

Д. В. Подольчук,
аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7370-121X>

DOI: 10.32702/2306-6814.2023.11.96

МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРАЦІЇ РИНКУ ВДЕ УКРАЇНИ ДО СПІЛЬНОГО РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЄС

D. Podolchuk,
Postgraduate student, Taras Shevchenko National University of Kyiv

MODELLING THE INTEGRATION OF UKRAINE RENEWABLE ENERGY MARKET INTO THE COMMON ELECTRICITY MARKET OF THE EU

У статті представлено комплексний аналіз трьох сценаріїв інтеграції відновлюваної енергетики в Україні з використанням підходу системної динаміки. Розглядаються наступні сценарії: агресивна політична підтримка, ринковий розвиток та повільна конвергенція. Використано дані про встановлену потужність відновлюваної енергетики, інвестиції та попит з різних джерел для побудови та калібрування моделі системної динаміки. Модель дозволяє оцінити потенційні результати та наслідки кожного сценарію. Аналіз фокусується на періоді з 2021 по 2030 рік, надаючи уявлення про динаміку ринку відновлюваної енергетики в Україні та його інтеграцію до ринку ЄС за різних умов. Результати показують, що сценарій агресивної політичної підтримки призводить до найбільшого зростання встановленої потужності, інвестицій та попиту на відновлювану енергію. Цей сценарій виграє від сильної політичної підтримки, значних фінансових стимулів та амбітних цілей у сфері відновлюваної енергетики. Ринковий сценарій демонструє помірне зростання, зумовлене ринковими силами, такими як зниження вартості технологій та вподобання споживачів. На противагу цьому, сценарій повільної конвергенції демонструє повільніше зростання через обмежену політичну підтримку та затримки у приведенні нормативно-правової бази у відповідність до політики та директив ЄС.

This paper comprehensively analyses three scenarios for renewable energy integration in Ukraine using a system dynamics approach. The scenarios considered are: aggressive policy support, market-driven development, and slow convergence. These scenarios represent a range of potential pathways for developing the renewable energy sector in Ukraine, from strong political support to market-driven growth and slow policy alignment with the EU.

The study utilises data on installed renewable energy capacity, investments, and demand from various sources to build and calibrate a system dynamics model. The model allows for assessing the potential outcomes and implications of each scenario. The analysis focuses on the period from 2021 to 2030, providing insights into the dynamics of the renewable energy market in Ukraine and its integration into the EU market under different conditions.

Results indicate the aggressive policy support scenario leads to the highest growth in installed renewable energy capacity, investments, and demand. This scenario benefits from strong political support, substantial financial incentives, and ambitious renewable energy goals. The market-driven

scenario shows moderate growth, driven by market forces such as decreasing technology costs and consumer preferences. In contrast, the slow convergence scenario exhibits slower growth due to limited policy support and delays in aligning the regulatory framework with EU policies and directives.

Furthermore, the analysis reveals that the alignment of Ukraine's regulatory framework with EU policies and directives improves significantly under the aggressive policy support scenario, followed by the market-driven and slow convergence scenarios. Strong political support and incentives play a crucial role in accelerating the harmonisation of regulations, while market forces alone result in moderate alignment. Slow progress in policy harmonization and limited support may hinder the pace of alignment.

The research provides valuable insights into the dynamics of the renewable energy market in Ukraine and its integration into the EU market. The findings emphasize the importance of proactive policy support, market dynamics, and regulatory alignment for the successful development of the renewable energy sector in Ukraine. The study's methodology and results can inform policymakers, investors, and stakeholders in making decisions regarding renewable energy integration and sustainable energy transitions.

Ключові слова: Відновлювана енергетика, Україна, Сценарії розвитку, Агресивна політична підтримка, Інтеграція у спільний ринок ЄС.

Key words: Renewable energy, Ukraine, Development scenarios, Aggressive political support, Integration into the EU common market.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Розвиток відновлюваної енергетики є актуальним завданням для багатьох країн, включаючи Україну. Відмова від традиційних джерел енергії та перехід до екологічно чистих альтернатив має вирішальне значення для сталого розвитку та забезпечення енергетичної безпеки. Україна також прагне знизити свою залежність від імпорту енергії та прискорити розвиток відновлюваної енергетики.

Одним із стратегічних кроків на шляху до енергетичної трансформації є інтеграція ринку відновлюваної енергетики України до спільного ринку Європейського Союзу (ЄС). Це відкриває широкі можливості для співпраці з європейськими партнерами, обміну технологіями та залучення інвестицій.

В контексті цілей сталості та декарбонізації енергетики, Україна має великий потенціал у сфері відновлюваної енергетики. Використання сонячної, вітрової та біоенергетики може стати ключовим чинником у забезпеченні сталого розвитку, зменшенні викидів парникових газів та поліпшенні якості довкілля.

