

УДК 620.9.004.18; 620.9:62-531.3.002.6

УКПП

№ держреєстрації 0119U100766

Інв. №

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

\_\_\_\_\_ А.М. Черноус

\_\_\_\_\_

ЗВІТ  
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

Оптимізаційна модель розбудови розумних та безпечних енергетичних мереж:  
інноваційні технології екологізації підприємств та регіонів

**МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ РОЗБУДОВИ РОЗУМНИХ ТА  
ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ**  
(остаточний)

Керівник НДР  
канд. екон. наук, доц.

С.І. Колосок

2021

Рукопис закінчено 23 листопада 2021 р.

Результати роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол від 25.11.2021 р. № 5

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, старший наук. співроб., канд. екон. наук, доцент, докторант	2021.11.23	С. І. Колосок (вступ, підрозділ 1.1)
Відповідальний виконавець, наук. співроб., канд. екон. наук	2021.11.23	І. А. Вакуленко (висновки, підрозділи 1.1, 1.2)
Старший наук. співроб., канд. екон. наук, доцент	2021.11.23	О. В. Кубатко (підрозділи 2.1, 2.2)
Старший наук. співроб., канд. екон. наук	2021.11.23	І. С. Мареха (підрозділ 1.2)
Старший наук. співроб., канд. екон. наук, доцент	2021.11.23	Ю. Т. Матвеева (підрозділи 2.3)
Старший наук. співроб., канд. техн. наук, доцент	2021.11.23	А. В. Євдокимова (підрозділ 1.1)
Старший наук. співроб., канд. екон. наук, доцент	2021.11.23	Л. Ю. Сагер (підрозділи 1.1, 1.2)
Старший наук. співроб., канд. екон. наук	2021.11.23	В. В. Кубатко (підрозділ 1.1)
Виконавець ЦПД	2020.11.23	Є. А. Зябіна (підрозділ 1.1)
Виконавець ЦПД, студент	2020.11.23	Н. О. Петренко (підрозділ 1.2)
Виконавець ЦПД, студент	2020.11.23	П. В. Кучеренко (підрозділ 1.2)
Виконавець ЦПД, студент	2020.11.23	Д. В. Водотика (підрозділ 1.2)
Виконавець ЦПД, студент	2020.11.23	А. В. Сущенко (підрозділ 1.2)

## РЕФЕРАТ

**Звіт про НДР:** 76 с., 19 рис., 10 табл., 71 джерело.

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

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

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

**Методи дослідження** – аналізу та синтезу, статистичний та регресійний аналіз. Для розрахунків використано інструментарій VOSViewer 1.6.10, ML кластеризація пакетів робіт.

На підставі проведених досліджень отримано наукові результати: 1. Описано результати корегування оптимізаційної моделі, що були систематизовані з врахуванням потреб розвитку інфраструктури для генерації та використання енергії. 2. Запропоновано алгоритм реалізації енергоефективних проектів з використанням розумних технологій шляхом ML кластеризації пакетів робіт за проектами. 4. Сформовано «дорожню карту» трансформації/модернізації існуючих та будівництва/створення нових енергетичних мереж з використанням смарт-технологій на основі мультикритеріальної моделі оптимізації на регіональному рівні. 5. Викладені сценарії інноваційного розвитку енергетичних мереж з використанням «розумних» технологій, що базуються на кластерах досліджень розгортання потужності та споживання електроенергії, забезпечення надійної взаємодії зі споживачами та прогнозуванні попиту енергетичних ресурсів.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 Дорожня карта модернізації енергетичного сектору з використанням смарт-технологій .....	7
1.1 Дослідження інноваційного розвитку енергетичних мереж з використанням «розумних» технологій .....	7
1.2 Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів у процесі розгортання розумних енергомереж .....	27
2 Фактори та моделі розбудови проєктів розумних енергетичних мереж	49
2.1 Особливості розбудови проєктів розумних енергетичних мереж	49
2.2 Економічні та соціальні фактори при оптимізації розумних мереж розумних мереж .....	54
2.3 Дослідження реалізації проєктів розумних мереж .....	64
Висновки .....	68
Перелік джерел посилання .....	69

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** У сучасних умовах розгортання розумних мереж при урахуванні багатофакторних критеріїв оптимізації може бути базисом для стратегічного соціо-економічного розвитку систем та територій. Провідні наукові дослідження у багатьох країнах світу містять результати оцінювання різних складових геопросторових, фінансових, людських та часових факторів розвитку розумних мереж та відновлюваної енергетики.

Серед актуальних питань енергетичної галузі, особливий інтерес становлять можливості транскордонної синхронізації енергетичних потоків, напрями інтеграції відновлюваних джерел енергії та розумних мікромереж в енергетичні системи країн та регіонів. Саме тому, заслуговують на особливу увагу затвердження дорожньої карти модернізації енергетичного сектору з використанням смарт-технологій, фактори та моделі розбудови проєктів розумних енергетичних мереж.

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

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

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

**Методи дослідження** – аналізу та синтезу, статистичний та регресійний аналіз. Для розрахунків використано інструментарій VOSViewer 1.6.10, ML кластеризація пакетів робіт.

### **Результати роботи та їх новизна.**

На підставі проведених досліджень отримано наукові результати:

- описано результатів корегування оптимізаційної моделі, що були систематизовані з врахуванням потреб розвитку інфраструктури для генерації та використання енергії;
- запропоновано алгоритм реалізації енергоефективних проектів з використанням розумних технологій шляхом ML кластеризації пакетів робіт за проектами;
- сформовано «дорожню карту» трансформації/модернізації існуючих та будівництва/створення нових енергетичних мереж з використанням смарт-технологій на основі мультикритеріальної моделі оптимізації на регіональному рівні;
- викладені сценарії інноваційного розвитку енергетичних мереж з використанням «розумних» технологій, що базуються на кластерах досліджень розгортання потужності та споживання електроенергії, забезпечення надійної взаємодії зі споживачами та прогнозуванні попиту енергетичних ресурсів.

# **1 ДОРОЖНЯ КАРТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ З ВИКОРИСТАННЯМ СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЙ**

## **1.1 Дослідження інноваційного розвитку енергетичних мереж з використанням «розумних» технологій**

В останні роки значно підвищився інтерес дослідників до питань відновлюваної енергетики, сталого розвитку та захисту навколишнього середовища. Невпинні зміни на енергетичних ринках з метою нарощення споживання зеленої енергії стимулюють наукові дослідження та публікаційну активність на глобальному рівні [40, 51]. Амбіційні виклики задля досягнення цілей 2030, вимоги до протидії зміні клімату та зменшення викидів парникових газів постають перед урядами усіх країн [7, 15, 47, 52]. Екологічна складова є невід'ємною частиною сталого розвитку, вплив якої значно посилюється через екстенсивне використання викопних ресурсів, не достатній захист навколишнього середовища. Неконтрольоване забруднення територій може мати не тільки економічні наслідки, але й негативний слід для довкілля, спричиняти екологічні катастрофи та міграцію працездатного населення [10, 12, 13, 42]. У той же час, Паризька угода 2015 містить регламентовані вимоги, що збудують трансформації енергетичних балансів у частині зменшення частки кам'яного вугілля та розширення продукування зеленої енергії в енергетичному секторі [6, 31, 32]. З огляду на це, і враховуючи флуктуації генеруючої потужності на базі більшості зелених джерел енергії, зовсім не дивним є пошук шляхів до балансування все більшої частки відновлюваних джерел енергії в загальноприйнятих (conventional) енергетичних системах [2, 34, 36, 39]. На жаль, поки що існуючі рішення не позбавлені недоліків [38].

Останнім часом у контексті необхідності інтегрувати енергосистему України до енергетичної системи ЄС все більше уваги у науковій та експертній спільноті приділяється формуванню та підтримці ринкових механізмів. Енергетичний ринок України відповідно зазнав помітних змін, проте досі він не функціонує так, як функціонує єдиний енергоринок ЄС та окремих країн-членів.

Однак навіть попри спроби створити енергоринок європейського зразка в Україні, існують питання, відповідь на які дозволить визначитися із стратегічним напрямком розвитку енергетики. Зокрема, йдеться про модель енергетичної системи, включаючи як технологічну та організаційну складову.

У даному дослідженні було приділено увагу розумним енергомережам як способу ефективного переходу від традиційної енергетичної системи до тієї, яка відповідає сучасним вимогам усіх ключових стейкхолдерів.

Такий стан речей пов'язаний з тим, що розумні технології в енергетиці суттєво різняться і часто виконують різні завдання. Реалізація роєктів розумних енергомереж потребує суттєвої адаптації. Це значно підвищує ефективність впровадження роєктів. Однак окремі кроки повинні бути зроблені для всіх видів роєктів, якщо мова йде про нижчий рівень управління розвитком розумних енергомереж. Також для системної розбудови розумних енергомереж в межах цілої країни виконання кроків дорожньої карти є обов'язковим. Адже системна діяльність та узгодженість дій усіх зацікавлених сторін підвищує ефективність реформування та модернізації енергетичного сектору.

При цьому варто пам'ятати, що різні країни перебувають на різних щаблях розвитку енергетичної системи. Тобто кожна країна характеризується різним ступенем готовності до запровадження енергетичних мереж. Зокрема, «відповідно до визначених етапів трансформації енергетичної системи... 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)» [63].

На жаль, кожен з цих етапів є обов'язковим, жодна з країн не може їх уникнути, проте використання позитивного досвіду значно прискорює цей процес. Відповідно до наведеного вище переліку етапів розвитку енергомережі значно варіюються можливості країн щодо реалізації концепції розумних енергомереж не як окремих пілотних роєктів, а на основі системної діяльності



та масштабування успішно реалізованих на локальному рівні проєктів до регіонального та національного, а в перспективі міжнародного рівнів.

У випадку із запозиченням європейського досвіду необхідним та першочерговим є створення конкурентного енергетичного ринку енергоресурсів, а також вживання заходів щодо забезпечення ефективного розподілу енергії [64]. Це має супроводжуватися забезпеченням рівного доступу до енергетичної мережі для усіх енерговиробників, незалежно від того, який обсяг енергії вони здатні генерувати. Окремо варто зазначити необхідність гарантій для інвесторів та прозору систему регулювання ведення бізнесу, це дозволить створити сприятливе середовище для ефективного інвестування у енергетичний сектор, у тому числі у проєкти, де пріоритетом є створення розумних енергомереж. Під час розбудови розумних енергомереж критично важливо забезпечити швидкий розвиток інфраструктури розумних енергомереж, Важливість цього напрямку роботи полягає у тому, що він є визначальних щодо розвитку розумних енергомереж, без необхідної техніко-технологічної бази та доступної для учасників ринку інфраструктури.

Саме для узгодження багатьох пов'язаних між собою процесів потрібно розробляти дорожню карту, яка дозволить виявити раціональний алгоритм здійснення політики розгортання розумних енергомереж на території України [70].

Дорожня карта є ефективним засобом підвищення ефективності управління складними процесами, до яких, безперечно, належить розгортання розумних енергомереж.

Дорожня карта сприяє трактуванню стратегії процесу, що дозволяє поєднати цілі у просторово-часовому вимірі, узгоджує стратегію з тактикою, та впорядковує бізнес-процеси.

Загалом дорожні карти мають низку переваг, які перераховані на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Основні переваги застосування дорожніх карт (сформовано на основі [46, 56, 71])

Застосування дорожніх карт в енергетиці є розповсюдженим. До їхніх послуг вдаються інституції, що провадять державну чи регіональну енергетичну політику або дотичні до неї. Компанії, які реалізують великі роєкти модернізації енергосистеми, також зацікавлені у дорожніх картах, адже з їхньою допомогою вони можуть синхронізувати свою діяльність з політикою уряду та місцевої влади у сфері енергетики.

До того ж, створення дорожніх карт для підтримки політики в сфері енергетики, зокрема, розгортання розумних енергомереж має інтерес серед науковців, це підтверджується наявністю багатьох наукових досліджень.

На рисунку 1.2 представлено кількісний аналіз наукових публікацій у базі даних Scopus за обраним пошуковим запитом за період 2008 р. – грудень 2021 р. Перша публікація на тему, пов'язана з створенням дорожньої карти для

запровадження розумних енергомереж, датується 2008 р. [22], до 2011 р. кількість публікацій не перевищувала 10 на рік.

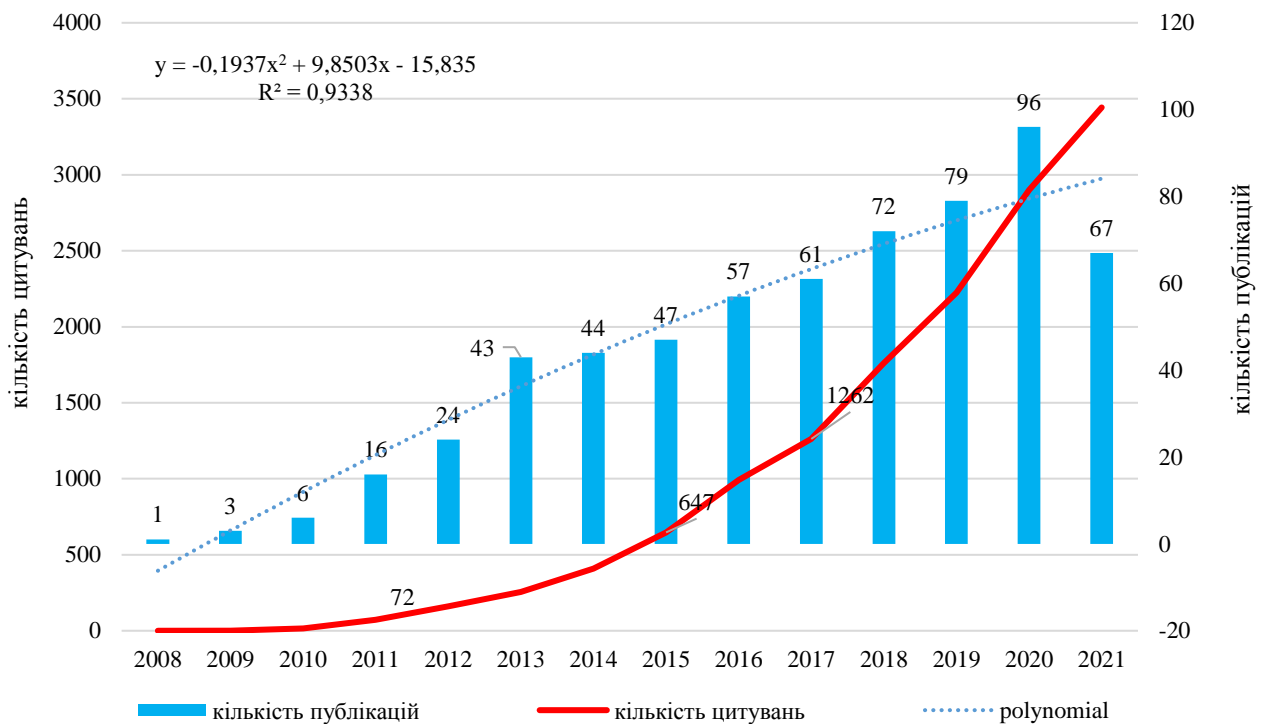


Рисунок 1.2 – Динаміка наукових публікацій у сфері розроблення дорожньої карти в енергетичному секторі, що індексуються БД Scopus за 2008-2021 рр. (сформовано авторами)

З 2012 року розпочався період активного інтересу та посилення публікаційної активності в формуванні дорожніх карт розумних енергомереж чи дотичних тематик. Відтоді спостерігається стійка тенденція до збільшення кількості публікацій (про що свідчить лінія тренду) з піком у 2020 році – 96 публікацій (низький показник у 2021 р. пов'язаний з тривалою процедурою індексації наукових публікацій у базі даних Scopus). На рисунку 1.2 також показано, що за останні п'ять років (з 2017 по 2021 рр.) було опубліковано близько 62% усіх матеріалів дослідження.

Найвищий показник цитування – 3443 – був досягнутий у 2021 р. Найбільша кількість цитувань станом на грудень 2021 р. на публікацію була у

2020 р. та 2021 р. (відповідно 30 та 51 цитувань на 1 публікацію). У 2010 році було опубліковано статтю, яка посіла 1 місце серед найбільш цитованих [20].

Аналіз кількості публікацій та цитувань частково корелює з тенденціями розвитку суспільного інтересу до даного питання. Це дозволяє проаналізувати еволюційний розвиток досліджень створення дорожніх карт розвитку енергетики та їх ролі в розвитку економіки. Підставою для визначення наукового інтересу є кількість опублікованих наукових праць з даної тематики. Громадський інтерес до теми визначається на основі Google Trends, що дозволяє відстежувати кількість запитів, пов'язаних з енергетичною політикою та створення дорожніх карт в пошуковій системі Google. Отже, визначення частоти застосування запитів в пошукових системах здійснювалося за допомогою інструменту Google Trends. Даний інструмент має обмеження в періоді відбору даних, та починається з 2004 року. Для дослідження було обрано період з 2017 по 2021 роки у зв'язку з тим, що у 2016 р. було суттєво покращено підхід до збору даних.

Ознайомитися з динамікою частоти пошуку терміну «дорожня карта розвитку енергетики» можна на рис. 1.3. Рисунок 1.3 показує, що частота запиту «energy road map» є більшою за відповідний показник «energy policy». При цьому найбільш популярним даний запит був у 2019 р.

