-менеджмент та прогнозування ключових компонентів	ресурсне забезпечення експлуатації енергосистеми	кількість нових товарів, кількість енергії або її потужність, що постачається в якості допоміжної	максимальне навантаження на мережу	інтенсивність мережі	якість експлуатації та побудови енергомережі	функціональна взаємодія	річне максимальне навантаження
високий ступінь сегментації клієнтів	обслуговування мікромережі	рівень використання активів або коефіцієнт навантаження (на енергомережу)	скорочення втрат в енергомережі	масштаб мережі	балансування навантаження в мережі	простота експлуатації та обслуговування	відсоток максимального навантаження ліній електропередачі
комплексне планування ресурсів з урахуванням нових цільових ресурсів та планування	коефіцієнти потужності	зменшення втрат в енергетичній системі	підвищення пропускної спроможності лінії транспортування електроенергії	оптимізація	технологічні інновації	допоміжне обладнання	середньорічний відсоток експлуатації ліній

## Продовження таблиці 2.27

1	2	3	4	5	6	7	8
формування «екосистеми»	ефективність виробництва, транспортування та розподілу енергії	відсоток керованого навантаження	показники балансування мережі	технологічні інновації		структура мережі	частка енергозберігаючих ліній
	динамічна потужність мережі		покращення якості постачання енергії	управління попитом (балансування навантаження в мережі)		якість електроенергії	забезпечення (охоплення) аварійної ремонтпридатності командної платформи енергорозподілу
	якість електроенергії		індекс ефективності вимірювання			зростання постачання енергії	питома вага нових встановлених енергетичних потужностей
			індекс ефективності операцій			рівень практичності	
			індекс ефективності розширення функціональності			доступність каналів	
						оптимізація продуктивності	
						оптимізація управління	

Результати ранжування досліджуваних систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання параметру технічна ефективність, здійсненого на основі даних таблиці 2.25-2.27, показано в таблиці 2.29. Критерієм визначення ступеня оцінювання параметрів даної групи є кількість відповідних показників та змістовне охоплення ними технічних аспектів

функціонування розумних енергомереж. Розподіл ступеня оцінювання наведено в таблиці 2.28.

Таблиця 2.28 – Характеристика систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «технічна ефективність»

Система оцінювання	Складова групи показників «технічна ефективність»		
	автоматизація	розподілена енергогенерація	продуктивність
IBM			
DOE			
EPRI			
EUA			
TTS			
GDA			
PPE			
DDD			
	високий ступінь оцінювання		
	середній ступінь оцінювання		
	незначний ступінь оцінювання або оцінювання за відсутнє		

Результати ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «технічна ефективність» показано в таблиці 2.29.

Таблиця 2.29 – Ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «технічна ефективність»

Система оцінювання	Кількість балів	Ранг
IBM	9	1
DDD	9	1
DOE	8	2
EUA	8	2
PPE	7	3
EPRI	5	4
TTS	5	4
GDA	5	4

Очікувано, більшість систем оцінювання розумних енергетичних мереж мають деталізовану систему показників визначення технічної ефективності функціонування енергетичної смарт-мережі. Усі досліджувані методики характеризуються максимізацією індикаторів оцінювання продуктивності енергомережі. Автоматизація та використання можливостей розподіленої енергогенерації мають розбіжності в оцінюванні, що зумовлено, у тому числі,

нечіткістю формулювань показників у досліджуваних системах оцінювання, а відповідно можливістю їх віднесення до сукупності показників, що характеризують продуктивність енергомережі. Це пов'язано із взаємозалежністю продуктивності розумної енергомережі та засобам автоматизації, які застосовуються для забезпечення її функціонування.

*Група показників «екологічність».* Результати порівняльного аналізу за показниками екологічності енергомережі наведено в таблиці 2.30-2.31. Зокрема в рамках таких груп як «зниження викидів шкідливих речовин» та «використання земельних ресурсів» визначено показники оцінювання розумних енергомереж в системах EUA, TTS, GDA, PPE.

Таблиця 2.30 – Показники оцінювання розумних енергомереж за групою «екологічність»: підгрупи «зниження викидів шкідливих речовин» та «використання земельних ресурсів»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
<i>Зниження викидів шкідливих речовин</i>							
			скорочення CO <sub>2</sub>	охорона довкілля	екологічна координація	скорочення викидів	
				скорочення викидів			
<i>Використання земельних ресурсів</i>							
				збереження земельних ресурсів		економія земельних ресурсів	використана площа на одиницю електрики
							площа, збережена розумною енергетикою

Результати ранжування досліджуваних систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання параметру екологічності, здійсненого на основі даних таблиць 2.30-2.31, показано в таблиці 2.33. Критерієм визначення ступеня оцінювання параметрів даної групи є кількість відповідних показників та змістовне охоплення ними технічних аспектів функціонування розумної енергомережі. Розподіл ступеня оцінювання наведено в таблиці 2.32.

Таблиця 2.31 – Показники оцінювання розумних енергомереж за групою «екологічність»: підгрупа «застосування альтернативної енергетики та розподілена енергогенерація»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
<i>Застосування альтернативної енергетики та розподілена енергогенерація</i>							
		відсоток розподіленої енергогенерації та зберігання, які можуть контролюватися безпосередньо пропорцією розподіленої енергогенерації на основі комбінованого вироблення тепла та електроенергії або поновлюваних джерел енергії		екологічне управління		економія енергії	швидкість освоєння вітрових та фотоелектричних мереж (питома вага)
				економія енергоресурсів			частка виробництва енергії з відновлюваних джерел
							коефіцієнт невикористаного вітрової енергії
							розподілена енергопроникність
							економія енергії за рахунок управління споживанням
							частка (зеленої) електроенергії у сукупному споживанні енергії

Таблиця 2.32 – Характеристика систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «екологічність»

Система оцінювання	Складова групи показників «екологічність»		
	зниження викидів шкідливих речовин	використання земельних ресурсів	застосування альтернативної енергетики та розподілена енергогенерація
IBM			
DOE			
EPRI			
EUA			
TTS			
GDA			
PPE			
DDD			

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

Результати ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «екологічність» показано в таблиці 2.33.

Таблиця 2.33 – Ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «екологічність»

Система оцінювання	Кількість балів	Ранг
TTS	8	1
DDD	7	2
PPE	6	3
EPRI	5	4
EUA	4	5
GDA	4	5
IBM	3	6
DOE	3	6

Група показників екологічності характеризує аспекти функціонування розумних енергомереж, пов'язані із впливом на довкілля та ефективністю використання природних ресурсів. Окрім того, до даної групи показників віднесено складову розумних енергомереж щодо застосування можливостей альтернативної енергетики для генерації електричної енергії та реалізації принципу розподіленої енергогенерації, що є однією з ключових принципових характеристик розумних енергомереж, які формують різницю між традиційною моделлю енергосистеми та розумною енергомережею.

До даної групи показників було включено складові, які є індикаторами екологічної ефективності та знайшли широке застосування у різних науково-методичних підходах та системах оцінювання. Складовими, що дозволяють комплексно оцінити екологічну ефективність розбудови РЕ є:

- кількість викидів вуглекислого газу в атмосферу (у аспекті їх скорочення порівняно з альтернативними варіантами);
- ефективність використання земельних ресурсів;
- застосування альтернативної енергетики та реалізація принципу розподіленої енергогенерації.

За визначеними напрямками найбільшим охопленням предметної області характеризується TTS та DDD. Однак варто зазначити, що існує суттєва

відмінність між названими системами оцінювання розумних енергомереж за групою показників екологічності, яка полягає у чіткості формування сукупності показників. У той час, коли DDD передбачає наявність структурованої сукупності вимірюваних показників з відповідною методикою їхнього розрахунку, що вносить чіткість у використання даної системи оцінювання за даним параметром, система оцінювання TTS характеризується наявністю узагальненого поняття «екологічне управління», що, з одного боку, забезпечує гнучкість у підході до оцінювання взаємодії розумних енергомереж із навколишнім середовищем, а з іншого боку, не дозволяє сформувати стійкий набір показників та методик їхнього розрахунку до оцінювання окремих ефектів, які виникають унаслідок взаємодії розумних енергомереж із природнім середовищем, у межах якого вона функціонує. Як результат, з позицій практичності, обираючи між двома названими системами оцінювання доцільно обрати DDD, незважаючи на дещо нижчі показники отримані при ранжуванні систем оцінювання розумних енергомереж за параметром екологічності. Окрім того, аналіз систем оцінювання розумних енергомереж з позицій екологічності та, відповідно, взаємодії з навколишнім середовищем продемонстрував характерну рису розроблених у США оцінювальних систем, а саме мінімальну кількість екологічних показників та низький ступінь охоплення ними екологічної складової. Таким чином, виникають підстави стверджувати про неперіоритетні позиції екологічної складової при розробці та впровадженні розумних енергомереж у країнах, де поширене застосування таких систем оцінювання, як IBM та DOE. Подібне можна стверджувати також про EPRI, проте, на відміну від двох попередніх систем оцінювання розумних енергомереж, ця оцінювальна система має формалізовану сукупність показників з оцінювання ступеня використання розподіленої енергогенерації в енергосистемі.

**Група показників «комунікаційна ефективність».** Результати порівняльного аналізу за показниками комунікаційної ефективності наведено в таблицях 2.34-2.35.

Таблиця 2.34 – Показники оцінювання розумних енергомереж за групою «комунікаційна ефективність»: підгрупа «політика відкритості»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Політика відкритості</i>							
доступність ринкової та споживчої інформації для використання клієнтськими системами споживання енергії	політика (правила) розподілення енергії		уніфікований стандарт доступу		соціальна гармонія		глибина розкриття інформації
більша частота даних про споживання клієнтами енергії	прогрес у сфері енергетичної політики та регулювання		доступність інформації				швидкість оновлення інформації
вивчення трансформації клієнтського досвіду з використанням PE							зручність отримання інформації
							інвестиції у відкритість енергетичного бізнесу
							повнота доступу до стандартної системи усіма групами споживачів

Таблиця 2.35 – Показники оцінювання розумних енергомереж за групою «комунікаційна ефективність»: підгрупа «взаємодія зі споживачами»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
<i>Взаємодія зі споживачами</i>							
участь клієнтів в управлінні попитом		кількість клієнтів (споживачів), які використовують системи генерації та зберігання енергії	скорочення часу підключення нових користувачів до мережі				темпи зростання кількості електроенергії на енергетичному ринку
доступність нових ресурсів замінників на ринку		кількість під'єднаних мікромереж	доступність компонентів розумної енергомережі				масштаб та пропорція закупівлі електроенергії крупними споживачами






## Продовження таблиці 2.35

1	2	3	4	5	6	7	8
			залучення учасників				індекс оцінки якості обслуговування
			активність учасників				річний темп зростання максимального споживання енергії
							частка електроенергії, що споживається у пікові години,
							економія енергії за рахунок управління споживанням
							можливості моніторингу та контролю навантаження

Результати ранжування досліджуваних систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання комунікаційної ефективності, здійсненого на основі даних таблиць 2.34-2.35, показано в таблиці 2.37. Критерієм визначення ступеня оцінювання параметрів даної групи є кількість відповідних показників та змістовне охоплення ними технічних аспектів функціонування розумних енергомереж. Розподіл ступеня оцінювання наведено в таблиці 2.36.

Таблиця 2.36 – Характеристика систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «комунікаційна ефективність»

Система оцінювання	Складова групи показників «комунікаційна ефективність»	
	політика відкритості	взаємодія зі споживачами
IBM		
DOE		
EPRI		
EUA		
TTS		
GDA		
PPE		
DDD		

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

Результати ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «комунікаційна ефективність» показано в таблиці 2.37.

Зважаючи на те, що дана група показників має у своєму складі дві підгрупи, на відміну від попередніх груп, які налічували три підгрупи, при бальному оцінюванні застосовано урівноважувальний коефіцієнт ( $q=1,5$ ).

Таблиця 2.37 – Ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «комунікаційна ефективність»

Система оцінювання	Кількість балів	Ранг	Приведена кількість балів
IBM	6	1	9
EUA	6	1	9
DDD	6	1	9
DOE	4	2	6
EPRI	4	2	6
GDA	4	2	6
TTS	2	3	3
PPE	2	3	3

Група показників комунікаційної ефективності містить набір показників, спрямованих на визначення здатності системи до взаємодії з наявними та потенційними учасниками енергомережі. Відкритість характеризує ступінь доступності інформації, яка є необхідною для зацікавлених осіб (фізичних та юридичних) стосовно можливостей та переваг приєднання до мережі не лише як пасивного учасника (споживача енергії), а розширення участі шляхом освоєння та застосування технологій розподіленої енергогенерації та інших фундаментальних принципів розумних енергомереж.

Показники взаємодії дають можливість оцінити зусилля, спрямовані на формування сприятливого для масштабування розумних енергомереж середовища. На відміну від групи показників, що оцінюють ступінь відкритості, показники даного напрямку характеризують ефективність конкретних дій щодо залучення учасників до енергомережі та взаємодії стейкхолдерів на основі системної діяльності. Визначені два напрямки у групі показників комунікаційної ефективності мають високий ступінь взаємопов'язаності, де показники взаємодію, значною мірою, вимірюють ефективність політики відкритості, що супроводжує діяльність з розгортання розумних енергомереж.

На основі дослідження ступеня охоплення даної складової розгортання розумних енергомереж, можна зазначити, що більшість досліджуваних систем оцінювання приділяють значну увагу даному напрямку, що пояснюється вагомым впливом даної складової на розвиток розумних енергомереж та

перспективи їх подальшого масштабування. Підтвердженням даного твердження є результат проведеного ранжування, де відмінне охоплення за даної групою показників продемонстрували системи оцінювання з різним регіональним походженням (США, ЄС, КНР), а саме: IBM, EUA та DDD.

*Група показників «наявність електротранспортної інфраструктури».* Результати порівняльного аналізу за показниками наявності електротранспортної інфраструктури наведено в таблиці 2.38.

Таблиця 2.38 – Показники оцінювання розумної енергомережі за групою «наявність електротранспортної інфраструктури»

IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
	гібридні та електричні транспортні засоби	кількість і частка щорічних продажів транспортних засобів з гібридною або електричною силовою установкою	встановлена ємність електричного транспорту				частка використання електричних транспортних засобів
			інтеграція інфраструктури у сферу електротранспорту				щільність розташування станцій заряджання
							ступінь відповідності автомобіля та зарядної станції/пристрою

Результати ранжування досліджуваних систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання наявності електротранспортної інфраструктури, здійсненого на основі даних таблиці 2.38, показано в таблиці 2.40. Розподіл ступеня оцінювання наведено в таблиці 2.39.

Зважаючи на відсутність підгруп у межах даної групи, при бальному оцінюванні застосовано урівноважувальний коефіцієнт ( $q=3$ ).

Результати ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «наявність електротранспортної інфраструктури» показано в таблиці 2.40.

Таблиця 2.39 – Характеристика систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «наявність електротранспортної інфраструктури»

Система оцінювання	Складова групи показників «наявність електротранспортної інфраструктури»
IBM	
DOE	
EPRI	
EUA	
TTS	
GDA	
PPE	
DDD	

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

Таблиця 2.40 – Ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників «наявність електротранспортної інфраструктури»

Система оцінювання	Кількість балів	Ранг	Приведена кількість балів
EUA	3	1	9
DDD	3	1	9
DOE	2	2	6
EPRI	2	2	6
IBM	1	3	3
TTS	1	3	3
GDA	1	3	3
PPE	1	3	3

Однією зі складових розумних енергомереж є використання транспортних засобів з електричним двигуном та забезпечення належної інфраструктури, яка забезпечить комплекс необхідних умов для розвитку даного напрямку. Важливість використання електрики у транспорті обґрунтовується необхідністю скорочення викидів шкідливих речовин, значна частка яких припадає на гази, що утворюються у результаті роботи двигунів внутрішнього згорання.

Окрім того, інтеграція електричних транспортних засобів до розумних енергомереж дозволяє вирішувати комплексні задачі з розширення традиційних меж енергосистеми та її глибокого проникнення до інших видів діяльності. Зокрема, це сприяння реалізації концепції розумного будинку та розумного міста.

Досліджувані системи оцінювання розумних енергомереж мають різний ступінь охоплення показниками даного напрямку. Найбільш формалізована та деталізована структура показників належить системі оцінювання DDD. Система оцінювання EUA також характеризується значним охопленням предметної області, проте не має достатньої деталізації показників та формалізованого підходу до їх розрахунку. DOE та EPRI мають середній рівень охоплення предметної області сукупністю показників. У той час, як IBM, TTS, GDA та PPE не передбачають широке та детальне оцінювання використання електричних транспортних засобів та розвитку електрифікаційної інфраструктури у процесі розгортання та функціонування розумних енергомереж.

На основі здійсненого компаративного аналізу систем оцінювання, які використовуються у світовій практиці для визначення ефективності функціонування розумних енергомереж, можна здійснити узагальнення та отримати порівняльні результати щодо охоплення кількісними та якісними показниками ключових аспектів функціонування розумних енергомереж різними оцінювальними системами.

Скомпонувавши результати аналізу систем оцінювання розумних енергомереж за окремими параметрами (групами показників) можна отримати порівняльну матрицю систем оцінювання розумних енергомереж (табл. 2.41).

У табл. 2.41 з використанням графічних позначень, які застосовувалися раніше, показано ступінь охоплення формалізованими показниками функціональних сфер розбудови розумних енергомереж з використанням поділу за напрямками діяльності для максимізації охоплення прямих та похідних ефектів, що виникають у процесі створення та використання розумних енергомереж.

З метою підвищення наочності результатів аналізу за допомогою бальної системи (табл. 2.43), принципи застосування якої описані вище, здійснено укрупнення отриманих результатів (табл. 2.42).

Таблиця 2.41 – Зведена порівняльна матриця систем оцінювання розумних енергомереж

Система оцінювання	стійкість			інформаційна ефективність	економічна ефективність	технічна ефективність	екологічність	комунікаційна ефективність	наявність електропортної інфраструктури
	самовідновлення системи	надійність системи	безпека системи						
IBM									
DOE									
EPRI									
EUA									
TTS									
GDA									
PPE									
DDD									
	високий ступінь оцінювання								
	середній ступінь оцінювання								
	незначний ступінь оцінювання або оцінювання за відсутнє								

Таблиця 2.42 – Узагальнена порівняльна матриця систем оцінювання розумних енергомереж

Система оцінювання	Стойкість	Інформаційна ефективність	Економічна ефективність	Технічна ефективність	Екологічність	Комунікаційна ефективність та взаємодія	Наявність електропортної інфраструктури
IBM							
DOE							
EPRI							
EUA							
TTS							
GDA							
PPE							
DDD							
	високий ступінь оцінювання						
	середній ступінь оцінювання						
	незначний ступінь оцінювання або оцінювання за відсутнє						

Відповідно до визначеної методики розрахунку при рівнозначності напрямків розвитку розумних енергомереж, і, як наслідок, груп показників, отримано підсумкову оцінку наявних систем оцінювання розумних енергомереж за критерієм максимізації охоплення усіх напрямків розвитку розумних енергомереж. Результати показано в таблиці 2.43.

Таблиця 2.43 – Кількісна оцінка систем оцінювання за охопленням напрямків розвитку розумних енергомереж

Система оцінювання	стійкість	інформаційна ефективність	економічна ефективність	технічна ефективність	екологічність	комунікаційна ефективність	наявність електро-транспортної інфраструктури	Підсумкова бальна оцінка
IBM	6	9	9	9	3	9	3	48
DOE	4	7	4	8	3	6	6	38
EPRI	7	5	4	5	5	6	6	38
EUA	8	9	5	8	4	9	9	52
TTS	3	5	5	5	8	3	3	32
GDA	7	6	6	5	4	6	3	37
PPE	6	7	7	7	6	3	3	39
DDD	8	9	4	9	7	9	9	55

За умови наявності пріоритетних напрямків розвитку розумних енергомереж, розрахунок підсумкової оцінки варто здійснювати з використанням вагових коефіцієнтів. Необхідність введення вагових коефіцієнтів для визначення пріоритетності окремих напрямків розвитку розумних енергомереж може бути обґрунтована цілями державної енергетичної політики, техніко-технологічними або організаційно-економічними обмеженнями під час інтеграції проєктів розумних енергомереж до наявної енергосистеми.

Розрахунок вагових коефіцієнтів пропонується здійснювати методом безпосередньої оцінки, відповідно до якого експерти за допомогою бальної оцінки визначають значимість напрямків розвитку розумних енергомереж під час розроблення конкретного проєкту розумної енергомережі або реалізації державної (регіональної або місцевої) політики запровадження розумних енергомереж в енергетичний сектор економіки.

Відповідно до даного методу визначення вагових коефіцієнтів на першому етапі розраховується середній бал за кожним напрямком розвитку розумної енергомережі за формулою:

$$S_i = \frac{\sum_{i=1}^N S_{ij}}{N}, \quad (2.5)$$

де  $N$  – кількість експертів;

$S_{ij}$  – сума балів за кожним показником.

На другому етапі здійснюється розрахунок вагових коефіцієнтів для кожного напрямку розвитку розумної енергомережі за формулою:

$$\mu_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^m S_i}, \quad (2.6)$$

де  $\mu_i$  – коефіцієнт вагомості групи показників (напряму розвитку РЕ).

Розрахунок підсумкової оцінки максимізації охоплення прямих та опосередкованих ефектів за всіма напрямками розвитку розумної енергомережі наявними системами оцінювання з урахуванням розрахованих коефіцієнтів вагомості здійснюється за формулою:

$$I_{agg} = \sum_{j=1}^m I_{gr} \cdot q \cdot \mu_j, \quad (2.7)$$

де  $I_{agg}$  – підсумкова оцінка максимізації охоплення прямих та опосередкованих ефектів за всіма напрямками розвитку розумної енергомережі наявною системою оцінювання розумних енергомереж;

$I_{gr}$  – оцінка максимізації охоплення прямих та опосередкованих ефектів за певною групою показників;

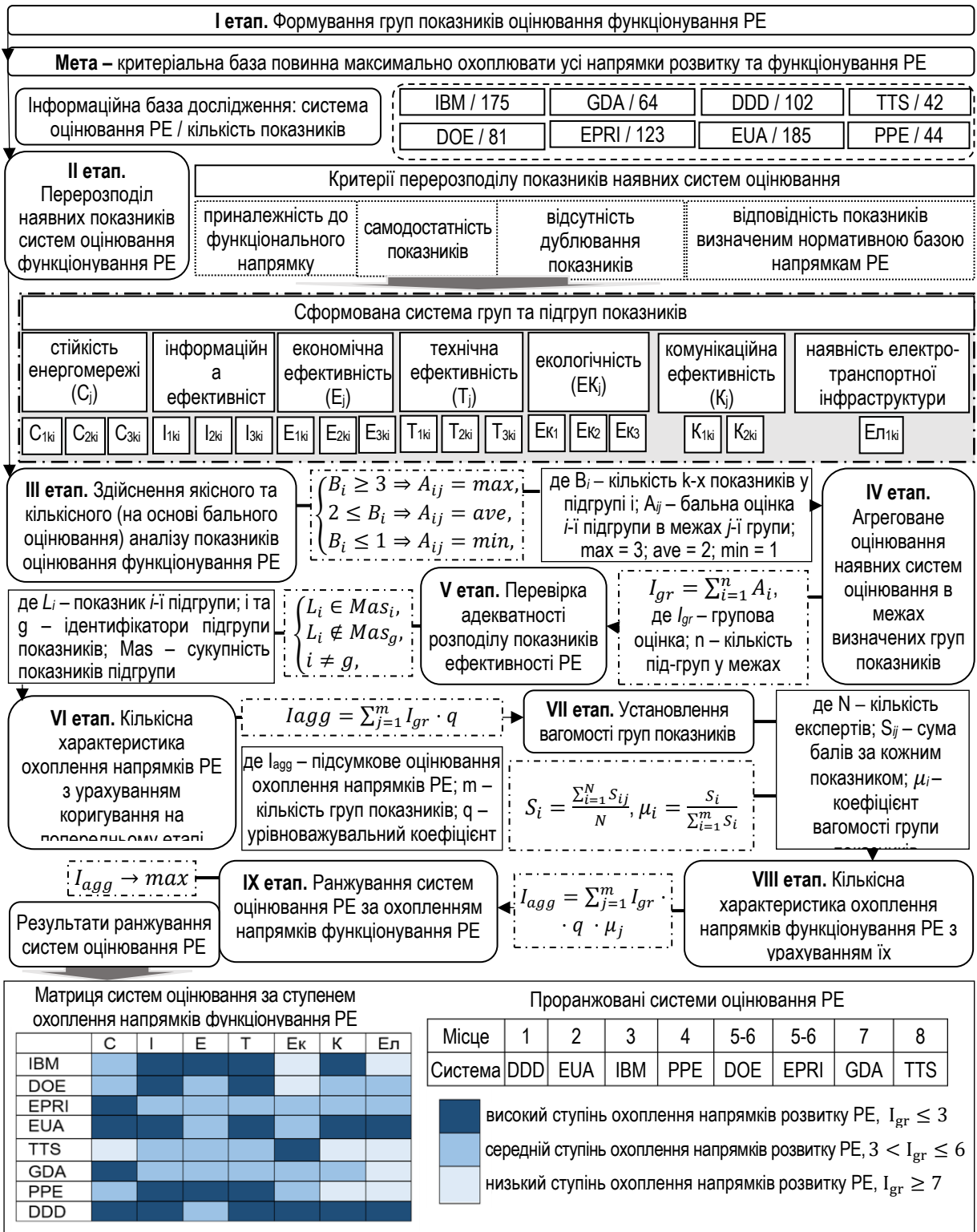
$M$  – кількість груп показників;

$q$  – урівноважувальний коефіцієнт;

$\mu_i$  – коефіцієнт вагомості групи показників.

Методичний інструментарій, за яким здійснено компаративний аналіз наявних систем оцінювання розумних енергомереж та його результати показано на рисунку 2.1.





C1k<sub>i</sub> – самовідновлення системи; C2k<sub>i</sub> – надійність системи; C3k<sub>i</sub> – безпека системи; I1k<sub>i</sub> – система моніторингу, контролю та інформатизація клієнтів; I2k<sub>i</sub> – енергетичний інтернет та інформатизація клієнтів; I3k<sub>i</sub> – ERP-системи та підтримання ухвалення рішень; E1k<sub>i</sub> – капітальні інвестиції; E2k<sub>i</sub> – оптимізація управління активами; E3k<sub>i</sub> – формування бізнес-моделі; T1k<sub>i</sub> – автоматизація; T2k<sub>i</sub> – розподілена енергогенерація; T3k<sub>i</sub> – продуктивність; Ek1k<sub>i</sub> – зниження викидів шкідливих речовин; Ek2k<sub>i</sub> – використання земельних ресурсів; Ek3k<sub>i</sub> – застосування альтернативної енергетики та розподілена енергогенерація; K1k<sub>i</sub> – політика відкритості; K2k<sub>i</sub> – взаємодія зі споживачами; El1k<sub>i</sub> – електричні транспортні засоби.

Рисунок 2.1 – Методичний інструментарій та результати компаративного аналізу систем оцінювання ефективності розумних енергомереж

Відповідно до отриманих результатів компаративного аналізу можна зробити висновок, що найбільш повно напрямки розвитку розумних енергомереж оцінює інструментарій DDD, про що свідчить найвища бальна оцінка даної системи оцінювання та рівномірний розподіл отриманих балів за усією сукупністю напрямків, які досліджувалися.

Деталізованими та чітко структурованими системами оцінювання розумних енергомереж є EUA та IBM, однак на відміну від у DDD, вони характеризуються незбалансованістю оцінювання розумної енергомережі як комплексного та системного явища, відповідно, окремі аспекти функціонування мережі охоплюються показниками, закладеними до досліджуваних систем оцінювання, меншою мірою, ніж інші. Останнє ствердження особливо актуальне для системи оцінювання розумної енергомережі, розробленої фахівцями компанії IBM.

Нижче наведено характеристику кожної з досліджуваних систем оцінювання на основі здійсненого компаративного аналізу за визначеними групами показників з графічною ілюстрацією рівномірності або асиметрії в охопленні показниками оцінювання конкретних напрямків розвитку розумних енергомереж.

*Система оцінювання розумної енергомережі IBM* є однією з найкращих за охопленням показниками напрямків розвитку розумних енергомереж та деталізацією результатів оцінки (рис. 2.2). Особливо якісно оцінюються такі групи: інформаційна, технічна, комунікаційна та економічна ефективність. Суттєвою перевагою даної системи оцінювання є системність та алгоритмізація оцінки, яка супроводжує усі етапи розвитку проєкту розумної енергомережі.

Логіка, закладена у процесі формування даної системи оцінювання, полягає у проходженні проєктом розумної енергомережі обов'язкових етапів, без здійснення яких він не може бути успішно реалізований. Кожен етап оцінюється за визначеними кількісними та якісними показниками, сукупність яких дозволяє сформулювати системне бачення мережі, виявити та взаємно узгодити складну

комбінацію ефектів, які впливають на ефективність роботи розумної енергомережі.



Рисунок 2.2 – Характеристика оціночної системи ІВМ за охопленням показниками оцінювання напрямків розвитку розумної енергомережі

Поетапне оцінювання передбачає розрахунок схожих або аналогічних за значенням показників на різних етапах функціонування проєкту. Це робить можливим відстеження динаміки розвитку розумної енергомережі, ідентифікацію проблем її розвитку та дозволяє здійснити корегувальні заходи.

Однак слабкими місцями системи оцінювання розумної енергомережі ІВМ є неповне врахування таких аспектів функціонування мережі, як-то: використання електричних транспортних засобів та розбудова електрифікаційної інфраструктури та екологічність. Наявність саме такої асиметрії у системі оцінювання відображає спрямування американського бачення розвитку енергомережі, який ґрунтується на високих стандартах технологічності та безпеки і має забезпечувати прибуток. Саме ці фактори є визначальними при відборі до реалізації проєктів розумних енергомереж у США. Екологічна складова є несуттєвою, порівняно з підходом, застосовуваним у ЄС.