Однак, інтеграція відновлюваної енергетики до спільного ринку ЄС вимагає ретельного планування, політичної підтримки та регуляторного узгодження. Використання найкращих практик, залучення інвестицій та розвиток необхідної інфраструктури є ключовими факторами успішної інтеграції.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У більшості досліджень на дану тематику акцент ставиться на моделюванні та аналізі регіональної інте-

рації електроенергетичних ринків. Наприклад, у [6] запропонована модель інтеграції електроенергетичних ринків на основі схеми "market coupling" (парування ринків), яка базується на методології моделювання системної динаміки на прикладі національних ринків Колумбії та Еквадору. Ця модель дозволяє вивчити можливі взаємодії між національними ринками та експериментувати з правилами гри, необхідними для регіональної інтеграції електроенергетичних ринків. Зокрема, результати дослідження вказують на потенційні переваги такої інтеграції, хоча вони також відзначають, що варто подальше дослідження деяких обмежень та викликів. У [8] увагу зосереджено на багатоагентній симуляції конкурентних електроенергетичних ринків з метою моделювання європейського ринку. Автори аналізують реструктуризацію електроенергетичного ринку та його еволюцію на регіональному та континентальному масштабі, а також зростаючу необхідність адекватної інтеграції джерел відновлюваної енергії. Останнім часом зростає кількість робіт, які зосереджуються на моделюванні електроенергетичних ринків за допомогою системної динаміки, але кожне джерело розглядає різні аспекти цього питання. [9] присвячено огляду моделей системної динаміки в контексті дерегульованих ринків, тоді як друге джерело [5] застосовує системну динаміку для аналізу стратегій ціноутворення та споживання енергії на іранському ринку. [11] пропонує гібридну модель симуляції, яка поєднує агентне моделювання та системну динаміку для вивчення поведінки усіх гравців на електроенергетичному ринку. [7] пропонує альтернативні методи для покращення моделей системної динаміки в плануванні розширення генерації в конкурентному середовищі, зокрема представлення олігополії та ринкової влади. У цілому, кожне згадане дослідження надає важливі доповнення до загального розуміння мо-

Таблиця 1. Ключові змінні моделі СД

№	Змінна	Пояснення
1.	Ціни на енергію	Ціни на електроенергію, вироблену з відновлюваних і невідновлюваних джерел, впливають на конкурентоспроможність відновлюваної енергетики на ринку і впливають на впровадження відновлюваних технологій.
2.	Попит	Попит на електроенергію, зумовлений такими факторами, як зростання населення, економічний розвиток та заходи з енергоефективності, впливає на потребу в потужностях відновлюваної енергетики.
3.	Пропозиція	Наявність відновлюваних джерел енергії (таких як сонячна, вітрова, гідроенергія та біомаса) та їх виробничі потужності впливають на динаміку ринку та потенціал для інтеграції відновлюваної енергетики.
4.	Інвестиції	Фінансові інвестиції в технології відновлюваної енергетики, інфраструктуру та дослідження і розробки відіграють вирішальну роль у розвитку сектору відновлюваної енергетики.
5.	Регуляторна політика	Державна політика, така як субсидії, "зелені" тарифи, цільові показники розвитку відновлюваної енергетики та ціноутворення на викиди вуглецю, може суттєво впливати на зростання та конкурентоспроможність ринку відновлюваної енергетики.
6.	Витрати на технології	Вартість технологій відновлюваної енергетики, таких як сонячні панелі, вітрогенератори та системи зберігання енергії, впливає на їх впровадження та проникнення на ринок.
7.	Інфраструктура мережі	Пропускна здатність, надійність та взаємозв'язок електромережі впливають на інтеграцію відновлюваних джерел енергії та їхню здатність задовольняти попит.
8.	Доступ до ринку	Легкість виходу на ринок для виробників відновлюваної енергії та рівень конкуренції на ринку можуть впливати на зростання сектору відновлюваної енергетики.

Джерело: побудовано автором на основі [5; 6; 7; 8; 9; 11].

делювання електроенергетичних ринків за допомогою системної динаміки. Вони надають цінний огляд того, як системна динаміка може бути застосована в різних сценаріях моделювання електроенергетичних ринків.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Метою статті є оцінка впливу політичної підтримки та регуляторного узгодження на інтеграцію ринку відновлюваної енергетики України до спільного ринку ЄС в контексті глобальної трансформації економічної системи за допомогою моделі системної динаміки.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Інтеграція сектору відновлюваної енергетики України до спільного ринку ЄС є складним процесом, в якому беруть участь багато учасників, включаючи політиків, виробників енергії, споживачів та регуляторні органи. Ринкові сили та нормативно-правова база, що регулюють функціонування енергетичного сектору, взаємопов'язані, і їхня взаємодія може призвести до непередбачуваних наслідків. Модель системної динаміки (СД) може врахувати ці взаємодії та допомогти особам, які приймають рішення, визначити потенційні пастки, зрозуміти поведінку системи та оцінити альтернативні варіанти політики.

У цьому контексті модель СД відображає ключові елементи енергетичного ринку, такі як пропозиція, попит, інвестиції у відновлювані технології та вплив регулювання. Імітуючи поведінку цих елементів у часі, мо-

дель може допомогти передбачити виклики та можливості, пов'язані з інтеграцією ринку відновлюваної енергетики України до спільного ринку ЄС.

Крім того, модель СД дозволяє проводити сценарний аналіз для дослідження впливу різних варіантів політики, ринкових умов та зовнішніх факторів. Це забезпечує краще розуміння потенційних результатів і компромісів різних стратегій.

Варто відзначити, що для досягнення поставленого у дослідженні завдання можливо також використати декілька підходів, зокрема моделі часткової та загальної ринкової рівноваги. Кожен з цих підходів має свої переваги та вади.