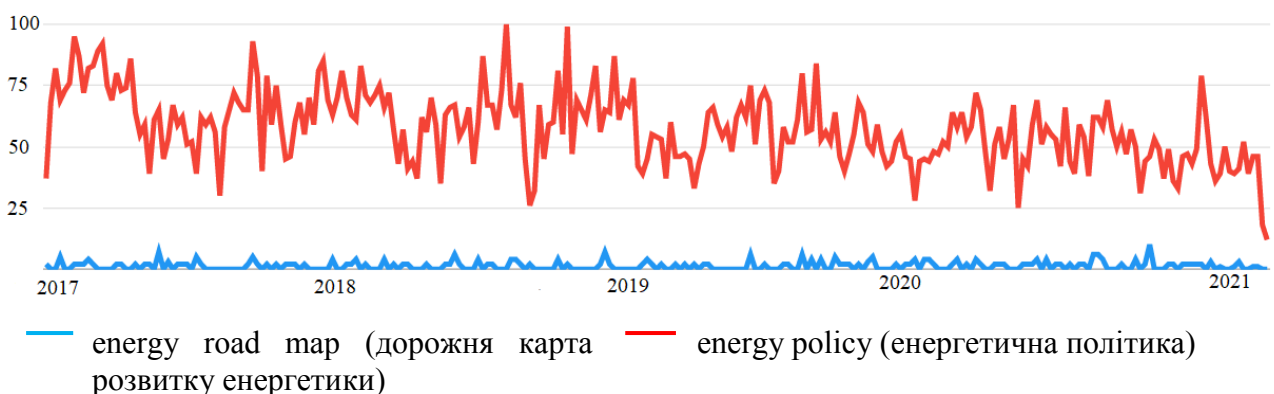


Рисунок 1.3 – Динаміка частоти застосування запитів «energy road map» та «energy policy» в пошукових системах за період 2017-2021 рр. у світі (побудовано за допомогою інструменту Google Trends)

Інструмент Google Trends дозволяє порівняти пошукові терміни і побачити карту світу, на якій відтінками зображено їх популярність. Інтенсивність кольору регіону відповідає відсотку пошуків популярнішого терміну в ньому. Популярність пошукового терміну співвідноситься із загальною кількістю пошукових запитів Google за певний період часу у визначеному регіоні.

Аналіз популярності пошукового запиту «energy road map» за регіонами (рис. 1.4) показує, що лідером за кількістю запитів є Сполучені Штати, кількість запитів в інших країнах є замалою для відображення у даному сервісі.

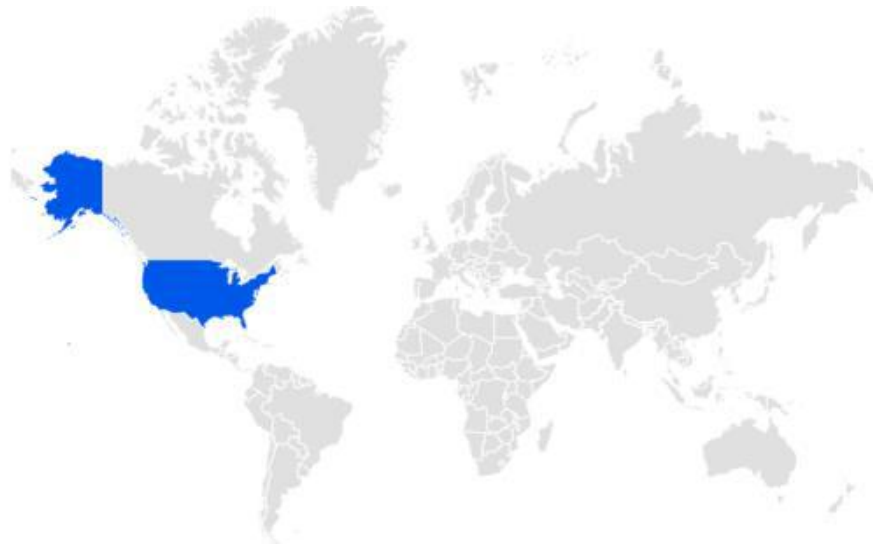


Рисунок 1.4 – Популярність пошукового запиту «energy road map» за регіонами (побудовано за допомогою інструменту Google Trends)

При цьому дослідження популярності пошукового запиту «energy policy» за регіонами (рис. 1.5) демонструє, що лідери за частотою за даним ключовим словам зовсім інші. Так, до п'ятірки лідерів за кількістю запитів входять Китай, Ефіопія, Гана, Уганда, США. Даний запит є більш популярним у світі. Це пов'язано із зрозумілістю, комплексністю та набагато більшою шириною даного поняття.

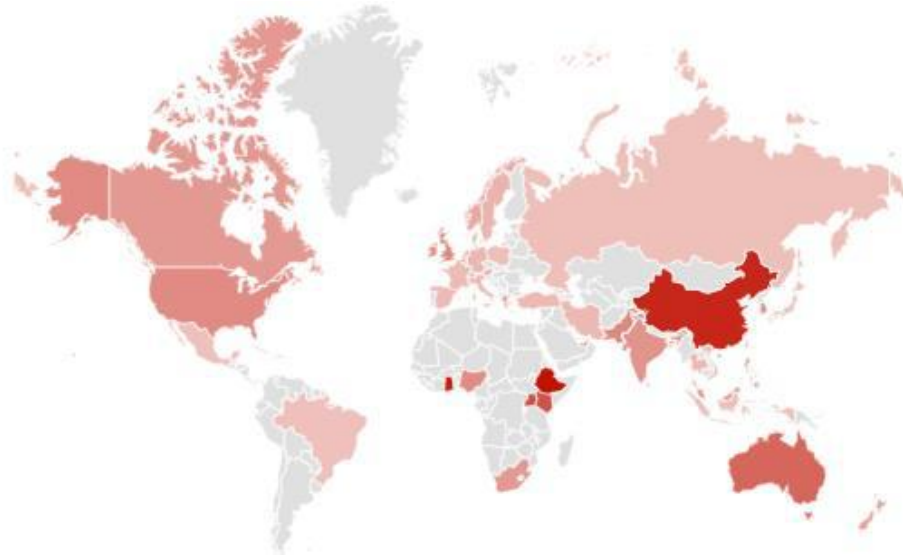


Рисунок 1.5 – Популярність пошукового запиту «inclusive economy» за регіонами (побудовано за допомогою інструменту Google Trends)

Зіставлення предметних областей у дослідженні інклюзивної економіки наведено на рисунку 1.6. Результати свідчать про превалювання технічних наук (енергетика та інженерія). Частка видань з екології та математики є досить високою. Також спостерігається тенденція до збільшення їх кількості. Це пов'язано, перш за все, з превалюванням екологічної складової у системі розумних енергомереж та цілепокладанням smart grids з орієнтацією на реалізацію цілей сталого розвитку. Використання математичних моделей застосовують зокрема для прогнозування попиту та оптимізації енергомереж. Частка публікацій за тематикою в галузі управлінських (business, management and accounting) та економічних (economics, econometrics and finance) досліджень залишається незначною, проте підтверджує міждисциплінарність теми дослідження.

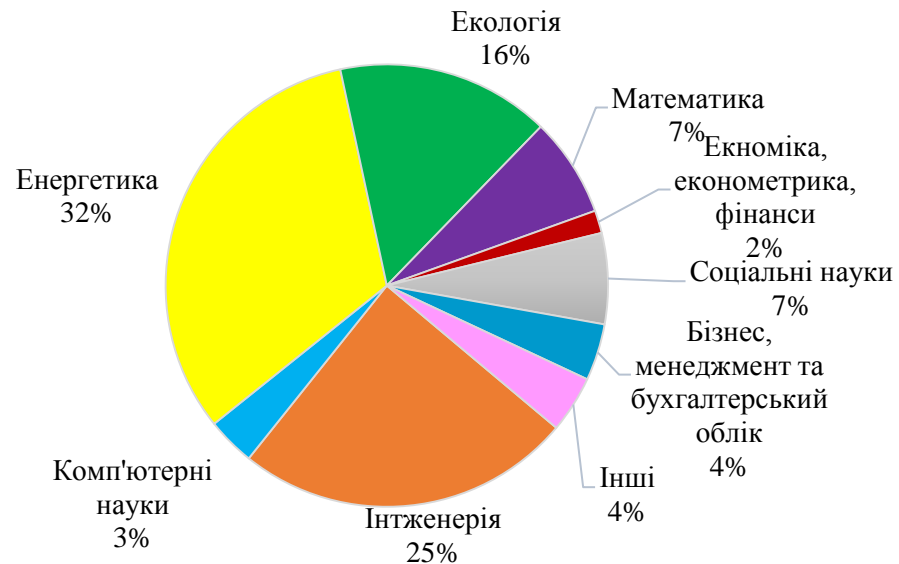


Рисунок 1.6 – Публікації в галузі формування дорожніх карт для розбудови розумних енергомереж за сферами наукових досліджень (побудовано на основі використання БД Scopus)

Десять найбільш цитованих публікацій у галузі формування дорожніх карт для розбудови розумних енергомереж подані в таблиці 1.1. Всі статті були процитовані більше 100 разів. Це свідчить про те, що дані публікації високо оцінені світовою науковою спільнотою. Відбувається наукова дискусія, яка підкреслює актуальність теми дослідження. При всі статті опубліковані у високорейтингових журналах з високим SNIP-індексом та високими квантилями (Q1 and Q2). Найбільш цитованою (327 цитувань) є публікація «Cyber security and power system communication essential parts of a smart grid infrastructure» автора G.N. Ericsson [20]. Стаття сфокусована на дослідженнях, які проводяться провідними науковцями світу у сфері економіки спільного використання ресурсної бази. автор розкриває актуальні наукові питання щодо формування та застосування бізнес-моделей найбільш раціонального та соціально справедливого використання загально доступних ресурсів для максимізації суспільної користі. У даному контексті проаналізовані патерни ресурсоспоживання, які є визначальними для формування нової моделі економічного розвитку, яка базується на принципах економіки обміну.

Таблиця 1.1 – 10 найбільш цитованих наукових публікацій у галузі формування дорожніх карт для розбудови розумних енергомереж (побудовано на основі використання БД Scopus)

№	К-ть цитувань	Назва статті	Автор	К-ть ЗВО/інститутів	К-ть країн	Журнал/рік публікації
1	327	Cyber security and power system communication essential parts of a smart grid infrastructure [20]	Ericsson G.N.	1	1 (Sweden)	IEEE Transactions on Power Delivery, 2010
2	233	Domestic demand-side management (DSM): Role of heat pumps and thermal energy storage (TES) systems [3]	Arteconi A., Hewitt N.J., Polonara F.	3	2 (Italy, United Kingdom)	Applied Thermal Engineering, 2013
3	230	Getting smart: With a clearer vision of the intelligent grid, control emerges from chaos [54]	Santacana E., Rackliffe G., Tang L., Feng X.	2	1 (Australia)	IEEE Power and Energy Magazine, 2010
4	215	Grid power peak shaving and valley filling using vehicle-to-grid systems [61]	Wang Z., Wang S.	1	1 (China)	IEEE Transactions on Power Delivery, 2013
5	207	The smart grid - State-of-the-art and future trends [17]	El-Hawary, M.E.	1	1 (Canada)	Electric Power Components and Systems, 2014
6	200	Big Data Analytics for Dynamic Energy Management in Smart Grids [11]	Diamantoulakis P.D., Kapinas V.M., Karagiannidis G.K.	2	2 (United Arab Emirates, United Arab Emirates)	Big Data Research, 2015
7	176	Electric vehicle aggregator/system operator coordination for charging scheduling and services procurement [49]	Ortega-Vazquez M.A., Bouffard F., Silva V.	3	3(USA, Canada, France)	IEEE Transactions on Power Systems, 2013
8	175	Electric vehicles: The role and importance of standards in an emerging market [5]	Brown S., Pyke D., Steenhof P.	2	1 (Canada)	Energy Policy, 2010
9	174	Analytic Considerations and Design Basis for the IEEE Distribution Test Feeders [55]	Schneider K.P., Mather B.A., Pal B.C., (...), McDermott T.E., Kersting W.	4	2 (USA, United Kingdom)	IEEE Transactions on Power Systems, 2018
10	171	Consumer engagement: An insight from smart grid projects in Europe [23]	Gangale F., Mengolini A., Onyeji I.	1	1 (Netherlands)	Energy Policy, 2013



На другому місці знаходиться праця А. Arteconi, N.J. Hewitt та F. Polonara «Domestic demand-side management (DSM): Role of heat pumps and thermal energy storage (TES) systems» [3] (233 цитування). У цій публікації автори досліджують комплекс взаємопов'язаних питань щодо майбутнього розвитку економічної системи та суспільства. Зокрема, увага дослідників зосереджена на вивченні підходів до узгодження економічних, екологічних та соціальних цілей у рамках концепцій циркулярної, зеленої та біоекономіки. Для цього автори спираються на бібліометричні методи аналізу результатів численних досліджень, опублікованих у престижних наукових виданнях. У контексті свого дослідження науковці акцентують увагу на важливості розвитку відновлюваної енергетики як необхідної умови подальшого гармонійного розвитку людства.

Третє місце займає публікація «Getting smart: With a clearer vision of the intelligent grid, control emerges from chaos» [54], яка процитована 230 разів. Автори – E. Santacana, G. Rackliffe, L. Tang, X. Feng з Австралії. Автори дослідження вивчають зміни, які відбуваються у суспільстві зі зміною економічної моделі. Зокрема, вони приділяють увагу розриву між змінами економічної реальності та змінами у сприйнятті людей, які виявляються неготовими прийняти зміни та, відповідно, реагують на них із запізненням. Також дослідники звертають увагу на необхідності осучаснення інструментарію вивчення економічних та суспільних процесів.

Одним із основних показників ефективності в наукових колах є кількість цитувань, що може приймати вигляд окремих індексів та використовується для рейтингування. Так, перелік авторів, які мають найвищі показники цитування із теми дослідження за даними БД Scopus, наданий в таблиці 1.2.

Так, найбільшу кількість публікацій за темою дослідження мають Uslar M. та Østergaard P.A. В. Вони також мають високі значення індексу цитування (h-індекс). Це підтверджує високий науковий рівень та актуальність їхніх досліджень.

Таблиця 1.2 – Перелік авторів з найбільшою кількістю публікацій в галузі формування дорожніх карт для розбудови розумних енергомереж в період з 2008 по 2021 рр. (побудовано на основі використання БД Scopus)

Прізвище та ініціали	К-ть публікацій з теми	Країна	ЗВО/інститут	Індекс цитування
Uslar, M.	6	Німеччина	Institute for Information Technology	18
Østergaard, P.A.	6	Данія	Aalborg University,	39
Johnsson, F.	5	Швеція	Chalmers University of Technology	56
Lund, H.	5	Данія	Aalborg University,	61
Taljegard, M.	5	Швеція	Chalmers University of Technology	9
Wang, S.	5	Hong Kong	Hong Kong Polytechnic University	60
Göransson, L.	4	Швеція	Chalmers University of Technology	13
Hatziargyriou, N.	4	Греція	National Technical University of Athens	65
Kim, D.K.	4	США	Oakland University,	14
Moreno, J.I.	4	Іспанія	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid	14
Odenberger, M.	4	Швеція	Chalmers University of Technology	18

До основних організацій, що фінансують дослідження у сфері розумних енергомереж у Scopus належать Єврокомісія, Національний природничий фонд Китаю, Міністерство енергетики США та ін. При цьому найбільшу кількість публікацій здійснено в рамках виконання грантових проєктів Horizon 2020. Це свідчить про важливість тематики інклюзивного розвитку економіки для країн Європейського Союзу, Китаю, США, Канади, Австралії, Великобританії і т.д.

Враховуючи розгалуженість та дискусійність теми для визначення напрямків подальшого дослідження було сформовано кластери за допомогою VOSviewer – надійного та ефективного інструменту для візуалізації зв'язку між основними ключовими словами в дослідженні.

До попереднього аналізу було включено 8086 ключових слів. Після їх перевірки на релевантність було відібрано 342 слова (за винятком повторюваних та нерелевантних слів, наприклад, «університет», «Малазія» тощо). Отримані результати дозволили виділити 6 кластерів (рис. 1.7), що об'єднують ключові поняття по тематичній близькості. Дана карта показує частоту використання

термінів (величина кола), тісноту зав'язків між ними (чим ближче, тим тісніше) і різні варіанти поєднань термінів як всередині кластерів, такі між ними.

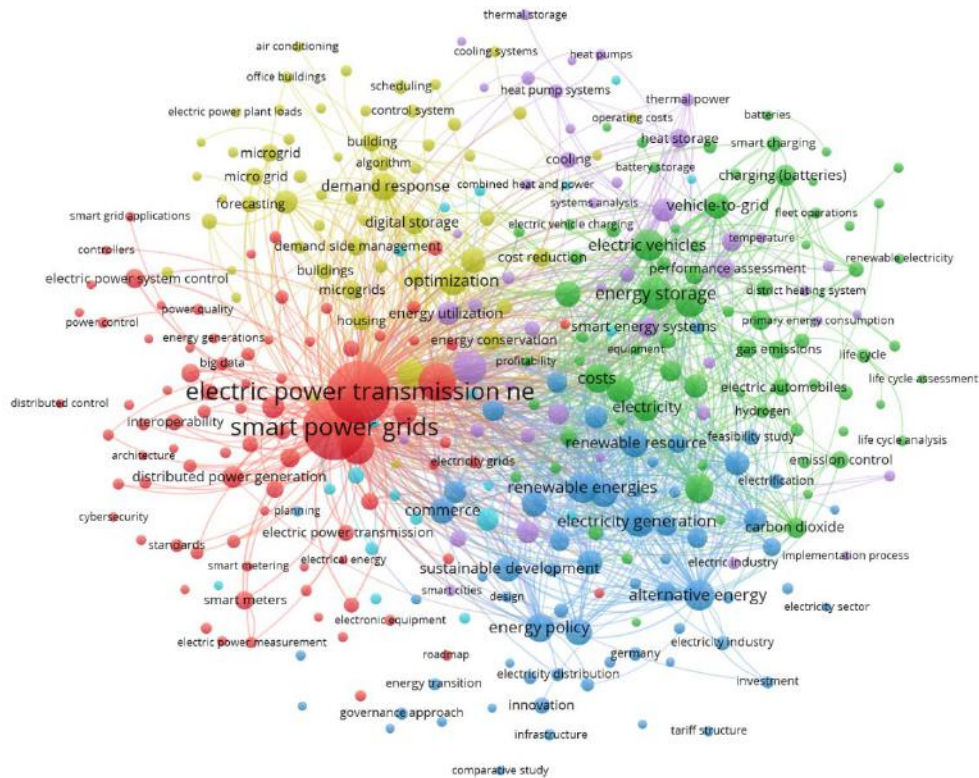


Рисунок 1.7 – Візуалізаційна карта досліджень створення дорожніх карт для запровадження розумних енергомереж в енергетичний сектор економіки (сформована авторами з використанням VOSviewer)

Найбільшим виявився кластери червоного кольору (84 ключові слова). Він сформований навколо поняття «транспортування енергії». Другий за величиною (зелений) кластер включає такі поняття, як: «електромобілі», «зберігання енергії», «електроенергія», «витрати» та ін. «Синій» кластер об'єднаний спільною темою – альтернативна енергетика. «Жовтий» - передбачає аналіз публікацій, які спрямовані на дослідження питань енергоменеджменту та раціонального використання енергоресурсів. Фіолетовий та блакитний є набагато меншими і містять ключові слова у галузі енергоефективності, екологічну складову використання ресурсів та виробництва енергії, а також

питання, присвячені формуванню попиту та економічній ефективності енергосистем.