*Система оцінювання DOE* має високі та вище середнього оцінки охоплення показниками напрямків розвитку та функціонування розумної енергомережі (рис. 2.3). Традиційно високою для американського підходу є деталізація технічних параметрів, безпеки та застосування інформаційно-комунікаційних технологій у енергомережі. Особливо технічної ефективності мережі та її продуктивності. Відмінністю від системи IBM є вищий рівень формалізації показників залучення електротранспорту та розбудови електротранспортної інфраструктури як складової розумної енергомережі та несистемне врахування економічних ефектів. Кардинальною відмінністю від попередньої системи оцінювання є відсутність поетапного вимірювання показників функціонування мережі, яке послідовно та максимально повно серед досліджених систем оцінювання розумних енергомереж реалізоване лише у системі IBM.

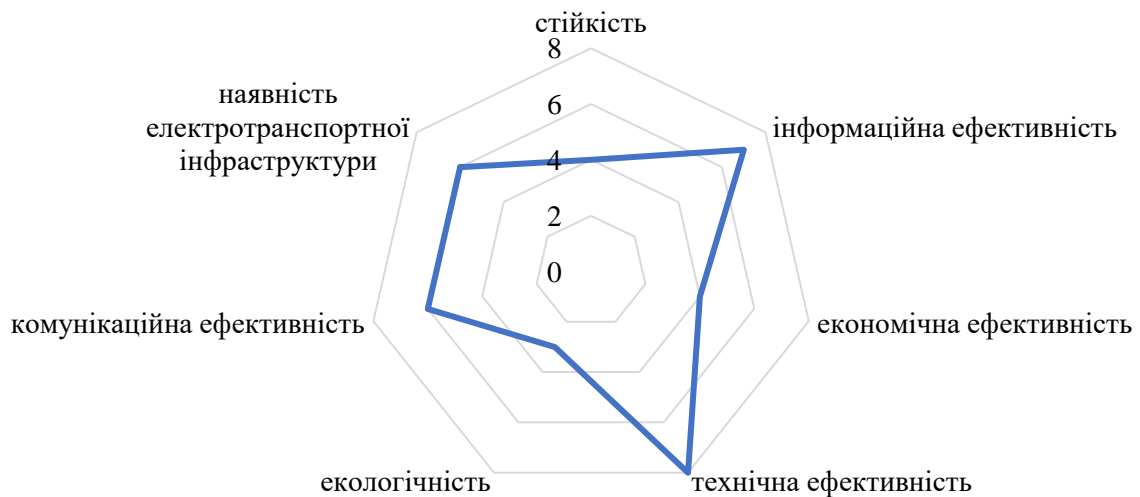


Рисунок 2.3 – Характеристика оціночної системи DOE за охопленням напрямків розвитку розумних енергомереж

*Система оцінювання EPRI* є черговим американським підходом до визначення ефективності функціонування розумних енергомереж, який за результатами оцінювання охоплення показниками напрямків розвитку розумної енергомережі є одним з найбільш збалансованих оціночних підходів. Недоліком даної системи оцінювання є недостатня деталізація універсальних показників по

усіх напрямках оцінювання. Однак система оцінювання EPRI є адаптивною, набір показників оцінювання може суттєво варіюватися, залежно від особливостей конкретного проєкту. Отже, до переваг системи варто віднести те, що, по-перше, вона є адаптивною до конкретного проєкту, а по-друге, дозволяє отримати комплексну оцінку проєкту з обмеженою кількістю даних та порівняно (з іншими системами оцінювання) невеликою кількістю розрахунків (рис. 2.4).

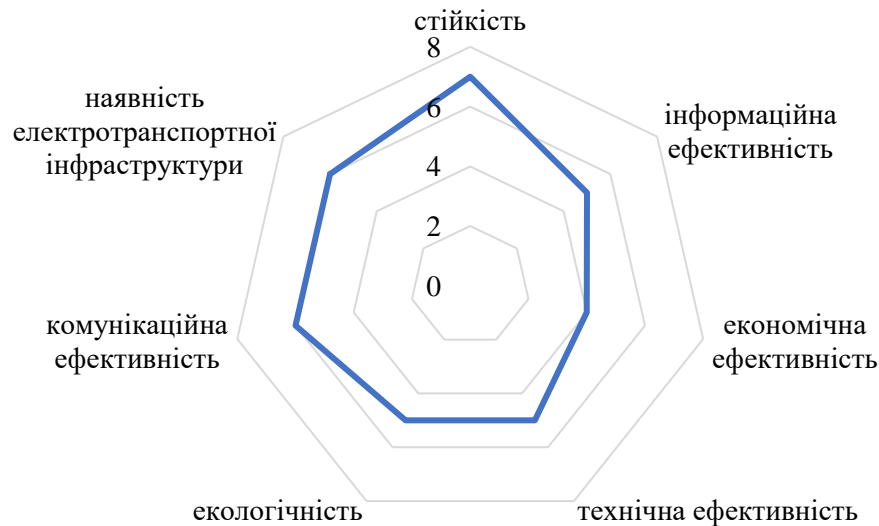


Рисунок 2.4 – Характеристика оціночної системи EPRI за охопленням напрямків розвитку розумних енергомереж

*Система оцінювання EUA* є одним з найбільш поширених підходів, які використовуються для здійснення оцінювання розумних енергомереж. Перевагою даної системи є збалансованість. Аналогічно до американських систем оцінювання розумних енергомереж значна частина сукупності показників, що застосовуються в системі, спрямована на визначення рівня технічної ефективності, продуктивності, автоматизації процесів, надійності та захищеності енергетичної системи (рис. 2.5). На базовому рівні оцінюється економічна ефективність проєктів розумних енергомереж. Екологічна складова, на відміну від американських підходів, має суттєвішу деталізацію, однак не охоплює усього спектру впливу реалізації проєктів розумних енергомереж на довкілля.



Рисунок 2.5 – Характеристика оціночної системи EUA за охопленням напрямків розвитку розумних енергомереж

*Система оцінювання TTS* є системою визначення ефективності розумної енергомережі за базовими параметрами та не передбачає наявності значної кількості показників за кожною з груп, які були виділені для здійснення порівняльного аналізу оціночних систем. На відміну від більшості розглянутих систем оцінювання, дана система відзначається широким охопленням показників впливу розумних енергомереж на навколишнє природне середовище (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Характеристика оціночної системи TTS за охопленням напрямків розвитку розумних енергомереж

До переваг системи оцінювання *GDA* варто віднести високий рівень охоплення показниками таких напрямків розвитку розумних енергомереж: стійкість, інформаційна та комунікаційна ефективність. У достатній мірі для здійснення аналізу доцільності впровадження проєкту на основі очікуваних економічних результатів від його функціонування розроблено інструментарій оцінювання економічної ефективності. Натомість екологічна складова та розвиток інфраструктури для переходу на електротранспорт враховані недостатньо (рис. 2.7).

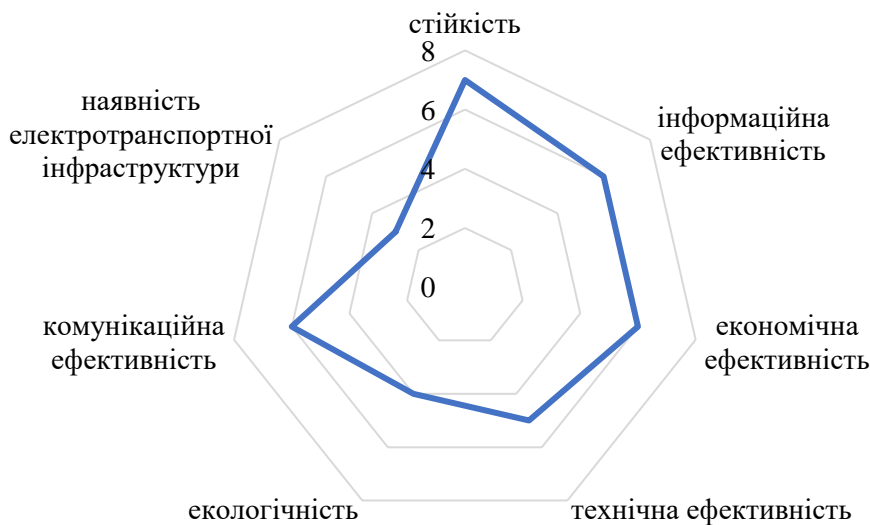


Рисунок 2.7 – Характеристика оціночної системи *GDA* за охопленням напрямків розвитку розумних енергомереж

Система оцінювання *PPE* є незбалансованою системою, сфокусованою на визначенні рівня застосовуваних технологій, ефективності мережі за сукупністю технічних параметрів та деталізованою оцінкою економічної ефективності. Натомість такі аспекти, як комунікаційна ефективність, розвиток електрифікаційної інфраструктури та використання електротранспорту є слабкими місцями даної системи оцінювання (рис. 2.8).

Система оцінювання *DDD* поєднує комплексний підхід та детальний алгоритм розрахунку показників за більшістю напрямків розвитку розумних енергомереж та вирізняється збалансованим та системним підходом до

оцінювання розумних енергомереж (рис. 2.9). Дана система у значній мірі враховує прямі та похідні ефекти функціонування розумної енергомережі. Однак оцінка економічної ефективності розумних енергомереж, яка здійснюється згідно даної оціночної системи, потребує доповнення.



Рисунок 2.8 – Характеристика оціночної системи PPE за охопленням напрямків розвитку розумних енергомереж



Рисунок 2.9 – Характеристика оціночної системи DDD за охопленням напрямків розвитку розумних енергомереж



Результати порівняння систем оцінювання розумних енергомереж та аналіз нормативної бази, якою регулюється процес розбудови розумних енергомереж дозволяють стверджувати про часткову невідповідність стратегічних задекларованих цілей у даному напрямку розвитку енергетичного сектору та методичним підходам (системам оцінювання), за допомогою яких визначається ефективність впровадження та функціонування розумних енергомереж. Згідно результатів компаративного аналізу жодна з систем оцінювання не має чіткого набору показників, які оцінюють інтегративні властивості розумних енергомереж, що реалізуються шляхом формування бізнес-моделі, яка може виступати каталізатором розбудови енергетичного сектору на основі застосування розумних технологій та формувати передумови переходу до енергоцентрованої моделі економіки. Винятком є система зрілості розумної енергомережі IBM, однак її застосування у даному контексті є обмеженим: потенційні проекти розумних енергомереж, що проектуються з використанням даної оціночної системи.

Формування бізнес-моделі як ключовий фактор розвитку розумної енергомережі не може бути проігнорований у системах оцінювання ефективності розумних енергомереж. Механізми стимулювання розвитку розумних енергомереж у ЄС та США спрямовані на забезпечення економічної ефективності та окупності розумних енергомереж, формування ефективного енергосектору з високою рентабельністю та, відповідно, інвестиційною привабливістю. Створення такої моделі енергосистеми дозволяє забезпечити швидкий прогрес у реалізації політики запровадження розумних енергомереж.

Однак наявні системи оцінювання не передбачають сукупності індикаторів, які вимірюють та дають кількісну характеристику даному процесу. Нечисленні показники, які можуть бути використані з даною метою, у окремих оціночних системах є розрізненими та неузгодженими, у інших – відсутніми.

Забезпечення якісного аналізу розвитку та функціонування розумних енергомереж потребує системного підходу та наявності комплексу різноспрямованих показників, які забезпечують максимально широке охоплення

напрямок розвитку розумних енергомереж. На основі пріоритетів розвитку розумних енергомереж та накопиченого розробниками систем їх оцінювання досвіду, проаналізувавши наявні системи оцінювання, нами було запропоновано класифікацію показників оцінювання, яка відповідатиме критерію максимізації охоплення напрямків розвитку розумних енергомереж. Дана класифікація передбачає такі групи показників:

- 1) стійкість;
- 2) інформаційна ефективність;
- 3) економічна ефективність;
- 4) технічна ефективність;
- 5) екологічність;
- 6) комунікаційна ефективність;
- 7) наявність електротранспортної інфраструктури.

Однак під час оцінювання розумних енергомереж необхідно враховувати специфіку об'єкта оцінювання. Доцільно виділити два граничні випадки оцінювання розумних енергомереж:

- 1) оцінювання наявних проєктів розумних енергомереж;
- 2) оцінювання потенційних проєктів розумних енергомереж.

До оцінювання наявних проєктів розумних енергомереж доцільно випадки, коли необхідно оцінити досягнений рівень розвитку розумних енергомереж на певній території.

Системи оцінювання розумних енергомереж повинні враховувати специфіку цільового призначення оцінювання. Відповідно до диференціації цілей оцінювання розумних енергомереж, доцільно класифікувати досліджені системи оцінювання розумних енергомереж на оптимальні для оцінювання наявних та майбутніх розумних енергомереж.

Одним з ключових класифікаційних критеріїв є наявність алгоритму поетапного оцінювання розвитку розумних енергомереж, тобто варіативність комплексу показників оцінювання залежно від етапу реалізації розумних

енергомереж. Для оцінювання функціонуючих проєктів розумних енергомереж або діагностики рівня територіального їх розвитку такий підхід є недоцільним.

Іншим критерієм є момент фіксації показників для фактологічної бази оцінювання: до реалізації проєкту, під час його реалізації, або після. Однак не всі показники, запропоновані у рамках досліджуваних систем оцінювання можна рознести за часом їх розрахунку, таким чином отримавши обґрунтований аргумент щодо доцільності використання системи оцінювання для діагностики наявних або потенційних розумних енергомереж. Оцінювання потенційних проєктів може здійснюватися на основі прогнозних даних, які спираються на техніко-економічні характеристики застосованих (запланованих) технологічних рішень, а також даних про функціонування аналогічних проєктів, які можуть бути екстрапольовані для моделювання результатів функціонування оцінюваного проєкту розумної енергомережі. Оцінювання наявних проєктів здійснюється на основі фактично отриманих даних функціонування розумних енергомереж.

Отже, класифікаційними критеріями групування наявних систем оцінювання є:

- врахування алгоритму реалізації проєкту;
- момент фіксації показників для фактологічної бази;
- тип фактологічної бази;
- рівень деталізації показників.

Однак відсутність чіткого кількісного вимірювання за запропонованими класифікаційними критеріями систем оцінювання розумних енергомереж спричиняє складнощі розподілу. Доцільно припустити, що окремі системи оцінювання не відповідатимуть критеріям віднесення до тієї чи іншої групи повною мірою. У такому випадку є необхідність доповнити класифікацію систем оцінювання розумних енергомереж третьою групою – універсальні системи оцінювання, які можуть бути застосовані як для оцінювання потенційних проєктів, так і для наявних проєктів та рівня розвитку розумних енергомереж.

Характеристика систем оцінювання розумних енергомереж відповідно до класифікаційних критеріїв показана в таблиці 2.43.

Таблиця 2.43 – Характеристика систем оцінювання розумних енергомереж відповідно до класифікаційних критеріїв

Системи оцінювання	IBM	DOE	EPRI	EUA	TTS	GDA	PPE	DDD
Критерії								
Наявність алгоритму реалізації проєкту	так	частково	частково	ні	ні	ні	частково	ні
Переважаючий момент фіксації даних	до/після	після	після	після	до/після	після	до	після
Наявність прогнозних показників (тип фактологічної бази)	частково	ні	частково	ні	частково	частково	так	ні
Рівень деталізації показників	високий	високий	високий	середній	низький	високий	середній	високий

Згідно з таблицею 2.43 та з урахуванням результатів характеристик систем оцінювання, які було отримано внаслідок компаративного аналізу:

–до систем оцінювання потенційних проєктів доцільно віднести: IBM та PPE.

–до систем оцінювання наявних проєктів та рівня розвитку розумних енергомереж доцільно віднести: DDD, GDA та TTS.

–до універсальних систем оцінювання доцільно віднести: EUA, DOE, EPRI.

### **2.3. Теоретичні засади формування інструментарію інтегрального оцінювання розумних енергомереж**

Застосування компаративного аналізу систем оцінювання розумних енергомереж дозволило виявити їх сильні та слабкі сторони та ідентифікувати ті системи оцінювання, які найбільш ефективні під час оцінювання проєктів майбутніх розумних енергомереж, вже функціонуючих розумних енергомереж,

а також діагностики стану розвитку розумних енергомереж на місцевому, регіональному та державному рівнях.

Проте було з'ясовано, що жодна з наявних систем оцінювання не здатна ефективно врахувати ефекти функціонування розумних енергомереж в усіх напрямках: стійкість енергомережі, її інформаційну, економічну, технічну та комунікаційну ефективність, ступінь її екологічності та рівень розвитку електротранспортної інфраструктури.

Унаслідок цього виникає потреба у розробці такої системи оцінювання, яка дозволить системно та комплексно оцінити усі значимі аспекти функціонування розумної енергомережі. З цією метою запропоновано методичний інструментарій інтегрального оцінювання розумних енергомереж, який дозволить поєднати кращі оціночні підходи в єдину систему оцінювання розумної енергомережі, яка максимально враховуватиме прямі та опосередковані ефекти їх функціонування.

Розроблений методичний інструментарій передбачає три етапи:

- етап 1 – формування базису системи оцінювання розумної енергомережі (на основі даних компаративного аналізу наявних систем оцінювання розумних енергомереж);
- етап 2 – формування інтегрованої системи оцінювання розумної енергомережі (створення комбінації індикаторів ефективності розумних енергомереж, які охоплюють усі напрямки її розвитку);
- етап 3 – формування інтегральної системи показників оцінювання розумної енергомережі.

На першому етапі із сукупності систем оцінювання відбирається оптимальна за кожним напрямком розвитку розумних енергомереж. З цією метою застосовується триетапна процедура відбору.

Спочатку визначаються оцінювальні системи з максимальною бальною оцінкою (отриманою у процесі компаративного аналізу та ранжування наявних систем оцінювання розумних енергомереж) за конкретним напрямком розвитку розумної енергомережі (формула 2.7):

$$A_{ki} \geq A_{max}, \quad (2.7)$$

де  $A_{ki}$  – оцінка  $i$ -го напрямку розвитку розумної енергомережі,

$k$  – кількість напрямків розвитку розумної енергомережі.

У випадку наявності більше однієї системи оцінювання, що має максимальний бал за охопленням напрямку розвитку розумної енергомережі, використовується наступний відбірковий етап, де визначається максимальна кількість напрямків, які повністю охоплені системою оцінювання розумної енергомережі. За базис для оцінювання даного напрямку обирається система з більшою кількістю максимальних балів по всіх напрямках розвитку розумної енергомережі (формула 2.8).

$$t_{ki} \geq t_{max}, \quad (2.8)$$

де  $t_i$  – кількість максимально охоплених напрямків розвитку розумної енергомережі

У випадку наявності декількох систем оцінювання, що мають максимальний бал за даним напрямком та однакову кількість максимально оцінених ними напрямків розвитку розумної енергомережі, за базис обирається оціночна система з більшою підсумковою оцінкою (отриманою внаслідок здійснення компаративного аналізу наявних систем оцінювання розумних енергомереж)

$$S_{ki} \geq S_{max}, \quad (2.9)$$

де  $S_i$  – сукупна оцінка (бальна) системи оцінювання за всіма напрямками розвитку розумної енергомережі;

У результаті триетапної процедури відбору формується базис для створення інтегрованої системи оцінювання розумної енергомережі, який має такий формалізований вигляд:

$$\{C_{ki}^b, I_{ki}^b, E_{ki}^b, T_{ki}^b, EK_{ki}^b, K_{ki}^b, EL_{ki}^b\}, \quad (2.10)$$

де  $C_{ki}^b, I_{ki}^b, E_{ki}^b, T_{ki}^b, EK_{ki}^b, K_{ki}^b, EL_{ki}^b$  – базові групові системи показників оцінювання розумної енергомережі (відповідно за групами: стійкість, інформаційна ефективність, економічна ефективність, технічна ефективність, екологічність, комунікаційна ефективність, наявність електротранспортної інфраструктури).

З метою забезпечення варіативності інтегрованої системи оцінювання відповідно до диференціації цілей оцінювання розумної енергомережі здійснюється перевірка приналежності індикаторів оцінювання ефективності розумної енергомережі до сукупності показників оцінювання наявних (вже функціонуючих) розумних енергомереж, потенційних (майбутніх) розумних енергомереж, або універсальних показників (застосування яких доцільне при здійсненні оцінювання як наявних, так і майбутніх розумних енергомереж). Диференціація показників за критерієм цільового призначення оцінювання розумної енергомережі здійснюється за формулами (з урахуванням класифікаційних критеріїв):

$$\begin{cases} CO_i \in S_e, \\ A_{ki} = A_{max_{ki}}, \end{cases} \quad \begin{cases} CO_i \in S_u, \\ A_{ki} = A_{max_{ki}}, \end{cases} \quad (2.11)$$

$$\begin{cases} CO_i \in S_{fut}, \\ A_{ki} = A_{max_{ki}}, \end{cases}$$

де  $S_e$ , – сукупність систем оцінювання наявних розумних енергомереж;

$S_{fut}$ , – сукупність систем оцінювання потенційних розумних енергомереж;

$S_u$  – сукупність універсальних систем оцінювання розумних енергомереж.

У результаті виконання описаних вище процедур було визначено найкращі з наявних систем оцінювання для кожного напрямку розвитку розумної енергомережі (табл. 2.44).

Таблиця 2.44 – Базисні системи для оцінювання напрямків розвитку розумних енергомереж

Група показників	Підгрупа показників	Умовне позначення	Система оцінювання
Стійкість (С)	самовідновлення системи	$C_{1ki}$	DDD
	надійність системи	$C_{2ki}$	EUA
	безпека системи	$C_{3ki}$	DDD
Інформаційна ефективність (І)	система моніторингу, контролю та інформатизація клієнтів	$I_{1ki}$	DDD
	енергетичний інтернет та інформатизація клієнтів	$I_{2ki}$	DDD
	ERP-системи та підтримання ухвалення рішень	$I_{3ki}$	DDD
Економічна ефективність (Е)	капітальні інвестиції	$E_{1ki}$	IBM
	оптимізація управління активами	$E_{2ki}$	IBM
	формування бізнес-моделі	$E_{3ki}$	IBM
Технічна ефективність (Т)	автоматизація	$T_{1ki}$	DDD
	розподілена енергогенерація	$T_{2ki}$	DDD
	продуктивність	$T_{3ki}$	DDD
Екологічність (Ек)	зниження викидів шкідливих речовин	$Ek_{1ki}$	TTS
	використання земельних ресурсів	$Ek_{2ki}$	DDD
	застосування альтернативної енергетики та розподілена енергогенерація	$Ek_{3ki}$	DDD
Комунікаційна ефективність (К)	політика відкритості	$K_{1ki}$	DDD
	взаємодія зі споживачами	$K_{2ki}$	DDD
Наявність електротранспортної інфраструктури (Ел)	електричні транспортні засоби	$El_{1ki}$	DDD

На основі базису для формування інтегральної системи оцінювання розумної енергомережі формується остаточний перелік показників для оцінювання кожного напрямку її розвитку.

Якщо базисна система оцінювання має максимальний бал за охопленням даного напрямку, вона приймається як остаточна для даного напрямку у інтегрованій системі оцінювання розумної енергомережі (формула 2.12).

$$\begin{aligned}
 & \text{if } A_{ki} = A_{\max ki}, \\
 & \left\{ \begin{array}{l} C_{ki} = C_{ki}^b, \\ \dots\dots\dots \\ El_{ki} = El_{ki}^b \end{array} \right. \quad (2.12)
 \end{aligned}$$

де  $C_{ki} \dots El_{ki}$  – підсумкові показники оцінювання;



Якщо базисна система оцінювання не має максимального балу за охопленням даного напрямку, вона приймається як остаточною для даного напрямку у інтегрованій системі оцінювання після доповнення її сумісними з нею показниками, які дозволяють максимізувати охоплення прямих та опосередкованих ефектів за даним напрямком функціонування розумної енергомережі (формула 2.13).

$$\begin{aligned}
 & \text{if } A_{ki} < A_{\max ki}, \\
 & \left\{ \begin{array}{l} C_{ki} = C_{ki}^b + C_{ki}^{ad}, \\ C_{ki}^{ad} \in S_j, \\ A_{cki} = A_{\max ki}, \\ \dots\dots\dots \\ E_{lki} = E_{lki}^b + E_{lki}^{ad}, \\ E_{lki}^{ad} \in S_j, \\ A_{E_{lki}} = A_{\max ki} \end{array} \right. \quad (2.13)
 \end{aligned}$$

$C_{ki}^{ad} \dots E_{lki}^{ad}$  - додаткові показники оцінювання;

$S_j$  – сукупність наявних систем оцінювання ( $S_u, S_{fut}, S_e$ ).

Інтегрована система оцінювання розумної енергомережі описується так:

$$I_{int} = \left\{ \begin{array}{l} C = f(C_{1ki}, C_{2ki}, C_{3ki}) \rightarrow \max; \\ I = f(I_{1ki}, I_{2ki}, I_{3ki}) \rightarrow \max; \\ E = f(E_{1ki}, E_{2ki}, E_{3ki}) \rightarrow \max; \\ T = f(T_{1ki}, T_{2ki}, T_{3ki}) \rightarrow \max; \\ E_k = f(E_{k1ki}, E_{k2ki}, E_{k3ki}) \rightarrow \max; \\ E_l = f(E_{l1ki}) \rightarrow \max; \\ K = f(K_{1ki}, K_{2ki}, ) \rightarrow \max \end{array} \right. \quad (2.14)$$

де  $C$  – група показників стійкості;

$I$  -група показників інформаційної ефективності;

$E$  – група показників економічної ефективності;

$T$  – група показників технічної ефективності;

$E_k$  – група показників екологічності;

- Ел – група показників наявності електротранспортної інфраструктури;
- К – група показників комунікаційної ефективності;
- $C_{1ki}$  – самовідновлення системи;
- $C_{2ki}$  – надійність системи;
- $C_{3ki}$  – безпека системи;
- $I_{1ki}$  – система моніторингу, контролю та інформатизація клієнтів;
- $I_{2ki}$  – енергетичний інтернет та інформатизація клієнтів;
- $I_{3ki}$  – ERP-системи та підтримання ухвалення рішень;
- $E_{1ki}$  – капітальні інвестиції;
- $E_{2ki}$  – оптимізація управління активами;
- $E_{3ki}$  – формування бізнес-моделі;
- $T_{1ki}$  – автоматизація;
- $T_{2ki}$  – розподілена енергогенерація;
- $T_{3ki}$  – продуктивність;
- $E_{k1ki}$  – зниження викидів шкідливих речовин;
- $E_{k2ki}$  – використання земельних ресурсів;
- $E_{k3ki}$  – застосування альтернативної енергетики та розподілена енергогенерація;
- $K_{1ki}$  – політика відкритості;
- $K_{2ki}$  – взаємодія зі споживачами;
- $El_{1ki}$  – електричні транспортні засоби

У розрізі диференціації за цільовим призначенням оцінювання інтегрована система оцінювання має такий формалізований вигляд:

$$I_{int} = \{I_u; I_e; I_{fut}\}, \quad 2.15$$

де  $I_u$  – перелік універсальних показників оцінювання розумних енергомереж;

$I_e$  – перелік показників оцінювання існуючих розумних енергомереж;

$I_{fut}$  – перелік показників оцінювання потенційних розумних енергомереж.

Інтегрована система оцінювання формує інструментарій системного оцінювання ефективності розумної енергомережі. Однак для реалізації державної політики в енергетичному секторі економіки необхідний універсальний підхід до оцінювання, який забезпечить порівнюваність результатів оцінювання окремих проєктів між собою та рівня ефективності реалізованих проєктів відносно планових показників. Це дозволить застосовувати його під час розроблення державних цільових та стратегічних програм розвитку енергосектору, при визначенні та моніторингу досягнення таргетів державної енергетичної політики.

Формування системи інтегрального оцінювання розвитку розумної енергомережі здійснюється на основі інтегрованої системи оцінювання з урахуванням ступеня досягнення бажаного (нормативного) значення за кожним індикатором ефективності її функціонування.

Агреговане оцінювання за кожною підгрупою показників оцінювання ефективності здійснюється за формулою 2.16:

$$I_{\text{напр.}} = \sum_{i=1}^y \frac{\gamma_i X_{i\text{факт}}}{X_{i\text{норм}}}, \quad 2.16$$

де  $X_{i \text{ норм}}$  – значення показника, розраховане на основі затверджених нормативних вимог, у випадку їх відсутності – максимальних показники за галуззю, або на основі експертного висновку;

$V$  – кількість показників у групі;  $y$  – кількість показників за напрямом;

$\gamma_j, \gamma_i$  – коефіцієнти пріоритетності напрямків розумної енергомережі

Агреговане групове оцінювання здійснюється так:

$$I_{\text{гр.}} = \sum_{i=1}^V \frac{\gamma_i X_{i\text{факт}}}{X_{i\text{норм}}} \gamma_j, \quad 2.17$$

Формалізований результат інтегрального оцінювання має такий вигляд (формула 2.18):

$$I_3 = f(C, I, E, T, E_k, K, E_l), \quad 2.18$$

де С – група показників стійкості;

I – група показників інформаційної ефективності;

E – група показників економічної ефективності;

T – група показників технічної ефективності;

E<sub>k</sub> – група показників екологічності;

E<sub>l</sub> – група показників наявності електротранспортної інфраструктури;

K – група показників комунікаційної ефективності

Методичний інструментарій інтегрального оцінювання ефективності функціонування розумної енергомережі показано на рисунку 2.10.

Набір показників (другого рівня) інтегрованої системи оцінювання ефективності розумної енергомережі, отриманого в результаті застосування розробленого методичного інструментарію, показано в таблиці 2.45.