Однією з основних переваг моделювання СД є її здатність відображати складні взаємодії, петлі зворотного зв'язку та нелінійні зв'язки між змінними, забезпечуючи більш повне уявлення про динаміку енергетичного ринку. На противагу цьому, макроекономічні моделі часто припускають лінійні взаємозв'язки і спрощують складні взаємодії для зручності, що може неадекватно відображати реальну динаміку енергетичного ринку.

Моделі СД добре аналізують поведінку та динаміку системи, враховуючи затримки та ефекти зворотного зв'язку, які можуть впливати на реакцію системи на зміни в політиці або зовнішні фактори. Макроекономічні мо-

делі, з іншого боку, зазвичай зосереджуються на результатах рівноваги, з меншим акцентом на розумінні поведінки та динаміки системи, що лежить в основі.

Сценарний аналіз — це ще одна сфера, де моделі системної динаміки перевершують макроекономічні моделі, оскільки вони дозволяють детально дослідити різні варіанти політики та зовнішні фактори. Хоча аналіз сценаріїв можливий і в макроекономічних моделях, він може бути обмеженим за обсягом через припущення щодо рівноваги та спрощення моделей.

Незважаючи на переваги, моделі СД можуть бути більш складними для калібрування та перевірки через їхню складність та потребу в значному обсязі даних. Макроекономічні моделі, з їх більш сфокусованим охопленням та спрощеними припущеннями, можуть бути легшими для калібрування та перевірки.

На початковому етапі побудови моделі СД нами було розглянуто такі ключові змінні, які впливають на ринок відновлюваної енергетики. Ці змінні, на нашу думку, відіграють вирішальну роль в інтеграції ринку відновлюваної енергетики України до спільного ринку ЄС.

Для розробки моделі системної динаміки для аналізу інтеграції ринку відновлюваної енергетики України до спільного ринку ЄС необхідний мінімальний набір запасів, що відображає основну динаміку системи. Ми пропонуємо наступні запаси та відповідні їм потоки.

Встановлена потужність відновлюваної енергетики (IREC): Відображає загальну потужність виробництва енергії з відновлюваних джерел (сонце, вітер, гідроенергія, біомаса) в Україні.

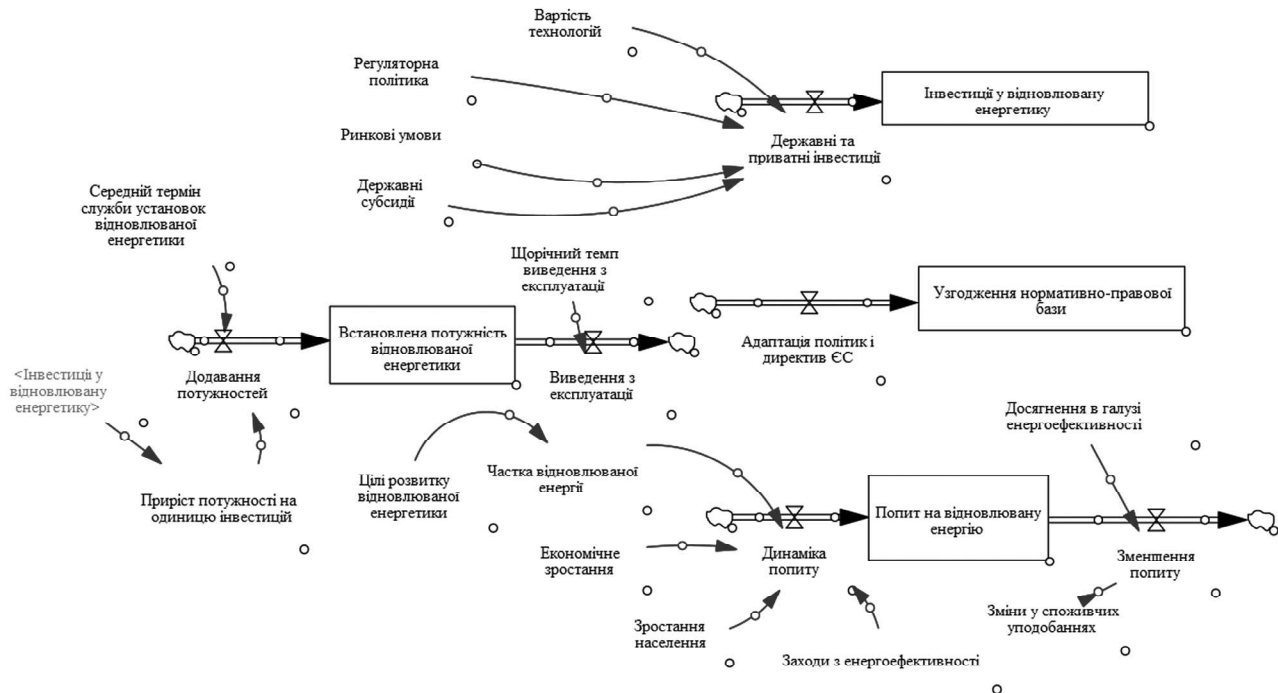


Рис. 1. Діграма накопичень та потоків для моделювання

Джерело: побудовано автором у VENSIM.

— Вхідні потоки: Додавання потужностей, зумовлене інвестиціями у проекти з відновлюваної енергетики.