В цілому, можемо зробити висновок, що дослідження в аналізованій галузі сконцентровані на розробленні комплексних дорожніх карт, які спрямовані на охоплення усіх напрямів розвитку розумних енергомереж. Проте ряд публікацій фокусуються на питанні інтеграції відновлюваної енергетики до енергосистеми. Що можна пояснити важливістю даного напрямку в процесі реалізації проєктів розумних енергомереж та їх масштабування.

Бібліометричний аналіз показує, що в еволюційному вимірі (рис. 1.8) відбувся перехід 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.

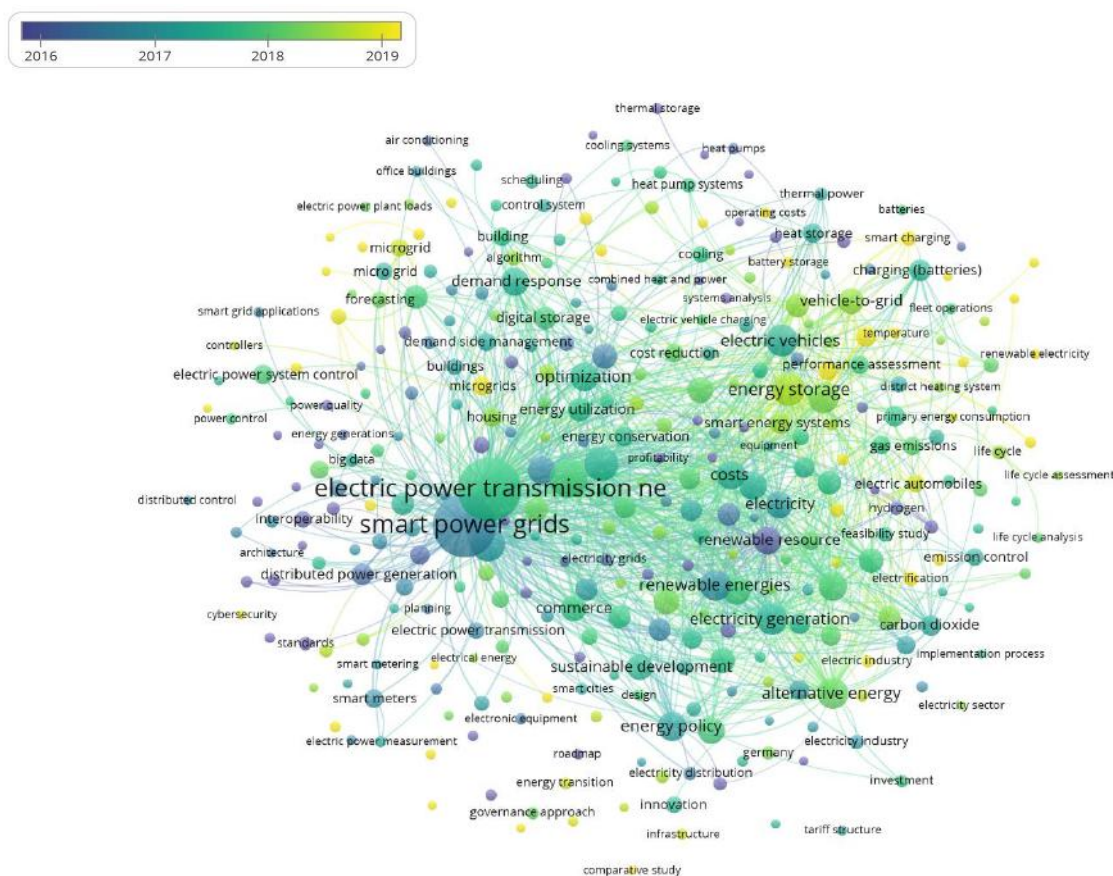


Рисунок 1.8 – Візуалізаційна карта тенденцій розвитку наукових досліджень у галузі запровадження розумних енергомереж в енергетичний сектор економіки

Окрему увагу варто приділити вивченню географічного аспекту напрямків досліджень концепції інклюзивної економіки. VosViewer допомагає проаналізувати відносини між вченими та дослідниками інтелектуальних мереж з різних країн.

Згідно з отриманими результатами десять країн мають лідируючі позиції: США, Італія, Великобританія, Німеччина, Китай, Данія, Іспанія, Нідерланди, Португалія, Індія (рис. 1.9).

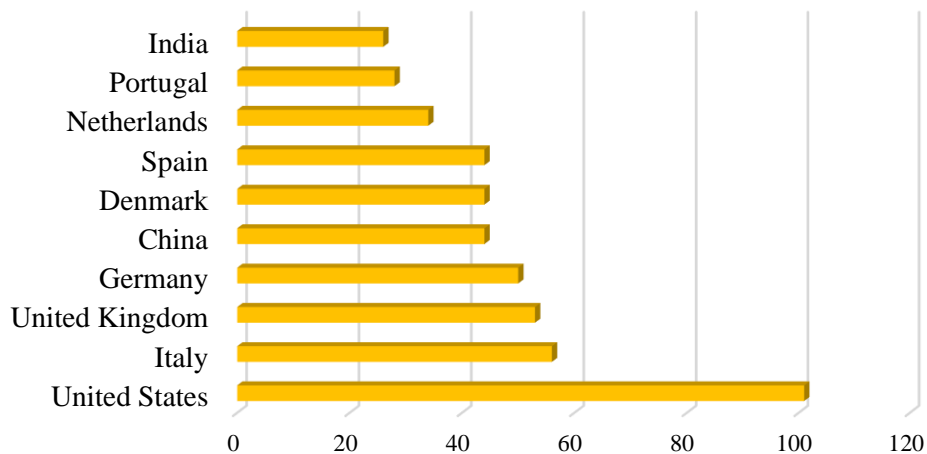


Рисунок 1.9 – Країни з найбільшою кількістю публікацій в у галузі створення дорожніх карт для запровадження розумних енергомереж (критерій – країна, зазначена у приналежності)

Переважна більшість країн у переліку сформували і частково реалізували політику запровадження розумних енергомереж на основі даних досліджень та нормативних актів, розроблених уповноваженими інституціями. Для таких країн актуальним є питання підвищення ефективності функціонування розумних енергомереж за рахунок впровадження інноваційних енергетичних, інформаційних та комунікаційних технологій.

На основі дослідження публікаційної активності у сфері створення дорожніх карт для розгортання розумних енергомереж можна здійснити класифікацію підходів до розгортання розумних енергомереж, зокрема на рівні держави та міжнародному рівні.

Ретроспективний аналіз досягнень країн Європи в енергетиці доводить, що на ефективність політики розвитку розумних енергомереж впливає значна кількість детермінант, які, у свою чергу, обумовлюють стратегічний перехід від традиційної побудови енергосистеми до нової економічної моделі, у якій чільне місце посідає енергетика.

Найвагомішими факторами, які впливають на процеси проєктування, реалізації та супроводу розумних енергомереж є:

- обмеження в технології;
- проблемна або відсутня бізнес-модель;
- висока капіталоємність;
- екологічні вимоги.

Поєднавши перелічені вище фактори, було визначено моделі розвитку розумних енергомереж:

1) поетапна розбудова. Поширений підхід, апробований у країнах ЄС. Зміст даного підходу або моделі полягає у впровадженні розумних енергетичних технологій послідовно, від технологій нижчого рівня до технологій вищого рівня;

2) локалізація. Цей підхід було застосовано у США. Цей підхід кардинально відрізняється від попереднього за своєю філософією. Якщо підхід, втілений у життя в ЄС, поступово розгортає розумні енергомережі на великі території, але із застосуванням однотипних технологій, то модель розгортання розумних енергомереж, яка була активно апробована у США, передбачала, що складні технології розумних енергомереж запроваджуються в один і той же час, створюючи комплексні проєкти. Таким чином, створюється повнофункціональна розумна енергомережа на невеликій території. Попри перевагу, яка полягає у створенні масштабних та самодостатніх проєктів, такий підхід має суттєві недоліки. Головний недолік полягає у тому, що подібні проєкти важко інтегрувати до наявної енергетичної системи. Інтеграція до існуючої енергосистеми відбувається, якщо виконуються такі умови:

1) техніко-технологічної можливості безпечної та ефективної інтеграції мереж наявні;

2) наявна сформована прибуткова бізнес-модель, яка підтверджує економічну доцільність інтеграції.

Результати порівняльного аналізу передового світового досвіду, у тому числі демонстраційних проєктів було враховано під час створення дорожньої карти розгортання розумних енергомереж в Україні, яка корелює із стратегією розвитку енергомережі ЄС [18].

З позицій врахування досвіду розгортання розумних енергомереж світовими лідерами у даному напрямку, в основу дорожньої карти для України було покладено гібридну модель, а саме такий підхід який дозволяє частково здійснювати заходи як послідовного, так і паралельного розгортання розумних енергомереж. Прогнозується, що такий підхід в українських реаліях прискорить процес масштабної розбудови розумної енергомережі на території усієї країни або, як мінімум, на рівні окремих її регіонів. Більш детально розглянувши такий підхід, можна зазначити, що «на основі поєднання моделей поетапної розбудови та локалізації розумних енергетичних мереж, якою передбачені масове розгортання однорідних розумних енерготехнологій на базовому рівні (розумне вимірювання) та одночасна реалізація пілотних проєктів розумних енергомереж» [63].

Виникає питання, чому такий підхід є прийнятним для України та чому його не застосовували країни-лідери галузі. Відповідь на це питання очевидна. Поскільки процеси розгортання розумних енергомереж у Європі та США почалися значно раніше, ніж в Україні, то технологічна та інфраструктурна складові, необхідні для забезпечення цього процесу, перебували в такому стані, який не дозволяв широкомасштабне впровадження розумних енергетичних технологій. У той же час в Україні, хоча і несистемно, але відбувалося оновлення не лише техніки в енергетиці, а також впроваджувалися технології, які потенційно придатні для використання під час розбудови розумних енергомереж. Тобто стартові позиції України, країн Європейського Союзу та

Сполучених Штатів Америки суттєво відрізняються. Відповідно, запропонований підхід обумовлений, переважно, відсутністю критичних технологічних перешкод для розгортання розумних енергомереж, які стримували підготовку та впровадження концепції розумних технологій 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» [63].

Такими напрямками пропонується вважати:

- заходи енергетичної політики, спрямованої на підвищення енергоефективності країни, її регіонів, населених пунктів та об'єктів виробничого та невиробничого призначення, а також механізми регулювання та форми державної інтервенції в енергетичний сектор;

- наявність мінімально необхідної інфраструктури для реалізації роєктів розумних енергомереж, їх підтримки на кожній із стадій життєвого циклу роєктів;

- наявні функціонуючі та апробовані технології застосування розумних пристроїв в енергетиці, рівень інноваційної діяльності підприємств енергогенерації та інших учасників енергетичного ринку, а також необхідний рівень дослідницької активності у даному напрямку, що є вкрай необхідним для подальшого розвитку розумних енергомереж як інноваційного напрямку розвитку енергетичної системи;

- наявність розроблених схем щодо залучення клієнтів до управління ключовими процесами в енергомережі з метою оптимізації енергоспоживання та оптимізації діяльності мережі в цілому, а також впровадження елементів системної політика відкритості, що сприяє вільному, безбар'єрному входу учасників енергетичного ринку до енергомережі. .



Аналіз світового досвіду дозволяє сформуванати також окремі етапи, які необхідно пройти для становлення нової енергетичної системи в Україні на основі масштабного використання енергетичних технологій. До таких етапів доцільно віднести наступні:

- пристосування розподіленої енергогенерації до наявної енергосистеми,
- створення децентралізованої енергетичної мережі,
- створення дисперсної енергосистеми.

Дорожня карта розвитку розумних енергомереж в Україні з урахуванням названих вище етапів та концептуальних положень наведена на рисунку 1.10.

	Етап 1. Пристосування розподіленої енергогенерації до енергосистеми	Етап 2. Створення децентралізованої енергомережі	Етап 3. Створення дисперсної енергомережі	Стейкхолдери (Д, Е)
Енергоефективна політика та регулювання	Розгортання систем розумного вимірювання			(Д, Е)
	Оновлення нормативної бази розвитку електрифікаційної інфраструктури			(Д)
	Розроблення та впровадження системи стимулювання використання сл. транспорту та сл. опалення			(Д)
	Розроблення стандартів та структуривання 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)
Інфраструктура	Забезпечення конфіденційності, захисту власності та безпеки клієнтської інформації			(Е, Д)
	Забезпечення кібербезпеки за рахунок стандартизації, регулювання та бенчмаркінгу			(Е, Д)
	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	Інтеграція проєктів альтернативної енергетики та розподіленої енергогенерації в РЕ		(Е, Д, Н)
	Виведення на ринок «віртуальних електростанцій» та стимулювання розподіленої енергогенерації			(Е, Д)
	Інвестування в системи моніторингу і контролю розподільної мережі			(Д, Е, Д)
	Інвестування в енергогенерацію з відновлюваних джерел			(Д, Е, Н)
	Дослідження та стимулювання загальносистемних механізмів стабілізації РЕ			(Д, Е)
	Дослідження технологій для РЕ			(Д, Е, Н)
Технології, інновації та дослідження	Участь у міжнародних проєктах дослідження РЕ			(Д, Е)
	Підготовка працівників у галузі РЕ (зокрема науковців)			(Д, Е)
	Розумне онлайн-вимірювання викидів CO <sub>2</sub>			(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)
Залучення клієнтів та політика відповідності	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)
	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, субсидіювання, стимулювання використання розумних пристроїв			(Д, Е)
	Кодифікування найкращих практик енергоефективності та автоматизованого реагування на попит			(Д, Е)

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 1.10 – Дорожня карта запровадження розумних енергомереж в Україні

Дорожня карта спрямована на системний вплив на суб'єктів енергетичного сектору з метою формування належних умов та прогресу у впровадженні розумних енергетичних технологій. Серед завдань, які вирішуються запропонованою дорожньою картою є активізація розроблення та використання механізмів інноваційного розвитку економічної системи країни [65, 66] з урахуванням стратегічних орієнтирів та концептуальних положень розвитку

енергетики [19]. Під час розроблення дорожньої карти здійснено роботу щодо ідентифікації ключових стейкхолдерів в енергетичному секторі та вивчення їхніх інтересів, які мають бути задоволені для позитивного результату щодо подальшого розвитку енергетики.

Усіх стейкхолдерів було розділено на три умовні групи:

- уряд, органи державної влади та місцевого самоврядування;
- представники енергетичного сектору економіки, такі як: виробники енергії, енергорозподільні підприємства та компанії, постачальники енергії та регулятор енергоринку (в Україні цю функцію виконує НКРЕКП);
- представники інших сфер економічної діяльності. До цієї категорії належить значна кількість суб'єктів економічної діяльності, роль яких у розвитку енергетичного сектору є, на перший погляд, менш очевидною, проте безсумнівно значимою. Загалом до цієї групи увійшли: фінансово-кредитні установи, домогосподарства, промислові енергоспоживачі, надавачі послуг для енергетичного сектору, роєктні та науково-дослідні організації.

Запропонована дорожня карта враховує часові параметри, тобто необхідний для реалізації окремих заходів час, це дозволяє визначити тривалість окремих етапів розгортання розумних енергомереж та формування нової економічної моделі, яка ґрунтується на сучасній ефективній енергетичній мережі з повсюдним впровадженням відновлюваної енергетики для розподіленої енергогенерації, що робить систему більш гнучкою та адаптивною до змін зовнішнього середовища.

У той же час період здійснення кожного з цих етапів не визначено остаточно. Це пояснюється низкою факторів, серед яких остаточно не сформована державна політика у даному напрямку. Також до таких причин варто віднести відсутність успішно функціонуючих державних програм підтримки розгортання розумних енергомереж як пріоритетного напрямку реформування електроенергетики. Усе це створює складнощі у прогнозуванні подальшого розвитку розумних енергомереж, тому терміни завершення окремих етапів, передбачених дорожньою картою, у таких умовах не можуть бути точно

визначені. «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» [63]. Натомість запропонована дорожня карта має безсумнівні переваги, адже пропонує механізм її здійснення з урахуванням складнощів регулювання взаємин стейкхолдерів у рамках здійснення процесів розгортання розумної енергетичної мережі. Йдеться про розроблену схему взаємодії стейкхолдерів, яка систематизує їх співпрацю, беручи до уваги спільність інтересів під час розроблення, реалізації та розвитку (і підтримки) проєктів розумних енергомереж.

## **1.2 Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів у процесі розгортання розумних енергомереж**

Пошук можливостей для прискорення розвитку енергетичного сектору на основі впровадження розумних технологій все частіше приводить науковців та експертів до думки, що значна частина резервів прихована в організаційних факторах. Об'єктивна реальність полягає у тому, що наявні технологічні обмеження, попри те, що дозволяють реалізовувати роєкти розумних енергомереж та інтегрувати їх до енергетичної системи. Не є масовими. Масштабування таких роєктів відкладається до вирішення питання з дешевими технологіями доступними для широкого загалу. Коли це станеться, відбудеться швидкий прорив у розвитку розумних енергомереж. Проте строків подолання технологічних обмежень ніхто не знає. Відповідно подальше інвестування у розумні енергомережі не сприяє їх поширенню тими темпами, які є бажаними. Проте чекати на вирішення технологічних проблем зовсім не значить нічого не робити. Відповідно існує необхідність отримати максимум корисності з тих

ресурсів та можливостей, які доступні зараз. Тому покращення організації процесу стає пріоритетним завданням. Складність діяльності у даному напрямку полягає у тому, що до процесу розвитку розумних енергомереж залучено багато сторін, кожна з яких виконує свою, часто специфічну, функцію. Узгодити діяльність кожного стейкхолдера з іншими є складним завданням, не кажучи про збалансування їхні інтересів, які можуть суттєво різнитися.