Таблиця 2.45 – Показники інтегрального оцінювання розумної енергомережі

<b>Група 1: Стійкість (С)</b>		
1	2	3
Самовідновлення системи	Надійність системи	Безпека системи
– індекс самовідновлення; – швидкість самовідновлення	– лімітування напруги; – термін служби трансформаторного обладнання; – варіативні показники надійності системи	– <u>рівень аварійності (при транспортуванні та розподілі)</u> ; – кількість технологій зниження аварійності
<b>Група 2: Інформаційна ефективність</b>		
Системи моніторингу, контролю	Енергетичний інтернет та кібербезпека	ERP-системи та підтримка прийняття рішень
– застосування АСУ; – рівень застосування систем моніторингу	– відсоток безпечних операцій ІКС; – кількість інформаційних подій; – охоплення оптико-волоконною мережею магістралі	– рівень охоплення ERP-системою; – <u>тактичне прогнозування на основі фактичних даних</u> ; – автоматизація прийняття рішень; – використання аналітики в системах ціноутворення

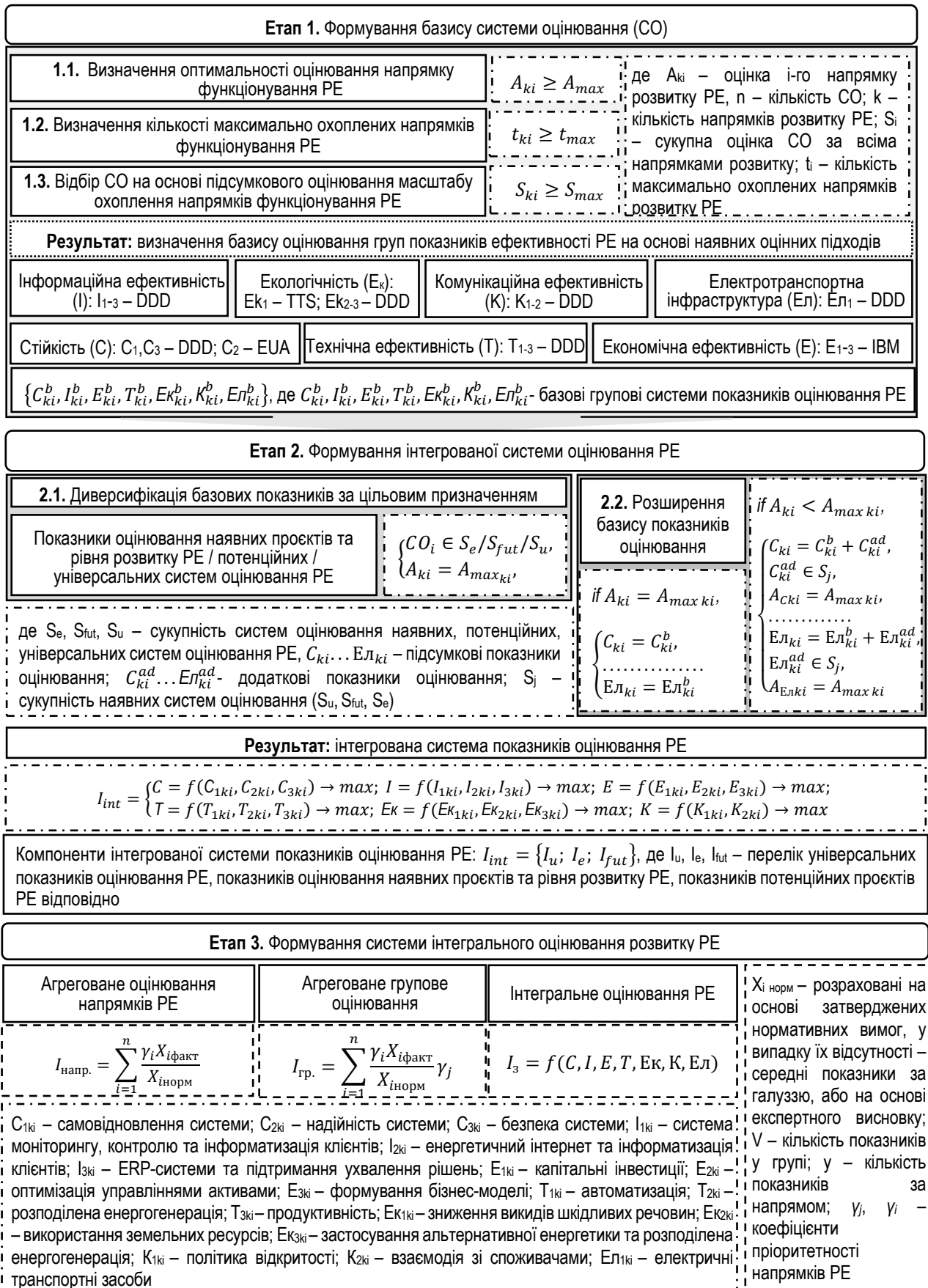


Рисунок 2.10 – Методичний інструментарій та результати інтегрального оцінювання ефективності функціонування розумної енергомережі

## Продовження таблиці 2.45

1	2	3
<b>Група 3: Економічна ефективність</b>		
Капітальні інвестиції	Оптимізація управління активами	Формування бізнес-моделі
<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>пілотні інвестиції</i>;</li> <li>– вартість нових систем;</li> <li>– моделювання інвестиційних активів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– оптимізація використання активів учасниками ланцюга поставок;</li> <li>– оптимізація моделювання розширення портфелю;</li> <li>– зниження втрат часу через відмову системи</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– оптимізоване формування тарифів;</li> <li>– розподіленість ресурсів на локальних ринках;</li> <li>– прибуток від супутніх послуг;</li> <li>– оцінка впливу нових послуг на постачання;</li> <li>– <i>функціональне формування бізнес-моделі</i></li> </ul>
<b>Група 4: Технічна ефективність</b>		
Автоматизація	Розподілена енергогенерація	Продуктивність
<ul style="list-style-type: none"> <li>– відсоток ліній з автоматичним моніторингом;</li> <li>– частка розумних підстанцій;</li> <li>– швидкість доступу до термінального обладнання;</li> <li>– охоплення системного прогнозування енергії</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– охоплення подвійного доступу до мережі;</li> <li>– частка встановленої розподіленої енергогенерації;</li> <li>– швидкість поширення розподіленої енергогенерації;</li> <li>– продуктивність компонентів розподіленої енергогенерації</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– річне максимальне навантаження;</li> <li>– частота виникнення максимального навантаження;</li> <li>– частка енергоощадних мереж;</li> <li>– питома вага нових встановлених енергетичних потужностей;</li> <li>– відсоток технологічних інновацій;</li> <li>– індекс ефективності операцій</li> </ul>
<b>Група 5: Екологічна ефективність</b>		
Зниження викидів шкідливих речовин	Використання земельних ресурсів	Застосування альтернативної енергетики
<ul style="list-style-type: none"> <li>– скорочення викидів CO<sub>2</sub>;</li> <li>– показник заходів охорони довкілля</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– економія земельних ресурсів;</li> <li>– використана площа на одиницю енергії</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– швидкість освоєння альтернативної енергетики;</li> <li>– частка альтернативної енергетики;</li> <li>– відсоток сукупних втрат енергії;</li> <li>– частка керованої системами розподіленої енергогенерації альтернативної енергії</li> </ul>
<b>Група 6: Комунікаційна ефективність</b>		
Політика відкритості	Взаємодія зі споживачами	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– глибина розкриття інформації;</li> <li>– швидкість оновлення інформації;</li> <li>– інвестиції у відкритість бізнесу;</li> <li>– повнота доступу до систем споживачами</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– темпи зростання обсягів електроенергії на ринку;</li> <li>– <u>масштаб і пропорції закупівель електроенергії крупними споживачами</u>;</li> <li>– <u>індекс якості обслуговування</u>;</li> <li>– економія енергії за рахунок управління споживанням;</li> <li>– участь клієнтів в управлінні навантаженням;</li> <li>– скорочення часу під'єднання нових користувачів;</li> <li>– активність учасників</li> </ul>	
<b>Група 7: Електротранспортна інфраструктура</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– <u>частка використання електротранспортних засобів</u>;</li> <li>– щільність розташування станцій заряджання;</li> <li>– ступінь сумісності автомобіля і зарядної станції;</li> <li>– встановлена ємність електричного транспорту;</li> <li>– кількість щорічно проданих гібридних та електричних автомобілів</li> </ul>		

Умовні позначення у таблиці 2.45: підкреслений текст – специфічні показники оцінювання наявних розумних енергомереж; текст курсивом – специфічні показники оцінювання потенційних проєктів розумних енергомереж; решта – універсальні показники. Поєднання універсальних показників із специфічними показниками оцінювання потенційних проєктів розумних енергомереж складає сукупність показників інтегрованої системи оцінювання потенційних проєктів. Відповідно поєднання універсальних показників із специфічними показниками оцінювання наявних розумних енергомереж складає сукупність показників інтегрованої системи оцінювання наявних енергомереж.

Використання розробленого підходу до формування інтегрованої системи оцінювання розумної енергомережі та на її основі інтегрального оцінювання збагачує наукові підходи до оцінювання розумних енергомереж. Визначення пріоритетних проєктів у даній галузі, сприяє підвищенню якості розробки державних та регіональних галузевих програм в енергетичному секторі. Розроблений інструментарій оцінювання розумних енергомереж, спрямований на підвищення ефективності реалізації державної енергетичної політики та формуванню умов переходу до інтегрованої енергоцентрованої економіки в Україні.

## Висновки до розділу 2

У другому розділі розроблено методичне підґрунтя компаративного аналізу наявних систем оцінювання функціонування розумних енергомереж, запропоновано методичний інструментарій інтегрального оцінювання ефективності їх функціонування.

У роботі узагальнено світовий досвід створення систем оцінювання ефективності розумних енергомереж (американські – IBM Smart Grid Maturity Model (IBM), DOE Smart Grid Development Evaluation System (DOE), EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators (EPRI); європейські – EU Smart Grid Assessment Benefits Systems (EUA); китайські – «Two Type» grid index system (TTS), Grid development assessment index system (GDA), Smart grid pilot project evaluation indicator system (PPE), Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand (DDD)), етапи їх формування (першими було розроблено системи оцінювання IBM, DOE, EPRI, потім – EUA, PPE, TTS, GDA, однією з найсучасніших є DDD), особливості застосування в різних країнах світу. Результати дослідження склали підґрунтя для їх класифікації за цільовим призначенням: для оцінювання ефективності розумних енергомереж, що лише проєктуються та заплановані до впровадження в майбутньому, рекомендовано застосовувати системи IBM і PPE; для аудиту вже існуючих розумних енергомереж – системи DDD, GDA та TTS. Системи EUA, DOE та EPRI можуть бути з успіхом використані в обох цих випадках.

У роботі розроблено методичний інструментарій компаративного аналізу наявних систем оцінювання ефективності розумних енергомереж, що враховує 7 груп та 18 підгруп індикаторів. Індикатори стійкості енергомережі описують її здатність знижувати рівень аварійності та кількість випадків відмов системи, самовідновлюватися після аварій та підтримувати необхідні для її функціонування параметри, гарантувати безпечність за рахунок застосування протиаварійних систем. Для визначення інформаційної ефективності розумних енергомереж запропоновано індикатори, що описують застосовувані системи



моніторингу та контролю, забезпечення онлайн-доступу до управління енергоспоживанням, засоби інтелектуалізації розумної енергомережі, підтримання необхідного рівня кібербезпеки, застосування інформаційно-аналітичних систем управління розумними енергомережами (наприклад, ERP). Економічну ефективність розумних енергомереж запропоновано вимірювати показниками обсягу, структури та джерел капітальних інвестицій, наявністю систем оптимізації управління активами і ефективності сформованої бізнес-моделі. Для квантифікації технічної ефективності розумних енергомереж визначено індикатори рівня автоматизації обладнання та продуктивності процесів, застосування техніко-технологічних рішень з інтегрування розподіленої енергогенерації до енергосистеми. До індикаторів екологічності розумних енергомереж запропоновано віднести характеристики рівня екодеструктивного впливу та декарбонізації енергосистеми, ефективності використання земельних ресурсів і запровадження технологій відновлюваної енергетики. Комунікаційну ефективність запропоновано визначати відповідно до рівня відкритості розумних енергомереж для стейкхолдерів через використання інформаційної політики рівного доступу, універсальних процедур та стандартів, а також залучення споживачів до віддаленого управління енергоспоживанням. Наявність у структурі розумних енергомереж електротранспортної інфраструктури пропонується оцінювати через динаміку та геопросторові параметри розбудови електрифікаційної інфраструктури і врахування її зростання в межах інтегрованої розумної енергомережі.

Такий підхід дозволяє здійснити таргетоване оцінювання ефективності прийнятої політики розбудови розумних енергомереж з урахуванням цільової настанови розвитку енергосектору: перехід до вуглецево-нейтральної економіки, зниження обсягів викидів/скидів шкідливих речовин у навколишнє природне середовище, збільшення питомої ваги відновлюваних джерел енергії в структурі енергетичного балансу країни, забезпечення самовідновлення та безпеки енергосистеми тощо.

Результати компаративного аналізу засвідчили, що напрацьовані світовою практикою підходи не дозволяють комплексно враховувати прямі та опосередковані ефекти як від реалізації окремих проєктів розумних енергомереж, так і від їх системної розбудови на рівні окремого регіону і країни в цілому. Для вирішення цієї проблеми розроблено науково-методичний підхід до інтегрального оцінювання ефективності функціонування розумних енергомереж, що передбачає врахування: 1) максимально широкого спектра напрямків функціонування розумних енергомереж та їх впливу на розвиток енергетичного сектору економіки; 2) пріоритетності цілей оцінювання розумних енергомереж; 3) ефективності розумних енергомереж та відповідності результатів їх функціонування очікуваним або встановленим таргетам; 4) можливості подальшої оптимізації розумних енергомереж та забезпечення їх відповідності максимальним вимогам щодо стійкості мережі, інформаційної, економічної та технічної ефективності розумної енергомережі, екологічності, здатності до інтеграції з мікромережами і мережами вищого ієрархічного рівня. Розроблений науково-методичний підхід дозволить оцінити рівень асинхронності державної енергетичної політики України та Європейського Союзу, швидкість реагування на зміни в енергетичних стандартах, виявити статистично значущі патерни детермінант ефективного функціонування розумних енергомереж, формалізувати «слабкі місця», «критичні точки» та аттрактори, що гальмують трансформацію застарілих енергомереж, удосконалити організаційно-економічне і нормативно-правове забезпечення розбудови розумних енергомереж в умовах обмеженості ресурсів, деталізувати пріоритетні напрямки реформування енергосектору.

Основні положення даного розділу опубліковано автором у роботах: [122, 137, 148].

**РОЗДІЛ 3**  
**НАПРЯМКИ РЕАЛІЗАЦІЇ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ РОЗБУДОВИ**  
**РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ В УКРАЇНІ**  
**ІНТЕГРОВАНОЇ ЕНЕРГОЦЕНТРОВАНОЇ МОДЕЛІ ЕКОНОМІКИ**  
**ЗГІДНО З ВИМОГАМИ ЄДИНОЇ ЕНЕРГОПОЛІТИКИ**  
**ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ**

**3.1. Організаційно економічні моделі запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі національної економіки**

Фінансування проєктів з розгортання розумних енергомереж у рамках енергетичної політики розвинених країн, зокрема ЄС, відбувається системно, включаючи декілька логічних етапів, необхідних для переходу від традиційної моделі енергосистеми до глобальної інтегрованої енергомережі. У ході виконання цих етапів відбуваються суттєві трансформації у процесах енергогенерації та зростання частки альтернативної енергетики у енергетичному балансі. Етапи, проходження яких передбачає перехід до розумної енергетики можна охарактеризувати так:

Перший етап – пристосування розподіленої генерації до діючих енергосистем. Цей етап є пройденим для країн ЄС. Проте Україна перебуває саме на цьому етапі.

Другий етап – створення децентралізованої електромережі, яка працює разом з основною енергосистемою. Країни ЄС, США перебувають на другому етапі. Джерела розподіленої енергогенерації і основна (традиційна) енергосистема стають рівноправними учасниками під час забезпечення електроенергією кінцевого споживача. На даному етапі відбувається остаточне формування конкурентного ринку електроенергії, який є обов'язковою умовою формування інтегрованої енергомережі. Модель конкурентного енергоринку передбачає функціонування, поряд з великими об'єктами енергогенерації, малих енергогенеруючих об'єктів, включно з домогосподарствами (кінцевими споживачами), з рівними правами та можливостями доступу до ринку.

Третій етап – створення дисперсної енергосистеми, де значна частина енергії виробляється системами розподіленої генерації.

Інтегрування розподіленої енергогенерації (як комплексу заходів та техніко-технологічних рішень) до енергосистеми дозволяє отримати низку переваг, адже забезпечує високу надійність електропостачання, зниження рівня втрат електроенергії та екологічного навантаження на природне середовище, що важливо також з позицій зв'язку між альтернативною енергетикою, екологічними ефектами та економічним зростанням [13, 63, 125]. Однак під час планування та реалізації проєктів запровадження розподіленої енергогенерації та використання альтернативної енергетики як джерела енергогенерації для кінцевого споживача потрібно вирішити низку проблемних питань, зокрема пов'язаних з технічною реалізацією та економічним обґрунтуванням двоспрямованості передачі струму в електромережі.

*Характеристика Етапу I: пристосування розподіленої енергогенерації до діючих енергосистем.* Енергетична політика ЄС передбачає здійснення переходу від традиційної моделі енергосистеми до розумної енергомережі, в основу якого покладено спільне бачення розвитку [39] та принцип підтримки поетапного реформування енергетики для перетворення енергетичної мережі від традиційної до розумної. Для цього необхідним є здійснення інновацій у енергосекторі країн-членів ЄС, що мають спільний вектор та єдині часові рамки. Це потребує законодавчого закріплення індикативних показників, що мають бути досягнені країнами-членами на певну дату (або протягом певного періоду часу), маркетингових заходів з просування інноваційних енергоефективних технологій [188], а також діяльність спеціалізованих організацій, які виконують широкий спектр функцій: від консультування до розробки стратегічних програм із наданням інформаційної підтримки та забезпеченням організаційного супроводження. До числа таких організацій належить ENTSO-E.

Досягнення мети першого етапу трансформації енергетичної системи Європи - пристосування розподіленої генерації до діючих енергосистем - потребувало діяльності, спрямованої на забезпечення техніко-технологічних та

організаційно-економічних умов приєднання розподілених джерел енергогенерації до енергосистеми, побудованої на основі традиційної моделі енергомережі, яка спиралася на іншу концепцію забезпечення енергопостачання, для якої були характерними такі ознаки: наявність потужних центрів генерації енергії (ТЕС, ТЕЦ, АЕС, крупні ГЕС, вітрові та фотоелектричні станції), від яких енергія спрямовувалася до споживача, який, у свою чергу, виконував виключно функцію споживання енергетичних ресурсів. Проте під час збільшення технічного навантаження на систему, спричиненого зростанням обсягів споживання енергії, що призвело у тому числі до підвищення рівня пікового навантаження, така енергосистема виявилася економічно неефективною. Перехід до іншої моделі (з розподіленою енергогенерацією) потребує формування умов для залучення споживачів до виробництва енергії для власного споживання та її транспортування мережею з метою реалізації надлишків згенерованої електроенергії до мережі за звичайним або зеленим тарифом, залежно від умов, встановлених на конкурентному ринку електроенергії. При цьому підхід енергокомпаній та регулятора ринку до формування тарифів має бути виваженим, адже згідно дослідження [46] високі тарифи на електроенергію не завжди позитивно впливають на розвиток об'єктів енергогенерації. Першочерговим технічним рішенням для залучення споживачів до більш активного використання енергомережі є забезпечення точного вимірювання енергоспоживання та енергогенерації у споживача електроенергії. Відповідно на першому етапі трансформування енергетичної системи у ЄС було забезпечено пріоритетність проєктів із встановлення засобів обліку спожитої та виробленої ними енергії, що було законодавчо закріплено прийняттям відповідної директиви ЄС та Рекомендацій Комісії ЄС «Про підготовку до розгортання інтелектуальних систем обліку». Окрім законодавчого підтримання даної ініціативи було задіяно механізми стимулювання.

Подібні проєкти (розумного вимірювання) було реалізовано також за межами ЄС, де вони також були фундаментально необхідні для забезпечення подальших етапів модернізації енергетичних систем.

Зокрема, одним з найбільш значимих пілотних проєктів був The Ontario Smart Metering Initiative [84, 107], суть якого полягала у встановленні інтелектуальних лічильників електроенергії у всіх будинках та підприємствах Онтаріо з метою зниження загального сукупного та пікового енергоспоживання. Електричні локальні дистриб'юторські компанії в Онтаріо впроваджували ініціативу «розумний лічильник» (SMI) під керівництвом Міністерства енергетики та інфраструктури та Енергетичної ради Онтаріо. Мета ініціативи полягала в тому, щоб принести користь споживачам електроенергії в Онтаріо через потенційне скорочення плати за спожиту електроенергію, що є результатом використання меншої кількості електроенергії та збільшення частки енергоспоживання в непікові для електромережі періоди. Зниження пікового навантаження в енергомережі сприяє отриманню екологічної вигоди за рахунок, зниження обсягів використання найбільш шкідливих для навколишнього середовища видів викопного палива, потрібного для забезпечення належних обсягів енергогенерації [84, 107].

Під час реалізації проєкту було апробовано модель залучення інвестиційних ресурсів у кінцевих користувачів енергомережі, які відповідно до очікуваних результатів, мали стати головними бенефіціарами проєкту.

Досвід реалізації даного та подібних проєктів [43] є показовим у плані швидкого розгортання системи обліку енергії на рівні окремої території. Такі проєкти дозволили виявити проблеми організаційного, економічного та техніко-технологічного характеру при швидкому розгортанні систем розумного вимірювання (першого етапу формування розумної енергомережі). Це дозволило створити збалансовану політику розгортання розумних енергомереж в енергетичному секторі окремих країн (США) та міжнародну політику у даному напрямку (країни ЄС), яка ґрунтується на поступовій реалізації елементів концепції розумної енергомережі та організаційно-економічних механізмах її підтримки, що передбачає зміщення фінансового тягаря реалізації політики запровадження розумних енергомереж до енергосектору з державних фінансових інституцій на приватний капітал.

Сутність більшості проєктів розумних енергомереж, реалізованих на першому етапі трансформаційних змін в енергосистемі - пристосування розподіленої енергогенерації до діючих енергосистем - полягала у скасуванні принципу ручного зчитування показників лічильників: працівники розподільчої компанії фізично відвідували приміщення споживача для запису даних (така практика досі є поширеною в Україні), - та отримання ряду переваг у вигляді гнучкого ціноутворення (трирівнева структура тарифу: на піку, в середині пікового періоду та поза піковим періодом), щоб відобразити зміну витрат на електроенергію протягом дня [97].

Не всі цілі пілотних проєктів розгортання систем розумного вимірювання було досягнуто, а їх реалізація, як правило, супроводжувалася перевищенням бюджету. Тому врахування подібного досвіду є актуальним для України, яка перебуває на першому етапі модернізації енергосистеми.

Проєкти, реалізація яких передбачена першим етапом модернізації енергетичної системи України, повинні спиратися на світовий досвід з метою використання кращої світової практики та уникнення помилок, які було зроблено за кордоном при здійсненні подібних проєктів. Наразі відбувається інтенсифікація реалізації подібних інвестиційних проєктів в Україні в рамках стратегічних та цільових програм модернізації енергетики України, які фінансуються за рахунок державного та місцевих бюджетів, а також шляхом залучення фінансування від закордонних фінансових інституцій.

*Характеристика Етапу II: створення децентралізованої енергетичної мережі.* Даний етап є логічним продовженням першого етапу модернізації енергетичної системи. На даному етапі, коли уже створені можливості обліку споживання (а також генерації) електричної енергії у споживача (потенційного об'єкту енергогенерації) та забезпечені можливості гнучкого підходу до тарифоутворення як щодо купівлі (споживання) електроенергії, так і щодо її продажу (виробництва та передачі в мережу) [83], постає питання пошуку оптимальних техніко-технологічних рішень щодо продукування електроенергії споживачем для власних потреб з можливістю її реалізації в мережу за умови

перевищення обсягів виробництва енергії над потребами в її споживанні. На цьому етапі також реалізуються проєкти з автоматизації регулювання попиту з метою зниження пікових навантажень в мережі.

На даному етапі наявний значний світовий досвід з реалізації енергоефективних проєктів, що пов'язані з використанням альтернативної енергетики. Адже одним і основних напрямків генерації енергії у розподілених енергетичних мережах є використання відновлюваних енергетичних ресурсів. Залежно від умов це може бути сонячна чи вітрова енергетика, використання біомаси [113, 132, 144] тощо. Пошук оптимального варіанту використання тієї чи іншої моделі розподіленої енергогенерації є метою значної кількості пілотних проєктів на другому етапі трансформації енергетичної системи від традиційної її моделі до розумної.

Одним з пілотних проєктів у даному напрямку є EcoGrid, який реалізовувався з 2011 по 2015 роки.

Метою проєкту була демонстрація функціонування енергосистеми з високою часткою відновлюваних енергоресурсів. Географічно проєкт було реалізовано на острові Борнхольм (Данія), частка споживання електроенергії з відновлюваних джерел у проєкті перевищувала 50%. У проєкті перевірялася технічна, економічна та екологічна ефективність енергоринку (локального, у межах проєкту), що функціонує в режимі реального часу для залучення дрібномасштабних енергогенеруючих об'єктів [29].

Проєкт охоплював [29]:

- розробку та впровадження концепції EcoGrid ЕС, що передбачає застосування всіх аспектів розумної енергомережі, від інформаційно-комунікаційних технологій, систем управління до концептуальних основ функціонування енергоринку (оформлення контрактів та реалізації бізнес-кейсів);
- підготовку демонстрації шляхом залучення усіх стейкхолдерів, систему тренінгів та навчання, встановлення та тестування обладнання;



– масштабну демонстрацію функціонування розумної енергомережі з приблизно 2000 учасників.

Проект було розраховано на два опалювальних сезони з подальшою розробкою стратегії для масштабування отриманих результатів на інші регіони. Однак він тривав понад 4 роки. Значною мірою це пов'язано з постійними покращеннями інформаційно-комунікаційної системи, що мала працювати як основа для моделі енергетичного ринку в онлайн режимі.

Результатом проекту EсоGrid та йому подібних, окрім іншого, стала інформація щодо проблемних аспектів у реалізації концепції запровадження моделі ринку енергії в режимі реального часу, що мали бути вирішені перед реалізацією даного підходу у масштабах ЄС з метою удосконалення функціонування наявної моделі енергоринку ЄС [44].

Однак серед позитивних результатів варто відзначити відсутність суттєвих технічних перешкод для реалізації принципу розподіленої енергогенерації шляхом залучення до традиційної моделі енергомережі об'єктів енергогенерації з використанням відновлюваних джерел енергії, що сприяє досягненню цілей модернізації енергомережі.

*Характеристика Етапу III: створення дисперсної енергосистеми.* Третій етап трансформації енергетичної системи полягає у створенні дисперсної енергосистеми, де значна частина енергії виробляється системами розподіленої енергогенерації. Тобто сутність даного етапу – масштабна реалізація успішного досвіду розподіленої енергогенерації із застосуванням відновлюваних джерел енергії з подальшою інтеграцією цієї моделі енергетичної системи до концепції розумних міст, відповідно до темпів науково-технічного прогресу у відповідь на зростання вимог до енергетичної системи як одного з ключових елементів забезпечення функціонування суспільства, його виробничої та невиробничої сфери, драйвера формування інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки.

Водночас перехід до третього етапу, який пов'язаний з плануванням глобальної енергетичної мережі, що матиме за основу розумні технології потребує вирішення кола питань, що наразі залишаються без відповіді.

Залишається незрозумілим, вектор розвитку розумних енергомереж у майбутньому. Це пояснюється невирішеністю задачі усунення техніко-технологічних обмежень, які стримують масштабування розумних енергомереж та обмежують їх економічну ефективність. Залежно від того, яким буде вирішення даних проблем, формуватиметься вектор розвитку розумних енергомереж [100]. Невизначеність стримує інвестиції у формування інноваційних повнофункціональних розумних енергомереж. Однією з ключових технічних проблем, які потребують вирішення, є питання акумулювання енергії, отриманої внаслідок розподіленої енергогенерації з відновлюваних джерел дрібними енерговиробниками, у тому числі домогосподарствами. Наявність розподіленого сховища, здатного локально забезпечувати електроенергію споживачам у випадку необхідності досі лишається технічно проблемним питанням, оптимального рішення якого немає, не зважаючи на численні довготривалі дослідження.

Ряд пілотних проєктів було здійснено для вирішення названих проблем, проте не зважаючи на позитивний досвід, отриманий від їх реалізації, питання оптимальної побудови та функціонування розумної енергомережі повністю не вирішене.

ADDRESS – один із численних проєктів у напрямку вирішення даного типу проблемних питань. Він спрямовувався на вивчення, розробку та впровадження технології та процесів зростання обсягів розподіленої енергогенерації та відновлюваних енергоджерел, поглиблюючи інтеграцію між споживачами енергії, енерговиробниками та операторами мережі. ADDRESS було спрямовано на створення інноваційних технологій для активних розподільних мереж, здатних підтримувати баланс мережі в онлайн режимі, контролювати виробництво електроенергії, щоб оператори мережі, споживачі та інші стейкхолдери отримали вигоду від гнучкості енергосистеми. Застосування інноваційних комунікаційних технологій, автоматизації обладнання та процесів та побутових технологій мало сприяти їх інтеграції до нових ринкових механізмів та відповідати алгоритмам функціонування енергомережі. Цей

проект було розроблено як дослідний майданчик для отримання економічно обґрунтованих технологічних рішень управління енергоспоживанням в розподіленій енергомережі. У рамках реалізації проекту було проведено аналітичну роботу щодо визначення переваг та недоліків застосування різних видів обладнання та технологій: найбільш перспективні технології проходили тестування на трьох ділянках, диференційованих за географічними, демографічними та генераційними характеристиками [5].