— Відтік: Виведення з експлуатації або ліквідація старих установок відновлюваної енергетики.

$d(IREC)/dt = \text{Введення потужностей} - \text{Виведення з експлуатації}$ (1).

Введення потужностей = Річні інвестиції у відновлювану енергетику $\times$ Введення потужностей на одиницю інвестицій (2).

Виведення з експлуатації = $IREC \times \text{річний темп виведення з експлуатації}$ (3).

Інвестиції у відновлювану енергетику (IRE): Відображають фінансові ресурси, виділені на проекти та технології відновлюваної енергетики в Україні.

— Вхідні потоки: Державні та приватні інвестиції у відновлювану енергетику, на які впливають такі фактори, як регуляторна політика, ринкові умови та вартість технологій.

— Відтік: Відсутній, оскільки цей запас акумулює всі інвестиції, здійснені протягом певного часу.

$d(IRE)/dt = \text{Державні інвестиції у відновлювану енергетику} + \text{Приватні інвестиції у відновлювану енергетику}$ (4).

Державні інвестиції у відновлювану енергетику = Державні субсидії на відновлювану енергетику $\times$ Вплив регуляторної політики $\times$ Вплив ринкових умов (5).

Приватні інвестиції у відновлювану енергетику = Приватні інвестиції $\times$ Вплив регуляторної політики $\times$ Вплив ринкових умов (6).

Попит на відновлювану енергію: Відображає загальний попит на електроенергію, який задовольняється за рахунок відновлюваних джерел енергії в Україні.

— Вхідні потоки: Збільшення попиту на відновлювану енергію, зумовлене такими факторами, як економічне зростання, зростання населення та заходи з енергоефективності.

— Відтік: Зменшення попиту на відновлювану енергію, що може статися через такі фактори, як зміни у споживчих уподобаннях або досягнення в галузі енергоефективності.

$d(BDE)/dt = \text{Збільшення ВДЕ} - \text{Зменшення ВДЕ}$ (7).

Збільшення ДВДЕ = (Економічне зростання + Зростання населення) $\times$ Частка відновлюваної енергії $\times$ (1 — Заходи з енергоефективності) (8).

Зменшення ДВДЕ = ДВДЕ $\times$ Споживчі уподобання (9).

Узгодження нормативно-правової бази (RFA): Відображає прогрес у приведенні нормативно-правової бази України у відповідність до політики та директив ЄС у сфері відновлюваної енергетики.

— Вхідні потоки: Прийняття або адаптація політик і директив ЄС до нормативно-правової бази України.

— Відтік: Відсутній, оскільки цей запас акумулює прогрес, досягнутий на шляху до гармонізації з плином часу.

$d(RFA)/dt = \text{Прийняття політик та директив ЄС}$ (10).

Прийняття політик та директив ЄС = Рівень прийняття політики ЄС $\times$ (Кількість політик та директив ЄС — RFA) (11).

Річні інвестиції у відновлювану енергетику (AI_RE)

Вибір цих змінних як запасів ґрунтується на їх здатності відображати основну динаміку ринку відновлюваної енергетики та процесу інтеграції зі спільним ринком ЄС. Встановлена потужність відновлюваної енергетики та попит на відновлювану енергію відображають динаміку попиту та пропозиції, тоді як інвестиції у відновлювану енергетику відображають фінансові ресурси, необхідні для розвитку сектору відновлюваної енергетики. Узгодження нормативно-правової бази має вирішальне значення для аналізу наслідків гармонізації політики між Україною та ЄС, що є ключовим аспектом ринкової інтеграції. Зосереджуючись на цих запасах і відповідних потоках, модель системної динаміки може нада-