Однак таке завдання представляє значний інтерес. Головна причина цьому – відсутність зростання капіталовкладень у процеси розгортання розумних енергомереж для прискорення їх розвитку та збільшення отриманого ефекту. Сама ідея, не вкладаючи додаткові кошти (у значних розмірах) отримати додаткові вигоди є надзвичайно привабливою. Саме це стимулює пошук оптимальних шляхів налагодження ефективного процесу не лише розроблення, а також підтримки та розвитку роєктів розумної енергомережі через кращу взаємодію учасників.

Розуміючи перспективність цієї діяльності, у тому числі для України, як країни, яка не здатна здійснювати серйозні інвестиції в галузь без залучення сторонніх ресурсів, в основу дорожньої карти розгортання розумних енергомереж було закладено механізм поліпшення взаємодії стейкхолдерів, щоб активізувати приховані ресурси розвитку галузі.

Загалом системний підхід до створення та поширення розумних енергомереж ґрунтується на широкому застосуванні інструментарію, у тому числі для регулювання діяльності зацікавлених осіб, як фізичних, так і юридичних, які є безпосередніми учасниками проєктів створення або поширення розумних енергомереж.

З метою інтенсифікувати розроблення роєктів розумних енергомереж та сприяти їхній реалізації в короткі строки та подальшому масштабуванні з місцевого рівня на регіональний, національний та міжнародний вкрай потрібно вирішити питання щодо організованої та системної діяльності стейкхолдерів. Саме на це було спрямовано зусилля під час розроблення організаційно-комунікаційної схеми взаємодії стейкхолдерів, яка має слугувати як ключовим

механізмом реалізації дорожньої карти так і самостійним інструментом яким можуть користуватися стейкхолдери у своїй діяльності, щоб покращити перебіг процесу підготовки, впровадження та підтримки роєктів розумних енергомереж.

Варто зазначити, що в основу організаційної схеми взаємодії стейкхолдерів може бути покладено різні принципи. Відмінністю запропонованої схеми від існуючих підходів є орієнтованість на комплексне вирішення питання, максимальне охоплення усієї сукупності взаємозв'язків між задіяними у процесі створення, підтримки та розвитку розумних енергетичних мереж з урахуванням особливостей етапів здійснення роєктів. При цьому під час створення організаційно-комунікаційної схеми взаємодії стейкхолдерів було використано елементи моделі зрілості розумної енергомережі, щоб максимально повно врахувати повний комплекс процесів, які необхідно здійснити різним зацікавленим сторонам для успішного створення та розвитку розумної енергомережі, зокрема, було виділено такі складові:

- стратегія та регуляторні механізми,
- технологічні особливості,
- організаційна структура та організація перебігу процесів,
- соціальні фактори,
- екологічна складова, або вплив на довкілля,
- операції в енергомережі,
- інтеграція ланцюгів вартості,
- управління активами,
- взаємовідносини з клієнтами та управління знаннями (досвідом).

Однією з переваг застосованого підходу є можливість визначити проблеми під час кооперації стейкхолдерів. Усунення цих проблем дозволить подолати фактори, що стримують поширення розумних енергомереж. Це, у свою чергу, надає можливості для розроблення та впровадження механізмів регулювання взаємовідносин зацікавлених сторін під час розбудови розумних енергомереж. Відповідно у подальшому такий підхід дозволить реалізувати механізм

регулювання, формування та підтримання механізмів для прискорення поширення розумних енергомереж. Відповідно, запропонований підхід може розглядатися як інструмент активізації латентного потенціалу під час 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» [63]. Таким чином, формалізація взаємодії стейкхолдерів засобом розроблення організаційно-комунікаційної схеми визначає та систематизує найефективніші механізми регуляторних інтервенцій, які можуть здійснюватися для впорядкування відносин стейкхолдерів під час розроблення та впровадження розумних енергомереж. Це надає можливості врахувати латентні ефекти та драйвери впровадження розумних енергомереж [19,35,44]. Саме це завдання є надзвичайно актуальним, про що свідчать дослідження, опубліковані у престижних виданнях [27].

Як зазначалося вище, запропонована організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів ґрунтується на моделі зрілості розумної енергомережі, яка була розроблена компанією ІВМ з її партнерами по реалізації (та супроводу) енергетичних роєктів. Вибір даної моделі є обґрунтованим, в основі такого рішення було покладено результати аналітичної роботи щодо порівняння наявних комплексних систем оцінювання розумних енергомереж, які є поширеними серед виконавців роєктів розумних енергомереж. Відповідно до результатів, отриманих у цьому дослідженні саме модель зрілості розумної енергомережі ІВМ найкраще з-поміж наявних аналогів враховує алгоритм створення та розвитку роєктів розумних енергомереж. Ця модель не лише містить розширений перелік індикаторів, вона деталізує найбільш критичні показники, які потрібно моніторити на кожному етапі функціонування розумної енергомережі. Також модель описує ключові процеси на кожному етапі.

Однак незважаючи на суттєві переваги моделі зрілості енергомереджі, вона має ряд недоліків та потребує доопрацювання. З метою зробити дану модель

більш повною з позицій урахування прямих та опосередкованих ефектів, які спричиняються розумною енергомережею, її було доопрацьовано на основі результатів порівняльного аналізу існуючих систем оцінювання. А саме було модифіковано дану систему, доповнивши її показниками, які заповнюють наявні прогалини в оцінюванні та роблять модель зрілості енергомережі більш системною. Додані індикатори характеризують процеси, які залишилися поза увагою оригінальної моделі зрілості.

Структура модифікованої моделі зрілості не відрізняється від оригінальної моделі авторства співробітників IBM.

Ще однією особливістю пропонованої моделі зрілості розумної енергомережі, яку взято за основу для розроблення організаційно-комунікаційної схеми взаємодії стейкхолдерів модель, покликаної активізувати латентні драйвери розвитку розумних енергомереж, які не потребують суттєвих капіталовкладень, є багаторівневність процесів та відповідно індикаторів їх оцінювання.

Зокрема, передбачаються такі рівні оцінювання роєктів розумних енергомереж, які розробляються та розвиваються:

- підготовчий рівень, де здійснюється ініціація роєкту та його попередня оцінка, у тому числі оцінювання готовності наявної та потреби у новій інфраструктурі (рівень 0);
- дослідження, де передбачено розроблення розумної енергомережі, у тому числі здійснення роєктних робіт (рівень 1);
- інвестування, де передбачається фінансування робіт по роєкту та закупівлю необхідного обладнання, а також створення інфраструктурних об'єктів (рівень 2);
- інтеграція, де здійснюються операції щодо входження функціонуючого роєкту розумної енергомережі до енергомережі вищого рівня (рівень 3);
- оптимізація, удосконалення операційних процесів та взаємодії з клієнтами. Також до даного етапу належать роботи щодо створення системних

взаємозв'язків та поглибленої інтеграції на підприємстві, де реалізується проєкт (рівень 4);

– інноваційність, даний етап передбачає створення нових можливостей, продуктів та послуг, формування інноваційних взаємозв'язків між зацікавленими особами та формування нових бізнес-процесів (рівень 5).

Повний перелік процесів, а також цілей та очікуваних результатів згідно модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі наведено в таблицях 3-7.

Сукупність операцій на нульовому та першому етапах здійснення проєкту розумної енергомережі наведено в таблиці 1.3; на другому етапі здійснення проєкту – в таблиці 1.4; на третьому етапі – в таблиці 1.5; на четвертому етапі (рівні) – в таблиці 1.6; операції п'ятого етапу – в таблиці 1.7.

У подальшому кожна операція, вказана у таблицях 1.3-1.7, використовується при побудові організаційно-комунікаційної схеми взаємодії стейкхолдерів. З цією метою кожна операція отримала код, зазначений другій колонці кожної таблиці. Це необхідно для формування схеми у зручному для сприйняття вигляді. Також кодування містить цифрову частину, яка вказує на етап, до якого належить процес.

Необхідною умовою формування організаційно-комунікаційної схеми взаємодії стейкхолдерів є перелік стейкхолдерів (табл. 1.8). Даний перелік може відрізнятися від тих, які наводять у науковій літературі, де немає єдності у даному питанні, наслідком чого є різний перелік стейкхолдерів, який використовується у дослідженнях на дану тематику.



Таблиця 1.3 – 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 проекту	4H	Сформульована потреба у змінах	O
Проведення аналізу вартості для нових систем та вивчення можливостей віддаленого моніторингу активів	3G	Вивчення прогнозного 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		

Аналогічно до процесів розвитку розумної енергомережі кожному стейкхолдеру також було присвоєно цифровий код. Поєднуючи коди операцій та ідентифікатор (код) стейкхолдера, можна прослідкувати, де він задіяний та у якій ролі. Наприклад, A1 означає, що стейкхолдер з відповідно кодом 1 задіяний у реалізації процесу A; 2A3 - стейкхолдер 3 задіяний у виконанні процесу 2A.

Таблиця 1.4 – Перелік операцій модифікованої моделі на другому рівні

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 роєктів 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		

Співвідношення стейкхолдерів та операцій (процесів), у виконанні яких вони мають певну роль, показано у таблицях 1.9-1.10.

Варто зазначити, що перелік стейкхолдерів здатен суттєво змінюватися залежно від того, який роєкт реалізується. Відтак немає можливості зробити схему взаємодії стейкхолдерів повністю універсальною. З цієї причини у схемі враховано процеси, які є універсальними для переважної більшості роєктів розумних енергомереж.

Таблиця 1.5 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості третього рівня

Процеси/цілі/результати	Код	Процеси/цілі/результати	Код
1	2	3	4
Інтеграція стратегії РЕ до корпоративної	Н	Організація вибору матричної або багат шарової структури	Т
Розгорнута модель управління РЕ	І	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	К	Обмін даними між функціями / системами та впровадження аналітики управління для підтримки рішень та системних розрахунків	3С
Культура співпраці та інтеграції	U	Високий ступінь сегментації клієнтів та загальний клієнтський досвід	3P
Узгодження бізнес-процесів РЕ з ІТ-архітектурою	2E	Залучення клієнтів до розподілу навантаження	4L
Спільна архітектура	2F	Виявлення перебоїв на підстанції	3Q
Впровадження технології РЕ 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		

Таблиця 1.6 – Перелік операцій модифікованої моделі зрілості на четвертому рівні

Процеси/цілі/результати	Код	Процеси/цілі/результати	Код
1	2	3	4
Інтеграція в процеси підприємства	3E	Процеси реструктуризації	W
Управління стратегією та вплив на корпоративні цілі	L	Екологічні інвестиції (узгоджені зі стратегією РЕ)	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 ІТ-архітектури	2H	Прогнозне моделювання та моделювання в реальному часі	2J
Тарифоутворення на основі РЕ-аналітики	4M	Впровадження безпеки на рівні підприємства	2K
Оптимізаційне моделювання розширення РЕ	4E	Формування умов інтеграції до мереж вищого рівня	4N

Оскільки матриці взаємодії містять багато процесів, що відбуваються на різних фазах виконання енергоефективних проєктів було здійснено певне спрощення матриці на користь придатності її до практичного застосування, зокрема, було визначено процеси з максимально сильним впливом на роєкти, тобто ті, що є найбільш релевантними.

Таблиця 1.7 – Перелік операцій модифікованої моделі на п'ятому рівні

Процеси/цілі/результати	Код	Процеси/цілі/результати	Код
1	2	3	4
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 правового 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		

Таблиця 1.8 – 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

Таблиця 1.9 – Процеси взаємодії стейкхолдерів на початкових етапах створення та функціонування 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
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 1.10 – Процеси взаємодії стейкхолдерів на пізніх 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	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-V19, W11	2H11, 2I11-18, 2J7, 2J11, 2K7, 2K18	2R2, 2R3, 2R4*, 2R6-18, 2S2, 2S3, 2S4, 2S9, 2S11, 2T2, 2T3, 2T4*, T6, 2T10, 2T19, 2U11-17, 2V11-12, 2V14-17	3E11	3K11, 3K17, 3K18	3S11-18, 4D2, 4D3, 4D10-17	4D10-17, 4E9, 4E11, 4E18-19, 4N10, 4N11
3	Крос-функціональна інтеграція	H5, H11, I11, J10, K12-18	T11, U2, U3, U4*, U6*, U7-19	2E5, 2E11, 2E18, 2F5, 2F11-18, 2G5, 2G11	2P4*, 2P6, 2P11, 2P17, 2Q11, 2Q17, 2Q18	3C5, 3C11-18, 3D11, 3D18	3J5, 3J7, 3J8, 3J11, 4B5, 4B11	3P11, 3P17, 3Q5, 3Q11-16, 3R11, 3R18, 4C10-11, 4C17	4A11, 4A18, 4B11-17, 4C11, 4C17, 4C18

До найбільш релевантних процесів включено наступні:

I етап:

- розроблення візії розумної енергомережі;
- формування стратегічної IT-інфраструктури;
- визначення цінності рооекту;
- тестування пристроїв та технологій;

створення ланцюгів цінності. II етап:

- бізнес-планування;
- узгодження інвестицій з місією та принципами бюджетування;
- остаточна концептуалізація та командо-творення;
- розроблення підходів до впровадження GIS та RAM;
- запуск демонстраційних (або пілотних) бізнес-процесів, здійснення

тактичних інвестиці в IT-засоби;

– тестування технологій інформаційно-комунікаційних технологій для взаємодії з клієнтами.

III етап:

- інтеграція мережевої та корпоративної стратегій;
- узгодження позицій з регуляторами;
- формування збалансованої системи показників розумної енергомережі;
- узгодження бізнес-процесів з IT-інфраструктурою;
- розроблення CBM та інтеграція RAM;
- залучення клієнтів до розподіленої енергогенерації та управління

попитом.

IV етап:

- залучення зовнішніх стейкхолдерів;
- оптимізація бізнес-процесів із використанням ресурсів IT-інфраструктури;
- початковий етап масштабування розподіленого виробництва енергії;
- тарифоутворення із застосуванням аналітики кількісних даних;
- портфельне моделювання та оптимізація;



- початок інтеграції до мережі вищого рівня.

V етап:

- формування стратегії розширення на основі переваг розумної енергомережі;

- підтримка бізнес-проєктів, у тому числі окремих бізнес-одиниць, за рахунок оргзмін;

- оптимізація регуляторної політики;

- оптимізація управління активами у ланцюгу постачання.

Спрощений вигляд організаційно-комунікаційної схеми взаємодії стейкхолдерів під час здійснення проєктів розумних енергомереж зображено на рис. 1.11.

Відповідно до рис. 1.11 створення та розвиток розумної енергомережі передбачає взаємодію значної кількості стейкхолдерів на кожному з етапів проєкту. При цьому деякі стейкхолдери задіяні більше за інших та на декількох етапах. У той же час, інші мають незначну або епізодичну роль.

Організаційно-комунікаційна схема для систематизації діяльності стейкхолдерів у розгортанні розумної енергомережі формалізує механізми відповідного регулювання. Серед них ті, які потребують значної деталізації, у організаційній схемі визначено, зокрема, такі:

«Координація – узгоджена діяльність щодо реалізації окремих процесів розбудови розумної енергомережі або виконання проєкту 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.

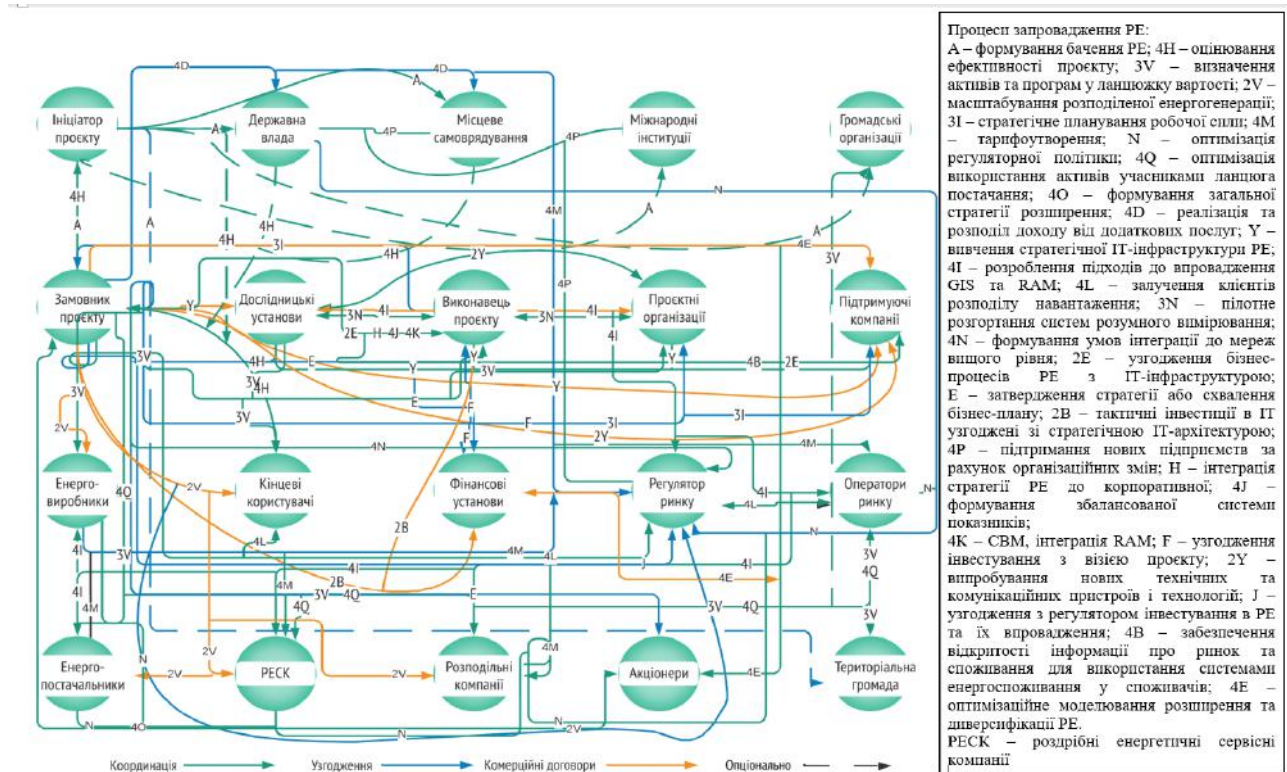


Рисунок 1.11 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів (фрагмент)

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» [63].