Переваги ADDRESS та подібних проектів полягають у наданні практичних рішень під час розв'язання фундаментальних проблем. Зокрема у ході реалізації проекту частково було отримано відповіді стосовно [5]:

- підвищення гнучкості і адаптації споживачів шляхом застосування принципів активного попиту;
- забезпечення управління потоками енергії в онлайн режимі на місцевому (регіональному) та глобальному рівнях;
- розроблення технологій для підвищення надійності розподіленого та онлайн управління енергомережею;
- використання гнучкості навантаження для забезпечення високого рівня безпеки енергомережі та підвищення ефективності її функціонування.

Результатом реалізації подібних проектів, які апробують інноваційні технології для розширення можливостей створення повнофункціональних розумних енергомереж є також рекомендації, що ґрунтуються на результатах практичної перевірки технологічної моделі розподіленої енергомережі, щодо усунення комерційних та регуляторних бар'єрів опору запровадженню концепції активного попиту та повної інтеграції енергомережі на засадах розподіленої енергогенерації та активного залучення споживачів до процесу генерації та розподілу енергії з максимально економічно доцільним рівнем використанням відновлюваних енергоджерел, а також надання всім учасникам ринку вигідних послуг для оптимізації місцевих і глобальних електричних мереж і підвищення конкурентоспроможності енергоринку для зниження енерговитрат [40].

Створення дисперсної енергетичної системи має ґрунтуватися на системі переваг для усіх учасників ринку, які підлягають монетизації. Реальні обсяги таких переваг, поруч зі справжніми обсягами витрат, також можуть бути визначеними у результаті здійснення проєктів, подібних до проєкту ADDRESS. Співвідношення переваг (прибутку) від реалізації розумних технологій в енергомережі залежить від обраної технічної конфігурації та принципової організаційної моделі. Пошук оптимального рішення даного питання потребує ґрунтовного дослідження, у тому числі реалізації пілотних та демонстраційних проєктів з метою вивчення отриманого досвіду для подальшого уникнення помилок при проектуванні розумних енергомереж, а також максимізації переваг від їхнього впровадження.

Переваги, визначені завдяки пілотним (демонстраційним) проєктам розумних енергомереж, можуть включати:

- зниження витрат на енергію;
- покращення ринкової і системної продуктивності;
- скорочення витрат в енергомережі;
- скорочення обсягу інвестицій в енергомережу;
- скорочення викидів шкідливих речовин;
- зниження витрат на енергоресурси.

До потенційних витрат під час запровадження розумних енергомереж та створення дисперсної енергосистеми, головним чином, належать ті, які пов'язані з інвестиціями в розвинену інфраструктуру вимірювання та інші двосторонні засоби зв'язку, інтелектуальні лічильники та адаптацію домогосподарств до участі в розумних енергомережах.

Перехід до розумних енергомереж є необхідністю. Тому процес їхньої розбудови є незворотнім. Ключове питання, що стримує швидкий перехід до розумних енергомереж – наявність ринкового механізму, що забезпечить максимізацію переваг від даного процесу для усіх учасників енергетичного ринку з одночасною мінімізацією витрат, які пов'язані з відсутністю досконалих дешевих технологічних рішень та організаційної моделі, що ґрунтується на

використанні таких рішень. Вартість переходу до розумних енергомереж є бар'єром, який стримує модернізацію енергетичної системи відповідно до сучасних вимог. Інфраструктурна складова є найбільш витратним елементом бюджету проектів розбудови розумних енергомереж. Саме цим пояснюється значна кількість пілотних та демонстраційних проектів, спрямованих на пошук оптимального на даний момент варіанту побудови розподіленої енергетичної мережі із широким застосуванням розумних технологій. У той же час, масштабні проекти у енергетичному секторі відносяться до двох перших етапів модернізації енергетичної системи, адже це дозволяє забезпечити можливості для акселерації модернізаційних процесів у енергетиці щодо розбудови розумних енергомереж відразу, коли з'явиться доступне за ціною та ефективно технологічне рішення для масштабної розбудови дисперсних енергомереж.

### **3.2. Дорожня карта запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі України у контексті формування інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки**

Реалізація політики запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки України потребує узгоджених систематичних дій усіх зацікавлених сторін. Відповідно до визначених етапів трансформації енергетичної системи на основі застосування розумних технологій, Україна перебуває на першому етапі - пристосування розподіленої енергогенерації до діючих енергосистем. Країни-лідери у цьому напрямку знаходяться на другому етапі (створення децентралізованої енергетичної мережі), а в окремих країнах практично сформовано умови для переходу на третій етап (створення дисперсної енергосистеми). Відповідно існує значний досвід підготовки, реалізації та супроводу проектів розумних енергомереж, їх інтеграції до енергетичної системи та масштабування успішних проектів з місцевого на регіональний та державний рівні. Запозичення цього досвіду з використанням бенчмаркінгу

дозволяє уникнути значної кількості помилок під час реалізації державної енергетичної політики. Однак для залучення успішного досвіду провідних країн необхідно створити умови розвитку енергосектору аналогічні або наближені до умов тих країн, чий досвід запозичується. Це потребує створення конкурентного ринку енергоресурсів, забезпечення ефективного розподілу електроенергії [155] та рівного доступу до енергомережі усіх виробників енергії, незалежно від обсягів енергогенерації, створення передумов для ефективного інвестування у енергетичну галузь з пріоритетом для проєктів розумних енергомереж. Важливо забезпечити умови для швидкого розвитку інфраструктури розумних енергомереж, адже інфраструктурний аспект є одним з визначальних щодо розвитку розумних енергомереж. Для узгодження значної кількості пов'язаних між собою процесів необхідно створити дорожню карту реалізації політики запровадження розумних енергомереж в Україні, яка визначить ключових учасників процесу, ідентифікує напрямки їх діяльності та терміни виконання конкретних завдань [200].

Дорожня карта є дієвим інструментом, який сприяє підвищенню ефективності управління складними процесами, до яких належить розбудова розумних енергомереж.

Призначення дорожньої карти полягає у трактуванні стратегії або бачення певного процесу, що дозволяє інтегрувати систему цілей у просторово-часовому вимірі, узгодити стратегічні цілі та тактичні рішення, організувати бізнес-процеси.

Переваги застосування дорожніх карт показано на рис. 3.1.

Застосування дорожніх карт в енергосекторі є поширеним явищем як серед інституцій, які відповідають за реалізацію державної (або міжнародної у випадку ЄС) політики, так і серед компаній, що реалізують масштабні проєкти модернізації енергетичної системи. Окрім того, тематика розроблення дорожніх карт для реалізації політики запровадження розумних енергомереж в енергетиці привертає увагу науковців, про що свідчить значна кількість досліджень у даному напрямку. На рисунку 3.2 показані змістовні кластери наукових

досліджень у контексті формування дорожніх карт розвитку розумних енергомереж.



Рисунок 3.1 – Основні переваги застосування дорожніх карт (сформовано на основі [202, 114, 78])

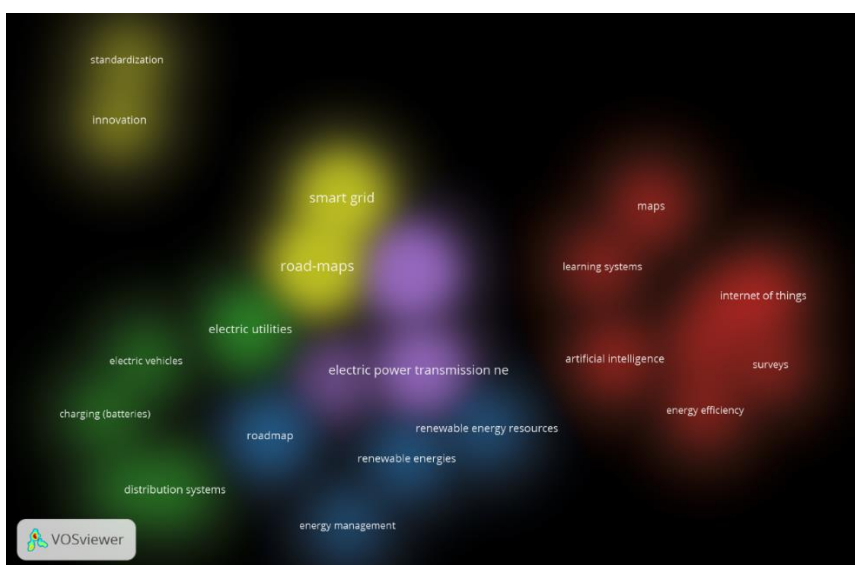


Рисунок 3.2 – Дослідження щодо створення дорожніх карт для запровадження розумних енергомереж в енергетичний сектор економіки

Відповідно до рисунку 3.2 можна зробити висновок, що переважна більшість досліджень з даного напрямку сконцентрована на розробці комплексних дорожніх карт, які охоплюють усі напрямки розвитку розумних енергомереж. Водночас, частина досліджень фокусується на проблемі інтеграції відновлюваної енергетики до енергосистеми. Це пояснюється вагомністю даного напрямку для успішної реалізації проєктів розумних енергомереж та їх масштабування.

Часовий зріз досліджень щодо створення дорожніх карт розвитку розумних енергомереж (рис. 3.3) свідчить, що зміщення інтересу науковців від питання глобальної розбудови розумних енергомереж до впровадження та інтеграції до наявних розумних енергомереж сучасних технологій таких, як: штучний інтелект, машинне навчання та енергетичний інтернет.

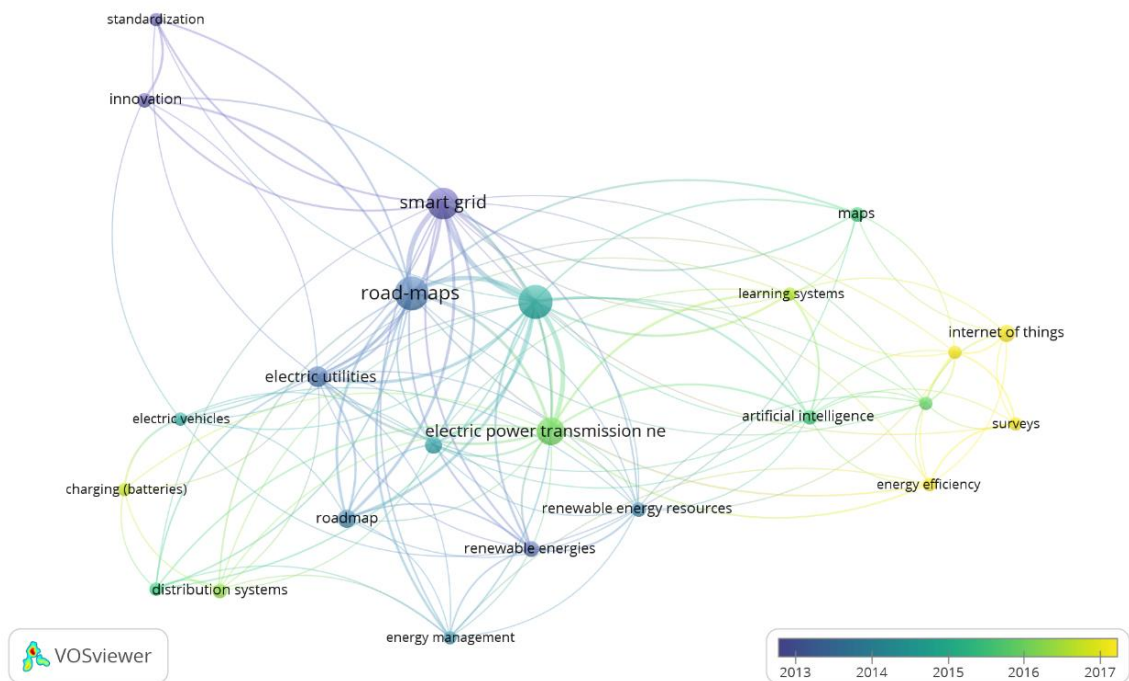


Рисунок 3.3 – Часовий вимір досліджень щодо створення дорожніх карт для запровадження розумних енергомереж до енергетичного сектору економіки



Дані на рис. 3.4 пояснюють тенденції у зміні напрямку досліджень щодо створення дорожніх карт розвитку розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки.

Переважає більшість країн, вчені яких опублікували найбільшу кількість праць з даної тематики, сформувавши і частково реалізувавши політику запровадження розумних енергомереж на основі даних досліджень та нормативних актів, розроблених уповноваженими інституціями. Тому для них немає потреби у здійсненні подальших досліджень у даному напрямку. Натомість актуальним питанням для цих країн стає підвищення ефективності функціонування розумних енергомереж за рахунок впровадження інноваційних технологій: енергетичних, інформаційних та комунікаційних.

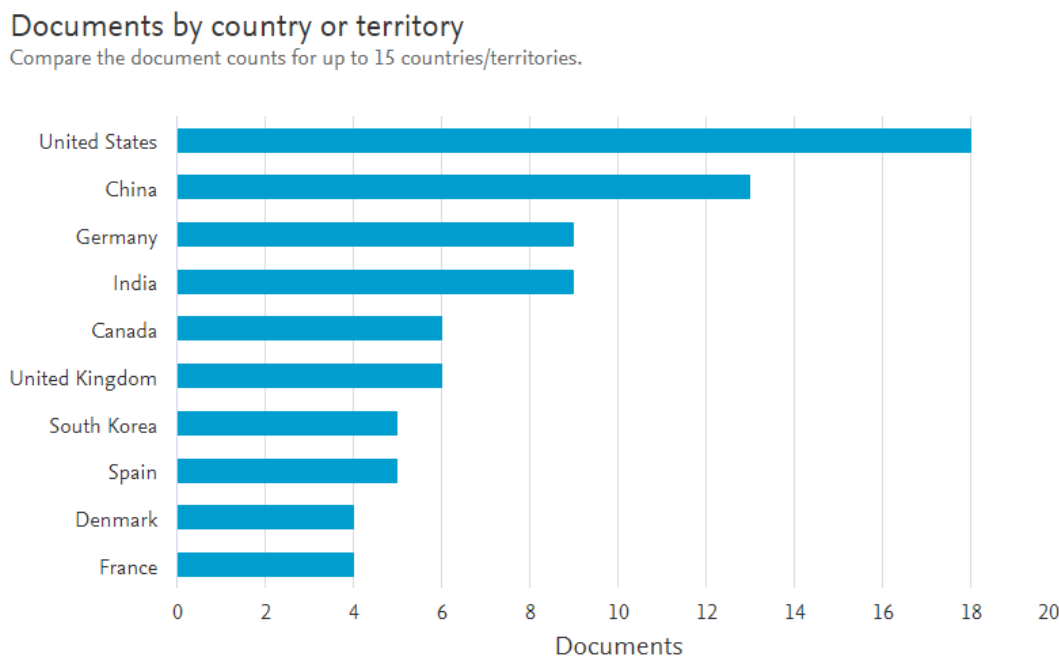


Рисунок 3.4 – Географічний вимір досліджень щодо створення дорожніх карт для запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки (на основі бази даних Scopus)

Водночас питання розроблення дорожньої карти для успішної реалізації політики запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки та формування енергоцентрованої моделі економіки, яка

відповідатиме вимогам єдиної енергетичної політики ЄС, є актуальним для України.

Аналіз наукового доробку дозволив визначити підходи до запровадження розумних енергомереж на національному та міжнародному рівнях (на прикладі ЄС). Досвід впровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі країнами-лідерами у даному напрямку дозволяє стверджувати, що на ефективність реалізації політики запровадження розумних енергомереж впливає низка детермінант, які обумовлюють стратегічний перехід від традиційної архітектури енергосистеми до інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки. Найбільш вагомими з них є:

- технологічні обмеження;
- несформована бізнес-модель;
- висока капіталоемність;
- екологічні вимоги.

Під впливом поєднання цих факторів було сформовано такі моделі розвитку розумних енергомереж:

1) поетапна розбудова розумних енергомереж, була застосована на практиці у країнах ЄС. Суть даної моделі полягає у послідовному впровадженні інтелектуальних технологій в енергетичному секторі економіки та переході від технологій нижчого рівня до технологій більш високого рівня (від розумного вимірювання (уже досягнуто) до дисперсної енергосистеми(ще не досягнуто));

2) локалізація розумних енергомереж – підхід до розбудови розумних енергомереж, застосований у США, відмінність від підходу ЄС полягає у тому, більш складні технології розумних енергомереж запроваджуються одночасно з реалізацією принципу розумного вимірювання. Це дозволяє створити повнофункціональну розумну енергомережу на обмеженій території, проте її інтеграція до наявної енергосистеми здійснюється лише за умови виконання двох умов:

1) наявність техніко-технологічної можливості безпечної та ефективною інтеграції мереж;

2) економічна доцільність інтеграції (формування прибуткової бізнес-моделі у результаті інтеграції енергомереж).

Результати бенчмаркінг-аналізу кращих практик та пілотних (демонстраційних) проєктів розумних енергомереж ураховані під час розроблення дорожньої карти запровадження розумних енергомереж в енергосектор України (рис. 3.5), яка відповідає вектору розвитку європейської енергомережі [35]. У її основі - гібридна модель (на основі поєднання моделей поетапної розбудови та локалізації розумних енергомереж), якою передбачені масове розгортання однорідних розумних енерготехнологій на базовому рівні (розумне вимірювання) та одночасна реалізація пілотних проєктів розумних енергомереж. Такий підхід обумовлений відсутністю технологічних бар'єрів розвитку розумних енергомереж, які виступали як стримувальні фактори при підготовці та реалізації концепції запровадження розумних енергомереж в ЄС та США. Урахування світового досвіду, наявних передумов та системи техніко-технологічних, економічних та інституційних обмежень розвитку розумних енергомереж в Україні дозволило визначити найбільш значущі напрямки діяльності, які потребують узгодженої в часі та скоординованої кооперації ключових стейкхолдерів, що сприятиме швидкому переходу від реалізації окремих пілотних проєктів розумних енергомереж до їх взаємоінтеграції та імплементації до національної енергомережі.

До даних напрямків належить:

- енергоефективна політика та регулювання;
- інфраструктура;
- технології, інновації та дослідження;
- залучення клієнтів та політика відкритості.

Дорожня карта запровадження розумних енергомереж в енергосекторі України враховує етапи розвитку розумних енергомереж та формування інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки в Україні (пристосування розподіленої енергогенерації до діючих енергосистем, створення децентралізованої енергетичної мережі та створення дисперсної енергосистеми).

	Етап 1. Пристосування розподіленої енергогенерації до енергосистеми	Етап 2. Створення децентралізованої енергомережі	Етап 3. Створення дисперсної енергомережі	Стейк-холдери
Енергоефективна політика та регулювання	Розгортання систем розумного вимірювання			(Д, Е)
		Оновлення нормативної бази розвитку електрифікаційної інфраструктури		(Д)
		Розроблення та впровадження системи стимулювання використання ел. транспорту та ел. опалення		(Д)
	Розроблення стандартів та структурування взаємодії між агрегаторами та енергопостачальниками			(Д, Е)
		Розвиток енергоринку із залученням споживачів до розподіленої енергогенерації		(Д, Е)
	Технічна стандартизація, регуляризація протоколів комунікації			(Д, Н, Е)
	Забезпечення конфіденційності, захисту власності та безпеки клієнтської інформації			(Е, Д)
	Забезпечення кібербезпеки за рахунок стандартизації, регулювання та бенчмаркінгу			(Е, Д)
Інфраструктура	Постійні інвестиції в РЕ			(Е, Д)
	Оновлення енергоінфраструктури на основі РЕ	Збільшення частки РЕ у ЕСЕ до 50 %	Збільшення частки РЕ у ЕСЕ понад 50 %	(Е)
	Реалізація проєктів альтернативної енергогенерації			(Е, Д, Н)
		Інтеграція проєктів альтернативної енергетики та розподіленої енергогенерації в РЕ		(Е, Д)
		Виведення на ринок «віртуальних електростанцій» та стимулювання розподіленої енергогенерації		(Е, Д)
	Інвестування в системи моніторингу і контролю розподільної мережі			(Е, Д)
	Інвестування в енергогенерацію з відновлюваних джерел			(Д, Е, Н)
	Дослідження та стимулювання загальносистемних механізмів стабілізації РЕ		(Д, Е)	
Технології, інновації та дослідження		Дослідження технологій для РЕ	Участь у міжнародних проєктах дослідження РЕ	(Д, Е, Н)
	Підготовка працівників у галузі РЕ (зокрема науковців)			(Д, Е)
		Розумне онлайн-вимірювання викидів CO2		(Е)
		Забезпечення гнучкої тарифікації використання енергії		(Д, Е, Н)
	Пілотні дослідження управління попитом та автоматизованого контролю			(Д, Е, Н)
	Реалізація дослідницьких проєктів: інформаційно-комунікаційні технології, моніторинг та контроль. Міжнародна співпраця			(Д, Е, Н)
	Демонстраційні проєкти для визначення витрат, параметрів безпеки та стійкості			(Д, Е, Н)
		Пілотні проєкти з акумулювання енергії		(Д, Е)
		Дослідження потенціалу водневої енергії		(Д, Е, Н)
Залучення клієнтів та політика відкритості	Навчання та залучення споживачів до управління енергомережею			(Д, Е, Н)
	Розроблення та демонстрація технологій для кінцевого споживача			(Д, Е, Н)
	Розроблення інструментів енергоспоживання та бізнес-моделі, стимулювання реагування споживачів на зміни на енергоринку			(Д, Е, Н)
	Стандартизація, субсидювання, стимулювання використання розумних пристроїв			(Д, Е)
	Кодифікування найкращих практик енергоефективності та автоматизованого реагування на попит		Стимулювання широкомасштабного розгортання пілотних проєктів енергоефективності та автоматизованих програм реагування на попит	

Д – уряд, органи державної влади та місцевого самоврядування    Н – фінансово-кредитні організації, домогосподарства, промислові енергоспоживачі, надавачі послуг для ЕСЕ, проєктні, науково-дослідні організації    Е – енергогенеруючі та енергорозподільчі компанії, енергопостачальники та регулятор енергоринку (НКРЕКП)

Рисунок 3.5 – Дорожня карта запровадження розумних енергомереж в Україні

Одним із ключових завдань дорожньої карти є активізація механізмів інноваційного розвитку економіки [175, 178] на основі стратегічних орієнтирів розвитку енергетичного сектору [186].

Під час розроблення дорожньої карти визначено три групи стейкхолдерів:

- 1) уряд, органи державної влади та місцевого самоврядування;
- 2) представники енергетичного сектору економіки, у тому числі енергогенеруючі та енергорозподільні компанії, енергопостачальники та регулятор енергоринку (НКРЕКП);
- 3) представники інших видів діяльності. Зокрема, до цієї групи увійшли: фінансово-кредитні установи, домогосподарства, промислові енергоспоживачі, надавачі послуг для енергетичного сектору, проєктні та науково-дослідні організації.

Розроблена дорожня карта має часовий вимір, визначений тривалістю окремих етапів реалізації розумних енергомереж та формування інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки. Однак період здійснення кожного з цих етапів не визначено. Це пояснюється несформованістю державної політики запровадження розумних енергомереж в енергосектор України. Відсутністю державних програм розвитку даного напрямку енергетики України, непередбачуваністю курсу реформування енергосектору країни. Терміни реалізації конкретного етапу у таких умовах не можуть бути спрогнозовані з належною точністю. Саме наявність значної кількості ризиків реалізації дорожньої карти, спричинених особливостями енергетичної політики в Україні, нестабільністю фінансування, невиконанням плану дій щодо асоціації України та ЄС, що впливає на перспективи та темпи інтеграції національної та загальноєвропейської енергосистем, погіршенням інвестиційного клімату, стала причиною відмови від чіткого часового планування реалізації заходів, передбачених дорожньою картою. Натомість відмінністю розробленої дорожньої карти є запропонований механізм її реалізації на основі схеми взаємодії стейкхолдерів, яка передбачає систематизацію їх кооперації на основі спільності інтересів у процесі розроблення, здійснення проєктів розумних енергомереж та їх подальшого розвитку.

### **3.3. Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів під час розбудови розумних енергомереж**

Системний підхід до розбудови розумних енергомереж передбачає застосування широкого набору інструментів для регулювання діяльності зацікавлених осіб та безпосередніх учасників проєктів розумних енергомереж.

Для інтенсифікації розробки проєктів, їх реалізації та масштабування на рівень національної економіки необхідно систематизувати взаємодію стейкхолдерів. З цією метою розроблено організаційно-комунікаційну схему взаємодії стейкхолдерів.

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

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

Такий підхід дозволяє виділити проблемні аспекти взаємодії стейкхолдерів, що стримує розвиток розумних енергомереж, а також визначити механізми регулювання відносин зацікавлених сторін у процесі розгортання розумних енергомереж. Унаслідок цього побудова схеми взаємодії стейкхолдерів, а також формування та підтримання механізмів її реалізації може розглядатися як інструмент використання прихованого потенціалу розвитку розумних

енергомереж. Запропонована схема взаємодії стейкхолдерів, спрямована на узгодження їх інтересів, виявлення та усунення антагонізму у їх поведінкових патернах, руйнування бар'єрів під час взаємодії стейкхолдерів, нівелювання причин виникнення внутрішньосистемних та екстернальних конфліктів. Формування системи взаємодії стейкхолдерів на основі організаційно-комунікаційної схеми їх взаємодії дозволяє визначити та формалізувати найбільш ефективні механізми регуляторних інтервенцій для впорядкування відносин зацікавлених сторін у процесі запровадження розумних енергомереж та врахувати латентні ефекти та драйвери їх впровадження [37, 68, 75]. Актуальність даного завдання підтверджується наявністю ґрунтовних наукових досліджень, спрямованих на вирішення даної проблеми [58]. Основу розробленої схеми взаємодії стейкхолдерів складає модель зрілості розумної енергомережі IBM. Вибір даної моделі обґрунтовується результатами компаративного аналізу систем оцінювання розумних енергомереж, здійсненого в розділі 2.2. Результати аналізу засвідчили, що модель зрілості розумної енергомережі IBM найбільш повно з наявних аналогів враховує алгоритм реалізації проєктів розумних енергомереж та деталізує не лише індикатори, які мають бути визначені на кожному етапі створення та реалізації проєкту розумної енергомережі, а також описує процеси, які відбуваються впродовж кожного етапу. Для більш повного врахування взаємодії стейкхолдерів у рамках створення та реалізації проєктів розумних енергомереж у даній роботі було модифіковано модель зрілості розумної енергомережі IBM шляхом включення до неї додаткових процесів, які не передбачені оригінальною моделлю, яка була розроблена спеціалістами IBM в кооперації з іншими компаніями, зацікавленими у розбудові розумних енергомереж. Аналогічно до оригінальної моделі зрілості розумної енергомережі IBM пропонована модель, покладена в основу розроблення схеми взаємодії стейкхолдерів передбачає наступні рівні реалізації проєктів розумних енергомереж:

- підготовчий рівень (рівень 0);
- дослідження (рівень 1);
- інвестування (рівень 2);

- інтеграція (рівень 3);
- оптимізація (рівень 4);
- інноваційність (рівень 5).

Перелік операцій (процесів, цілей та результатів) відповідно до модифікації моделі зрілості розумної енергомережі ІВМ показано в таблицях 3.1-3.5.

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

Таблиця 3.1 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі нульового та першого рівня

Процеси/цілі/результати	Код	Процеси/цілі/результати	Код
1	2	3	4
Формування бачення розумної енергомережі	A	Підтримка експериментів	B
Випробування нових технічних та комунікаційних пристроїв і технологій	2Y	Дослідження відключення та розподілу витрат, пов'язаних з автоматизацією підстанцій; безпекові питання	2Z
Проведення неформальної дискусії з регуляторними органами	C	Побудова бізнес-моделі на функціональному рівні	3A
Оцінювання ефективності проєкту	4H	Сформульована потреба у змінах	O
Проведення аналізу вартості для нових систем та вивчення можливостей віддаленого моніторингу активів	3G	Вивчення прогностного обслуговування активів та дослідження за допомогою просторового їх представлення	3H
Сформульована потреба у змінах: культура окремих ініціатив та досліджень	P	Дослідження споживачів за допомогою розумної енергомережі та широкої сегментації споживачів	3M
Сформульована потреба у змінах: зростання рівня знань	Q	Розроблення процесів оцінювання технологій розумних енергомереж	2A
Вивчення стратегічної IT-архітектури розумної енергомережі	Y	Розроблення стратегії диверсифікації портфеля ресурсів	3W
Визначення ступеня використання технологій для поліпшення функціональних показників	Z	Програма відновлюваних джерел енергії	2N
Відповідність екологічним нормам	2M	Визначення активів та програм у ланцюжку вартості	3V
Фінансування з наявного бюджету	D		

Сукупність операцій модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі на другому етапі (рівні) реалізації проєкту розумної енергомережі показано в таблиці 3.2.