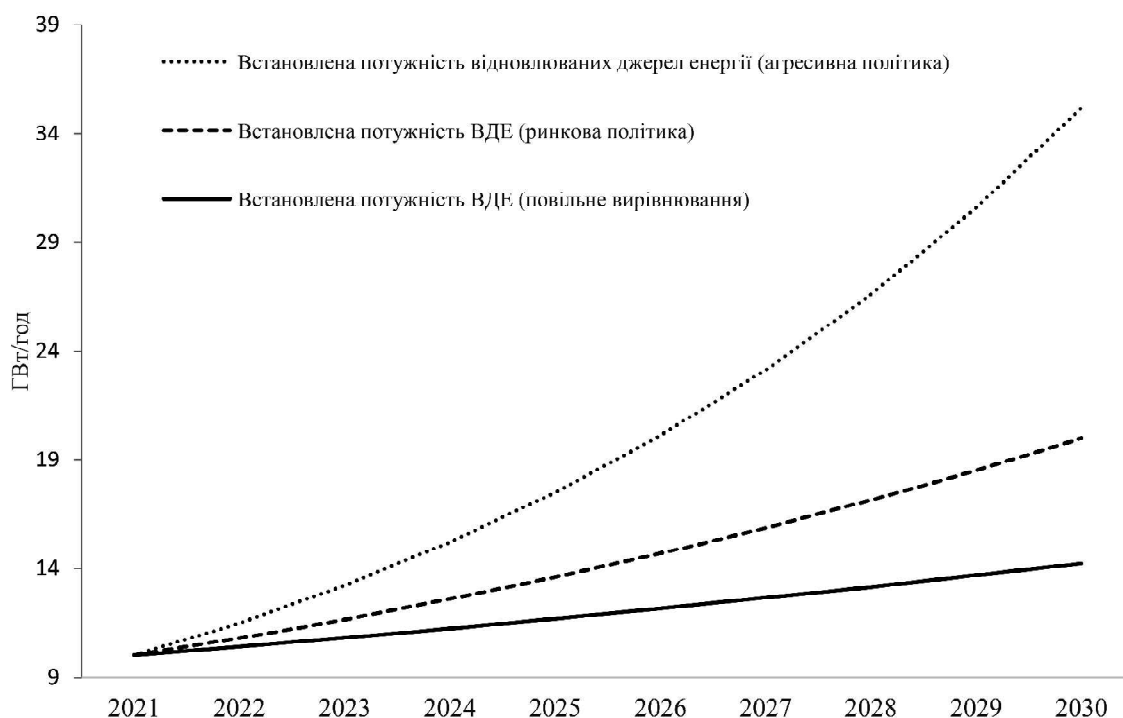


Рис. 2. Сценарії для встановленої потужності ВДЕ

Джерело: побудовано автором.

ти цінну інформацію про процес інтеграції українського ринку відновлюваної енергетики до спільного ринку ЄС.

Побудована модель (рис. 1) може бути використана для аналізу динаміки ринку відновлюваної енергетики в Україні та його інтеграції до спільного ринку ЄС за різними сценаріями.

Нами розглядається три сценарії для моделювання:

— Сценарій агресивної політичної підтримки: Цей сценарій моделює вплив потужної політичної підтримки з боку українського уряду та ЄС, включаючи значні фінансові стимули, амбітні цілі у сфері відновлюваної енергетики та прискорене узгодження нормативно-правової бази. Цей сценарій обрано для вивчення потенційних результатів проактивного підходу до інтеграції відновлюваної енергетики та його впливу на інвестиції, зростання потужностей та попит.

— Ринковий сценарій: Цей сценарій моделює вплив ринкових сил на сектор відновлюваної енергетики з мінімальним втручанням з боку держави. Такі фактори, як зниження вартості технологій, ціни на енергоносії та вподобання споживачів, стимулюють зростання відновлюваної енергетики в цьому сценарії. Цей сценарій обрано для аналізу можливого розвитку сектору відновлюваної енергетики за ринкових умов та його наслідків для регуляторного наближення до ЄС.

— Сценарій повільного наближення: Цей сценарій моделює ситуацію, коли прийняття політик і директив ЄС відбувається повільно через політичні, правові або інституційні обмеження. Повільне узгодження може призвести до затримки інвестицій, обмеженого зростання потужностей відновлюваної енергетики та повільнішого зростання попиту на відновлювану енергію. Цей сценарій обрано для оцінки ризиків і наслідків затримки з узгодженням законодавства на ринку відновлюваної енергетики та процесу інтеграції.

Ці сценарії були обрані тому, що вони представляють ряд потенційних варіантів розвитку подій у секторі відновлюваної енергетики, від потужної політичної підтримки до ринкового зростання та повільного узгодження нормативно-правової бази. Моделюючи та аналізуючи ці сценарії, модель СД може надати цінну інформацію про динаміку ринку відновлюваної енергетики України та його інтеграцію до спільного ринку ЄС за різних умов.

Дані для моделі системної динаміки були зібрані з різних джерел [1; 2; 3; 4; 10], щоб забезпечити всебічне і точне представлення ринку відновлюваної енергетики в Україні та його інтеграцію до спільного ринку ЄС. Використовуючи дані з цих джерел, модель системної динаміки може забезпечити надійний і достовірний аналіз ринку відновлюваної енергетики в Україні та його інтеграції до спільного ринку ЄС за різних сценаріїв. Використання декількох джерел даних також дозволяє виявити прогалини в даних та потенційні сфери для майбутніх досліджень.

На основі зібраних даних були визначені початкові оцінки параметрів моделі, таких як темпи інвестицій, природи потужностей на одиницю інвестицій, середні терміни експлуатації установок та темпи прийняття політик. Ці початкові оцінки були отримані на основі історичних тенденцій, експертних висновків або відповідної літератури.

Початкові оцінки параметрів були введені в модель, а результати моделі були порівняні з історичними даними та реальними спостереженнями. Якщо результати моделі значно відхилялися від спостережуваних даних, параметри ітеративно коригувалися до тих пір, поки результати моделі не ставали близькими до історичних даних. Цей процес включав використання методів оптимізації, аналізу чутливості та експертних оцінок для точного налаштування параметрів.