Узгодження – один з видів координації, який регламентується нормативною базою та є обов’язковим.

Комерційні договори – усі форми взаємодії стейкхолдерів на комерційній основі.

З рис. 1.11 прослідковується, що владні органи, виконавець роєкту, банківський сектор, регулятор ринку, замовник роєкту, виробники енергії,

компанії, які її транспортують та розподіляють, супровідні організації, а також кінцеві споживачі, – є найбільш значимими та активними учасниками розгортання розумної енергомережі. Відповідно на них припадає найбільша кількість функції розроблення, здійснення та супроводу проєктів.

Укрупнення схеми дозволяє ідентифікувати найбільш значимих стейкхолдерів та найбільш релевантні процеси. Це важливо для забезпечення якісних наукових результатів, ідентифікації організаційних взаємозв'язків та взаємозалежностей.

Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів сприяє удосконаленню організаційних механізмів, спрямованих на стимулювання та підвищення ефективності проєктів розумних енергомереж, у тому числі на кожному етапі реалізації. Організаційно-комунікаційна схема придатна до використання як інструмент здійснення заходів дорожньої карти розгортання розумних енергомереж в Україні.

На рисунку 1.12 показано уривок зі схеми із застосуванням кодування таблиці 1.10. Це робить можливою ідентифікацію взаємозв'язків стейкхолдерів під час виконання бізнес-процесів.

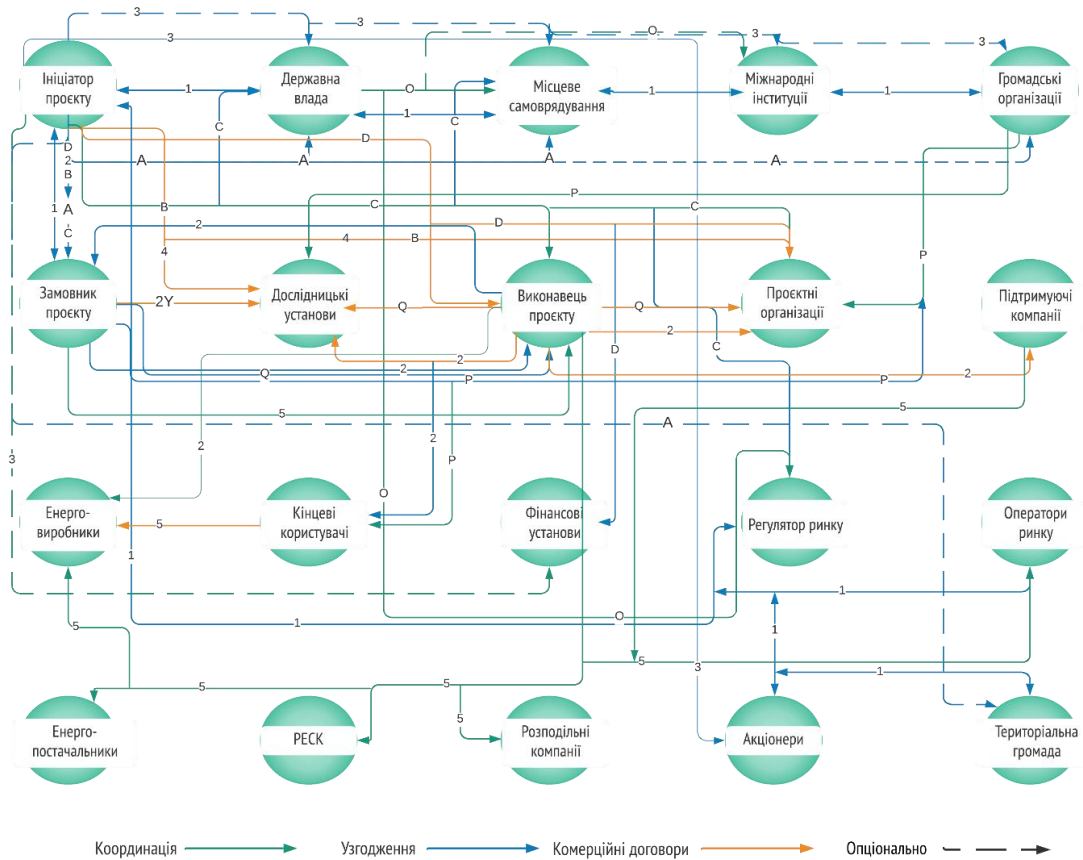


Рисунок 1.12 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів.  
Етап 1 (фрагмент) [58]

Умовні позначення на рисунку 1.12: 1 – формування візії розумної енергомережі; 2 – створення ІТ-інфраструктури; 3 – визначення корисності проекту; 4 – тестування пристроїв та технологій; 5 – створення 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 проекту, органів державної влади та місцевого самоврядування, а також представників енергоринку» [63].

На рисунку 1.13 відображено спрощену схему взаємодії стейкхолдерів, що дозволяє з'ясувати особливості реалізації проектів розумних енергомереж у контексті взаємодії зацікавлених сторін.

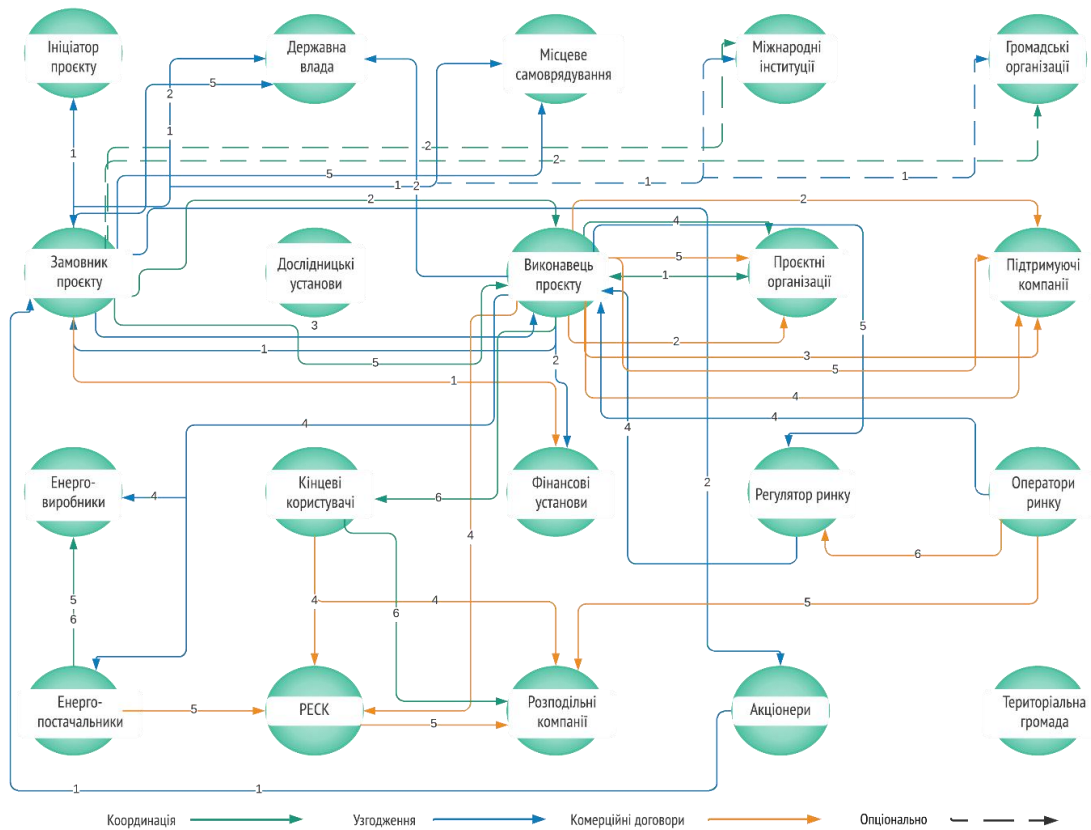


Рисунок 1.13 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів.  
Етап 2 (фрагмент) [58]

Умовні позначення на рисунку 1.13: 1 – бізнес-планування; 2 – узгодження інвестицій з місією та принципами бюджетування; 3 – остаточна концептуалізація та командо-творення; 4 – розроблення підходів до впровадження GIS та RAM; 5 – запуск демонстраційних (або пілотних) бізнес-процесів, здійснення тактичних інвестицій в ІТ-засоби; 6 – тестування технологій інформаційно-комунікаційних технологій для взаємодії з клієнтами.

На рисунку 1.14 показано спрощену схему взаємодії стейкхолдерів на третьому етапі. Вона показує зміщення акценту діяльності стейкхолдерів на внутрішні процеси.

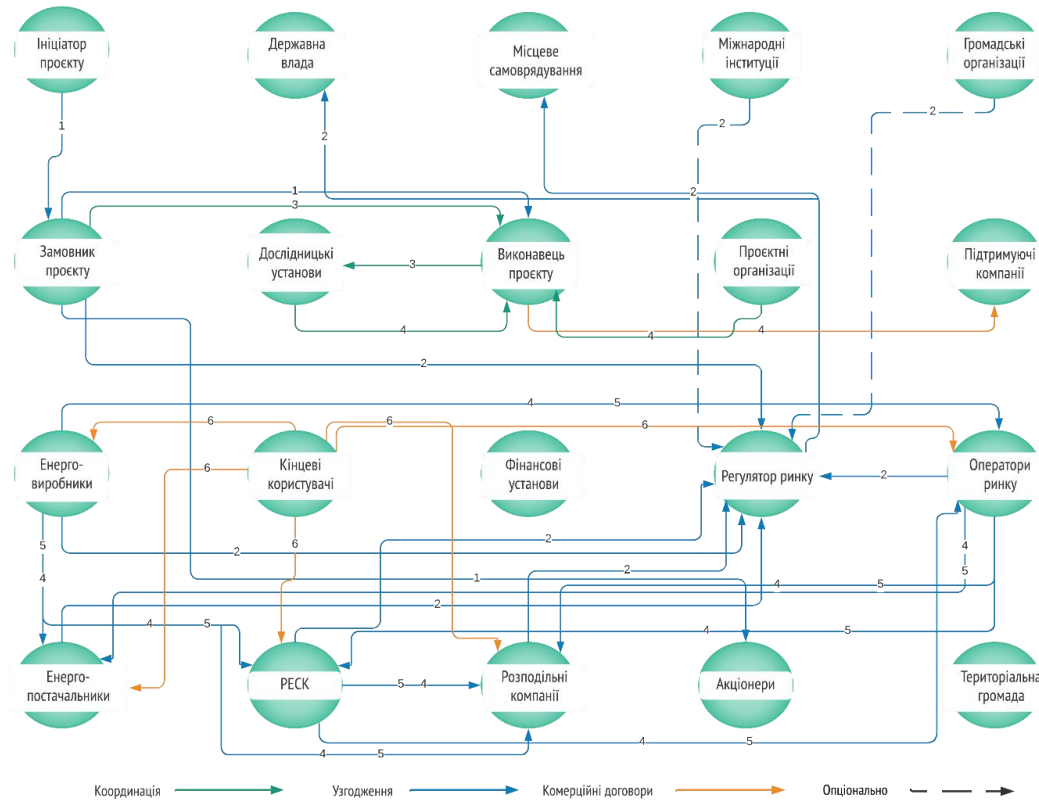


Рисунок 1.14 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів.  
Етап 3 (фрагмент) [58]

Умовні позначення на рисунку 1.14: 1 – інтеграція мережевої та корпоративної стратегій; 2 – узгодження позицій з регуляторами; 3 – формування збалансованої системи показників розумної енергомережі; 4 – узгодження бізнес-процесів з IT-інфраструктурою; 5 – розроблення СВМ та інтеграція RAM; 6 – залучення клієнтів до розподіленої енергогенерації та управління попитом.

Рисунок 1.15 демонструє схему взаємодії стейкхолдерів на четвертому етапі. На даному етапі спостерігається активізація взаємодії стейкхолдерів енергетичного сектору та зовнішніх стейкхолдерів для реалізації можливостей

масштабування роєкту, інтеграції до енергомереж вищого рівня, а також взаємодії з мікромережами.

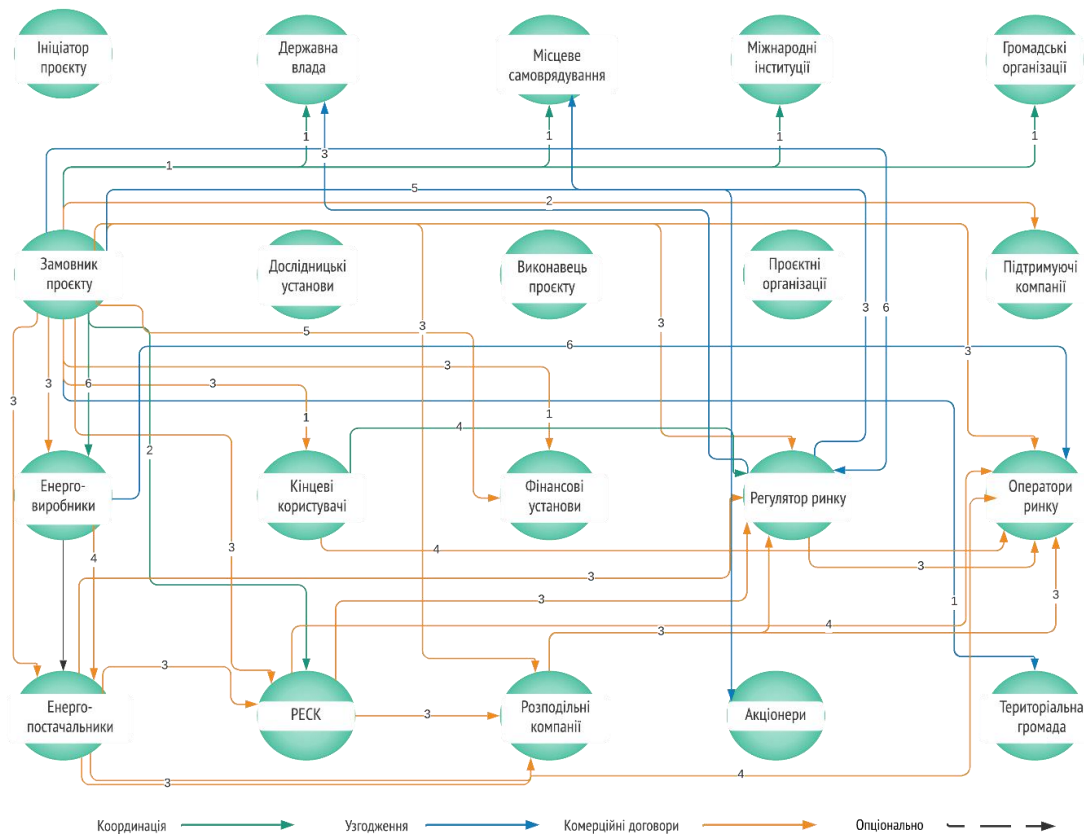


Рисунок 1.15 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів.

Етап 4 (фрагмент) [58]

Умовні позначення на рисунку 1.15: 1 – залучення зовнішніх стейкхолдерів; 2 – оптимізація бізнес-процесів із використанням ресурсів ІТ-інфраструктури; 3 – початковий етап масштабування розподіленого виробництва енергії; 4 – тарифоутворення із застосуванням аналітики кількісних даних; 5 – портфельне моделювання та оптимізація; 6 – початок інтеграції до мережі вищого рівня.

На рисунку 1.16 показано спрощену схему взаємодії стейкхолдерів на етапі створення та комерціалізації інтегрованої енергомережі.



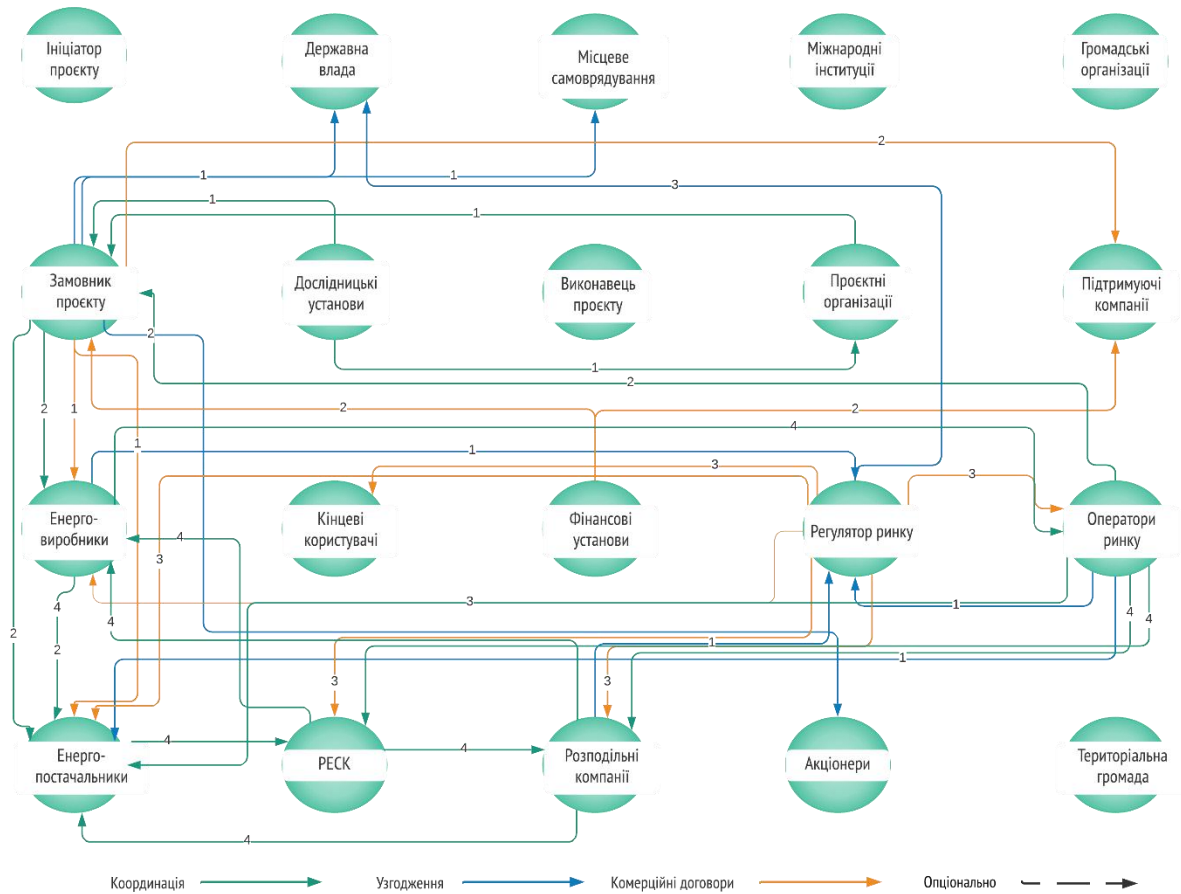


Рисунок 1.16 – Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів.