Таблиця 3.2 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі другого рівня

Процеси/цілі/результати	Код	Процеси/цілі/результати	Код
1	2	3	4
Затвердження стратегії або схвалення бізнес-плану	E	Узгоджене фінансування проєкту розумної енергомережі у межах бюджету	G
Узгодження інвестування з візією проєкту	F	Підключення пілотних проєктів інформаційної безпеки	2D
Оцінювання продуктивності розумних енергомереж	S	Моделювання надійності для стимулювання інвестицій, спрямованих на вдосконалення	3O
Стратегічне планування робочої сили	3I	Пілотне розгортання систем розумного вимірювання	3N
Поточне інвестування в ІТ, узгоджене зі стратегічною ІТ-архітектурою	2B	Ознайомлення споживачів із програмами віддаленого контролю енергоспоживання	3X
Спільне архітектурне бачення та відповідність стандартам	2C	Повторне визначення ланцюжка створення вартості всієї системи	3Y
Початковий розподіл серед проєктів автоматизації підстанцій	3B	Розроблення підходів до впровадження GIS та RAM	4I
Створені програми енергоефективності для споживачів	2O	Початкове інвестування для підтримки використання диверсифікованого портфеля ресурсів	3Z
Організація більшої кількості наскрізних процесів та команд для планування та проєктування ініціатив розумних енергомереж	R		

Сукупність операцій модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі на третьому етапі (рівні) реалізації проєкту показано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі третього рівня

Процеси/цілі/результати	Код	Процеси/цілі/результати	Код
1	2	3	4
Інтеграція стратегії РЕ до корпоративної	H	Організація вибору матричної або багатопшарової структури	T
Розгорнута модель управління РЕ	I	Визначення нових процесів завдяки підвищенню автоматизації та моніторингу	3D
Узгодження з регулятором інвестування в РЕ та їх впровадження	J	Ефективність компонентів та аналіз тенденцій	3J
Розширення корпоративної стратегії задля використання нових послуг або пропозицій, що підтримують РЕ	K	Обмін даними між функціями / системами та впровадження аналітики управління для підтримки рішень та системних розрахунків	3C

## Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4
Культура співпраці та інтеграції	U	Високий ступінь сегментації клієнтів та загальний клієнтський досвід	3P
Узгодження бізнес-процесів PE з IT-архітектурою	2E	Залучення клієнтів до розподілу навантаження	4L
Спільна архітектура	2F	Виявлення перебоїв на підстанції	3Q
Впровадження технології PE для підвищення продуктивності	2G	Інтегроване планування ресурсів, що містить нові цільові ресурси та технології	4A
Сегментована та спеціальна інформація для клієнтів – включаючи екологічні та соціальні вигоди	2PE	Забезпечення відкритості інформації про ринок та енергоспоживання	4B
Програми для заохочення непікового енергоспоживання	2Q	Доступність нових ресурсів	4C
Формування збалансованої системи показників	4J	Розроблення СВМ, інтеграція RAM	4K
Нові інтерактивні товари/послуги	3R		

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

Таблиця 3.4 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі четвертого рівня

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

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

Таблиця 3.5 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі п'ятого рівня

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

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

На основі визначених задач, які мають бути реалізовані для створення розумної енергомережі, визначено перелік стейкхолдерів (таблиця 3.6). Варто зазначити, що у наукових дослідження перелік стейкхолдерів може відрізнитися [154].

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

Таблиця 3.6 – Перелік стейкхолдерів

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

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

Таблиця 3.7 – Процеси взаємодії стейкхолдерів на передінтеграційних етапах створення розумної енергомережі

Рівень зрілості енергомережі	Стратегічне управління та регулювання	Організація та структура	Технологія	Соціально-екологічна складова	Операції в мережі	Управління активами та персоналом	Взаємодія зі споживачами	Інтеграція ланцюгів вартості
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Функціональне інвестування	E1*, E5, E9, E11, F2, F3, F4*, F5, F8, F9, F11, G9, G5, G11	R5, R8, R11, S2, S5, S11,	2B9, 2B11, 2C10-17, 2D5, 2D11, 3Z5, 3Z7-8, 3Z11-18	2O11, 2O17, 2O18	3B5, 3B9, 3B10, 3B11, 3B18	3I5, 3I8, 3I11, 3I18	3N5, 3N8, 3N11, 3N17, 3N18, 3O5, 3O7-9, 3O11	3X5, 3X7, 3X8, 3X11, 3X17, 3X18, 3Y5, 3Y7, 3Y11

## Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Дослідження та ініціація	A2, A3, A4*, A6, A7, B1*, B5, B7, B8, B11, C1, C2, C3, C5, C8, C10, C11, D1, D5, D8, D9, D11	O2, O3, O4*, O10, P6-8, P11, P17, Q7, Q8, Q11	Y7, Y18, Z7, 2A5, 2A7, 2A11, 2A18	2M2, 2M3, 2M6, 2M7, 2M17, 2M19, 2M20, 2N11, 2N17, 2N18, 3Y1, 3Y2*, 3Y3*, 3Y7, 3Y11, 3Y17	2Y5, 2Y7, 2Y11, 2Y18, 2Z5, 2Z7, 2Z11, 2Z18, 3A5, 3A11	3G5, 3G7-9, 3G11, 3H5, 3H7-9, 3H11	3M6-8, 3M11, 3M17	3V5, 3V6*, 3V7-9, 3V11-17, 3V20*, 3W7, 3W9, 3W11, 3Z9, 3Z11
0	Базовий (нульовий рівень)	A2, A3, A4*, A6, A7							

Таблиця 3.8 – Процеси взаємодії стейкхолдерів на інтеграційних та оптимізаційних етапах створення розумної енергомережі

Рівень моделі зрілості	Рівень моделі зрілості	Стратегічне управління та регулювання	Організація та структура	Технологія	Соціально-екологічна складова	Операції в мережі	Управління активами та персоналом	Взаємодія зі споживачами	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Інновації нової хвилі	N2, N10, N11, N12-16, 4O11, 4O19, 4P2-3, 4P4*, 4P10	X1-4, X6-19	2L7, 2L11-18	2W11, 2W17, 2W18, 2X10, 2X11, 2X12-18	3F2, 3F10, 3F11, 3F18	3L11, 3L10-18	3T11-17, 3U2, 3U4*, 3U6, 3U10, , 3U11, 3U17, 3U18	4F9-18, 4G3, 4G10-17, 4Q11-16
4	Широка оптимізація	L11, M2*, M3, M4*, M6*, M7-10, M12-19,	V2, V3, V4*, V6*, V9, V11-19, W11	2H11, 2I11-18, 2J7, 2J11, 2K7, 2K18	2R2, 2R3, 2R4*, 2R6-18, 2S2, 2S3, 2S4, 2S9, 2S11, 2T2, 2T3, 2T4*, T6, 2T10, 2T19, 2U11-17, 2V11-12, 2V14-17	3E11	3K11, 3K17, 3K18	3S11-18, 4D2, 4D3, 4D10-17	4D10-17, 4E9, 4E11, 4E18-19, 4N10, 4N11

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Крос-функціональна інтеграція	H5, H11, I11, J10, K12-18	T11, U2, U3, U4*, U6*, U7-19	2E5, 2E11, 2E18, 2F5, 2F11-18, 2G5, 2G11	2P4*, 2P6, 2P11, 2P17, 2Q11, 2Q17, 2Q18	3C5, 3C11-18, 3D11, 3D18	3J5, 3J7, 3J8, 3J11, 4B5, 4B11	3P11, 3P17, 3Q5, 3Q11-16, 3R11, 3R18, 4C10-11, 4C17	4A11, 4A18, 4B11-17, 4C11, 4C17, 4C18

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

До найбільш релевантних процесів було віднесено такі:

I етап:

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

II етап:

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

III етап:

- інтеграція стратегії розумної енергомережі до корпоративної стратегії;
- досягнення консенсусу з регуляторами;

- формування збалансованої системи показників розумної енергомережі;
- узгодження бізнес-процесів розумної енергомережі з ІТ-інфраструктурою;
- розроблення СВМ, інтеграція RAM;
- залучення клієнтів до підтримки DR (управління попитом).

#### IV етап:

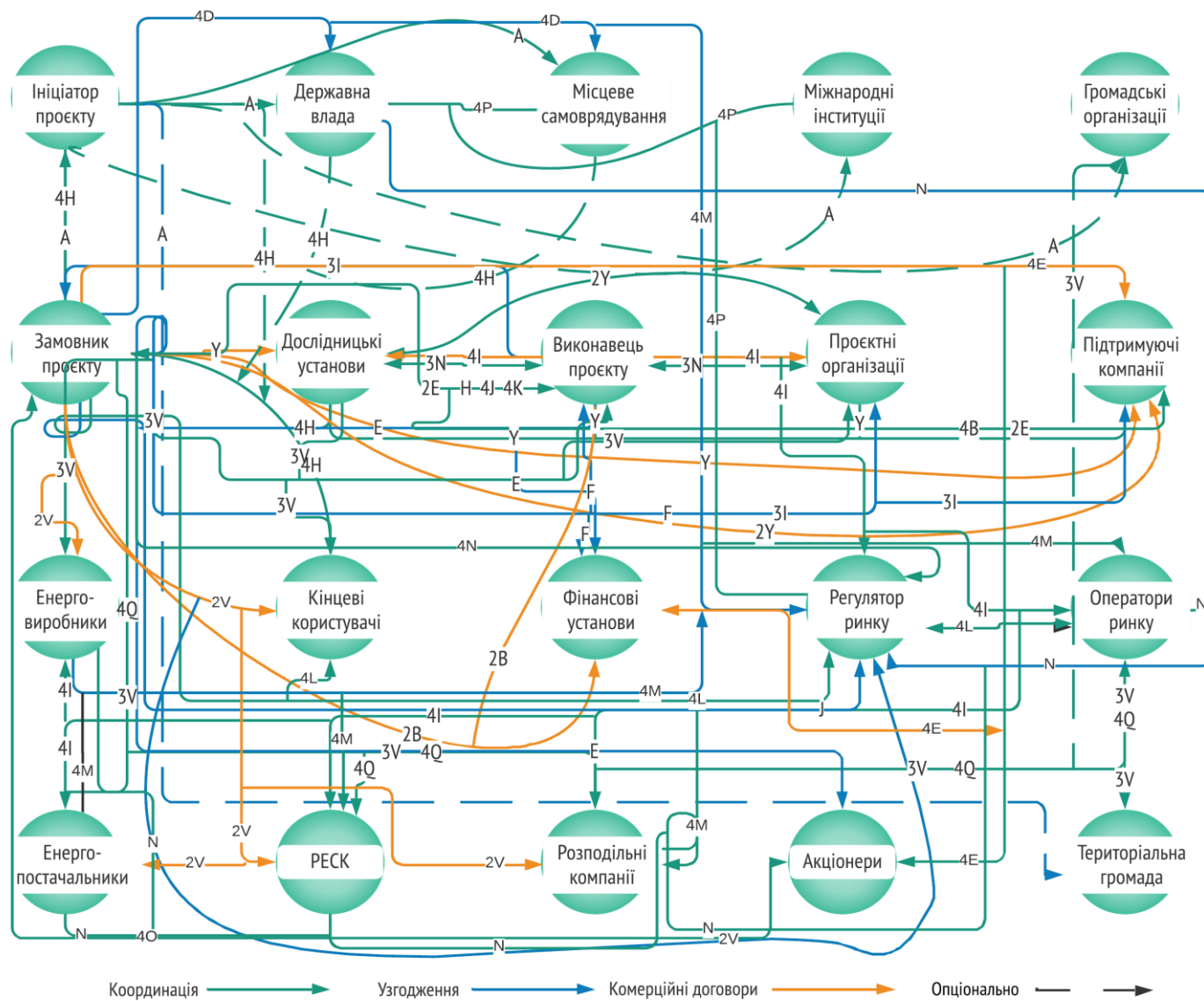
- залучення до реалізації розумної енергомережі зовнішніх стейкхолдерів;
- оптимізація бізнес-процесів через ІТ-інфраструктуру;
- початок масштабування розподіленої енергогенерації;
- тарифоутворення на основі аналітики;
- моделювання та оптимізація розширення портфелю;
- формування передумов інтеграції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

#### V етап:

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

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

Відповідно до рис. 3.6 процес розбудови розумної енергомережі передбачає залучення значної кількості зацікавлених сторін на кожному з етапів реалізації проекту. При цьому деякі стейкхолдери задіяні у значній кількості процесів на декількох етапах. У той же час, інші виконують обмежену роль з позиції активності та неперервності взаємодії з іншими учасниками процесу. Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів у процесах розбудови розумної енергомережі дозволяє ідентифікувати стейкхолдерів, задіяних на кожному етапі та в кожному процесі розбудови розумної енергомережі.



Процеси запровадження РЕ:

A – формування бачення РЕ; 4H – оцінювання ефективності проєкту; 3V – визначення активів та програм у ланцюжку вартості; 2V – масштабування розподіленої енергогенерації; 3I – стратегічне планування робочої сили; 4M – тарифоутворення; N – оптимізація регуляторної політики; 4Q – оптимізація використання активів учасниками ланцюга постачання; 4O – формування загальної стратегії розширення; 4D – реалізація та розподіл доходу від додаткових послуг; Y – вивчення стратегічної ІТ-інфраструктури РЕ; 4I – розроблення підходів до впровадження GIS та RAM; 4L – залучення клієнтів розподілу навантаження; 3N – пілотне розгортання систем розумного вимірювання; 4N – формування умов інтеграції до мереж вищого рівня; 2E – узгодження бізнес-процесів РЕ з ІТ-інфраструктурою; E – затвердження стратегії або схвалення бізнес-плану; 2B – тактичні інвестиції в ІТ узгоджені зі стратегічною ІТ-архітектурою; 4P – підтримання нових підприємств за рахунок організаційних змін; H – інтеграція стратегії РЕ до корпоративної; 4J – формування збалансованої системи показників; 4K – CBM, інтеграція RAM; F – узгодження інвестування з візією проєкту; 2Y – випробування нових технічних та комунікаційних пристроїв і технологій; J – узгодження з регулятором інвестування в РЕ та їх впровадження; 4B – забезпечення відкритості інформації про ринок та споживання для використання системами енергоспоживання у споживачів; 4E – оптимізаційне моделювання розширення та диверсифікації РЕ.

PECK – роздрібні енергетичні сервісні компанії

Рисунок 3.6 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів (фрагмент)



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

Координація – узгоджена діяльність щодо реалізації окремих процесів розбудови розумної енергомережі або виконання проекту в цілому. У даному випадку координація передбачає добровільну не регламентовану нормативними та правовими актами, а також іншими видами документації, які є обов'язковими до виконання, діяльність. Отже, передбачає широкий спектр способів взаємодії стейкхолдерів. Вибір оптимальної форми взаємодії важливий у даному випадку, адже дозволяє розробити механізми управління перебігом процесів розбудови розумної енергомережі. Значна частка потенціалу для сприяння модернізації енергосектору на основі розгортання розумних енергомереж, яка не потребує значних фінансових ресурсів з огляду на її організаційну природу, зосереджена саме у аспекті координації дій стейкхолдерів.

Узгодження – різновид координації, який регламентується нормативно-правовими актами та передбачає обов'язковість певних дій.

Комерційні договори – у даному випадку усі форми взаємодії стейкхолдерів на комерційній основі.

Процеси, марковані на рис. 3.6 пунктиром, є обов'язковими лише для окремих категорій проектів розумних енергомереж.

З візуалізації на рис. 3.6 можна простежити, що такі стейкхолдери, як: органи влади, виконавець проекту, фінансові та кредитні організації, регулятор ринку, замовник або замовники проекту, енергогенеруючі, транспортуючі та розподільні компанії, підтримуючі організації та підприємства (постачальники товарів та послуг), а також кінцеві споживачі енергетичних ресурсів, – є активними учасниками процесу розбудови розумної енергомережі та виконують значну кількість функцій у процесі розроблення, реалізації та супроводу проектів розумних енергомереж.

Укрупнення схеми участі стейкхолдерів у розбудові розумної енергомережі дозволяє визначити ключових стейкхолдерів та найбільш релевантні процеси, що важливо для досягнення якісних наукових результатів для виявлення взаємозв'язків та взаємозалежностей у складній системі організації, супроводу та підтримки процесів трансформації енергетичної системи на основі впровадження інтелектуальних технологій.

Розроблена організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів дозволяє удосконалити механізми їх взаємодії під час реалізації проєктів розумних енергомереж на кожному етапі: від ініціації ідеї, розроблення проєктної документації до реалізації та супроводу функціонуючої розумної енергомережі. Організаційно-комунікаційна схема може бути використана як інструмент реалізації заходів, передбачених дорожньою картою розвитку розумних енергомереж.

На рисунку 3.7 відображено спрощену схему взаємодії стейкхолдерів: наведено фрагмент детальної схеми з використанням кодування таблиці 3.8, що дозволяє визначити сукупність взаємозв'язків стейкхолдерів при реалізації конкретних бізнес-процесів, а також спрощену схему, що відображає основні напрямки взаємодії стейкхолдерів у рамках даного етапу створення розумної енергомережі.

Умовні позначення на рисунку 3.7:

1. Розроблення бачення розумної енергомережі;
2. Розроблення стратегічної ІТ-інфраструктури для розумної енергомережі;
3. Оцінювання корисності проєкту;
4. Тестування пристроїв та технологій;
5. Формування ланцюгів цінності.

На даному етапі взаємодія стейкхолдерів зосереджена на вирішенні стратегічних питань розроблення майбутньої розумної енергомережі та узгодження інтересів найбільш впливових на даному етапі стейкхолдерів: ініціатора та замовника проєкту, органів державної влади та місцевого самоврядування, а також представників енергоринку.

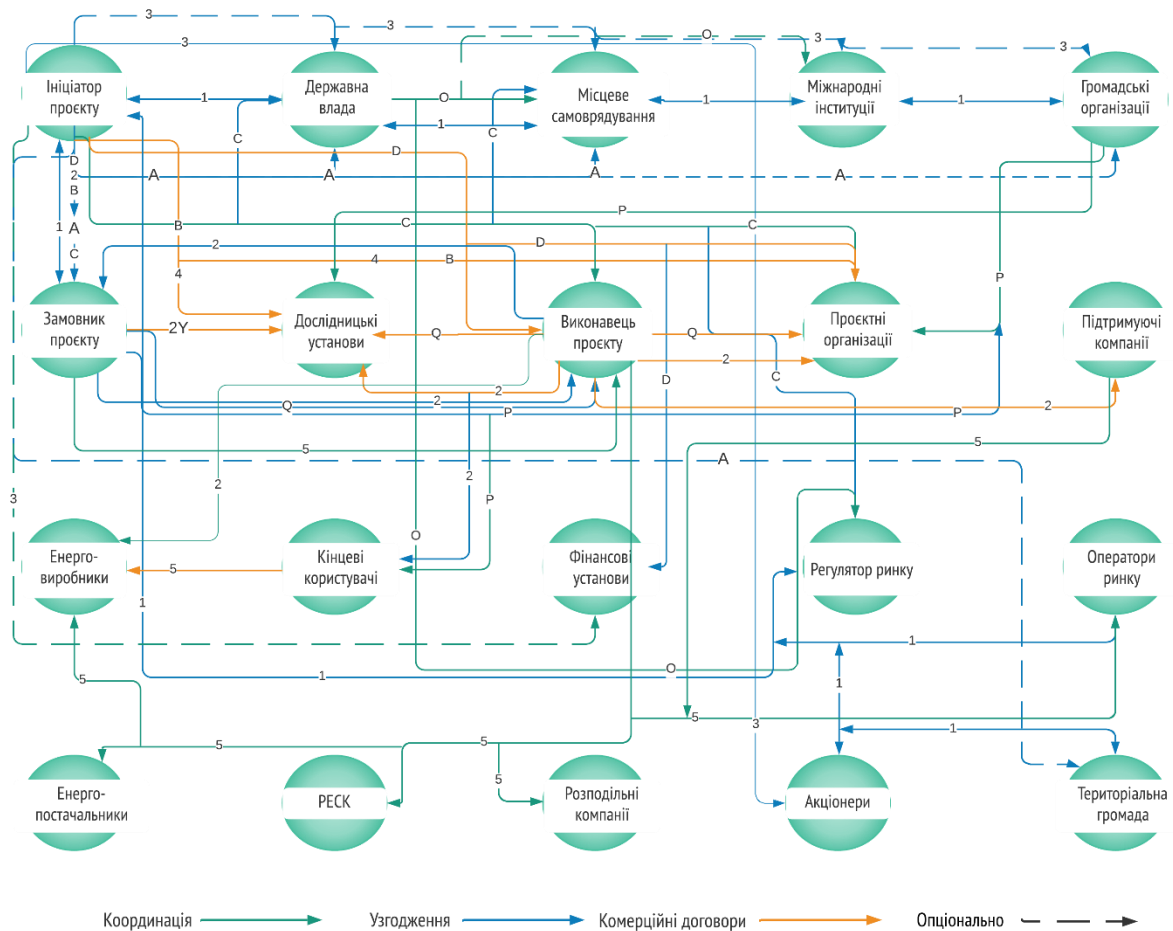


Рисунок 3.7 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів.

### Етап 1 (фрагмент)

На рисунку 3.8 відображено спрощену схему взаємодії стейкхолдерів, що дозволяє з'ясувати особливості реалізації проектів розумних енергомереж у контексті взаємодії зацікавлених сторін.

Умовні позначення на рисунку 3.8:

1. Розроблення бізнес-плану;
2. Узгодження інвестицій з баченням формування бюджету;
3. Затвердження концепції та формування команди проекту;
4. Розроблення підходів до впровадження GIS та RAM;
5. Пілотні бізнес-процеси, тактичні інвестиції в IT-інфраструктуру;
6. Тестування технологій взаємодії з клієнтами.

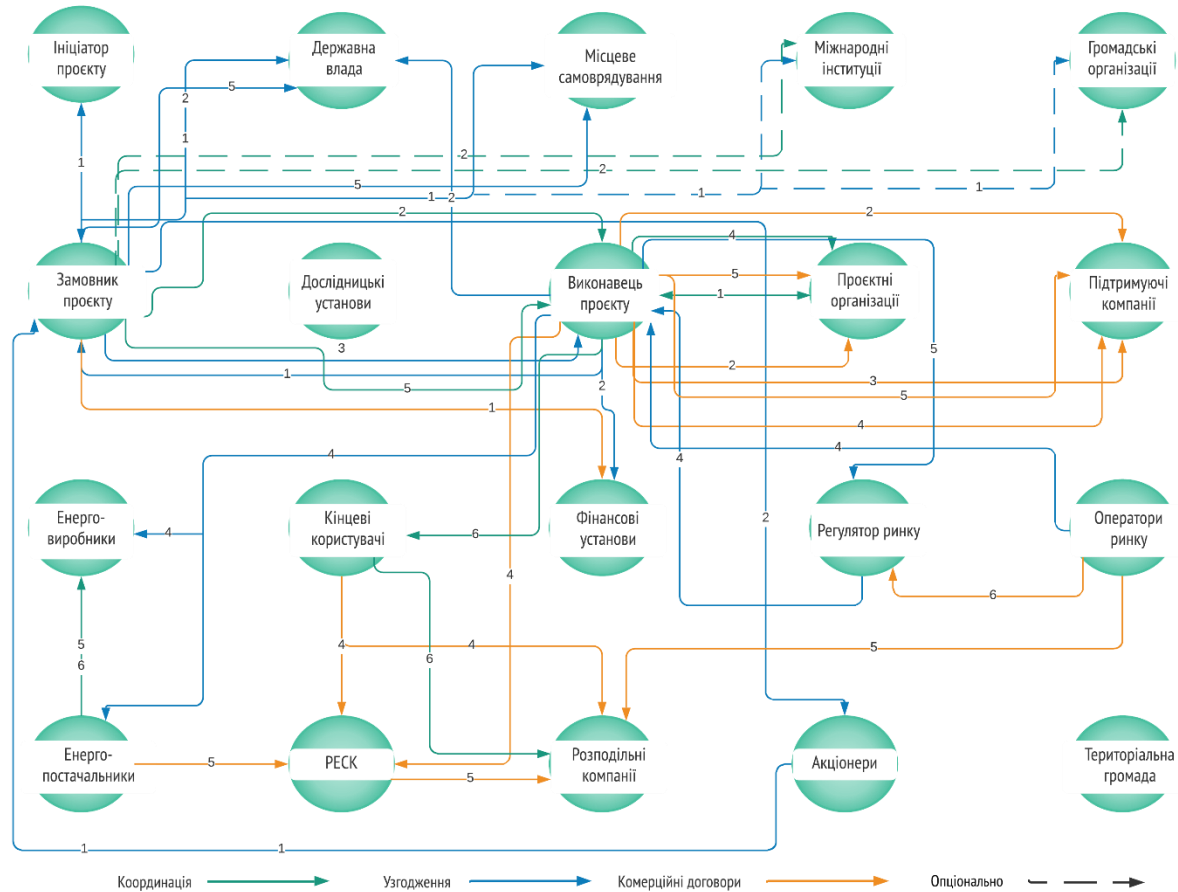


Рисунок 3.8 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів.

### Етап 2 (фрагмент)

На рисунку 3.9 подано спрощену схему взаємодії стейкхолдерів на третьому етапі модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі, що демонструє зміщення фокусу уваги на внутрішні процеси ключових стейкхолдерів (замовника та виконавця проекту).

Умовні позначення на рисунку 3.9:

1. Інтеграція РЕ-стратегії та бізнесу до корпоративної стратегії;
2. Досягнення консенсусу з регуляторами;
3. Формування збалансованої системи показників розумної енергомережі;
4. Узгодження бізнес-процесів розумної енергомережі з ІТ-інфраструктурою;
5. Розроблення СВМ, інтеграція RAM;
6. Залучення клієнтів до підтримки DR.

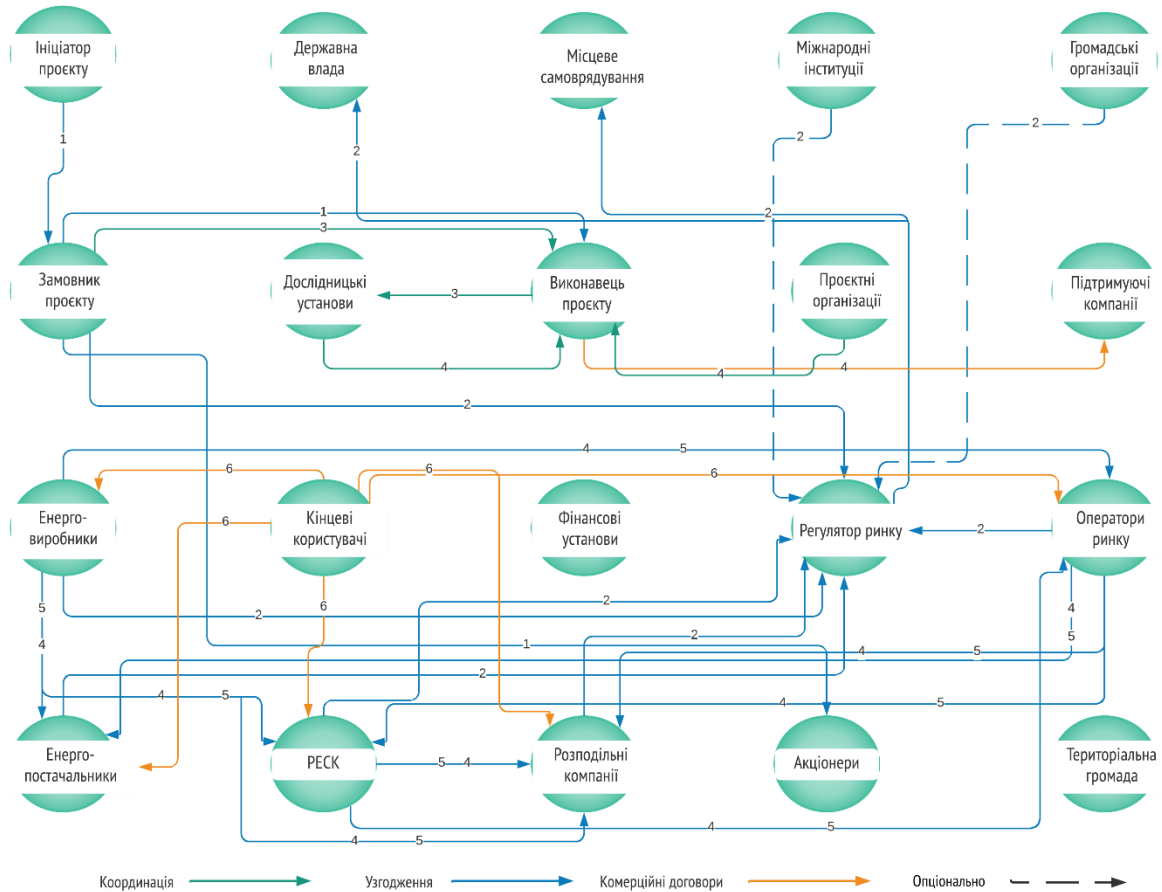


Рисунок 3.9 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів.

### Етап 3 (фрагмент)

Рисунок 3.10 показує спрощену схему взаємодії стейкхолдерів на четвертому етапі модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі, де відбувається активізація взаємодії представників енергетичного сектору та зовнішніх стейкхолдерів з метою реалізації накопиченого потенціалу масштабування проєкту розумної енергомережі, її інтеграції з мережами вищого рівня та мікромережами.

Умовні позначення на рисунку 3.10:

1. Залучення до реалізації розумної енергомережі зовнішніх стейкхолдерів;
2. Оптимізація бізнес-процесів через ІТ-інфраструктуру;
3. Початок масштабування розподіленої енергогенерації;
4. Тарифоутворення на основі аналітики;

5. Моделювання та оптимізація розширення портфелю активів;
6. Формування передумов інтеграції до мережі вищого рівня.