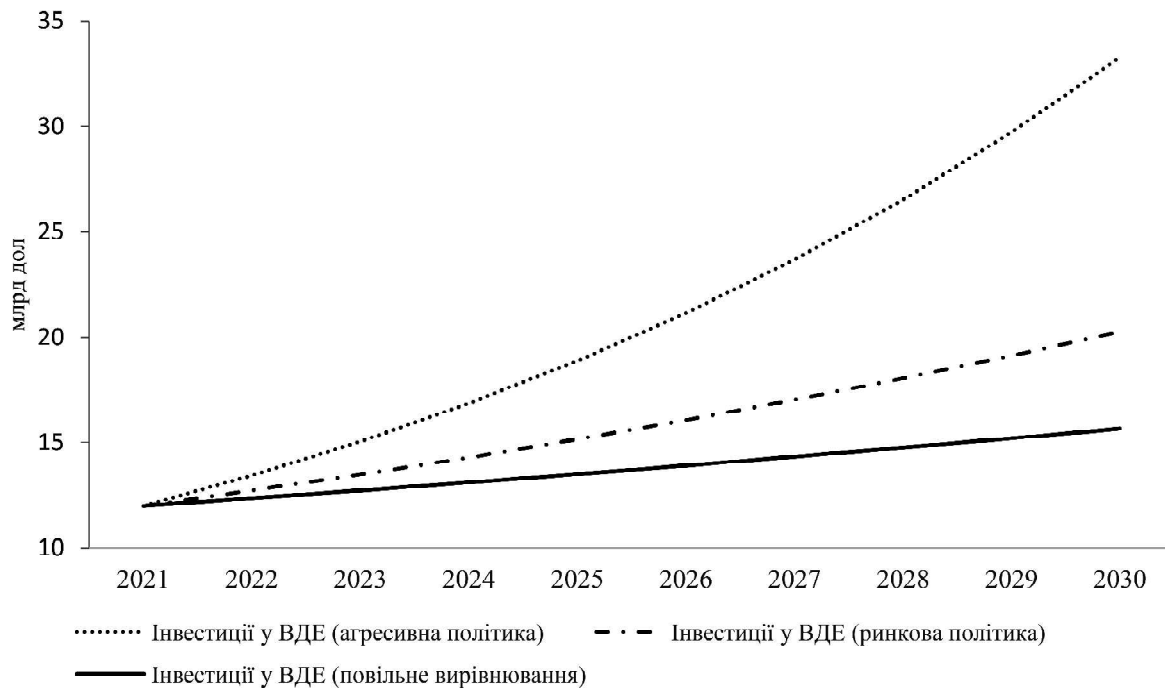


Рис. 3. Сценарії для інвестицій у ВДЕ

Джерело: побудовано автором.

Після того, як модель була відкалібрована, вона була перевірена шляхом порівняння її результатів з додатковими наборами даних або тематичними дослідженнями, які не використовувалися під час процесу калібрування. Цей крок гарантував, що відкалібрована модель може точно відтворювати поведінку ринку відновлюваної енергетики в Україні та його інтеграцію до спільного ринку ЄС за різних сценаріїв.

На основі отриманих даних для встановленої потужності ВДЕ ми можемо проаналізувати результати та порівняти три сценарії: Агресивна політика підтримки, ринкова підтримка та повільне вирівнювання. Дані представляють встановлену потужність відновлюваної енергетики (у ГВт) для кожного сценарію з 2021 по 2030 рік.

За сценарієм "Агресивна політика підтримки" встановлена потужність ВДЕ значно зростає протягом періоду, збільшуючись з 10 ГВт у 2021 році до 35,18 ГВт у 2030 році. Це означає зростання на 251,79% за десятирічний період. Таке зростання зумовлене потужною політичною підтримкою та стимулами, що призводить до швидкого розширення використання відновлюваних джерел енергії в Україні.

За ринковим сценарієм встановлена потужність ВДЕ зростає помірними темпами, збільшуючись з 10 ГВт у 2021 році до 19,99 ГВт у 2030 році. Це відповідає зростанню на 99,9% за десятирічний період. У цьому сценарії ринкові сили та вподобання споживачів відіграють значну роль у визначенні зростання потужностей відновлюваної енергетики.

За сценарієм повільного вирівнювання встановлена потужність ВДЕ зростає найповільніше — з 10 ГВт у 2021 році до 14,23 ГВт у 2030 році. Це на 42,31% більше за десятирічний період. Повільніше зростання є результатом обмеженої політичної підтримки та повільного прогресу у приведенні нормативно-правової бази Украї-

ни у відповідність до політики та директив ЄС у сфері відновлюваної енергетики.

Порівнюючи три сценарії, можна помітити, що сценарій "Агресивна політика підтримки" призводить до найбільш значного зростання встановленої потужності ВДЕ, за яким слідує сценарій "Ринковий розвиток" та сценарій "Повільне узгодження". Це свідчить про те, що сильна політична підтримка та стимули можуть суттєво прискорити зростання потужностей відновлюваної енергетики в Україні, тоді як ринкові сили можуть призвести до помірного зростання. І навпаки, повільний прогрес в узгодженні політики та обмежена підтримка можуть призвести до відносно стагнаційного зростання потужностей відновлюваної енергетики.

Результати моделювання для інвестицій у ВДЕ подано на Рис. 3.

У випадку агресивного сценарію підтримки політики інвестиції у відновлювану енергетику зростають швидкими темпами, збільшуючись з 12 мільярдів у 2021 році до 33,28 мільярдів у 2030 році. Це становить 177,31% зростання за десятирічний період. Значне зростання інвестицій можна пояснити агресивною політичною підтримкою та стимулами, які заохочують державний та приватний сектори вкладати значні кошти у проекти з відновлюваної енергетики.

За ринковим сценарієм інвестиції у відновлювану енергетику зростають помірними темпами, збільшуючись з 12 мільярдів у 2021 році до 20,27 мільярдів у 2030 році. Це відповідає зростанню на 68,95% за десятирічний період. У цьому сценарії ринкові сили та вподобання споживачів відіграють значну роль у визначенні рівня інвестицій у проекти з відновлюваної енергетики.