Етап 5 (фрагмент) [58]

Умовні позначення на рисунку 1.16: 1 – формування стратегії розширення на основі переваг розумної енергомережі; 2 – підтримка бізнес-роєктів, у тому числі окремих бізнес-одиноць, за рахунок організаційних змін; 3 – оптимізація регуляторної політики; 4 – оптимізація управління активами у ланцюгу постачання.

Використання модифікованої моделі зрілості розумної енергомережі створює інструментарій для стимулювання взаємодії зацікавлених сторін та формування належних умов для масштабування роєктів розумних енергомереж. Додатково це дозволяє визначити зміну мотивів та поведінкових моделей кооперації стейкхолдерів під час розвитку роєктів розумних енергомереж.



## **2 ФАКТОРИ ТА МОДЕЛІ РОЗБУДОВИ ПРОЄКТІВ РОЗУМНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ**

### **2.1 Особливості розбудови проєктів розумних енергетичних мереж**

Виклики сучасного соціального та економічного розвитку вимагають енергії та пов'язаних з нею послуг у зростаючому масштабі. Попит на електроенергію різко зростає в розвинених країнах та країнах, що розвиваються [41]. Очікується, що до 2030 року в США та Європі збільшиться споживання енергії на 50% та 40% відповідно, а в Китаї та Індії воно зросте втричі (Veolia, 2010). Обсяги виробництва відновлюваної енергії постійно зростають. Починаючи з 2011 року, щороку додається більше потужностей з виробництва відновлюваної енергії, ніж звичайних.

Водночас одним з основних пріоритетів є забезпечення рівноваги між збереженням економічної стабільності та безпечної роботи системи енергопостачання. Неврегульовані енергетичні ринки та зростаюча частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) визначають необхідність структурованого обліку потоків електроенергії. У даний час електроенергетична мережа застосовує традиційні методи, які повинні бути змінені інтелектуальною мережею (ІМ) – Smart grid. Подібні інтелектуальні сітки представляють собою інтерактивну архітектуру в режимі реального часу, яка забезпечує як функціонування системи, так і відносини між клієнтами та оператором мережі за допомогою автоматизації та використання інформаційних технологій. Оскільки високо розвиненими у світі технологіями є технології, які генерують енергію вітру та сонячну енергію. Проте, наведені види енергії, крім сучасних технологій, повністю залежать від сонячного світла та руху повітряних мас, тому виникає проблема збалансованості часу для відновлюваних ресурсів та зручних енергетичних потужностей.

Крім того, системи Smart Grid дозволяють накопичувати надлишки енергії, що генеруються об'єктами ВДЕ, але не споживаються. Вони забезпечують створення потужних систем енергозбереження та направляють надлишки енергії

споживачам в моменти пікових навантажень, щоб максимізувати вихід енергії з ВДЕ, а також мінімізувати втрати енергії під час її зберігання. Іншим аспектом тісного взаємозв'язку між розробкою ВДЕ та Smart Grid є поступова переорієнтація національних енергетичних систем на децентралізоване постачання енергії. Це призводить до розробки невеликих місцевих об'єктів на ВДЕ та необхідності їх інтеграції в розумні мережі з метою забезпечення якісного та надійного постачання електроенергії як для побутових, так і для промислових об'єктів. Такі розумні мережі особливо актуальні для віддалених гірських та сільських районів, де ВДЕ може стати основою для місцевої мережі. Таким чином, розвиток ВДЕ в країнах призводить до розгортання національних та місцевих інтелектуальних мереж. У зв'язку з цим динаміка частки ВДЕ в загальному енергетичному комплексі країни може служити показником розвитку розумних мереж.

Таким чином, інтелектуальні мережі використовують технології для миттєвої передачі інформації задля узгодження попиту та пропозиції, прийняття обґрунтованих рішень з постачання та підтримки роботи систем з оптимальною ефективністю. Ці технології можуть бути реалізовані починаючи з генерації комунальних послуг до окремих одиниць побутової техніки [30].

Згідно дорожньої карти стандартизації ІЕС SG інтелектуальні мережі включають в себе наступні елементи:

- масова генерація: розумна генерація;
- мережа (передача та розподіл): автоматизація та захист підстанцій, системи контролю якості електроенергії та потужності, системи підтримки прийняття рішень та схеми захисту цілісності систем, системи управління активами та моніторинг стану, автоматизація та захист розподілу, розумні лічильники та ін;
- замовник/покупець: розумне споживання, місцеві органи влади, розумні будинки та автоматизація будівель;
- безперервний зв'язок та безпека (ІЕС, 2010) [29].

За результатами всебічного аналізу функціонування Smart Grid з урахуванням доступних технологій, інструментів та методів було запропоновано, щоб робота розумних мереж була більш економічно і технічно обґрунтованою та автономною завдяки штучному інтелекту [53]. Проте, водночас, розумні мережі повинні об'єднувати ВДЕ, системи зберігання, інфраструктуру та систему розподілу енергії в єдину мережу на основі реакції попиту/реакції споживача [37]. Крім того, споживачі можуть брати участь як відповідальні агенти на ринку електроенергії, що дозволяє їм впливати на рахунки за електроенергію.

Smart Grid пов'язують із потужностями, що створюють нові можливості, включаючи згладжування піків, збереження електроенергії та інтеграцію ВДЕ [21]. В роботі Lund Н., емпірично оцінено, що попит на ВДЕ різко зріс із початку XXI століття, і на ВДЕ припадає 19% світової електроенергії [43]. При цьому частка найпопулярніших видів ВДЕ поступово знижується (наприклад гідроенергетика становила 83% від усієї ВЕ у 2006 році та 58% у 2017 році) за даними IRENA. На противагу збільшується частка енергії, отриманої з біоресурсів.

Перехід на технологію Smart Grid обумовлений екологічною безпекою, оскільки ВДЕ та розподілена генерація не пов'язані з експортом викопного палива та так наслідок сприяють зменшення викидів CO<sub>2</sub>. Зростання використання ВДЕ є ключовою задачею для просування систем ІМ, а просування розподіленої генерації – ключовим фактором забезпечення безпеки для навколишнього середовища [26].

Підсумовуючі наведені факти щодо впровадження та використання розумних мереж, можна стверджувати, що основні цілі створення розумних мереж є підвищення енергоефективності, зниження негативних впливів на навколишнє середовище, а також забезпечення надійності та безпеки функціонування енергосистем.

Отже, впровадження Smart Grid дає певні переваги та можливість виділити наступні напрями роботи розумних мереж:

- інтеграція розрізнених джерел отримання енергії в єдину систему;
- забезпечення міцних зв'язків між елементами системи;
- управління електротехнічним обладнанням, та контроль за його технічного станом;
- автоматизований облік споживання енергії;
- автоматизація процесу енергопостачання
- управління оперативними даними;
- забезпечення безперебійного енергопостачання.

В даному випадку, розумна мережа представляє собою електричну мережу, яка може інтегрувати дії всіх підключених до неї користувачів – виробників, споживачів задля ефективного, стійкого, економічного та безпечного постачання електроенергії [60]. Завдяки розвитку інтелектуалізації, розумні мережі можуть використовувати інноваційні продукти та послуги щодо моніторингу, управління, зв'язку та самовідновлення та досягати наступних цілей:

- полегшення процедури підключення та роботи генераторів будь-якого розміру та технологій;
- забезпечення можливості споживачам брати участь в оптимізації функціонування системи;
- надавання споживачам більше інформації та вибору поставок;
- суттєвого зменшення впливу на довкілля всієї системи електропостачання;
- забезпечення підвищеного рівня надійності та безпеки електропостачання.

Враховуючі високий рівень технологічного забезпечення, можна виділити специфічні характеристики, які мають розумні мережі, а саме:

- інтелект – здатність визначати перевантаження системи та перенаправляти потужність, щоб запобігти або мінімізувати потенційне відключення; працювати автономно, коли умови вимагають вирішення швидше,

ніж люди можуть реагувати і спільно узгоджувати цілі комунальних підприємств, споживачів та регуляторних органів;

- ефективність – здатність задовольнити підвищений споживчий попит без додаткової інфраструктури;

- здатність до пристосування – прийняття енергії практично з будь-якого джерела палива, включаючи сонячні та вітрові, так само легко, як вугілля та природний газ; здатність інтегрувати будь-які найкращі ідеї та технології – наприклад, технології зберігання енергії - оскільки вони є перевіреними на ринку;

- мотивація – забезпечення зв'язку в реальному часі між споживачем та комунальними послугами, щоб споживачі могли адаптувати споживання енергії на основі індивідуальних переваг, таких як ціна та/або екологічні міркування;

- високий потенціал – створення нових можливостей та ринків завдяки своїй здатності використати інновації, що працюють за принципом «підключи та працюй», де та коли це доречно;

- орієнтованість на якість – здатність забезпечувати необхідну якість енергії – без провисань, стрибків, порушень і перебоїв для живлення економіки в умовах цифровізації та центрів обробки даних, комп'ютерів та електроніки, необхідних для її роботи;

- стійкість – підвищення стійкості до атак та стихійних лих, оскільки зростає децентралізованість та відбувається посилення за допомогою протоколів безпеки Smart Grid;

- «зелений колір» – уповільнення настання глобальних змін клімату та формування реальних шляхів до значного покращення стану навколишнього середовища.

Таким чином, аналізуючи наведені специфічні характеристики, можна стверджувати, що ключовим аспектом функціонування Smart Grid є технологічна основа та інтелектуалізація. Виходячи з сучасних викликів, по-перше, необхідна модернізація існуючих систем генерації енергії. Зростає як обсяг енергії, отриманої з ВДЕ, так і кількість таких джерел. Всі ВДЕ мають свої особливості.

Кількість точок таких джерел буде великою і вони будуть розпорошені територіально та матимуть різну потужність. Тому виникає потреба у стабілізації та синхронізації цих джерел. По-друге, необхідні так звані «розумні» лічильники (пристрої, що використовуються в домашніх господарствах для вимірювання споживання енергії через певні інтервали часу). Вони допоможуть як на побутовому, так і на промисловому рівнях, обирати найбільш ефективний режим роботи електроінструментів/обладнання та підвищувати ефективність використання електроенергії залежно від потреб. По-третє, необхідна модернізація існуючих систем постачання та розподілу енергії. «Традиційні» системи втрачають багато енергії при її постачанні та розподілі, що призводить до надлишкового використання ресурсів та негативно впливають на довкілля, а також підвищують вартість енергії для її споживачів.

Тож «розумні» мережі на противагу «традиційним» є двонаправленими, і навіть більше – різнонаправленими, такими, що встановлюють зв'язки між партнерами/учасниками. Забезпечується зворотній зв'язок зі споживачами, інформація щодо споживання енергії, тарифах, взаємовідносинах з постачальниками може бути представлена двонаправленим потоком. Розумні мережі передбачають використання інтелектуальних пристроїв, що допомагають заощаджувати [69].

## **2.2 Економічні та соціальні фактори при оптимізації розумних мереж розумних мереж**

Враховуючі економічні, соціальні та інституційні аспекти розвитку розумних мереж на прикладі країн ОЕСР, було сформульовано декілька гітопез з метою визначення переваг, які може забезпечити трансформація національних мереж в об'єднану Smart Grid мережу:

- збільшення ВВП на душу населення в економічних системах сприяє інтеграції традиційної мережі в інтелектуальну мережу;

- покращення енергоефективності пов'язане з розвитком ВДЕ та просуванням Smart Grid;
- валове накопичення основного капіталу має сприяти розвитку сектору ВДЕ та розвитку інтелектуальної мережі;
- очікується, що високий технологічний експорт та патентні заявки резидентів, а також виробництво, додана вартість та послуги, додана вартість (як відсоток від ВВП) будуть напрямами розвитку сектору ВДЕ та інтелектуальної мережі;
- підвищення ціни на нафту є фактором удосконалення сектора ВДЕ та розвитку Smart Grid;
- інституційні фактори (права власності, податковий тягар, а також ділові, монетарні, торгові та інвестиційні фактори) мають бути позитивно пов'язані із впровадженням інтелектуальної мережі;
- інституційні зміни, такі як вступ до ЄС або участь в енергетичній політиці ЄС, повинні сприяти розвитку Smart Grid.

Крім того, аналізуючи наукові праці зарубіжних вчених [1,4,9,16,50] було сформуємо основні переваги Smart Grid, які спрямовані на підвищення енергоефективності та інтелектуалізацію енергетичного сектору:

- більш економічна передача електроенергії;
- пікове вирівнювання попиту та зниження загальних тарифів на електрику;
- інтеграція всіх об'єктів, що застосовують енергію з відновлювальних джерел, як мікромереж до широкомасштабних систем;
- швидше усунення перебоїв в роботі електромереж шляхом перенаправлення маршрутів;
- підвищення економічної та екологічної безпеки за рахунок кращої адаптації мереж до катастроф та / або атак;
- створення нових ринків, товарів та послуг.

Пропонується використання кількох показників для вимірювання ефективності виробництва електроенергії на основі Smart Grid, таких як

споживання первинної енергії, відсоток вироблення ВДЕ та викиди вуглекислого газу [48]. Сектор ВДЕ може ефективно існувати в рамках функціонування інтелектуальних мереж.

Зважаючи на те, що інтелектуальні мережі часто є синонімами енергоефективності та сталого розвитку, ми обрали два показники сталого розвитку для вимірювання прогресу Smart Grid:

1) індекс енергетичної трилеми, який розраховується Всесвітньою енергетичною радою.

2) виробництво відновлюваної електроенергії.

Очікується що використовуючи ці показники, знайдуться вагомні фактори, які зможуть пояснити досягнення та прогресивні зміни у напрямку розвитку Smart Grid. Однією з гіпотез є те, що енергоефективність економічного розвитку та структурні зміни в економіці, що базується на послугах, можуть бути важливим джерелом досягнень у сфері впровадження Smart Grid.

Крім того, спільну енергетичну політику ЄС та Енергетичну стратегію ЄС-20 можна розглядати в якості потужного інструменту політики для вдосконалення інтелектуальної мережі. Таким чином, згідно з Енергетичною стратегією ЄС-20 [8], Європейському Союзу необхідно зменшити викиди CO<sub>2</sub> на 20% до 2020 року та збільшити частку ВДЕ принаймні до 20%, що забезпечить як мінімум 20% економії енергії, зокрема за рахунок розвитку Smart Grid.

Досліджено, що модернізація інтелектуальної мережі включає модернізацію інфраструктури передачі, забезпечує електроенергію широку громадськість та підвищує ефективність енерговикористання [33]. Існує ряд інституційних показників, які можуть вплинути на досягнення у сфері Smart Grid. Індекс економічної свободи, який публікує The Heritage Foundation, надає інформацію про такі інституційні фактори, як майнові права, податковий тягар, державні витрати, свобода бізнесу та праці [57]. Очікується, що інституційний прогрес та економічна свобода є чинниками, що позитивно впливають на розвиток Smart Grid. Одним із важливих питань, пов'язаних із ІМ, є розробка



стандартів для підвищення їх технологічного вдосконалення та оцінки економічного стимулу їх просування.

Задля того, аби визначити ключові фактори розвитку сектору ВДЕ та просування Smart Grid для країн ОЕСР необхідно вирішити наступні завдання:

- оцінити вплив ВВП на душу населення в національних економіках та поліпшення енергоефективності на сприяння інтеграції ВДЕ в інтелектуальну мережу зберігання енергії;

- оцінити вплив валового формування основного капіталу, високотехнологічного експорту сектору ВДЕ та розвитку інтелектуальної мережі;

- визначити зв'язок між цінами на нафту на вдосконалення в секторі ВДЕ та розвиток інтелектуальної мережі.

За статистикою Світового банку, відновлювальні джерела енергії вимірюються як відсоток від загальної виробленої електроенергії. Як було раніше описано, два показники вимірюють вдосконалення інтелектуальної мережі: індекс енергетичної трилемми (ІЕТ) та вироблення відновлюваної електроенергії. Завдяки індексу енергетичної трилемми, всі країни класифікуються за трьома вимірами енергетичної стійкості: енергетична безпека, справедливість та екологічна стійкість. За даними Всесвітньої енергетичної ради, ІЕТ охоплює багатосторонні відносини між державним, приватним сектором, урядом, екологічними показниками тощо [62]. Всі згадані характеристики ІЕТ пов'язані з технологіями Smart Grid. З методологічної точки зору структуру панельних даних, як правило, можна представити так (2.1):

$$\{ y_{it}; X_{it}, \}, i = 1, 2, \dots, t = 1, 2, \dots, T \quad (2.1)$$

де  $x_1, \dots, x_n$  є вектором незалежних змінних панельної моделі;

$i = 1, 2, \dots, t = 1, 2, \dots, T.$

Емпірична модель для оцінки теоретичної концепції (2.1) має такий шаблон (2.2):

$$y_{it} = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \dots + \theta_n x_n + a_i + \varepsilon_{it} \quad (2.2)$$

де  $\theta_0$  – фіксований термін регресії;  
 $\theta_1, \dots, \theta_n$  – вектор розрахункових коефіцієнтів;  
 $a_i$  – випадкова величина, яка має свій специфічний розподіл;  
 $\varepsilon_{it}$  – величина похибки [45].