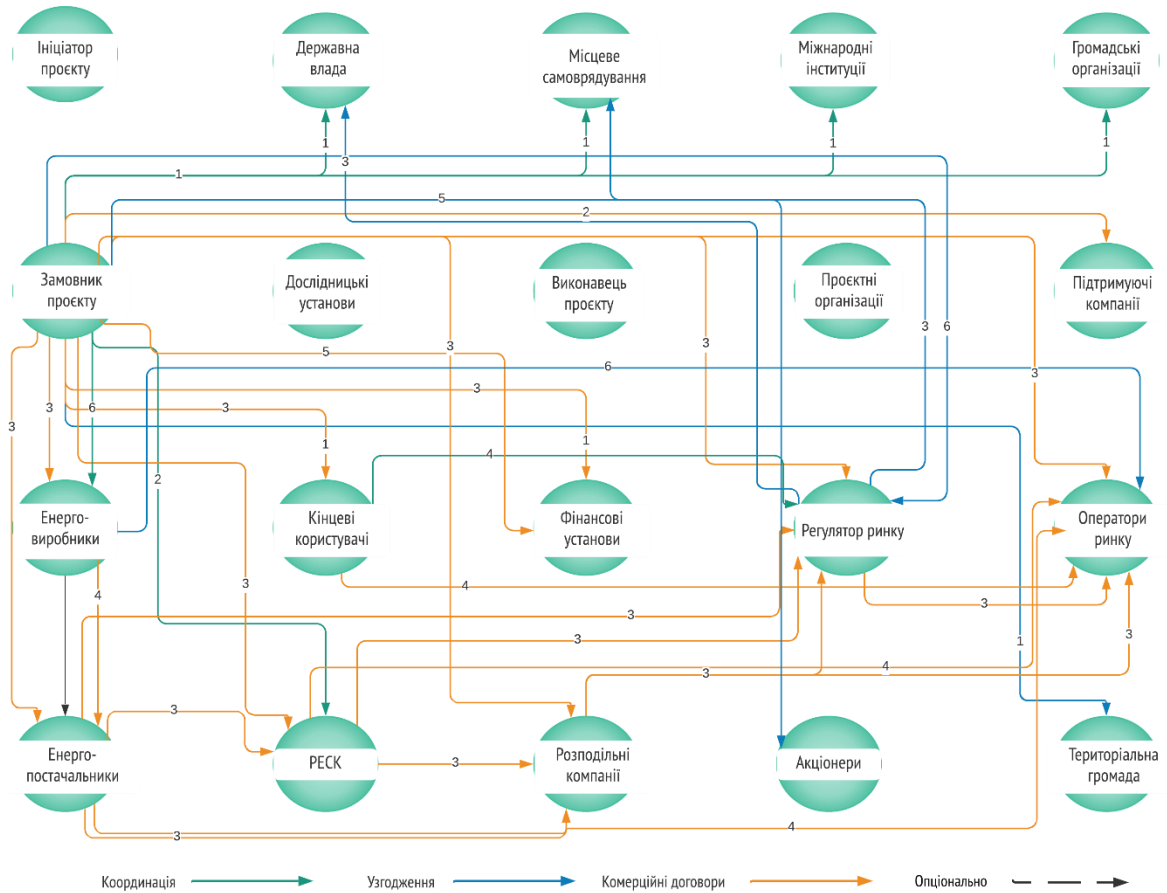


Рисунок 3.10 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів.  
Етап 4 (фрагмент)

На рисунку 3.11 відображено спрощену схему взаємодії стейкхолдерів, що демонструє особливості кооперації стейкхолдерів на етапі створення та комерціалізації глобальної інтегрованої енергомережі, яка формує передумови для переходу до інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки.

Умовні позначення на рисунку 3.11:

1. Формування загальної стратегії розширення на основі розумної енергомережі;
2. Підтримка нових підприємств (бізнес-проектів) за рахунок організаційних змін;

3. Оптимізована регуляторна політика;

4. Оптимізація використання активів учасниками ланцюга постачання.

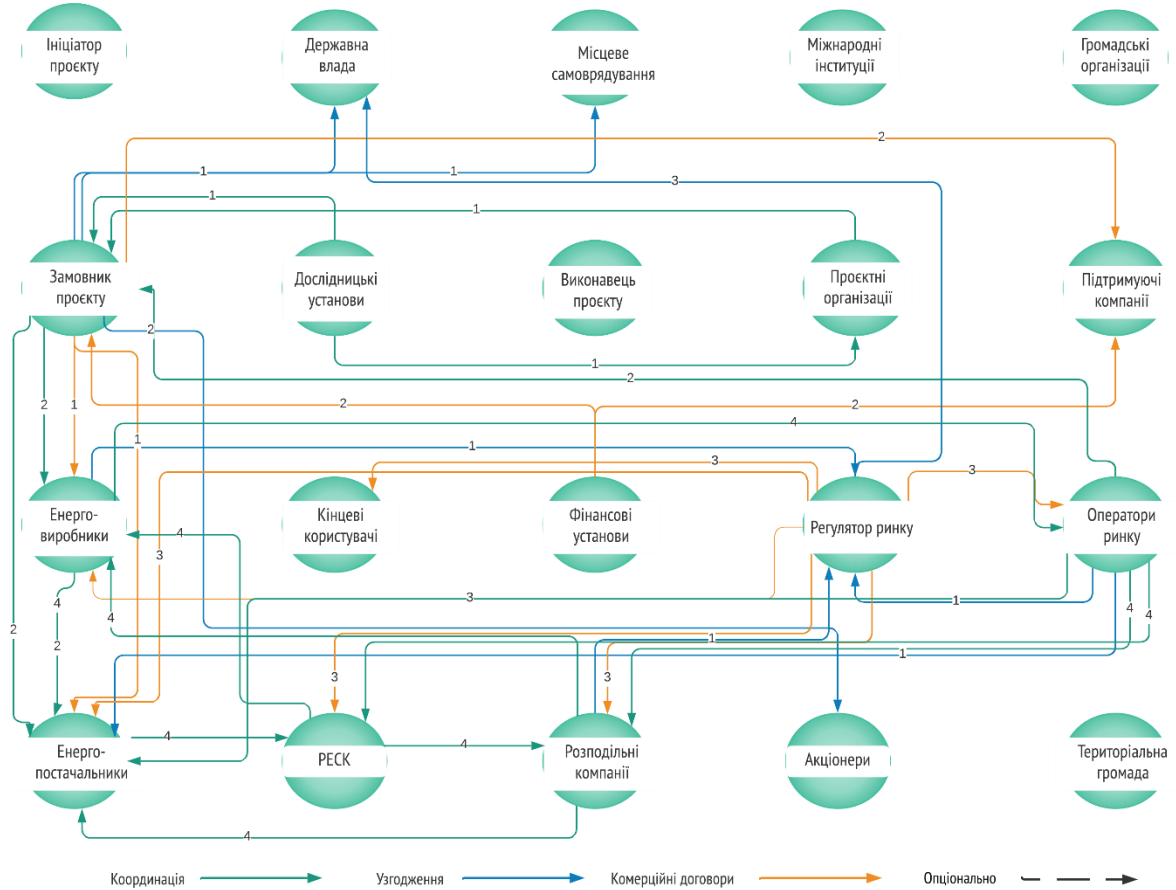


Рисунок 3.11 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів.

Етап 5 (фрагмент)

Застосування модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі дозволяє не лише створити інструментарій для активізації взаємодії стейкхолдерів та формування сприятливих умов для масштабування проектів розумних енергомереж, а також дозволяє простежити зміну мотивів та поведінкових патернів кооперації стейкхолдерів у процесі еволюції проекту розумної енергомережі.

### Висновки до розділу 3

У третьому розділі розроблено дорожню карту розбудови розумних енергомереж в Україні та організаційно-комунікаційну схему взаємодії стейкхолдерів.

Аналіз наукового доробку дозволив визначити підходи до запровадження розумних енергомереж на національному та міжнародному рівнях (на прикладі ЄС) і визначити сукупність детермінант, що обумовлюють стратегічний перехід від традиційної архітектури енергосистеми до інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки. Ретроспективний аналіз засвідчив, що найбільш вагомими з них є технологічні обмеження, несформована бізнес-модель, висока капіталоемність та екологічні вимоги. Комбінація цих факторів призвела до формування таких моделей розвитку розумних енергомереж: 1) поетапної розбудови розумних енергомереж (країни ЄС) – послідовного впровадження інтелектуальних технологій в енергосектор (від «розумного вимірювання» до «дисперсної енергосистеми»); 2) локалізації розумних енергомереж (США) – створення повнофункціональної розумної енергомережі на обмеженій території з її подальшою інтеграцією до глобальної енергосистеми.

Результати бенчмаркінг-аналізу кращих практик, що використовуються у разі запровадження цих моделей, ураховані під час розроблення дорожньої карти запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі економіки України. В її основу покладена гібридна модель (на основі поєднання моделей поетапної розбудови та локалізації розумних енергомереж), якою передбачені масове розгортання однорідних розумних енерготехнологій та одночасна реалізація пілотних проєктів розумних енергомереж. Урахування світового досвіду, наявних передумов та системи техніко-технологічних, економічних та інституційних обмежень розвитку розумних енергомереж в Україні дозволило визначити найбільш значущі напрямки діяльності, які потребують узгодженої в часі та скоординованої кооперації ключових стейкхолдерів, що сприятиме швидкому переходу від реалізації окремих пілотних проєктів розумних



енергомереж до їх взаємоінтеграції та імплементації до національної енергомережі. На кожному з трьох передбачених дорожньою картою етапів визначений перелік регуляторних інтервенцій, заходів із запровадження сучасної енергоінфраструктури, стимулювання науково-дослідної діяльності, трансферу технологій та реалізації принципів відкритості енергомережі.

Для реалізації запропонованої дорожньої карти запровадження розумних енергомереж в Україні розроблено організаційно-комунікаційну схему взаємодії стейкхолдерів, яка на відміну від наявних підходів, ураховує стратегію розвитку розумних енергомереж, стадію виконання проєкту, систему техніко-технологічних обмежень, соціально-організаційні та екологічні фактори. В її основу покладено модифікацію моделі зрілості розумної енергомережі. Розроблена організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів сприятиме збільшенню потенціалу їх кооперації, інтеграції ланцюгів вартості, зростанню ефективності управління активами в енергосекторі та створить передумови для масштабування окремих пілотних проєктів розумних енергомереж на рівень національної економіки. Вона дозволяє виявити антагонізм та бар'єри при взаємодії стейкхолдерів, внутрішньосистемні та екстернальні конфлікти їх інтересів, а також формалізовано описати найбільш ефективні механізми регуляторних інтервенцій для впорядкування відносин зацікавлених сторін у процесі запровадження розумних енергомереж.

Основні положення даного розділу опубліковано автором у роботах: [123, 124, 140, 141, 149, 150].

## ВИСНОВКИ

Результати трендового (Google Trends) та бібліометричного аналізу (VOSviewer v.1.6.10) дозволили здійснити еволюційний, географічний і змістовний аналіз наукового й суспільного інтересу до питань розумних енергомереж, у результаті якого впродовж 2008–2020 рр. визначено та описано чотири еволюційні етапи інтересу до розумних енергомереж, які тісно корелюють із тенденціями запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі провідних країн світу.

Виявлено п'ять найбільш потужних наукових дослідницьких мереж та охарактеризовано особливості міжнародної кооперації науковців у дослідженнях розвитку розумних енергомереж. Установлено, що найбільшу кількість спільних публікацій, афілійованих до науково-дослідних установ різних країн, мають дослідники з країн ЄС, тоді як найбільшу кількість публікації з цієї тематики мають американські науковці, але їх дослідження переважно мононаціональні. Виокремлено п'ять кластерів крос-секторних досліджень та ідентифіковано найбільш релевантні їх напрямки, здійснено трендовий аналіз і виявлено зміни контексту економічних досліджень щодо запровадження розумних енергомереж в енергосекторі, які свідчать про зміну вектору наукового інтересу від питань тарифоутворення, пошуку шляхів комерціалізації розумних енергомереж та розрахунку вартості їх запровадження до питань дослідження глобальної економічної моделі розбудови розумних енергомереж, максимізації її техніко-економічної ефективності на основі патернів енергоспоживання.

Теоретично обґрунтовано й емпірично підтверджено засобами статистичного аналізу гіпотезу щодо впливу розумних енергомереж на індикатори соціального й економічного розвитку України та визначено роль ефективної політики запровадження розумних енергомереж у розбудові в Україні інтегрованої енергоцентрованої моделі економіки. Доведено, що зниження енергоємності ВВП на 1 % спричинило зростання чисельності зайнятого населення на 0,91 %, індексу людського розвитку – на 0,04 %, рівня урбанізації

– на 0,03 %, індексу видатків на дослідження та розвиток – на 3,05 %. Підтверджено, що рівень розбудови розумної енергомережі і її складові є драйверами соціально-економічного розвитку держави, та обґрунтовано необхідність реалізації реформи розбудови розумних енергомереж відповідно до єдиної енергополітики ЄС.

Розроблено науково-методичний підхід до компаративного аналізу наявних систем оцінювання розумних енергомереж, в основу якого покладено визначення масштабу врахування основних їх характеристик (стійкість, інформаційна, економічна, технічна та комунікативна ефективність, екологічність, наявність електротранспортної інфраструктури), що дозволяє поелементно оцінити та проранжувати наявні системи вимірювання ефективності розумних енергомереж. У результаті здійсненого аналізу для оцінювання ефективності майбутніх розумних енергомереж рекомендовано застосовувати системи IBM та PPE; для аудиту вже існуючих – системи DDD, GDA та TTS. Системи EUA, DOE та EPRI можуть бути використані в обох випадках. Урахуванням цільової настанови розвитку енергосектору (зниження викидів / скидів шкідливих речовин, збільшення питомої ваги відновлюваних джерел енергії, забезпечення самовідновлення та безпеки енергосистеми тощо) під час використання розробленого підходу дозволяє здійснити таргетоване оцінювання ефективності прийнятої політики запровадження розумних енергомереж.

Розроблено науково-методичний підхід до інтегрального оцінювання ефективності функціонування розумних енергомереж, що передбачає врахування його цільового призначення (аналіз потенційних або аудит уже функціонуючих розумних енергомереж, а також діагностика стану розвитку розумних енергомереж на регіональному й державному рівнях), і прямих та опосередкованих ефектів, можливостей подальшої оптимізації розумних енергомереж. Це дозволяє виявити статистично значущі патерни детермінант ефективного функціонування розумних енергомереж, ідентифікувати «слабкі

місця» та «критичні точки», які стримують модернізацію вітчизняної енергосистеми.

На основі гібридної моделі розвитку розумних енергомереж розроблено дорожню карту їх запровадження в енергетичному секторі економіки України, яка враховує комплекс техніко-технологічних, економічних, інституційних передумов та систему обмежень розвитку розумних енергомереж. У ній передбачено перелік конкретних заходів та відповідальність стейкхолдерів на кожному етапі трансформації енергосистеми: від традиційної її моделі до дисперсної енергомережі.

Розроблено організаційно-комунікаційну схему взаємодії стейкхолдерів, що ґрунтується на модифікованій моделі зрілості розумної енергомережі та описує кооперацію стейкхолдерів на усіх етапах її життєвого циклу: від розроблення і впровадження проєктів розумних енергомереж до їх розвитку та інтеграції до глобальної енергосистеми. Запропонована схема враховує стратегію розвитку розумних енергомереж, стадію виконання проєкту, систему техніко-технологічних обмежень, соціально-організаційні та екологічні фактори, що дозволяє сформувати узгоджені за інтересами патерни взаємодії стейкхолдерів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 2012/148/EU Commission Recommendation of 9 March 2012 on preparations for the roll-out of smart metering systems. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reco/2012/148/oj> (дата звернення: 24.03.2020 р.).
2. 2030 Energy Strategy. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy> (дата звернення: 17.03.2020 р.).
3. Abid S., Alghamdi T. A., Haseeb A., Wadud Z., Ahmed A., Javaid N. An economical energy management strategy for viable microgrid modes. *Electronics*. 2019. Vol. 8(12). P. 1442 (дата звернення: 17.03.2020 р.).
4. Abdel-A. Edris, Brian W. D'Andrade. Transmission Grid Smart Technologies. Smart, Secure, Green and Reliable. 2017. P. 37–55. URL: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128053218000021](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128053218000021) (дата звернення: 27.03.2020 р.).
5. Active Distribution networks with full integration of Demand and distributed energy RESourceS. URL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/100636/factsheet/en>.
6. Adam R., Wintersteller W. From Distribution to Contribution. *Commercialising the Smart Grid*. Munich : Booz & Company, 2008.
7. A European Green Deal. URL: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en) (дата звернення: 16.04.2020 р.).
8. Alberta Smart Grid Inquiry. URL: [http://www.auc.ab.ca/items-of-interest/special-inquiries/Documents/smart\\_grid/Alberta\\_Smart\\_Grid\\_Inquiry\\_final\\_report.pdf](http://www.auc.ab.ca/items-of-interest/special-inquiries/Documents/smart_grid/Alberta_Smart_Grid_Inquiry_final_report.pdf) (дата звернення: 17.03.2020 р.).
9. Allcott H. Rethinking real-time electricity pricing. *Resource and Energy Economics*. 2011. Vol. 33(4). P. 820–842.
10. Alvarez O., Ghanbari A., Markendahl J. A comparative study of Smart Grid development in developed and developing countries. *Mobile Communications in Developing Countries* : 7th CMI Conference 2014. 2014. URL: [https://www.researchgate.net/publication/274378389\\_A\\_comparative\\_study\\_of\\_Sma](https://www.researchgate.net/publication/274378389_A_comparative_study_of_Sma)

rt\_Grid\_development\_in\_developed\_and\_developing\_countries (дата звернення: 17.03.2020 р.).

11. Assessing Smart Grid Benefits and Impacts: EU and U.S. Initiatives. URL: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/assessing-smart-grid-benefits-and-impacts-eu-and-us-initiatives> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

12. A survey and statistical analysis of smart grid co-simulations. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918304616> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

13. Bilan Yu., Streimikiene D., Vasylieva T., Lyulyov O., Pimonenko T., Pavlyk A. Linking between Renewable Energy, CO<sub>2</sub> Emissions, and Economic Growth: Challenges for Candidates and Potential Candidates for the EU Membership. *Sustainability*. 2019. Vol. 11(6). P. 1528.

14. Clark W. Gellings. Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response. USA : Fairmont Press, 2009. 316 p.

15. Climate Group, The and GeSI «SMART 2020: Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age». 2008. URL: <http://www.theclimategroup.org> (дата звернення: 24.04.2020 р.).

16. Common Information Model. URL: <https://www.entsoe.eu/digital/common-information-model/#developing-cim-standards> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

17. Connolly D., Mathiesen B. V. A technical and economic analysis of one potential pathway to a 100% renewable energy system. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*. 2014. Vol. 1. P. 7–28.

18. Butt O. Majeed, Zulqarnain M., Butt T. Majeed. Recent advancement in smart grid technology: Future prospects in the electrical power network. *Ain Shams Engineering Journal*. 2020. Vol. 7. P. 1–9.

19. Dashkin V., Kovalenko Y., Sotnyk I., Kurbatova T. Green energy projects in households and its financial support in Ukraine. *International Journal of Sustainable Energy*. 2020. Vol. 3 (39). P. 218–239.

20. Dehtyarova I., Sotnyk M. Renewable energy to overcome the disparities in energy development in Ukraine and worldwide. *Reducing Inequalities Towards Sustainable Development Goals: Multilevel Approach* / Medani P. Bhandari, Shvindina H. (Eds). 2019. P. 185–204.
21. Department of Energy, United States (DOE), *The Smart Grid: An Introduction*. Washington: DC., 2003. URL: <https://www.energy.gov> (дата звернення: 17.03.2020 р.).
22. Department of Energy, United States (DOE), “Grid 2030 – A Vision for Electricity’s Second 100 Years”. Washington, DC., 2003 URL: <https://www.energy.gov> (дата звернення: 17.03.2020 р.).
23. Diamantoulakis P. D., Kapinas, V. M., Karagiannidis G. K. Big data analytics for dynamic energy management in smart grids. *Big Data Research*. 2015. Vol. 2 (3). P. 94–101.
24. Directive for the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources, RES. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj> (дата звернення: 16.04.2020 р.).
25. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj> (дата звернення: 16.04.2020 р.).
26. Dobriansky L., Ghatikar, G. Ton D. Smart microgrids: Re-visioning smart grid and smart city development in India. *Compendium of Technical Papers*. 2018. P. 273-288.
27. Do Prado J. C., Wei Q., Qu L., Agüero J. The Next-Generation Retail Electricity Market in the Context of Distributed Energy Resources: Vision and Integrating Framework. *Energies*. 2019. Vol. 12(3). P. 491–515.
28. Dovì V. G., Friedler F., Huisingh, D., Klemeš, J. J. Cleaner energy for sustainable future. *Journal of Cleaner Production*. 2009. Vol. 17(10). P. 889–895.
29. EcoGrid EU – A Prototype for European Smart Grids. Deliverable D6.7. Overall evaluation and conclusion. URL: [http://www.eu-ecogrid.net/images/Documents/D6.7\\_160121\\_Final.pdf](http://www.eu-ecogrid.net/images/Documents/D6.7_160121_Final.pdf) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

30. Economic assessment of smart grids solutions. Analysis carried out by the distribution network operators. 2017. URL: [https://www.enedis.fr/sites/default/files/Synthese\\_Smart\\_Grids\\_version\\_anglaise.pdf](https://www.enedis.fr/sites/default/files/Synthese_Smart_Grids_version_anglaise.pdf) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

31. Electric Power Research Institute (EPRI). IntelliGridSM – Smart Power for the 21st century. URL: [www.epri-intelligrid.com/intelligrid/docs/Intelligrid\\_6\\_16\\_05.pdf](http://www.epri-intelligrid.com/intelligrid/docs/Intelligrid_6_16_05.pdf) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

32. Electricity Networks Strategy Group (ENSG). A Smart Grid Vision. URL: <https://www.gov.uk/government/groups/electricity-networks-strategy-group> (дата звернення: 24.03.2020 р.).

33. Electricity Statement of Opportunities for the National Electricity Market. AEMO (Australian Energy Market Operator). URL: [https://aemo.com.au/-/media/Files/Electricity/NEM/Planning\\_and\\_Forecasting/NEM\\_ESOO/2019/2019-Electricity-Statement-of-Opportunities.pdf](https://aemo.com.au/-/media/Files/Electricity/NEM/Planning_and_Forecasting/NEM_ESOO/2019/2019-Electricity-Statement-of-Opportunities.pdf) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

34. Elguezabal P., Arregi B., Armijo A., Schuetz P., Gwerder D., Scoccia R., etc. Optimization module for filtering and ranking alternative energy replacement systems, in an online ICT design tool for building retrofits. *Journal of Physics: Conference Serie*. 2019. Vol. 1. P. 1343.

35. Energy roadmap 2050. URL: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012\\_energy\\_roadmap\\_2050\\_en\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf) (дата звернення: 16.04.2020 р.).

36. English J., Niet T., Lyseng B., Keller V., Palmer-Wilson K., Robertson B., etc. Flexibility requirements and electricity system planning: Assessing inter-regional coordination with large penetrations of variable renewable supplies. *Renewable Energy*. 2020. Vol. 145. P. 2770–2782.

37. European Technology Platform Smart Grids: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems, 2006. URL: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/vision-and-strategy-for-europes-electricity-networks-of-the-future> (дата звернення: 24.03.2020 р.).



38. European Energy Industry Investment. URL: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwivq\\_q4lbztAhUl-yoKHbSmBc4QFjAAegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.eesc.europa.eu%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Ffiles%2Fenergy\\_investment.pdf&usg=AOvVaw3i18GxcuJI3YdbpXJ4JBCp](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwivq_q4lbztAhUl-yoKHbSmBc4QFjAAegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.eesc.europa.eu%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Ffiles%2Fenergy_investment.pdf&usg=AOvVaw3i18GxcuJI3YdbpXJ4JBCp) (дата звернення: 16.04.2020 р.).

39. European Energy Futures 2030: Technological social vision from the European Delphi survey. Berlin : Springer, 2007. URL: [www.eurendel.net](http://www.eurendel.net) (дата звернення: 24.03.2020 р.).

40. Final Report Summary – ADDRESS (Active Distribution networks with full integration of Demand and distributed energy RESourceS). URL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/100636/reporting/en> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

41. Franz O. and al. Potential of information and communication technologies to optimize energy supply and energy consumption. URL: [http://www.smartgrid.gov/the\\_smart\\_grid#smart\\_grid](http://www.smartgrid.gov/the_smart_grid#smart_grid) (дата звернення: 16.04.2020 р.).

42. Galperina L., Girenko A., Mazurenko V. The Concept of Smart Economy as the Basis for Sustainable Development of Ukraine. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2016. Vol. 6 (S8). P. 307–314.

43. Giordano V., Gangale F., Fulli G., Jiménez M. S. Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments. URL: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiWzqyporzAhUBkMMKHRJbBmQQFjABegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fses.jrc.ec.europa.eu%2Fsites%2Fses%2Ffiles%2Fdocuments%2Fsmart\\_grid\\_projects\\_in\\_europe.pdf&usg=AOvVaw2hLLzbAGuEuNtPfu73N9lf](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiWzqyporzAhUBkMMKHRJbBmQQFjABegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fses.jrc.ec.europa.eu%2Fsites%2Fses%2Ffiles%2Fdocuments%2Fsmart_grid_projects_in_europe.pdf&usg=AOvVaw2hLLzbAGuEuNtPfu73N9lf) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

44. Glachant J., Rueter S. The EU internal electricity market: Done forever? *Utilities Policy*. 2014. Vol. 31 (C). P. 221–228.

45. Goncharuk A., Figurek A., Truba V., Nyenko, I. Managing energy consumption: A case of natural gas as a taxation tool in Ukraine. *Problems and Perspectives in Management*. 2019. Vol. 17(4). P. 360–369.

46. Goncharuk A., Horobets T., Yatsyshyn V., Lahutina I. Do high tariffs provide high efficiency: a case of Ukrainian electricity distribution companies. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2020. Vol. 23 (3). P. 125–134.
47. Gopakumar P., Reddy M. J. B., Mohanta D. K. (2015). Adaptive fault identification and classification methodology for smart power grids using synchronous phasor angle measurements. *IET Generation, Transmission and Distribution*. 2015. Vol. 9 (2). P. 133–145.
48. Gopakumar P., Reddy M. J. B., Mohanta D. K. Letter to the editor: Stability concerns in smart grid with emerging renewable energy technologies. *Electric Power Components and Systems*. 2014. Vol. 42 (3-4). P. 418–425.
49. Gopakumar P., Reddy M. J. B., Mohanta D. K. Renewable energy utilization using low power microgrid system. *International Conference on Power, Energy and Control, ICPEC 2013*. P. 751–755.
50. Goulden M., Bedwell B., Rennick-Egglestone S., Rodden T., Spence A. Smart grids, smart users? the role of the user in demand side management. *Energy Research and Social Science*. 2014. Vol. 2. P. 21–29.
51. Gubarieva I. O. Strategic guidelines formation for economic security of national economy. *Actual Problems in Economics*. 2015. Vol. 168. P. 122.
52. Guidebook for Cost/Benefit Analysis of Smart Grid. Demonstration Projects. URL: <https://www.smartgrid.gov/files/Guidebook-Cost-Benefit-Analysis-Smart-Grid-Demonstration-Projects.pdf> (дата звернення: 15.04.2020 р.).
53. Gwerder V.Y., Figueiredo N. C., Pereira da Silva P. Investing in Smart Grids: Assessing the Influence of Regulatory and Market Factors on Investment Level. *The Energy Journal*. 2019. Vol. 4. URL: <https://ideas.repec.org/a/aen/journal/ej40-4-figueiredo.html> (дата звернення: 15.04.2020 р.).
54. Hanley C., Peek G., Boyes J., Klise G., Stein J., Ton D., Duong T. Technology development needs for integrated grid-connected PV systems and electric energy storage. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2009*. URL: [https://www.researchgate.net/publication/224113645\\_Technology\\_development\\_needs\\_for\\_integrated\\_grid-connected\\_PV\\_systems\\_and\\_electric\\_energy\\_storage](https://www.researchgate.net/publication/224113645_Technology_development_needs_for_integrated_grid-connected_PV_systems_and_electric_energy_storage)

55. Herter K. Evaluation Framework for Smart Grid Deployment Plans: A Systematic Approach for Assessing Plans to Benefit Customers and the Environment. 2011. URL: <https://www.edf.org/sites/default/files/smart-grid-evaluation-framework.pdf> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

56. Herter K. A Systematic Approach for Assessing Plans to Benefit Customers and the Environment. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjLjftorztAhUm-yoKHcLxA7AQFjABegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.edf.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fsmart-grid-evaluation-framework.pdf&usg=AOvVaw0ESsFOIwyZGywU6MJTJOqe> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

57. Hilorme T., Honchar O. Innovative methods of performance evaluation of energy efficiency projects. *Academy of Strategic Management Journal*. 2018. Vol. 17. (2). P. 1–6.

58. Hilorme T., Nazarenko I., Okulicz-Kozaryn W., Getman O., Drobyazko S. Innovative model of economic behavior of agents in the sphere of energy conservation. *Academy of Entrepreneurship Journal*. 2018. Vol. 9 (1). P. 1–7.

59. Hilorme T., Sokolova L., Portna O., Lysiak L., Boretskaya N. The model of evaluation of the renewable energy resources development under conditions of efficient energy consumption. Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, *IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision*. 2020, 2019. P. 7514–7526.

60. Hossain M. S., Madloul N. A., Rahim N. A., Selvaraj J., etc. Role of smart grid in renewable energy: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 60. P. 1168–1184.

61. Harder W. J., Joosten R. A. M. G., Roorda B., Vattenfal Y. He. Key performance indicators for smart grids. URL: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwisoMj6mLztAhUhlosKHbd\\_B1AQFjABegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fessay.utwente.nl%2F73032%2F1%2FHARDER\\_MA\\_BMS.pdf&usg=AOvVaw1DggY-U5Xn0ZD1afLEyVKC](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwisoMj6mLztAhUhlosKHbd_B1AQFjABegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fessay.utwente.nl%2F73032%2F1%2FHARDER_MA_BMS.pdf&usg=AOvVaw1DggY-U5Xn0ZD1afLEyVKC) (дата звернення: 16.04.2020 р.).

62. IBM. Smart Grid Maturity Model: Creating a Clear Path to the Smart Grid. URL: [https://www.uiassist.org/references/IBM\\_Smart\\_Grid\\_Maturity\\_Model.pdf](https://www.uiassist.org/references/IBM_Smart_Grid_Maturity_Model.pdf) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

63. Ibragimov Z., Vasylieva T., Lyulyov O. The national economy competitiveness: effect of macroeconomic stability, renewable energy on economic growth. *Economic and Social Development: Book of Proceedings*. 2019. P. 877–886.