За сценарієм повільного вирівнювання інвестиції у відновлювану енергетику зростають найповільніше — з 12 млрд у 2021 році до 15,66 млрд у 2030 році. Це на

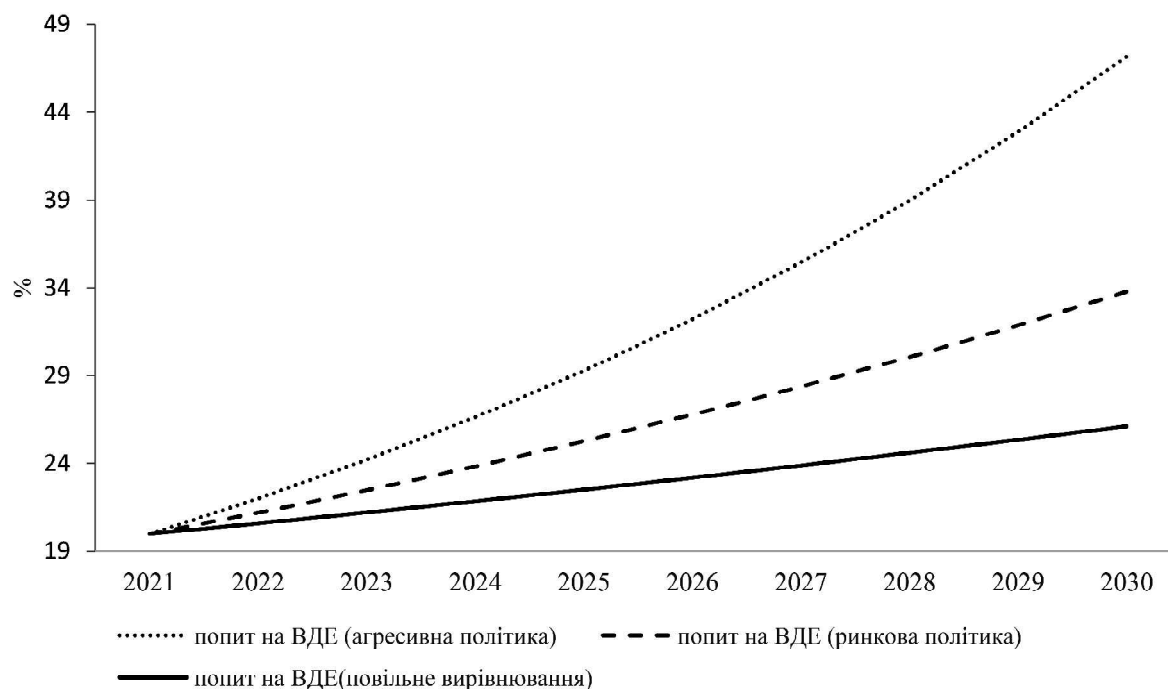


Рис. 4. Сценарії для попиту на ВДЕ

Джерело: побудовано автором.

30,47% більше за десятирічний період. Таке повільне зростання є результатом обмеженої політичної підтримки та повільного прогресу у приведенні нормативно-правової бази України у відповідність до політики та директив ЄС у сфері відновлюваної енергетики.

Порівнюючи три сценарії, ми бачимо, що сценарій "Агресивна політика підтримки" призводить до найбільшого зростання інвестицій у відновлювану енергетику, за яким слідує сценарій "Ринкова політика" та сценарій "Повільне узгодження". Це свідчить про те, що сильна політична підтримка та стимули можуть суттєво прискорити інвестиції у проекти з відновлюваної енергетики в Україні, в той час як лише ринкові сили можуть призвести до помірної зростання інвестицій. І навпаки, повільний прогрес в узгодженні політики та обмежена підтримка можуть призвести до відносно стагнаційного зростання інвестицій.

На основі даних Рис. 4. ми можемо проаналізувати результати та порівняти три сценарії / Дані представляють попит на відновлювану енергію (у %) для кожного сценарію з 2021 по 2030 рік.

У сценарії "Агресивна політика підтримки" попит на відновлювану енергію швидко зростає, збільшуючись з 20 ТВт-год у 2021 році до 47,16 ТВт-год у 2030 році. Це становить 135,79% зростання за десятирічний період. Значне зростання попиту можна пояснити активною політичною підтримкою та стимулами, які заохочують споживачів до використання відновлюваних джерел енергії та сприяють впровадженню заходів з енергоефективності.

За ринковим сценарієм попит на відновлювану енергію зростає помірними темпами, збільшуючись з 20 ТВт-год у 2021 році до 33,79 ТВт-год у 2030 році. Це відповідає зростанню на 68,95% за десятирічний період. У цьому сценарії ринкові сили та вподобання споживачів відіграють значну роль у визначенні зростання попиту на відновлювану енергію.

За сценарієм повільного вирівнювання попит на відновлювану енергію зростатиме найповільніше — з 20 ТВт-год у 2021 році до 26,1 ТВт-год у 2030 році. Це на 30,48% більше за десятирічний період. Повільне зростання є результатом обмеженої політичної підтримки та повільного прогресу у приведенні нормативно-правової бази України у відповідність до політики та директив ЄС у сфері відновлюваної енергетики.