Завдяки оцінкам по методу найменших квадратів можна отримати послідовні, але неефективні дані, які не дають найменшої можливої дисперсії [25]. Для оцінки ефективності необхідне використання узагальнених найменших квадратів із такою структурою коваріації. Знаючи матрицю коваріації для повного набору величин похибки, можна оцінити відповідні значення випадкового ефекту узагальнених оцінок методом найменших квадратів. Враховуючи вищезазначену концепцію та використовуючи набори даних Світового банку, дані країн ОЕСР, побудовано регресійні моделі для оцінки впливу ключових факторів на сектор відновлюваної енергетики та розвиток Smart Grid для 36 країн ОЕСР. Маючи ІЕТ та ВДЕ, як два показники розвитку Smart Grid, перший з яких обмежений у часовому періоді [45]. Наприклад, згідно з даними Всесвітньої енергетичної ради [62], дані про ІЕТ доступні лише з 2014 року. З іншого боку, відповідна інформація Світового банку доступна лише до 2015 року. З цієї причини для панельних даних групи з 36 країн наведено дані за дворічний період (2014-2015 рр.). При використанні ВДЕ як показника оцінки інтелектуальних мереж використовується модель з більшою кількістю факторів впливу, а набір даних обмежений 2001-2014 роками. Нижче наведемо розширену модель, що побудована для показників ВДЕ та ТІ (2.3):

$$SG_t = F(y_t, ee_t, gfcf_t, mva_t, sva_t, pa_t, hte_t, opt_t, pr_t, tb_t, bf_t, mf_t, tf_t, if_t, eu_t, t_t), \quad (2.3)$$

де  $SG_t$  – показник розвитку Smart Grid, що вимірюється як ВДЕ/ІЕТ;  
 $y_t$  – ВВП на душу населення (у постійних цінах, 2010 дол. США);  
 $ee_t$  – енергоефективність у перерахунку на ВВП на одиницю енергоспоживання (у постійних цінах, 2011 р. дол. США за кг нафтового еквіваленту)  
 $gfcf_t$  – валове формування основного капіталу (% ВВП);  
 $mva_t$  – виробництво, додана вартість (% ВВП);  
 $sva_t$  – послуги, додана вартість (% річного приросту);  
 $pa_t$  – число заявок на патенти резидентами;  
 $hte_t$  – високотехнологічний експорт (% ВВП);  
 $opt_t$  – середні ціни на сиру нафту (дол. США);  
 $pr_t$  – показник прав власності;  
 $tb_t$  – показник податкового навантаження;  
 $bf_t$  – показник свободи бізнесу;  
 $mf_t$  – показник грошової свободи;  
 $tf_t$  – показник свободи торгівлі;  
 $if_t$  – показник інвестицій;  
 $eu_t$  – інституційна модель з точки зору європейської енергетичної політики;  
 $t_t$  – щорічна модель (2001-2014).

При використанні ВДЕ, як індикатора оцінки розвитку Smart Grid, існує невеликий негативний вплив ВВП на душу населення на залежну змінну. Таким чином, збільшення ВВП на душу населення на 10 000 доларів США призводить в середньому (у групі країн ОЕСР) до 3,9% зменшення частки використання ВДЕ. Тобто чим багатше суспільство, тим менше відновлювальних джерел енергії використовується для виробництва електроенергії в групі країн ОЕСР. Одне з можливих пояснень полягає в тому, що багатші економічні системи

можуть дозволити собі приділяти менше уваги екологічним проблемам, а також не бути чутливими до підвищення цін на невідновлювані енергетичні ресурси [45].

Відносний показник валового формування основного капіталу негативно корелює зі структурними змінами в ВДЕ. Збільшення валового накопичення основного капіталу на 1 процентний пункт призводить до зменшення частки ВДЕ на 0,5%. Це можна пояснити тим, що валове формування основного капіталу (за даними Світового банку спочатку відоме як валові внутрішні постійні інвестиції) охоплює широкий спектр напрямків інвестицій, включаючи: поліпшення земель; придбання машин та/або обладнання/будівництво, будівельну діяльність (дороги, залізниці, школи/садочки, офіси, лікарні, приватні будинки, комерційні та промислові споруди). Серед наведених напрямків інвестування не має безпосередньо пов'язаних з використанням ВДЕ.

Значущість сфери послуг, доданої вартості (% річного приросту) пов'язано зі збільшенням частки ВДЕ у процесі використання. Так, по результатам дослідження, показник свободи бізнесу виявився статистично значущим та позитивно корелюючим із збільшенням частки ВДЕ.

Поліпшення інституційних факторів, зокрема: права власності, податкового навантаження, свобода торгівлі, інвестиції виявилось статистично не корельованим із розвитком ВДЕ. Крім того, серед незначних факторів є: виробництво, додана вартість (% ВВП), заявки на патенти резидентів, високотехнологічний експорт (у % ВВП) та ціни на нафту. Інституційна модель ЄС негативно корелює з ВДЕ для економік країн-ОЕСР.

Дані ІЕТ доступні лише з 2014 року, оскільки, коли ми об'єднали два набори даних (дані Світового банку та Енергетичної трилеми), збалансовані дані виявилися лише за період 2014-2015 років.

Таким чином, використання ІЕТ, як індикатора для розвитку Smart Grid демонструє позитивний вплив показника податкового навантаження на покращення та впровадження інтелектуальних мереж. Наявність патентних заявок має позитивний, але незначний вплив на впровадження інтелектуальних

мереж. Інші фактори виявилися статистично незначущими. Ці декілька статистично значущих результатів можна пояснити невеликою вибіркою даних та обмеженим періодом часу. Тому потрібно ще декілька додаткових років, щоб отримати більш статистично обґрунтовані результати, які можна було б використати для надання рекомендацій щодо подальшого розвитку та формування політики, що спрямована на розвиток ВДЕ.

Використання показників виробництва електроенергії з нафти, газу та вугілля (% від загальної кількості) у якості залежної змінної дає невеликий позитивний вплив ВВП на душу населення та виробництво електроенергії з невідновлюваних джерел. Отже, збільшення ВВП на душу населення на 10 000 доларів США призводить в середньому (у групі країн-ОЕСР) до 3,2% збільшення обсягу виробництва невідновлюваної електроенергії. Тобто чим багатше економічні системи, тим більше невідновлюваних джерел енергії вироблялось протягом 2001-2014 рр. у групі країн-ОЕСР. Одне з можливих пояснень полягає в тому, що протягом аналізованого періоду країни ОЕСР не мали достатньої мотивації інвестувати у виробництво відновлюваної електроенергії та більш інтенсивно використовували наявні зручні електростанції [45].

Вимірний відносний показник валового формування основного капіталу позитивно корелює зі структурними змінами у виробництві невідновлюваної електроенергії, а збільшення валових інвестицій в основний капітал на один процентний пункт призводить до збільшення виробництва невідновлюваної електроенергії на 0,41%. Це можна пояснити тим, що інвестиції в машини, закупівлі обладнання/будівництво, в основному здійснювались у секторі невідновлюваної енергетики.

Поліпшення у обробній промисловості (% ВВП) пов'язані зі збільшенням виробництва невідновлюваної електроенергії. Високотехнологічний експорт у відсотках від ВВП позитивно впливає на виробництво електроенергії з нафти, газу та вугілля, а структурне зростання високотехнологічного експорту на 10 % призводить до збільшення обсягу виробництва невідновлюваної електроенергії на 1,7%. Це можна пояснити тим, що протягом досліджуваного періоду 2001-

2014 рр. економіки країн-ОЕСР в основному, орієнтувались на традиційні показники економічного зростання, приділяючи недостатньо уваги стійкості та досягненням. Поліпшення інституційних факторів, зокрема, майнових прав збільшує виробництво невідновлюваної електроенергетики, в той час, як свобода торгівлі зменшує частку ВДЕ. Ці результати також підтверджують гіпотезу про орієнтацію країн ОЕСР на традиційне забезпечення економічного зростання. Більше того, результати опосередковано свідчать про те, що економічне зростання досягається найпростішим шляхом, за рахунок споживання невідновлюваних енергетичних ресурсів. З огляду на цю гіпотезу, цілком зрозуміло, що зміни у сфері прав власності опосередковано сприяють економічному розвитку, та відповідно споживанню невідновлюваної електроенергії. На противагу, значення фактору свободи торгівлі сприяє розвитку сфери послуг в економіці, яка є менш залежною від ресурсів, тому виробництво невідновлюваної електроенергії зменшується.

Енергоефективність, послуги (річний % зростання), заявки на патенти резидентів, ціни на нафту, податкове навантаження, свобода бізнесу, свобода інвестицій та інституційна модель ЄС статистично не корелюють з розвитком невідновлюваної енергетики. Потрібен більш широкий аналіз, щоб пояснити незначущість даних параметрів, які можуть бути поштовхом для майбутніх досліджень та дискусій.

Основним напрямком політики концепції енергетичної трилеми є сприяння швидкому переходу виробництва / споживання енергії до децентралізованих, декарбонізованих та оцифрованих енергетичних систем. Крім того, згідно з останнім доступним звітом Світової енергетичної ради, у 2018 році багато країн ефективно керували тривимірними завданнями та досягали високих результатів. У першу десятку країн за показником впровадження інтелектуальних мереж увійшли Данія, Швейцарія, Швеція, Нідерланди, Великобританія, Словенія, Німеччина, Нова Зеландія, Норвегія та Франція [62]. Усі згадані провідні країни належать до Організації економічного співробітництва та розвитку. З цієї причини і було взято до уваги всю вибірку

ОЕСР для аналізу ключових факторів досягнення Smart Grid конкретною країною чи регіоном. На основі отриманих результатів дослідження доцільно сформулювати наступні рекомендації щодо сприяння політики впровадження інтелектуальних мереж:

1. Політику енергоефективності слід продовжувати розробляти та посилювати, оскільки вона сприяє збільшенню використання ВДЕ та інтелектуальних мереж, одночасно зменшуючи спалення викопного палива. Водночас було б доцільним посилити вимоги до енергоефективності для виробництва енергії, зробивши їх ключовим компонентом енергетичної політики Європи та інших країн ОЕСР.

2. Беручи до уваги вимоги досягнення сталого розвитку, уряди повинні регулювати економічне зростання та приріст енергетичних потреб країн, які можуть бути забезпечені за державної підтримки ВДЕ та впровадження інтелектуальних мереж.

3. Доцільно переглянути інвестиційну політику реального сектору національних економік та переорієнтувати її на заохочення інвестицій у високотехнологічні, екологічно чисті та енергоефективні галузі з акцентом на раціональне використання енергетичних ресурсів та перехід до використання ВДЕ, а також розвиток економіки послуг, дематеріалізації виробництва та споживання.

4. Доцільно посилити вплив інституційних факторів, зокрема свободи бізнесу, торгівлі та грошової свободи на економічні процеси, що сприятиме поступовому переходу від традиційного виробництва енергії до переважного використання зеленої енергії.

Результати дослідження продемонстрували негативний вплив зростання ВВП на душу населення на розвиток ВДЕ та Smart Grid. Натомість було встановлено, що зростання ВВП на душу населення позитивно впливає на розвиток невідновлюваної енергетики та стримує розширення сектору ВДЕ. Можна зробити висновок, що багатші економічні системи менш мотивовані розвивати та застосовувати зелені енергетичні технології, оскільки вони можуть

дозволити собі використовувати обмежену кількість викопного палива та витратити гроші на усунення негативних екологічних наслідків від його спалювання. Крім того, не було доведено позитивного впливу валового накопичення основного капіталу на розвиток ВДЕ та Smart Grid, цей показник має негативний вплив на ВДЕ. Варто підсумувати, що частка сектору ВДЕ у досліджуваних країнах ОЕСР все ще невелика, тому інвестиції в основному спрямовуються на звичайний енергетичний сектор, а також нові технології, які бажано розробляти для цього сектору [69].

### **2.3 Дослідження реалізації проєктів розумних мереж**

Грунтовні дослідженнями проєктної діяльності в енергетичній галузі проводяться центром спільних досліджень «Smart Electricity Systems and Interoperability» [14].

За останніми даними, оновленими 11 грудня 2020 року, бази даних центру спільних досліджень E-DeMa країнами світу запроваджено 527 Smart Grid проєктів, загальний бюджет яких склав 360413 млн євро [14].

Перший Smart grid проєкт був започаткований у 2002 році. З 2004 року кількість проєктів почала збільшуватися. Найбільша кількість започаткованих проєктів припадає на 2009 – 2013 рр. Крім того кожен із започаткованих проєктів має свій термін реалізації.

Аналіз бази даних центру спільних досліджень «Smart Electricity Systems and Interoperability» за 527 Smart Grid проєктами дозволив визначити, що середній термін запровадження проєкту склав майже 3 роки. На базі використання діаграми Ганта нами відображено тривалість проєкту (рис. 2.1).

Мінімальний термін реалізації проєкту склав 1 рік, Максимальний термін реалізації проєкту склав 9 років. До таких проєктів належать: DCN4TSO (Словенія), DS3 - Delivering a Secure, Sustainable Electricity System (Ірландія, Північна Ірландія), Smart grid Creos (Люксембург).



Необхідно зазначити, що такі країни як Німеччина, Данія, Швеція, Велика Британія, Італія, Австрія, Нідерланди, Франція приймають одночасно участь у досить великій кількості проєктів. Так, наприклад Італія взяла участь у 127 проєктах.

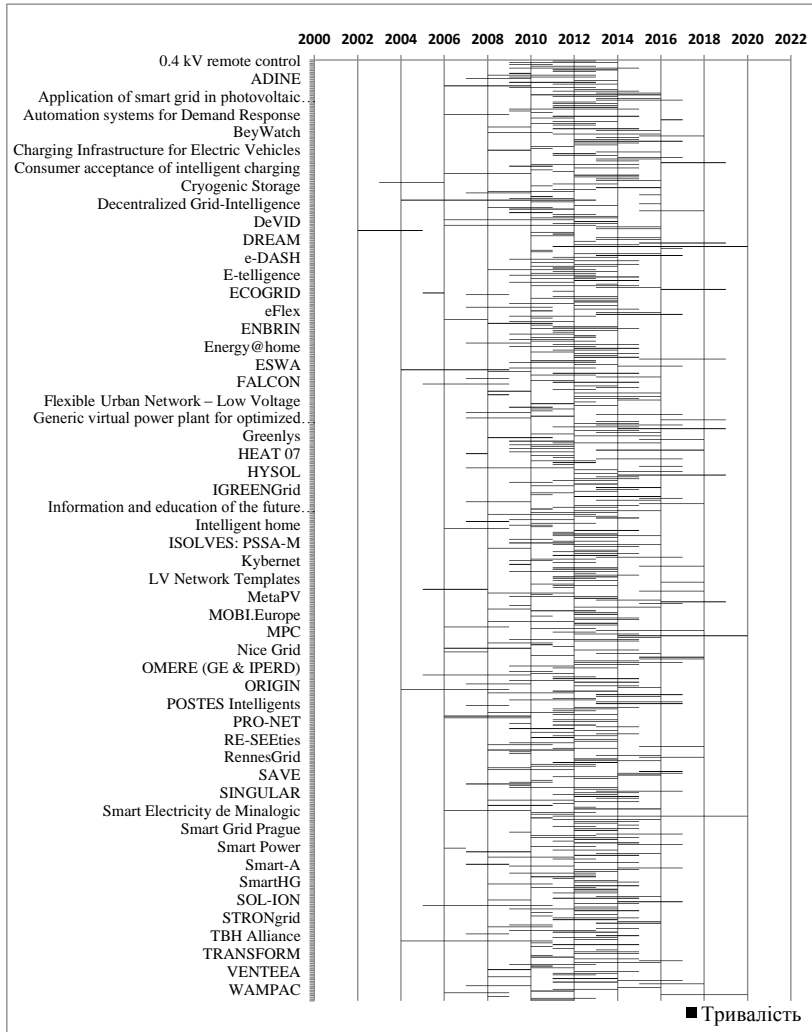


Рисунок 2.1 – Діаграма Ганта. Терміни реалізації проєктів Smart Grid [14]

На рис. 2.2 відображено інвестиції в проєкти Smart Grid.

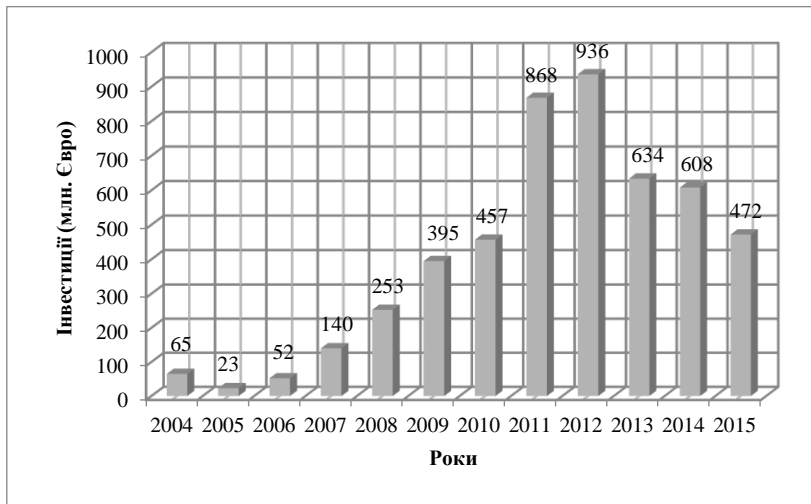


Рисунок 2.2 – Інвестиції (млн. євро) в проєкти Smart Grid [23]

Найбільші обсяги інвестицій серед країн членів ЄС в проєкти Smart Grid здійснено такими країнами як Данія, Німеччина, Іспанія, Франція та Сполучене Королівство. Зокрема темпи фінансування в країнах досить різняться. Такі країни як Франція та Сполучене Королівство серед країн ЄС розпочали одними з перших інвестувати в проєкти Smart Grid. Пізніше інвестування розпочали Бельгія та Швеція [24].

Позитивний досвід країн ЄС у галузі енергетичного менеджменту зазначається у показниках енергомосткості ВВП (рис. 2.3).