64. Kahrobaee S., Rajabzadeh R. A., Soh L.-K., Asgarpour S. Multiagent study of smart grid customers with neighborhood electricity trading. *Electric Power Systems Research*. 2014. Vol. 111. P. 123–132.

65. Keller V., English J., Fernandez J., Wade C., Fowler M., Scholtysik S., etc. Electrification of road transportation with utility controlled charging: A case study for british columbia with a 93% renewable electricity target. *Applied Energy*. 2019. Vol. 253 (C). P. 1.

66. Keller V., Lyseng B., Wade C., Scholtysik S., Fowler M., Donald J., Rowe A. Electricity system and emission impact of direct and indirect electrification of heavy-duty transportation. *Energy*. 2019. Vol. 172. P. 740–751.

67. Kester J., Noel L., Zarazua de Rubens G., Sovacool B. K. Policy mechanisms to accelerate electric vehicle adoption: A qualitative review from the nordic region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 94. P. 719–731.

68. Kester J. Conducting a smarter grid: Reflecting on the power and security behind smart grids with foucault. *Smart Grids from a Global Perspective*, 2016. P.197–213. URL: [https://www.researchgate.net/publication/314931978\\_Conducting\\_a\\_Smarter\\_Grid\\_Reflecting\\_on\\_the\\_Power\\_and\\_Security\\_Behind\\_Smart\\_Grids\\_with\\_Foucault](https://www.researchgate.net/publication/314931978_Conducting_a_Smarter_Grid_Reflecting_on_the_Power_and_Security_Behind_Smart_Grids_with_Foucault) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

69. Khurana H., Hadley M., Lu N., Frincke D. A. Smart-grid security issues. *IEEE Security and Privacy*. 2010. Vol. 8 (1). P. 81–85.

70. Killian M., Kozek M. Ten questions concerning model predictive control for energy efficient buildings. *Building and Environment*. 2016. Vol. 105. P. 403–412.

71. Kolosok S., Zakharkina L., Vakulenko I. Concept of energy cooperation in Europe. *European energy collaboration: modern smart specialization strategies* : monograph / edited by T. Vasylieva, S. Kolosok. Szczecin, 2019. P. 54–71.

72. Khurana H., Rogers K. M., Klump R., Aquino-Lugo A. A., Overbye T. J. An authenticated control framework for distributed voltage support on the smart grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2010. Vol. 1 (1). P. 40–47.

73. Levene Test for Equality of Variances. URL: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35a.htm> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

74. Li J., Li T., Han L. Research on the Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand [https://www.researchgate.net/publication/328751473\\_Research\\_on\\_the\\_Evaluation\\_Model\\_of\\_a\\_Smart\\_Grid\\_Development\\_Level\\_Based\\_on\\_Differentiation\\_of\\_Development\\_Demand](https://www.researchgate.net/publication/328751473_Research_on_the_Evaluation_Model_of_a_Smart_Grid_Development_Level_Based_on_Differentiation_of_Development_Demand) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

75. Lieonov S., Pavlyk A. Collaboration drivers on renewable energy. *European energy collaboration: modern smart specialization strategies* : monograph / edited by Vasylyeva T. A., Kolosok S. I. Szczecin: Centre of Sociological Research, 2019. 172 p.

76. Lyeonov S., Pimonenko T., Bilan Yu., Štreimikienė D., Mentel G. Assessment of green investments' impact on sustainable development: Linking gross domestic product per capita, greenhouse gas emissions and renewable energy. *Energies*. 2019. Vol. 1 (12). P. 3891

77. Market Committee. URL: <https://www.entsoe.eu/about/market/> (дата звернення: 24.03.2020 р.).

78. Miles Ia. Practice on Roadmapping. 2009: Prague, Technology Center of the Academy of Sciences ASCR URL: [https://www.researchgate.net/publication/235217859\\_Practice\\_on\\_Roadmapping](https://www.researchgate.net/publication/235217859_Practice_on_Roadmapping) (дата звернення: 16.04.2020 р.).

79. McDaniel P., McLaughlin S. Security and privacy challenges in the smart grid. *IEEE Security and Privacy*. 2009. Vol. 7 (3). P. 75–77.

80. Melnyk L., Sommer H., Kubatko O., Rabe M., Fedyna S. The economic and social drivers of renewable energy development in OECD countries. *Problems and Perspectives in Management*. 2020. Vol. 18 (4). P. 37–48.

81. Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects [https://www.smartgrid.gov/files/methodological\\_approach\\_for\\_estimating\\_the\\_benefits\\_and\\_costs\\_of\\_sgdp.pdf](https://www.smartgrid.gov/files/methodological_approach_for_estimating_the_benefits_and_costs_of_sgdp.pdf) (дата звернення: 24.03.2020 р.).

82. Moon J., Park J. Smart production scheduling with time-dependent and machine-dependent electricity cost by considering distributed energy resources and energy storage. *International Journal of Production Research*. 2014. Vol. 52 (13). P. 3922–3939.

83. Naz A., Javed M. U., Javaid N., Saba T., Alhussein M., Aurangzeb K. Short-term electric load and price forecasting using enhanced extreme learning machine optimization in smart grids. *Energies*. 2019. Vol. 12 (5). P. 866–896.

84. Noel L., Zarazua de Rubens G., Kester J., Sovacool B. K. Navigating expert skepticism and consumer distrust: Rethinking the barriers to vehicle-to-grid (V2G) in the nordic region. *Transport Policy*. 2019. Vol. 76. P. 67–77.

85. Olmos L., Ruester S., Liong S., Glachant, J. Energy efficiency actions related to the rollout of smart meters for small consumers, application to the austrian system. *Energy*. 2011. Vol. 36 (7). P. 4396–4409.

86. Ontario's smart meter initiative. Lessons learned from the opening of the electricity market. URL: <https://www.smart-energy.com/regional-news/north-america/ontario-s-smart-meter-initiative-lessons-learned-from-the-opening-of-the-electricity-market/> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

87. Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD). Smart Sensor Networks: Technologies and Applications for Green Growth. URL: <https://www.oecd.org/sti/44379113.pdf> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

88. Pacific Gas and Electric Company. What is a Smart Grid? URL: <http://www.pge.com/myhome/edusafety/systemworks/electric/smartgrid/> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

89. Palmer-Wilson K., Donald J., Robertson B., Lyseng B., etc. Impact of land requirements on electricity system decarbonisation pathways. *Energy Policy*. 2019. Vol. 129. P. 193–205.
90. Parson O., Ghosh S., Weal M., Rogers A. An unsupervised training method for non-intrusive appliance load monitoring. *Artificial Intelligence*. 2014. Vol. 217. P. 1–19.
91. Pelenc J., Wallenborn G., Milanesi J., Sébastien L., Vastenaekels J., etc. Alternative and resistance movements: The two faces of sustainability transformations? *Ecological Economics*. 2019. Vol. 59. P. 373–378.
92. Pereira G. V., Luna-Reyes L. F., Gil-Garcia J. R. Governance innovations, digital transformation and the generation of public value in smart city initiatives. *ACM International Conference Proceeding Series*, 2020. P. 602–608.
93. Pereira G. V., Wimmer M., Ronzhyn A. Research needs for disruptive technologies in smart cities. *ACM International Conference Proceeding Series*, 2020. P. 620–627.
94. Pereira G. V., Macadar M. A., Luciano E. M., Testa M. G. Delivering public value through open government data initiatives in a Smart City context. *Information Systems Frontiers*. 2017. Vol. 2. P. 213–229.
95. Pereira R., Figueiredo J., Melicio R., Mendesad V. M. F., etc. Consumer energy management system with integration of smart meters. *Energy Reports*. 2015. Vol. 1. P. 22–29.
96. Pimonenko T., Lyulyova L., Us Y. Energy-efficient house: economic, ecological and social justification in Ukrainian conditions. *Environmental economics*. 2017. Vol. 8 (4). P. 53–61.
97. Rasheed M. B., Qureshi M. A., Javaid N., Alquthami T. Dynamic pricing mechanism with the integration of renewable energy source in smart grid. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 16876–16892.
98. Reddy M. J. B., Rajesh D. V., Gopakumar P., Mohanta, D. K. Smart fault location for smart grid operation using RTUs and computational intelligence techniques. *IEEE Systems Journal*. 2014. Vol. 8 (4). P. 1260–1271.

99. Research on the Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/11/4047/pdf> (дата звернення: 16.04.2020 р.).

100. Ruester S., Schwenen S., Finger M., Glachant J. A strategic energy technology policy towards 2050: No-regret strategies for european technology push. *International Journal of Energy Technology and Policy*. 2013. Vol. 9 (2). P. 160–174.

101. Schneider K. P., Radhakrishnan N., Tang Y., Tuffner F. K., Liu C., Xie J., Ton D. Improving primary frequency response to support networked microgrid operations. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2019. Vol. 34(1). P. 659–667.

102. Schuetz P., Melillo A., Businger F., Durrer R., Frehner S., Gwerder D., Worlitschek J. Automated modelling of residential buildings and heating systems based on smart grid monitoring data. *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 229.

103. Shabanzadeh M., Moghaddam M. What is the Smart Grid? Definitions, Perspectives, and Ultimate Goals. Power System Conference. URL: [https://www.researchgate.net/publication/259981754\\_What\\_is\\_the\\_Smart\\_Grid\\_Definitions\\_Perspectives\\_and\\_Ultimate\\_Goals](https://www.researchgate.net/publication/259981754_What_is_the_Smart_Grid_Definitions_Perspectives_and_Ultimate_Goals) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

104. Shapiro S. S., Wilk M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). URL: <https://www.jstor.org/stable/2333709?seq=1> (дата звернення: 16.04.2020 р.).

105. Sineviciene L., Sotnyk I., Kubatko O. Determinants of energy efficiency and energy consumption of Eastern Europe post-communist economies. *Energy & Environment*. 2017. Vol. 8 (28). P. 870–884 (дата звернення: 16.04.2020 р.).

106. Smart Grid Maturity Model: Creating a Clear Path to the Smart Grid [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwibsorXmrztAhXjBxAIHTPgBxsQFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.uiassist.org%2Freferences%2FIBM\\_Smart\\_Grid\\_Maturity\\_Model.pdf&usg=AOvVaw1Hjej10JHPhr4VD8cOa2em](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwibsorXmrztAhXjBxAIHTPgBxsQFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.uiassist.org%2Freferences%2FIBM_Smart_Grid_Maturity_Model.pdf&usg=AOvVaw1Hjej10JHPhr4VD8cOa2em) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

107. Smart Metering Initiative. URL: <http://www.auditor.on.ca/en/content/annualreports/arreports/en14/311en14.pdf> (дата звернення: 17.03.2020 р.).



108. Sovacool B. K., Kester J., Noel L., de Rubens G. Z. Income, political affiliation, urbanism and geography in stated preferences for electric vehicles (EVs) and vehicle-to-grid (V2G) technologies in northern europe. *Journal of Transport Geography*. 2019. Vol. 78. P. 214–229.

109. Sovacool B. K., Noel L., Kester J., Zarazua de Rubens G. Reviewing nordic transport challenges and climate policy priorities: Expert perceptions of decarbonisation in denmark, finland, iceland, norway, sweden. *Energy*. 2018. Vol. 165. P. 532–542.

110. Strategic Energy Technology Plan. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/strategic-energy-technology-plan> (дата звернення: 24.03.2020 р.).

111. Sun Q., Ge X., Liu L., Xu X., Zhang Y., Niu R., Zeng Y. Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems. *Energy Procedia*. 2011. Vol. 12, P. 219–229. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211018571> (дата звернення: 09.03.2020 р.).

112. System Development Committee. URL: <https://www.entsoe.eu/about/system-development/> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

113. Telizhenko O., Shevchenko T., Vyshnytska O. Possibilities of sorting out the organic part of municipal solid waste to produce biogas in the context of solving the problem of minimizing its accumulation. *Green Energy – Environment – Sustainable development*. 2014. P. 101–106.

114. Ten Reasons to Roadmap. URL: [http://www.albrightstrategy.com/ten\\_reasons.html](http://www.albrightstrategy.com/ten_reasons.html) (дата звернення: 16.04.2020 р.).

115. The Institution of Engineering, Technology (IET). What is a Smart Grid? URL: <http://www.theiet.org/factfiles/energy/smart-grids-page.cfm> (дата звернення: 16.04.2020 р.).

116. The Role of New Technologies: A Power Engineering Equipment Supply Base Perspective. URL: [http://www.efn-uk.org/1-street/economics-lib/markets-reports/index\\_files/SmartGridABB2010.pdf](http://www.efn-uk.org/1-street/economics-lib/markets-reports/index_files/SmartGridABB2010.pdf) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

117. Trayhorn C. The Smart Grid Maturity Model. URL: <https://mthink.com/smart-grid-maturity-model/> (дата звернення: 16.04.2020 р.).
118. Ton D. DOE's Perspectives on Smart Grid Technology, Challenges, & Research Opportunities. URL: <https://smartgrid.ucla.edu/index.htm> (дата звернення: 16.04.2020 р.).
119. Ton D., Reilly J. Microgrid controller initiatives. *IEEE Power and Energy Magazine*. 2017. Vol. 15(4). P. 24–31.
120. Ton D. T., Smith M. A. The U.S. department of energy's microgrid initiative. *Electricity Journal*. 2012. Vol. 25 (8). P. 84–94.
121. Tuballa M. L., Abundo M. L. A review of the development of Smart Grid technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 59. P. 710–725
122. Vakulenko I., Myroshnychenko Iu. Approaches to the organization of the energy efficient activity at the regional level in the context of limited budget resources during the transformation of energy market paradigm. *Environmental and Climate Technologies*. 2015. Vol. 15 (1). P. 59–76.
123. Vakulenko I. Public planning for innovative development on the example of the energy sector. *Science of 2018. Outcomes : proceedings of XXXX International scientific conference*. Morrisville : Lulu Press, 2018. P.43–45.
124. Vakulenko I. A. Problems of the energy sector of Ukrainian economy through the implementation of state target programs. *Kluczowe aspekty naukowej działalności : Materiały XV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji (31 grudnia – 07 stycznia 2019)*. Przemyśl, 2018. S. 15–17.
125. Vasylieva T., Lyulyov O., Bilan Yu., Streimikiene D. Sustainable economic development and greenhouse gas emissions: The dynamic impact of renewable energy consumption, GDP, and corruption. *Energies*. 2019. Vol. 12 (17). P. 3289.
126. Vasylieva T. A. Preconditions of the transition to the clean energy concept. *European energy collaboration: modern smart specialization strategies : monograph / edited by Vasylyeva T. A., Kolosok S. I.* Szczecin: Centre of Sociological Research, 2019. 172 p.

127. Waddell P., Seraphim D. Emerging technologies: Examining the electronics design horizon. *Circuit Design*. 1995. Vol. 12 (3). URL: [www.scopus.com](http://www.scopus.com) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

128. Wallenborn G., Wilhite H. Rethinking embodied knowledge and household consumption. *Energy Research and Social Science*. 2014. Vol. 1. P. 56–64.

129. Wallenborn G., Orsini M., Vanhaverbeke J. Household appropriation of electricity monitors. *International Journal of Consumer Studies*. 2011. Vol. 35 (2). P. 146–152.

130. Wang W. M., Wang J., Ton D. Prospects for renewable energy. meeting the challenges of integration with storage. *Smart grid*. 2012. P. 103–126.

131. Wang Y., Huang Y., Wang Y., Zeng M., Li F., etc. Energy management of smart micro-grid with response loads and distributed generation considering demand response. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 197. P. 1069–1083.

132. Yevdokimov Y., Chygryn O., Pimonenko T., Lyulyov O. Biogas as an alternative energy resource for Ukrainian companies: EU experience. *Innovative Marketing*. 2018. Vol. 14 (2). P. 7–15

133. Young J. R. Smart grid technology in the developing world. Honors Projects, 2017. 68. URL : <https://digitalcommons.spu.edu/honorsprojects/68> (дата звернення: 14.04.2020 р.).

134. Вакуленко І. А. Альтернативна енергетика в умовах фінансово-економічної кризи. *Екологічний менеджмент у загальній системі управління* : зб. тез доп. XIII Щорічн. всеукр. наук. конф. (м. Суми, 17–18 квіт. 2013 р.). Суми, 2013. С. 25–27.

135. Вакуленко І. А., Денисенко П. А. Стратегічні питання розвитку енергетики України: інноваційний, інтеграційний та екологічний аспекти. *Механізм регулювання економіки*. 2018. № 4. С. 110–118.

136. Вакуленко І. А. Еколого-економічний антагонізм розвитку альтернативної енергетики в країнах, що розвиваються. *Економічні проблеми сталого розвитку* : матеріали доп. Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 20-

річчю наукової діяльності ф-ту економіки та менеджменту СумДУ (м. Суми, 3–5 квіт. 2012 р.). Суми, 2012. Т. 4. С. 195.

137. Вакуленко І. А. Ефективність розумних енергомереж: китайський підхід. *Механізм регулювання економіки*. 2019. № 4. С. 24–31.

138. 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.

139. Вакуленко І. А., Колосок С. І., Мареха І. С., Матвєєва Ю. Т. Класифікація розумних та безпечних рішень в енергетиці. *Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні* : монографія / за ред. С. І. Колосок. Суми, 2019. С. 71–81.

140. Вакуленко І. А., Колосок С. І., Прийменко С. А., Матвєєва Ю. Т. Підходи до розгортання розумних енергетичних мереж. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»*. 2019. № 4. С. 56–61.

141. Вакуленко І. А., Колосок С. І., Прийменко С. А., Матвєєва Ю. Т. Формування базису проведення енергетичних реформ із застосуванням «розумних» технологій. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»*. 2019. № 3. С. 40–45.

142. 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.

143. Вакуленко І. А., Лук'янихіна О. А. Еколого-економічні аспекти трансформації системи енергетичної безпеки в Україні. *Екологічний менеджмент у загальній системі управління* : зб. тез доп. XI Щорічн. всеукр. наук. конф. (м. Суми, 20–21 квіт. 2011 р.). Суми, 2011. Ч. 1. С. 182–185.

144. Вакуленко І. А., Лук'янихіна О. А. Сучасні тенденції розвитку ринку біопалива у світі (огляд). *Збірник наукових праць Буковинського університету*. 2011. №7. С. 43–51.

145. 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.

146. Вакуленко І. А. Оцінювання ефективності розгортання розумних енергетичних мереж із застосуванням моделі зрілості смарт-мережі (IBM SMART GRID MATURITY MODEL, SGMM). *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. № 4. С. 16–19.

147. Вакуленко І. А. Перспективи розвитку альтернативної енергетики в сучасних умовах. *Екологічний менеджмент у загальній системі управління* : тези доп. X Щорічн. всеукр. наук. конф. (м. Суми, 20–21 квіт. 2010 р.). Суми, 2010. Ч. 1. С. 29–31.

148. Вакуленко І. А. Порівняльний огляд систем оцінювання розумних енергомереж: економічний аспект. *Галицький економічний вісник*. 2020. Том 64, № 3. С. 128–136.

149. Вакуленко І. А. Розгортання «розумних» енергетичних мереж як елемент системи модернізації енергетичного сектору економіки України. *Науковий вісник Полісся*. 2019. № 2. С. 97–106.

150. Вакуленко І. А., Сагер Л. Ю. Комунікації між стейкхолдерами як складова розбудови розумних енергомереж. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я MicroCAD-2020* : XXVII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 13–15 трав. 2020 р.). Харків, 2020. С. 52.

151. Вакуленко І. А., Сагер Л. Ю. Окремі питання планового розгортання «розумних» енергетичних мереж як інноваційної складової енергетичної політики України. *Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении* : матеріали Междунар. науч.-техн. конф. (г. Одеса, 16-18 мая 2019 г.). Одеса, 2019. С. 28–30.

152. Васильєва Т. А., Леонов С. В., Макарюк О. В. Сутнісний аналіз інвестиційного ринку та його ролі у функціонуванні економічної системи. *Вісник*

*Харківського національного технічного університету сільського господарства. Економічні науки. 2009. № 85. С. 16–22.*

153. Васильєва Т. А., Леонов С. В., Макарюк О. В. Проблеми регулювання інвестиційного ринку в Україні. *Ефективна економіка. 2009. № 3.* Режим доступу до журналу: <http://www.economy.nauka.com.ua/index.php?operation=1&iid=63>

154. Гільорме Т. В., Єлісеєва О. К., Водопян М. В. Аналіз і перспективи розвитку енергетичної платформи на засадах концепції smart grid. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Економічні науки». 2016. № 5. Т.1. С. 70–73.*

155. Гончарук А. Г. Про ефективність розподілу електроенергії в Україні. *Економіка України. 2007. № 4. С. 28–36.*

156. Губарєва І. О., Салашенко Т.І. Стратегічні аспекти підвищення енергоефективності регіонів країни. *Проблеми економіки. 2020. № 2 (44). С. 190–197.*

157. Губарєва І. О. Стратегічне управління економічною безпекою країни. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство. 2018. № 19 (1). С. 109–113.*

158. Державний комітет статистики України: офіційний сайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 13.09.2020 р.)

159. Джеджула В. В. *Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління* : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2014. 346 с.

160. Джеджула В. В. Методи аналізу ефективності інвестицій у енергозберігаючі заходи. *Вісник Бердянського університету менеджменту і бізнесу. 2012. №1 (17). С. 105–107.*

161. Дзядикевич Ю. В., Брич В. Я., Джеджула В. В., Гевко Р. Б., Гевко Б. Р., Єпіфанова І. Ю., Любезна І. В. *Організаційно-економічний механізм*

*енергозбереження* : монографія. Тернопіль : Тернопільський національний економічний університет, 2018. 154 с.

162. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text> (дата звернення: 16.04.2020 р.).

163. Єврокомісія: офіційний сайт. URL: <https://ec.europa.eu> (дата звернення: 13.09.2020 р.).

164. Євростат: офіційний сайт. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/home?> (дата звернення: 13.09.2020 р.).

165. Кизим Н. А., Салашенко Т. И. Конкурентный рынок электроэнергии: теоретические подходы и модели формирования. *Проблемы экономики*. 2020. № 2. С. 130–143.

166. Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року. URL: [https://mepr.gov.ua/files/images/news\\_2020/14022020/pdf\\_%D0%B7%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B0%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%86%D1%96%D1%8F%20\(2\).pdf](https://mepr.gov.ua/files/images/news_2020/14022020/pdf_%D0%B7%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B0%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%86%D1%96%D1%8F%20(2).pdf) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

167. Критерій Стьюдента. URL: <http://fpo.bsmu.edu.ua/static/t-kryteriy-styudenta> (дата звернення: 16.04.2020 р.).

168. Кубатко О. В. Екологічні інновації як джерело флуктуацій енергоефективного розвитку національної економіки. Маркетинг і менеджмент інновацій. 2016. № 4. С. 365–376.

169. Майстро С.В. Механізми державного регулювання розвитку альтернативної енергетики: теоретичні підходи до визначення та змісту. *Збірник наукових праць «Ефективність державного управління»*. 2015. № 43. С. 36–43.

170. Матвеева 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: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6987> (дата звернення: 16.04.2020 р.).

171. Мельник Л. Г. Инновационные перспективы Третьей промышленной революции: экономика, энергетика, экология. Маркетинг і менеджмент інновацій. 2016. № 4. С. 342–352.

172. Мельник Л. Г., Карінцева О. І., Дегтярьова І. Б. “Зелена” енергетика як провідна ланка “зеленої” економіки: досвід Європейського Союзу. *Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти* : колективна монографія / за заг. ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава : ПП “Астрия”, 2019. С. 85–91.

173. Мельник Л.Г., Маценко О.М. Інноваційний досвід підприємств у сфері енергозбереження: енергетика, будівництво, транспорт, агровиробництво. *Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера* : монографія / під заг. редакцією О.М. Теліженка, М.І. Сотника. Суми: Видавничо-виробниче підприємство «Мрія-1», 2018. С. 106–140.

174. Методика розрахунку системи теплозабезпечення будівель при використанні різних видів енергоресурсів, враховуючи оцінку вартості життєвого циклу таких систем / Антоненко С. С., Сапожников С. В., Хованський С. О., Черноброва А. К. *Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера* : монографія / під заг. ред. О. М. Теліженка та М. І. Сотника. – Суми : ВВП «Мрія-1», 2018. С. 141–185.

175. Методологія формування механізму інноваційного розвитку національної економіки на основі альтернативної енергетики. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/67767> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

176. Міжнародна енергетична агенція: офіційний сайт. URL: <https://www.iea.org/areas-of-work/global-engagement> (дата звернення: 24.03.2020 р.).

177. Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електричних мереж у світовій практиці. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/3.-Smart-Grid.pdf> (дата звернення: 17.03.2020 р.).



178. Павлик А. В., Люльов О. В., Чигрин О. Ю., Пімоненко Т. В. Ukrainian energy sector: ecological and economic features. *Економіка і Регіон. Науковий вісник*. 2018. № 2 (69). С. 28–33.

179. Про ринок електричної енергії : Закон України № 2019-VIII від 13.04.2017 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/38583> (дата звернення: 16.04.2020 р.)

180. Про утворення робочої групи з підготовки Концепції впровадження "розумних мереж" в Україні до 2035 року та середньострокового Плану заходів з впровадження "розумних мереж" в Україні: наказ від 8 травня 2018 року N 248 Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/FN042868> (дата звернення: 17.03.2020 р.).

181. П'ять технологій, які змінять сервіси енергопостачальних компаній. URL: <https://vsenergy.com.ua/categories-page/p-jat-tehnologij-jaki-zminjat-servisi-energorostachalnih-kompanij/> (дата звернення: 16.04.2020 р.).

182. Розподілене виробництво енергії: переваги та можливості для кожного українця. URL: <https://ecoaction.org.ua/rozpodilene-vyrobnyctvo-enerгии.html> (дата звернення: 16.04.2020 р.).

183. Розумні енергомережі (smart grid). URL: <https://ua.energy/majbutnye-ukrenergo/smart-grid/> (дата звернення: 16.04.2020 р.).

184. Руденко В. М. Математична статистика. Навч. посіб. К. : Центр учбової літератури, 2012. 304 с.

185. Салашенко Т. І. Енергоефективність як властивість економічних систем: міжнародний досвід оцінки. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки*. 2012. № 21. С. 114–122.

186. Салашенко Т. І. Порівняльний аналіз стратегічних орієнтирів розвитку електроенергетики в Україні та світі. *Інфраструктура ринку*. 2016. № 2. С. 100–107.

187. Світовий банк: офіційний сайт. URL: <https://www.worldbank.org> (дата звернення: 13.09.2020 р.).

188. Смирнов С. О., Гільорме Т. В. Методологічна платформа формування організаційно-інформаційного механізму маркетингового просування енергозберігаючих технологій. *Бізнес Інформ*. 2015. № 7. С. 311–315.

189. Сотник І. М. Розвиток відновлювальної енергетики в Україні та світі: порівняльний аналіз. *Енергоефективність та відновлювальна енергетика в Україні: проблеми управління* : монографія / за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. І.М. Сотник. Суми : Університетська книга, 2019. С. 28–53.

190. Сотник М. І., Сапожніков С. В., Антоненко С. С., Хованський С. О. Потенціал Сумської області що до використання альтернативних джерел енергії та альтернативних видів палива. *Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка*. 2018. № 2. С. 13–24.

191. Сотник І. М., Сотник М. І. Підвищення енергоефективності об'єктів бюджетної сфери як складова сталого розвитку регіону. *Сталий людський розвиток місцевих громад* : наукові праці ВНЗ-партнерів Проекту ЄС/ПРООН «Місцевий розвиток, орієнтований на громаду»; за заг. ред. М.А. Лепського. Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2015. С. 323–329.

192. Стратегії оптимізації витрат на опалення для домогосподарств: випадок України Сотник М. І., Сотник І. М. *Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера* : монографія / під. заг. ред. О. М. Теліженка та М.І. Сотника. – Суми : ВВП «Мрія-1», 2018. С. 297–322

193. Стратегія сталого розвитку України до 2030 р. URL: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjX3vXwrLztAhUUCRAIHdYhBwsQFjAAegQIBhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.undp.org%2Fcontent%2Fdam%2Fukraine%2Fdocs%2FSDGreports%2FUNDP\\_Strategy\\_v06-optimized.pdf&usq=AOvVaw3BzKu0MyFquCYYJ3WyDcMm](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjX3vXwrLztAhUUCRAIHdYhBwsQFjAAegQIBhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.undp.org%2Fcontent%2Fdam%2Fukraine%2Fdocs%2FSDGreports%2FUNDP_Strategy_v06-optimized.pdf&usq=AOvVaw3BzKu0MyFquCYYJ3WyDcMm) (дата звернення: 17.03.2020 р.).

194. Суходоля О. М. Енергоефективність економіки у контексті національної безпеки: методологія дослідження та механізми реалізації: монографія. К. : Вид-во НАДУ, 2006. 400 с.

195. Суходоля О. М. Модель аналізу енергоспоживання та визначення рівня енергоефективності національної економіки. *Економіка України*. 2005. № 5. С. 31–37.

196. Суходоля О., Сменковський А. Енергетичний сектор України: перспектива реформування чи стагнації. *Стратегічні пріоритети*. 2013. № 2 (27). С. 74–80.

197. Теліженко О. М., Вакуленко І.А., Байстриученко Н.О. Методичні підходи до оцінки соціо-еколого-економічної ефективності інвестиційних проектів з енергозбереження. *Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера* : монографія / за заг. ред. О.М. Теліженка, М.І. Сотника. Суми : ВВП «Мрія -1», 2018. С. 245–259.

198. Теліженко О. М., Вакуленко І. А., Мирошніченко Ю. О. Методичні підходи до оцінки соціо-еколого-економічної ефективності інвестиційних проектів з енергозбереження. *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2014. № 11. С. 40–51.