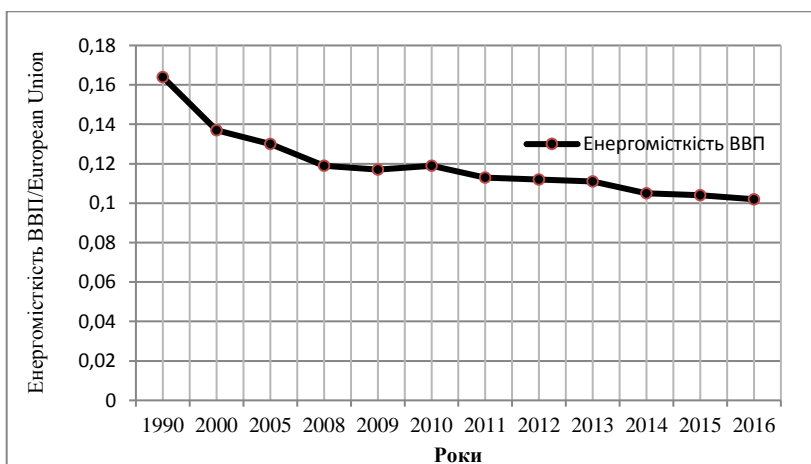


Рисунок 2.3 – Динаміка показників енергомосткості ВВП (ЄС) [64]

Як свідчать результати розрахунків, у 2016 році у порівнянні з 2015 роком показник енергомосткості знизився на 1,9 %. Показники енергомосткості ВВП

зменшилися за 2000 – 2016 роки на 25%. Якщо за базовий рік прийняти 1990 рік, то за 1990 – 2016 роки показники енергомосткості ВВП зменшилися на 38 %. Ці дані підтверджують позитивну динаміку показників енергомосткості ВВП в країнах ЄС. Щодо окремих країн ЄС, наприклад Данія має один з найбільш енергоефективних ВВП у світі. Зокрема, Данія досягла найнижчих витрат на імпорт палива відносно ВВП серед країн ЄС. Також слід зазначити, що довгострокова енергетична стратегія Данії включає таку мету, згідно якої країна повинна стати такою, що не має викопного палива, до 2050 року. Короткострокова стратегія передбачає реалізацію показників ефективності та відновлюваних джерел енергії, які спрямовані на подальше скорочення палива імпорتنних витрат, а також забезпечують основу для розвитку відновлюваного сектору економіки. В контексті забезпечення енергетичної ефективності в Італії здійснено значні інвестиції у розвиток відновлюваних джерел енергії та створено схеми стимулювання, такі як Tariffa Omnicomprensiva та Conto Energia. Перша схема стимулювання передбачає тариф на подачу електроенергії для всіх виробників електроенергії потужністю до 1 МВт. Друга схема стимулювання передбачає урахування фотоелектричних установок та сонячних теплових установок. Незважаючи на сприяння щодо збільшення відновлюваних потужностей в Італії, дана схема має недолік – висока вартість для споживачів.

Загалом за показниками екологічної стійкості всі країни ЄС мають досить високі результати. Але найвищими показниками не лише серед країн ЄС, а й у усьому світі характеризуються Франція та Швеція. Саме ядерні потужності цих країн враховуються як низьковуглецеві джерела енергії.

Так, Франція має енергетичний сектор з низьким рівнем викидів вуглецю порівняно з аналогами в ЄС. В свою чергу в Швеції інвестиції активно спрямовуються на відновлювані джерела та гідроенергетичні проєкти.

## ВИСНОВКИ

Аналіз світового досвіду дозволяє сформуванати також окремі етапи, які необхідно пройти для становлення нової енергетичної системи в Україні на основі масштабного використання енергетичних технологій. До таких етапів доцільно віднести наступні:

- пристосування розподіленої енергогенерації до наявної енергосистеми,
- створення децентралізованої енергетичної мережі,
- створення дисперсної енергосистеми.

Організаційно-комунікаційна схема взаємодії стейкхолдерів сприяє удосконаленню організаційних механізмів, спрямованих на стимулювання та підвищення ефективності проєктів розумних енергомереж, у тому числі на кожному етапі реалізації. Запропонована дорожня карта враховує часові параметри, тобто необхідний для реалізації окремих заходів час, це дозволяє визначити тривалість окремих етапів розгортання розумних енергомереж та формування нової економічної моделі, яка ґрунтується на сучасній ефективній енергетичній мережі з повсюдним впровадженням відновлюваної енергетики для розподіленої енергогенерації, що робить систему більш гнучкою та адаптивною до змін зовнішнього середовища.

З позицій врахування досвіду розгортання розумних енергомереж світовими лідерами у даному напрямку, в основу дорожньої карти для України було покладено гібридну модель, а саме такий підхід який дозволяє частково здійснювати заходи як послідовного, так і паралельного розгортання розумних енергомереж. Прогнозується, що такий підхід в українських реаліях прискорить процес масштабної розбудови розумної енергомережі на території усієї країни або, як мінімум, на рівні окремих її регіонів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Amin S. M. Smart grid Overview issues and opportunities. Advances and challenges in sensing modeling simulation optimization and control. *European Journal of Control*. 2011. № 17(5-6). P. 547–567. DOI:10.3166/EJC.17.547-567.
2. Androniceanu A., Popescu C. R. An inclusive model for an effective development of the renewable energies public sector // *Administratie Si Management Public*. 2017. № 28. P. 81-96.
3. Arteconi A., Hewitt N. J., Polonara, F. Domestic demand-side management (DSM): Role of heat pumps and thermal energy storage (TES) systems // *Applied Thermal Engineering*. 2013. № 51(1-2). P.155-165.
4. Bari A., Jiang J., Saad W., Jaekel A.. Challenges in the Smart Grid Applications: An Overview // *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2014. № 10(2). P. 1-11. DOI:10.1155/2014/974682.
5. Brown S., Pyke D., Steenhof P. Electric vehicles: The role and importance of standards in an emerging market // *Energy Policy*. 2010. № 38(7). P. 3797-3806.
6. Cebula J., Chygryn O., Chayen S. V., Pimonenko T. Biogas as an alternative energy source in Ukraine and Israel: Current issues and benefits // *International Journal of Environmental Technology and Management*. 2018. 21(5-6), 421-438. DOI:10.1504/IJETM.2018.100592.
7. Chovancová, J., & Tej, J. (2020). Decoupling economic growth from greenhouse gas emissions: the case of the energy sector in V4 countries. *Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, 15(2), 235-251.
8. COM/2010/0639. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic, and Social Committee and the Committee of the Regions. Energy 2020: A strategy for competitive, sustainable, and secure energy. 2010. ULR: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52010DC0639> (дата звернення: 16.11.2021 р.).

9. Daki H., El Hannani A., Aqqal A., Haidine A., Dahbi A. Big Data management in smart grid: concepts, requirements, and implementation. // J. Big Data. 2010. № 4(1), P. 13.
10. Destek M. A., Sinha A. Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic co-operation and development countries // Journal of Cleaner Production, 2020. № 242. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.118537.
11. Diamantoulakis P. D., Kapinas V. M., Karagiannidis G. K. Big data analytics for dynamic energy management in smart grids // Big Data Research. 2015. № 2(3). P. 94-101.
12. Didenko I., Volik K., Vasylieva T., Lyeonov S., Antoniuk N. Environmental migration and country security: Theoretical analysis and empirical research // The E3S Web of Conferences. № 2021.234. Article 00010. DOI:10.1051/e3sconf/202123400010.
13. Didenko I., Volik K., Vasylieva T., Lyeonov S., Antoniuk N. Migration, environment, and country safety: Analysis of touchpoints // The E3S Web of Conferences. 2020. №202. Article 03028. DOI:10.1051/e3sconf/202020203028.
14. E-DeMa. (2019, July 12). Retrieved July 14, 2019. European Commission JRC Smart Electricity Systems and Interoperability. ULR: <https://ses.jrc.ec.europa.eu/e-dema> (дата звернення: 16.11.2021 р.).
15. El Amri A., Oulfarsi S., Boutti R., Sahib Eddine A., Hmioui A. Carbon financial markets underlying climate change mitigation, pricing and challenges: Technical analysis // Financial Markets, Institutions and Risks. 2021. № 5(1). P. 5-17. DOI:10.21272/fmir.5(1).5-17.2021.
16. El-Hawary M. E. The Smart GridState-of-the-art and Future Trends // Electric Power Components and Systems. 2014. № 42(3-4). P. 239–250. DOI:10.1080/15325008.2013.868558.
17. El-Hawary, M. E. The smart grid – state-of-the-art and future trends // Electric Power Components and Systems. 2014. № 42(3-4). P. 239-250.

18. Energy roadmap 2050. 2012. 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: 16.11.2021 р.).

19. 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. №. 145. P. 2770–2782.

20. Ericsson G. N. Cyber security and power system communication essential parts of a smart grid infrastructure // *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2010. № 25(3). P.1501-1507.

21. Farhangi H. Smart Grid, *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, Editor(s): Martin A. Abraham, Elsevier, 195-203. 2017. DOI:10.1016/B978-0-12-409548-9.10135-6.

22. Flavin C. Low-carbon energy: A roadmap // *Worldwatch Paper*. 2020. № 178. P. 1-49.

23. Gangale F., Mengolini A., Onyeji I. Consumer engagement: An insight from smart grid projects in Europe // *Energy Policy*. 2013. № 60. P. 621-628.

24. Gangale F., Vasiljevska J., Covrig C. F., Mengolini A., Fulli G. Smart grid projects outlook 2017. Smart grid projects outlook 2017: facts, figures and trends in Europe. 2017. URL: [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106796/sgp\\_outlook\\_2017-online.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106796/sgp_outlook_2017-online.pdf) (дата звернення: 16.11.2021 р.).

25. Hansen C. Generalized Least Squares Inference in Panel and Multilevel Models with Serial Correlation and Fixed Effects // *Journal of Econometrics*. 2007. DOI:140. 670-694.10.1016/j.jeconom.2006.07.011.

26. Hepbasli A. A Key Review on Exergetic Analysis and Assessment of Renewable Energy Resources for a Sustainable Future // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008. № 12. P. 593-661. DOI:10.1016/j.rser.2006.10.001.

27. Hilorme T., Nazarenko I., Okulicz-Kozaryn W., Getman O., Drobyazko S. Innovative model of economic behavior of agents in the sphere of energy conservation // *Academy of Entrepreneurship Journal*. 2018. № 9 (1). P. 1–7.

28. Hossain M.S., Madlool N.A., Rahim N.A., Selvaraj J., Pandey A.K., Khan A.F.. Role of smart grid in renewable energy: An overview // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. № 60. P. 1168-1184.
29. IEC Smart Grid Roadmap. 2010. URL: [www.iec.ch](http://www.iec.ch) (дата звернення: 16.11.2021 р.).
30. IRENA. Renewable Energy Statistics. The International Renewable Energy Agency. 2019. Abu Dhabi.
31. Jonek-Kowalska I. Coal mining in Central-East Europe in perspective of industrial risk // *Oeconomia Copernicana*. 2017. № 8(1). P. 131-143. DOI:10.24136/oc.v8i1.9.
32. Jonek-Kowalska I. Transformation of energy balances with dominant coal consumption in European economies and Turkey in the years 1990-2017 // *Oeconomia Copernicana*. 2019. 10(4). P. 627-647. DOI:10.24136/oc.2019.030.
33. Kahraman C., Kaya I. and Cebi S. A Comparative Analysis for Multiattribute Selection among Renewable Energy Alternatives Using Fuzzy Axiomatic Design and Fuzzy Analytic Hierarchy Process // *Energy*. 2009. № 34. P. 1603-1616. DOI:10.1016/j.energy.2009.07.008.
34. Kasperowicz R., Pinczyński M., Khabdullin A. Modeling the power of renewable energy sources in the context of classical electricity system transformation // *Journal of International Studies*. 2017. № 10(3), 264-272. DOI:10.14254/2071-8330.2017/10-3/19.
35. 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: 17.09.2021 р.).
36. Kolcun M., Rusek K., Valentiny T. Power plants of Poland and Slovakia in aspect of sustainable development. [Elektrownie w polsce i słowacji w aspekcie zrównoważonego rozwoju] // *Polish Journal of Management Studies*. 2019. № 20(2). P. 300-310. DOI:10.17512/pjms.2019.20.2.25.



37. Kolokotsa D. The role of smart grids in the building sector // *Energy and Buildings*. 2016. № 116. P. 703-708. DOI:10.1016/j.enbuild.2015.12.033.

38. Kolosok S., Bilan, Y., Vasylieva, T., Wojciechowski, A., Morawski, M. A Scoping Review of Renewable Energy, Sustainability and the Environment // *Energies*, 2021. № 14, 4490. DOI:10.3390/en14154490.

39. Kolosok S., Myroshnychenko I., Zakharkina L. Open data in electrical energy balancing of Ukraine: Green deal and security aspects // *The CEUR Workshop Proceedings*. 2020. № 2732. P. 270-281. ULR:<http://ceur-ws.org/Vol-2732/20200270.pdf>.

40. Kostel M., Leus D., Cebotarenco A., Mokrushina, A. The sustainable development goals for Eastern partnership countries: impact of institutions. *SocioEconomic Challenges*. 2017. № 1(3). P. 79–90. DOI:10.21272/sec.1(3).79-90.2017.

41. Kubatko O. V. et al. Investments in renewable energy for smart grid technology development // *Mechanism of economic regulation*. 2019. № 2. P. 28 – 37. DOI:10.21272/mer.2019.84.08.

42. Lu Z., Gozgor G. Lau C. K. M., Paramati S. R. The dynamic impacts of renewable energy and tourism investments on international tourism: Evidence from the G20 countries // *Journal of Business Economics and Management*. 2019. № 20(6). P. 1102-1120. DOI:10.3846/jbem.2019.10181.

43. Lund H. Renewable Energy Strategies for Sustainable Development // *Energy*. 2007. № 32. P. 912-919. DOI:10.1016/j.energy.2006.10.017.

44. 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. № 1(12). P. 3891.

45. 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. № 18(4). P. 37-48. DOI:10.21511/ppm.18(4).2020.04.

46. 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: 06.11.2021 р.).
47. Mitic P., Kostic A., Petrovic E., Cvetanovic S. The relationship between co2 emissions, industry, services and gross fixed capital formation in the Balkan countries // Engineering Economics. 2020. 31(4), 425-436. DOI:10.5755/j01.ee.31.4.24833.
48. Noussan M., Roberto R., Nastasi B. Performance indicators of electricity generation at the country level – The case of Italy // Energies. 2018. № 11, P. 650.
49. Ortega-Vazquez M. A., Bouffard F., Silva V. Electric vehicle aggregator/system operator coordination for charging scheduling and services procurement // IEEE Transactions on Power Systems. 2013. № 28(2). P. 1806-1815.
50. Park C., Kim H., Yong T. Dynamic characteristics of smart grid technology acceptance // Energy Procedia. 2017. № 128. P. 187–193.
51. Petrushenko Y., Vadym A., Vorontsova A., Ponomarenko O. Sustainable development goals as a tool for strategic planning in communities: A bibliometric analysis of research. The E3S Web of Conferences, 2020. № 202, Article 03005. DOI:10.1051/e3sconf/202020203005.
52. Samusevych Y., Vysochyna A., Vasylieva T., Lyeonov S., Pokhylko S. Environmental, energy and economic security: Assessment and interaction // The E3S Web of Conferences. 2021. 234, Article 00012. DOI:10.1051/e3sconf/202123400012.
53. Sanchez-Hidalgo M.-A., Cano M.-D. A survey on visual data representation for smart grids control and monitoring // Sustainable Energy Grids, and Networks. 2018. № 16. P. 351-369.
54. Santacana E., Rackliffe G., Tang L., Feng X. Getting smart: With a clearer vision of the intelligent grid, control emerges from chaos // IEEE Power and Energy Magazine. 2010. № 8(2). P. 41-48.
55. Schneider K. P. et al. 2018. Analytic considerations and design basis for the IEEE distribution test feeders // IEEE Transactions on Power Systems. № 33(3). P. 3181-3188.

56. Ten Reasons to Roadmap. URL: [http://www.albrightstrategy.com/ten\\_reasons.html](http://www.albrightstrategy.com/ten_reasons.html) (дата звернення: 06.11.2021 р.).
57. The Heritage Foundation. 2019 Index of Economic Freedom. URL: <https://www.heritage.org/press> (дата звернення: 16.11.2021 р.).
58. Vakulenko I., Fritsak M., Fisunen P. An Organizational Scheme for Scaling Innovative Energy Projects. Smart Grids Case // Marketing and Management of Innovations. 2021. № 3. 149-164.
59. Veolia. Environnement, “Smart grids”. Scientific Chronicles Magazine. 2010. № 18. P. 1-7. URL: [https://www.veolia.com/sites/g/files/dvc2491/files/document/2014/04/18\\_-smart-grids.pdf](https://www.veolia.com/sites/g/files/dvc2491/files/document/2014/04/18_-smart-grids.pdf) (дата звернення: 16.11.2021 р.).
60. Vijayapriya T., Dwarkadas P. K. Smart Grid: An Overview // SciRes. 2011. № 2. P. 305-311.
61. Wang Z., Wang S. Grid power peak shaving and valley filling using vehicle-to-grid systems // IEEE Transactions on Power Delivery. 2013. № 28(3). P. 1822-1829.
62. WEC Energy Trilemma Index. 2019. URL: <https://www.worldenergy.org/work-programme/strategic-insight/assessment-of-energy-climate-change-policy> (дата звернення: 16.11.2021 р.).
63. Вакуленко І. А. Організаційно-економічні засади запровадження розумних енергомереж в енергетичному секторі України : дис. ... канд. екон. наук : 08.00.03. Суми. 2020. 252 с.
64. Гончарук А. Г. Про ефективність розподілу електроенергії в Україні // Економіка України. 2007. № 4. С. 28–36.
65. Методологія формування механізму інноваційного розвитку національної економіки на основі альтернативної енергетики. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/67767> (дата звернення: 17.09.2021 р.).
66. 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.

67. Салашенко Т. І. Порівняльний аналіз стратегічних орієнтирів розвитку електроенергетики в Україні та світі // Інфраструктура ринку. 2016. № 2. С. 100–107.

68. Укренерго (2017). Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн. URL:<https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/Pidvyshhennya-energoefektyvnosti-v-YES.pdf> (дата звернення: 16.11.2021 р.).

69. Федина С. М. Формування біоекономіки в контексті забезпечення сталого розвитку : дис. ... д-ра філософії, спец.: 051. Суми. 2021. 232 с.

70. Хаустова В. Є. Теоретико-методичні засади побудови дорожніх карт як сучасного інструменту стратегічного планування соціально-економічних процесів // Бізнес Інформ. 2016. № 8. С. 140–153.

71. Ярмош О. В. Розробка дорожньої карти інноваційного проекту як інструмент стратегічного менеджменту // Вісник Хмельницького національного університету. 2014. № 6(1). С. 149–152.