199. Теліженко О. М. Методичні підходи до оцінки та прогнозування атмосфероохоронних витрат у теплоенергетиці. *Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера* : монографія / за заг. ред. О.М. Теліженка, М.І. Сотника. Суми : ВВП «Мрія -1», 2018. С. 274–283.

200. Хаустова В. Є. Теоретико-методичні засади побудови дорожніх карт як сучасного інструменту стратегічного планування соціально-економічних процесів. *Бізнес Інформ*. 2016. № 8. С. 140–153.

201. Шість інновацій розподільчої мережі майбутнього. URL: <https://vsenergy.com.ua/categories-page/shist-innovacij-rozpodilchoi-merezhi-majbutnogo/> (дата звернення: 23.04.2020 р.).

202. Ярмош О. В. Розробка дорожньої карти інноваційного проекту як інструмент стратегічного менеджменту. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2014. № 6. Т. 1. С. 149–152.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

```
. tsset year
      time variable: year, 2006 to 2012
              delta: 1 unit

. regress K Ec
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	
Model	.009076677	1	.009076677	F(1, 5)	=	0.10
Residual	.459930645	5	.091986129	Prob > F	=	0.7661
				R-squared	=	0.0194
				Adj R-squared	=	-0.1768
Total	.469007322	6	.078167887	Root MSE	=	.30329

	K	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
	Ec	.8069912	2.569014	0.31	0.766	-5.796871 7.410853
	_cons	25.38569	4.0772	6.23	0.002	14.90492 35.86647

Рисунок А.1 – Результати регресійного аналізу: регресанд – обсяг валового основного капталу; регресор – обсяг споживання електроенергії

```
. regress L Ec
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	
Model	.000699754	1	.000699754	F(1, 5)	=	4.40
Residual	.000795269	5	.000159054	Prob > F	=	0.0900
				R-squared	=	0.4681
				Adj R-squared	=	0.3617
Total	.001495023	6	.00024917	Root MSE	=	.01261

	L	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
	Ec	.2240671	.1068261	2.10	0.090	-.0505381 .4986723
	_cons	10.28524	.1695402	60.67	0.000	9.84942 10.72105

Рисунок А.2 – Результати регресійного аналізу: регресанд – чисельність зайнятого населення; регресор – обсяг споживання електроенергії

```
. regress GDP Ec
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	
Model	.047140793	1	.047140793	F(1, 5)	=	1.25
Residual	.188244716	5	.037648943	Prob > F	=	0.3140
				R-squared	=	0.2003
				Adj R-squared	=	0.0403
Total	.235385509	6	.039230918	Root MSE	=	.19403

	GDP	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
	Ec	-1.839094	1.643546	-1.12	0.314	-6.063962 2.385775
	_cons	22.77288	2.608418	8.73	0.000	16.06773 29.47803

Рисунок А.3 – Результати регресійного аналізу: регресанд – ВВП; регресор – обсяг споживання електроенергії

```
. regress FDI Ec
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.014367491	1	.014367491	F(1, 5)	=	0.14
Residual	.522701468	5	.104540294	Prob > F	=	0.7260
				R-squared	=	0.0268
				Adj R-squared	=	-0.1679
Total	.537068958	6	.089511493	Root MSE	=	.32333

FDI	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
Ec	1.015303	2.738718	0.37	0.726	-6.024794 8.055401
_cons	24.32226	4.34653	5.60	0.003	13.14915 35.49537

Рисунок А.4 – Результати регресійного аналізу: регресанд – обсяг чистих прямих іноземних інвестицій; регресор – обсяг споживання електроенергії

```
. regress HDI Ec
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.00057697	1	.00057697	F(1, 5)	=	60.87
Residual	.000047395	5	9.4790e-06	Prob > F	=	0.0006
				R-squared	=	0.9241
				Adj R-squared	=	0.9089
Total	.000624366	6	.000104061	Root MSE	=	.00308

HDI	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
Ec	-.2034614	.0260788	-7.80	0.001	-.2704991 -.1364238
_cons	-.6404744	.0413888	-15.47	0.000	-.7468677 -.5340811

Рисунок А.5 – Результати регресійного аналізу: регресанд – індекс людського розвитку; регресор – обсяг споживання електроенергії

```
. regress RD Ec
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.022998077	1	.022998077	F(1, 5)	=	5.42
Residual	.021227876	5	.004245575	Prob > F	=	0.0674
				R-squared	=	0.5200
				Adj R-squared	=	0.4240
Total	.044225953	6	.007370992	Root MSE	=	.06516

RD	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
Ec	1.28455	.5519169	2.33	0.067	-.1341971 2.703298
_cons	1.852072	.8759293	2.11	0.088	-.3995758 4.10372

Рисунок А.6 – Результати регресійного аналізу: регресанд – обсяг видатків на дослідження та розвиток; регресор – обсяг споживання електроенергії

2006-2012 En  
regress K En

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.183492615	1	.183492615	F(1, 5)	=	3.21
Residual	.285514707	5	.057102941	Prob > F	=	0.1330
				R-squared	=	0.3912
				Adj R-squared	=	0.2695
Total	.469007322	6	.078167887	Root MSE	=	.23896

K	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
En	4.374914	2.44056	1.79	0.133	-1.898745 10.64857
_cons	1.858701	12.41075	0.15	0.887	-30.04414 33.76154

Рисунок А.7 – Результати регресійного аналізу: регресанд – обсяг валового основного каптал; регресор – енергоємність ВВП

. regress FDI En

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.2668766	1	.2668766	F(1, 5)	=	4.94
Residual	.270192359	5	.054038472	Prob > F	=	0.0769
				R-squared	=	0.4969
				Adj R-squared	=	0.3963
Total	.537068958	6	.089511493	Root MSE	=	.23246

FDI	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
En	5.27613	2.37417	2.22	0.077	-.8268677 11.37913
_cons	-4.11795	12.07314	-0.34	0.747	-35.15294 26.91704

Рисунок А.8 – Результати регресійного аналізу: регресанд – обсяг чистих прямих іноземних інвестицій; регресор – енергоємність ВВП

. regress Trade En

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	7
Model	.000205492	1	.000205492	F(1, 5)	=	0.04
Residual	.022946268	5	.004589254	Prob > F	=	0.8408
				R-squared	=	0.0089
				Adj R-squared	=	-0.1893
Total	.02315176	6	.003858627	Root MSE	=	.06774

Trade	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
En	.0720896	.3406798	0.21	0.841	-.8036556 .9478349
_cons	4.248512	1.692641	2.51	0.054	-.1025592 8.599584

Рисунок А.9 – Результати регресійного аналізу: регресанд – рівень відкритості економіки; регресор – енергоємність ВВП

## Додаток Б



СУМСЬКА МІСЬКА РАДА  
УПРАВЛІННЯ СТРАТЕГІЧНОГО РОЗВИТКУ МІСТА  
площа Покровська, 2, м. Суми, 40000, тел. (0542) 701-575  
e-mail: pmo@smr.gov.ua

20.07.2020 № 148/11-11

Голові спеціалізованої вченої  
ради Д 55.051.06  
Сумського державного університету

Довідка

про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
Вакуленка Ігоря Анатолійовича  
на тему: «Організаційно-економічні засади запровадження розумних  
енергомереж в енергетичному секторі України»

Ознайомлення з основними науковими результатами, викладеними у дисертаційній роботі Вакуленка І.А. на тему «Організаційно-економічні засади запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі України», поданій до спеціалізованої вченої ради Д 55.051.06 Сумського державного університету на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук за спеціальністю 08.00.03 – економіка та управління національним господарством, засвідчило, що вона містить важливі для поточної діяльності Управління стратегічного розвитку міста Сумської міської ради наукові результати.

Зокрема, розробки дисертанта щодо схеми взаємодії стейкхолдерів при реалізації проектів розумних енергомереж у частині впровадження інноваційних інформаційно-комунікаційних технологій, які сприяють практичній реалізації концепції Smart City, враховуються Управлінням стратегічного розвитку міста Сумської міської ради в поточній діяльності.

В.о. начальника управління

М.О. Басанець



Сумська міська рада  
ДЕПАРТАМЕНТ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА  
вулиця Горького, 21, м. Суми, 40030, тел/факс 700-590,  
e-mail: dim@smr.gov.ua

№ 1566/06.01.01.01 від 26.10.2020 року

Голові спеціалізованої вченої  
ради Д 55.051.06  
Сумського державного  
університету

Довідка

про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
Вакуленка Ігоря Анатолійовича  
на тему: «Організаційно-економічні засади запровадження розумних  
енергомереж в енергетичному секторі України»

Наукові результати, викладені у дисертаційній роботі Вакуленка І.А. на тему «Організаційно-економічні засади запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі України», поданій до спеціалізованої вченої ради Д 55.051.06 Сумського державного університету на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук за спеціальністю 08.00.03 – економіка та управління національним господарством, були використані при розробці схеми теплопостачання м. Суми у частині техніко-економічного обґрунтування варіантів інженерних рішень.

Розроблена дисертантом концептуальна схема розвитку енергетичного сектору на основі його комплексного багатофакторного оцінювання враховується Департаментом інфраструктури міста Сумської міської ради в поточній діяльності в процесі формування пропозицій щодо реалізації місцевої політики в галузі житлово-комунального господарства.

Директор департаменту

О.І. Журба





**СУМСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ  
ДЕПАРТАМЕНТ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО  
ГОСПОДАРСТВА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

майдан Незалежності, 2, м. Суми, 40000, тел. (0542) 61-10-78

E-mail: gkh@sm.gov.ua, Код ЄДРПОУ 42346535

27.10.2020 № 01-12/4078

на № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

**Голові спеціалізованої вченої  
ради Д 55.051.06  
Сумського державного  
університету**

Довідка

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Вакуленка Ігоря Анатолійовича

на тему: «Організаційно-економічні засади запровадження розумних  
енергомереж в енергетичному секторі України»

Практичні результати дисертаційного дослідження у частині здійснення комплексної економічної оцінки впровадження інженерних заходів з системної модернізації енергетичної інфраструктури були використані при розробленні «Регіональної програми модернізації систем теплопостачання Сумської області на 2016-2020 роки». Використання напрацювань автора, які містяться у дисертаційному дослідженні, дозволили вдосконалити нормативно-методичне забезпечення Програми у частині формування системи стимулювання енергоефективної діяльності та розгортання загальнообласної системи моніторингу споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Результати дисертаційного дослідження щодо здійснення компаративного аналізу альтернативних варіантів енергоефективних заходів були використані у розрахунках еколого-економічної ефективності інженерних рішень при розробці схем теплопостачання населених пунктів (м. Суми, м. Конотоп, м. Лебедин).

Директор

Сергій ЛУГОВИЙ



УКРАЇНА

Комунальний енергогенеруючий підрозділ  
**"Чернігівська теплоелектроцентраль"**  
 ТОВ фірми "ТехНова"

Адреса: 14014, м. Чернігів, вул. Ушинського, 23  
 Телефони: приймальня т/ф (0462) 653-712; директор 694-218, гол. інженер 662-352;  
 заст. директора 694-220, гол. бухгалтер 645-116, відділ забезпечення т/ф (04622) 653-711.  
 Статист. код 21680602, МФО 300346, рахунок 26001012350101 в ПАТ «Альфа-Банк» в м. Києві  
 Код станції Чернігів ПЗЗ 325000. Код ТЕЦ ПЗЗ 3191.  
 Електронна адреса: cn.tec@tehnova.com.ua, info@tec.cn.ua

## Довідка

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Вакуленка Ігоря Анатолійовича

на тему: «Організаційно-економічні засади запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі України»

№ 03-125 від 04.08.2020 року

Результати дисертаційного дослідження Вакуленка Ігоря Анатолійовича на тему «Організаційно-економічні засади запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі України» частково втілені в діяльності КЕП «Чернігівська ТЕЦ» ТОВ ФІРМИ «ТЕХНОВА».

Впровадження розроблених у дисертаційній роботі методичних положень дозволило:

- удосконалити систему діагностики стану енергетичного господарства з використанням модифікації системи зрілості розумної енергомережі IBM;
- визначити перспективи розвитку енергетичного господарства на основі застосування інтелектуальних технологій для енергетичного сектору з урахуванням крос-функціональної інтеграції як каталізатора розбудови розумної енергомережі;
- здійснити комплексний аналіз очікуваних економічних та конкурентних переваг від оптимізації діяльності підприємства через застосування інтелектуальних технологій для трансформації інфраструктури та бізнес-процесів.

Застосування запропонованих у дисертаційній роботі Вакуленка І.А. науково-методичних положень дозволяє розширити аналітичний інструментарій прийняття рішень щодо перспективної діяльності енергетичного підприємства. Запропоновані автором практичні та методичні розробки можуть бути рекомендовані для застосування на інших підприємствах.

Генеральний директор ТОВ ФІРМА «ТЕХНОВА»  
 т.в.о. директора КЕП «Чернігівська ТЕЦ»

Щербина О.Ю.



UKRAINIAN VENTURE CAPITAL &  
PRIVATE EQUITY ASSOCIATION

Громадська спілка «Українська асоціація венчурного та приватного капіталу»  
01014, Україна, Київ, вул. Каменева 4-а, буд. 11,  
Тел.: +380995657767, e-mail: [office@uvca.eu](mailto:office@uvca.eu)

№ 2-110820 від 11.08.2020 року

Голові спеціалізованої вченої ради Д55.051.06  
Сумського державного університету

Довідка

про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
Вакуленка Ігоря Анатолійовича  
на тему: «Організаційно-економічні засади запровадження розумних  
енергомереж в енергетичному секторі України»

Розгляд дисертаційної роботи Вакуленка І. А. на тему «Організаційно-економічні засади запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі України», поданої до спеціалізованої вченої ради Д 55.051.06 Сумського державного університету на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук за спеціальністю 08.00.03 – економіка та управління національним господарством, засвідчив, що вона містить важливі для поточної діяльності Української асоціації венчурного та приватного капіталу наукові результати.

Розробки дисертанта у частині залучення венчурного капіталу для реалізації енергоефективних проєктів враховуються Українською асоціацією венчурного та приватного капіталу у поточній діяльності.

Виконавчий директор  
Української асоціації венчурного  
та приватного капіталу (UVCA)

О.Б. Афанасьєва

**КОАЛІЦІЯ МАЛОГО ТА  
СЕРЕДНЬОГО  
БІЗНЕСУ СУМСЬКОЇ**



**COALITION OF SMALL AND  
AVERAGE BUSINESS IN  
SUMY REGION**

Україна, м. Суми,  
вул. Кооперативна, 19 оф. 218  
тел./факс (0542) 79-83-82

Kooperativna str, 19 of. 218  
Sumy, Ukraine  
Tel./fax (0542) 79-83-82

**Довідка**  
**про впровадження результатів дисертаційного дослідження**  
**Вакулєнка Ігоря Анатолійовича**  
**на тему: «Організаційно-економічні засади запровадження розумних**  
**енергомереж в енергетичному секторі України»**

№ 53 від 16.07.2020 року

Виконане Вакулєнком Ігорем Анатолійовичем дисертаційне дослідження на тему: «Організаційно-економічні засади запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі України» має практичну значимість. Коаліцією малого та середнього бізнесу Сумської області було розглянуто та частково впроваджено у власній діяльності наукові положення та практичні рекомендації у частині гармонізації інтересів держави та бізнесу при реформуванні енергетичного сектору економіки та залучення інвесторів шляхом формування збалансованої за інтересами системи взаємодії стейкхолдерів.

Координатор коаліції малого та середнього бізнесу  
Сумської області

Іченська С.А.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Сумського  
державного  
університету, професор

В.Д. Карпуша

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.



## АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
асистента кафедри управління **Вакуленка Ігоря Анатолійовича**,  
присвяченого формуванню організаційно-економічних засад впровадження  
розумних енергомереж в енергетичному секторі України у навчальний  
процес Навчально-наукового інституту фінансів,  
економіки та менеджменту імені Олега Балацького  
Сумського державного університету

«27» травня 2020 р.

м. Суми

Акт складено комісією у складі:

Голова: директор Навчально-наукового інституту фінансів,  
економіки та менеджменту імені Олега Балацького, доктор  
економічних наук, професор Васильєва Т.А.

Члени комісії:

- завідувач кафедри управління, доктор економічних наук,  
доцент Швіндіна Г.О.;
- заступник директора Навчально-наукового інституту  
фінансів, економіки та менеджменту імені Олега  
Балацького з методичної роботи, кандидат економічних  
наук, доцент Котенко Н.В.;
- начальник навчально-методичного відділу, кандидат  
економічних наук, доцент Криклій О.А.

У термін з 20.05.2020 по 27.05.2020 комісія виконала роботу про  
визначення фактичного впровадження результатів дисертаційної роботи  
Вакуленка Ігоря Анатолійовича на тему: «Організаційно-економічні засади  
запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі України» у  
навчальний процес навчально-наукового інституту фінансів, економіки та  
менеджменту імені Олега Балацького Сумського державного університету  
(СумДУ).

Комісія розглянула такі матеріали:

1. Дисертаційну роботу Вакуленка І.А. на тему: «Організаційно-  
економічні засади запровадження розумних енергомереж в енергетичному  
секторі України».

2. Робочі програми навчальних дисциплін зі спеціальностей: 073 Менеджмент (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти), 281 «Публічне управління та адміністрування» (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти).

3. Видані навчально-методичні та наукові матеріали, автором і співавтором яких є Вакуленко І.А.:

– Kolosok S., Zakharkina L., Vakulenko I. Concept of energy cooperation in Europe. *European energy collaboration: modern smart specialization strategies: monograph / edited by T. Vasylieva, S. Kolosok. Szczecin, 2019. PP. 54-71 (0,82 друк. арк.). Особистий внесок: визначення та обґрунтування стратегій впровадження РЕ (0,35 друк. арк.).*

– Теліженко О.М., Вакуленко І.А., Мирошниченко Ю.О. Методичні підходи до оцінки соціо-еколого-економічної ефективності інвестиційних проєктів з енергозбереження. *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит (BASE та ін.). 2014. № 11. С. 40-51 (0,78 друк. арк.). Особистий внесок: удосконалено методичні засади оцінювання енергоефективних проєктів (0,34 друк. арк.).*

– Вакуленко І.А., Денисенко П.А. Стратегічні питання розвитку енергетики України: інноваційний, інтеграційний та екологічний аспекти. *Механізм регулювання економіки (Index Copernicus). 2018. №4. С. 110-118 (0,69 друк. арк.). Особистий внесок: обґрунтовано стратегію розвитку ЕСЕ (0,41 друк. арк.).*

– Вакуленко І.А., Колосок С.І. Взаємозв'язок Smart Grids концепції з оновленням теплоенергетики України. *Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка (SIS та ін.). 2019. №1. С. 14-18 (0,35 друк. арк.). Особистий внесок: обґрунтовано місце РЕ в модернізації теплоенергетики (0,25 друк. арк.).*

– Матвеева Ю. Т., Колосок С. І., Вакуленко І. А. Аналіз зарубіжного досвіду щодо забезпечення енергетичної ефективності на основі моделі smart grid. *Ефективна економіка. (Index Copernicus та ін.). 2019. № 4. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6987> (0,81 друк. арк.). Особистий внесок: визначено очікувані результати впровадження РЕ (0,1 друк. арк.).*

– Вакуленко І.А. Розгортання «розумних» енергетичних мереж як елемент системи модернізації енергетичного сектору економіки України. *Науковий вісник Полісся (Index Copernicus та ін.). 2019. №2. С. 97-106 (0,46 друк. арк.).*

– Вакуленко І.А., Колосок С.І., Прийменко С.А., Матвеева Ю.Т. Підходи до розгортання розумних енергетичних мереж. *Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка (SIS та ін.). 2019. №4. С. 56-61 (0,42 друк. арк.). Особистий внесок: визначено стратегічні підходи до впровадження РЕ (0,30 друк. арк.).*

**За результатами проведеної роботи комісією встановлено, що:**

1. Розроблені у дисертаційній роботі Вакуленка І.А. науково-методичні та практичні положення впроваджені в навчальний процес з таких дисциплін:

1) «Державне та регіональне управління» (викладається студентам за освітньою програмою «Менеджмент» за спеціальністю 073 Менеджмент першого (бакалаврського) рівня вищої освіти);

2) «Економічна політика та державне регулювання економіки» (викладається студентам за освітньою програмою «Публічне управління та адміністрування» за спеціальністю 281 Публічне управління та адміністрування першого (бакалаврського) рівня вищої освіти);

3) «Адміністративно-територіальне управління» (викладається студентам за освітньою програмою «Публічне управління та адміністрування» за спеціальністю 281 Публічне управління та адміністрування першого (бакалаврського) рівня вищої освіти).

2. Застосування результатів дисертаційної роботи Вакуленка Ігоря Анатолійовича в навчальному процесі навчально-наукового інституту фінансів, економіки та менеджменту імені Олега Балацького Сумського державного університету дало змогу адаптувати зазначені дисципліни до умов сучасної економіки України, поглибити їх теоретичні та науково-методичні основи, підвищити якість підготовки фахівців з економічних спеціальностей.

Голова комісії:

Т.А. Васильєва

Члени комісії:

Г.О. Швіндіна

Н.В. Котенко

О.А. Криклій

## Додаток В

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

#### *Розділи у колективних монографіях*

1. Kolosok S., Zakharkina L., Vakulenko I. Concept of energy cooperation in Europe. *European energy collaboration: modern smart specialization strategies* : monograph / edited by T. Vasylieva, S. Kolosok. Szczecin, 2019. P. 54–71 (0,82 друк. арк.). *Особистий внесок: визначення та обґрунтування стратегій впровадження розумних енергомереж (0,35 друк. арк.).*

2. Вакуленко І. А., Колосок С. І., Мареха І. С., Матвєєва Ю. Т. Класифікація розумних та безпечних рішень в енергетиці. *Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні* : монографія / за ред. С. І. Колосок. Суми, 2019. С. 71–81 (0,40 друк. арк.). *Особистий внесок: розроблення класифікації технологій розумних енергомереж (0,20 друк. арк.).*

#### *Статті в наукових фахових виданнях України*

3. Вакуленко І. А., Лук'янихіна О. А. Сучасні тенденції розвитку ринку біопалива у світі (огляд). *Збірник наукових праць Буковинського університету* (Google Scholar). 2011. №7. С. 43–51 (0,95 друк. арк.). *Особистий внесок: визначено тенденції та перспективи ринку біопалива (0,80 друк. арк.).*

4. Теліженко О. М., Вакуленко І. А., Мирошниченко Ю. О. Методичні підходи до оцінки соціо-еколого-економічної ефективності інвестиційних проектів з енергозбереження. *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит* (BASE та ін.). 2014. № 11. С. 40–51 (0,78 друк. арк.). *Особистий внесок: удосконалено методичні засади оцінювання енергоефективних проектів (0,34 друк. арк.).*

5. Вакуленко І. А., Денисенко П. А. Стратегічні питання розвитку енергетики України: інноваційний, інтеграційний та екологічний аспекти. *Механізм регулювання економіки* (Index Copernicus). 2018. № 4. С. 110–118 (0,69 друк. арк.) *Особистий внесок: обґрунтовано стратегію розвитку енергетичного сектору економіки (0,41 друк. арк.).*



6. Вакуленко І. А., Колосок С. І. Взаємозв'язок Smart Grids концепції з оновленням теплоенергетики України. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»* (SIS та ін.). 2019. № 1. С. 14–18 (0,35 друк. арк.). *Особистий внесок: обґрунтовано місце розумних енергомереж в модернізації теплоенергетики* (0,25 друк. арк.).

7. Матвєєва Ю. Т., Колосок С. І., Вакуленко І. А. Аналіз зарубіжного досвіду щодо забезпечення енергетичної ефективності на основі моделі smart grid. *Ефективна економіка*. (Index Copernicus та ін.). 2019. № 4. URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=6987> (0,81 друк. арк.). *Особистий внесок: визначено очікувані результати впровадження розумних енергомереж* (0,1 друк. арк.).

8. Вакуленко І. А. Ефективність розумних енергомереж: китайський підхід. *Механізм регулювання економіки* (Index Copernicus та ін.). 2019. № 4. С. 24–31 (0,50 друк. арк.).

9. Вакуленко І. А. Розгортання «розумних» енергетичних мереж як елемент системи модернізації енергетичного сектору економіки України. *Науковий вісник Полісся* (Index Copernicus та ін.). 2019. № 2. С. 97–106 (0,46 друк. арк.).

10. Вакуленко І. А., Колосок С. І. Типологізація «розумних» екологічнобезпечних енергетичних рішень, адаптованих до особливостей вітчизняних енергомереж. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»* (SIS та ін.). 2019. № 2. С. 21–25 (0,39 друк. арк.). *Особистий внесок: визначено адаптовані до енергетичного сектору економіки України технології розумних енергомереж* (0,25 друк. арк.).

11. Вакуленко І. А., Колосок С. І., Прийменко С. А., Матвєєва Ю. Т. Формування базису проведення енергетичних реформ із застосуванням «розумних» технологій. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»* (SIS та ін.). 2019. № 3. С. 40–45 (0,42 друк. арк.). *Особистий внесок: обґрунтовано передумови для системної розбудови розумних енергомереж* (0,21 друк. арк.).

12. Вакуленко І. А. Оцінювання ефективності розгортання розумних енергетичних мереж із застосуванням моделі зрілості смарт-мережі (IBM SMART GRID MATURITY MODEL, SGMM). *Вісник Хмельницького національного університету* (Index Copernicus та ін.). 2019. № 4. С. 16–19 (0,48 друк. арк.).

13. Вакуленко І. А., Колосок С. І., Прийменко С. А., Матвєєва Ю. Т. Підходи до розгортання розумних енергетичних мереж. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»* (SIS та ін.). 2019. № 4. С. 56–61 (0,42 друк. арк.). *Особистий внесок: визначено стратегічні підходи до впровадження розумних енергомереж* (0,30 друк. арк.).

14. Вакуленко І. А. Порівняльний огляд систем оцінювання розумних енергомереж: економічний аспект. *Галицький економічний вісник* (Index Copernicus та ін.). 2020. Том 64, № 3. С. 128–136 (0,62 друк. арк.).

15. Вакуленко І. А. Окремі питання розбудови розумних енергомереж: система оцінювання DOE. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія «Економіка і управління»* (Index Copernicus та ін.). 2020. № 2. С. 51–56 (0,41 друк. арк.).

#### ***Статті в зарубіжних наукових виданнях***

16. Vakulenko I., Myroshnychenko Iu. Approaches to the organization of the energy efficient activity at the regional level in the context of limited budget resources during the transformation of energy market paradigm. *Environmental and Climate Technologies* (Scopus та ін.). 2015. Vol. 15 (1). P. 59–76 (1,24 друк. арк.). *Особистий внесок: визначено напрямки реалізації державної енергетичної політики* (0,8 друк. арк.).

#### ***Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

17. Вакуленко І. А. Перспективи розвитку альтернативної енергетики в сучасних умовах. Екологічний менеджмент у загальній системі управління : тези доп. X Щорічн. всеукр. наук. конф. (м. Суми, 20–21 квіт. 2010 р.). Суми, 2010. Ч. 1. С. 29–31 (0,09 друк. арк.).

18. Вакуленко І. А., Лук'янихіна О. А. Еколого-економічні аспекти трансформації системи енергетичної безпеки в Україні. *Екологічний менеджмент у загальній системі управління* : зб. тез доп. XI Щорічн. всеукр. наук. конф. (м. Суми, 20–21 квіт. 2011 р.). Суми, 2011. Ч. 1. С. 182–185 (0,17 друк. арк.). *Особистий внесок: обґрунтовано загрози національній безпеці України в енергетичному секторі економіки (0,09 друк. арк.)*.

19. Вакуленко І. А. Еколого-економічний антагонізм розвитку альтернативної енергетики в країнах, що розвиваються. *Економічні проблеми сталого розвитку* : матеріали доп. Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 20-річчю наукової діяльності ф-ту економіки та менеджменту СумДУ (м. Суми, 3–5 квіт. 2012 р.). Суми, 2012. Т. 4. С. 195 (0,05 друк. арк.).

20. Вакуленко І. А. Альтернативна енергетика в умовах фінансово-економічної кризи. *Екологічний менеджмент у загальній системі управління* : зб. тез доп. XIII Щорічн. всеукр. наук. конф. (м. Суми, 17–18 квіт. 2013 р.). Суми, 2013. С. 25–27 (0,08 друк. арк.).

21. Vakulenko I. Public planning for innovative development on the example of the energy sector. *Science of 2018. Outcomes* : proceedings of XXXX International scientific conference. Morrisville : Lulu Press, 2018. P.43–45 (0,14 друк. арк.).

22. Vakulenko I.A. Problems of the energy sector of Ukrainian economy through the implementation of state target programs. *Kluczowe aspekty naukowej działalności* : Materiały XV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji (31 grudnia – 07 stycznia 2019). Przemysł, 2018. S. 15–17 (0,10 друк. арк.).

23. Вакуленко І. А., Сагер Л. Ю. Окремі питання планового розгортання «розумних» енергетичних мереж як інноваційної складової енергетичної політики України. *Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении* : матеріали Междунар. науч.-техн. конф. (г. Одесса, 16-18 мая 2019 г.). Одесса, 2019. С. 28–30 (0,11 друк. арк.). *Особистий внесок: обґрунтовано системний програмно-цільовий підхід до розбудови розумних енергомереж (0,08 друк. арк.)*.

24. Вакуленко І. А., Сагер Л. Ю. Комунікації між стейкхолдерами як складова розбудови розумних енергомереж. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я MicroCAD-2020* : XXVII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 13–15 трав. 2020 р.). Харків, 2020. С. 52 (0,06 друк. арк.).  
*Особистий внесок: обґрунтовано необхідність системної взаємодії стейкхолдерів під час розбудови розумних енергомереж (0,04 друк. арк.).*