Отже, ми бачимо, що сценарій агресивної політичної підтримки призводить до найбільшого зростання попиту на відновлювану енергію, за яким слідує сценарій ринкової підтримки та сценарій повільного узгодження. Це свідчить про те, що сильна політична підтримка та стимули можуть суттєво прискорити зростання попиту на відновлювану енергію в Україні, тоді як ринкові сили можуть призвести до помірної зростання попиту. І навпаки, повільний прогрес в узгодженні політики та обмежена підтримка можуть призвести до відносно стагнаційного зростання попиту.

Що стосується вирівнювання нормативно-правової бази України та ЄС у сфері ВДЕ, то в агресивному сценарії узгодженість нормативно-правової бази України з політикою та директивами ЄС у сфері відновлюваної енергетики стрімко зростає: з 50% у 2021 році до 77,57% у 2030 році. Це на 55,13% більше за десятирічний період. Таке стрімке зростання узгодженості можна пояснити активною політичною підтримкою та стимулами, які заохочують впровадження політик і директив ЄС в українську нормативно-правову базу.

За сценарієм "Ринкова політика" узгодженість української регуляторної бази зростає помірними темпами, збільшуючись з 50% у 2021 році до 65,24% у 2030 році. Це відповідає зростанню на 30,48% за десятирічний період. У цьому сценарії ринкові сили та вподобання споживачів відіграють значну роль у визначенні темпів регуляторного узгодження.

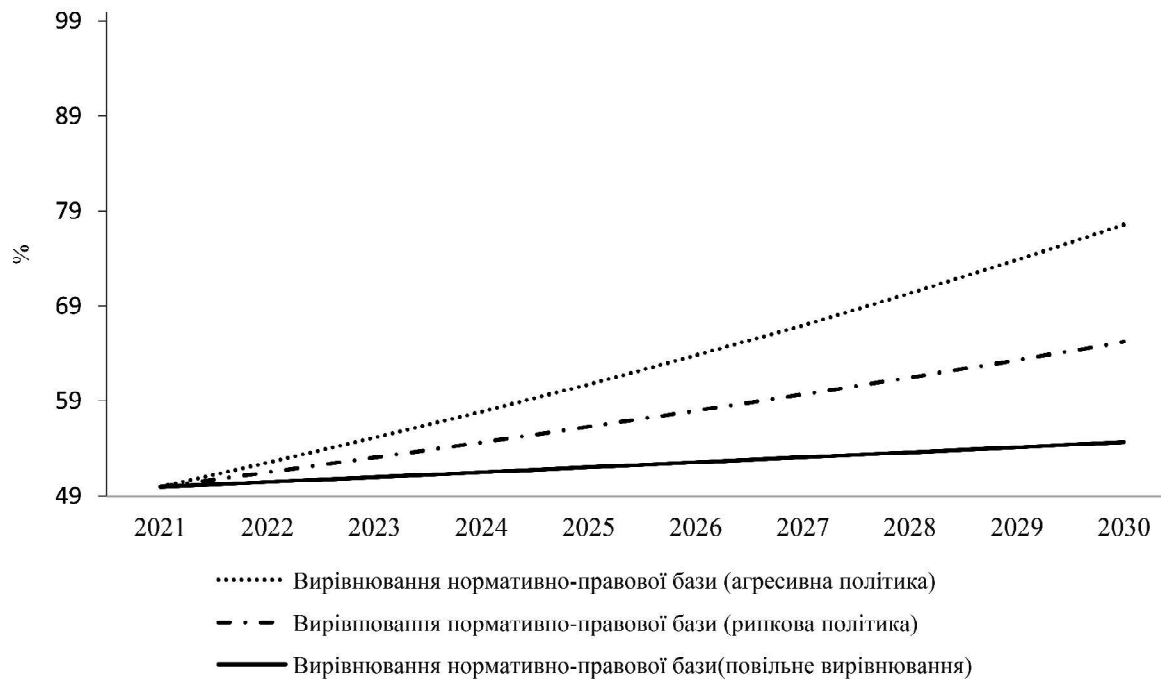


Рис. 5. Сценарії для вирівнювання нормативно-правової бази

Джерело: побудовано автором.

За сценарієм повільного наближення регуляторна база України зростає найповільніше — з 50% у 2021 році до 54,68% у 2030 році. Це на 9,37% більше за десятирічний період. Повільніше зростання є результатом обмеженої політичної підтримки та повільного прогресу у приведенні нормативно-правової бази України у відповідність до політики та директив ЄС у сфері відновлюваної енергетики.

Можна помітити, що сценарій "Агресивна політика підтримки" призводить до найбільшого зростання у приведенні нормативно-правової бази України у відповідність до вимог ЄС, за яким слідують сценарій "Ринкова політика" та сценарій "Повільне приведення у відповідність". Це свідчить про те, що сильна політична підтримка та стимули можуть суттєво прискорити узгодження нормативно-правової бази України з політикою та директивами ЄС у сфері відновлюваної енергетики, в той час як лише ринкові сили можуть призвести до помірного зростання темпів узгодження. І навпаки, повільний прогрес у гармонізації політики та обмежена підтримка можуть призвести до відносно стагнації темпів гармонізації.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Таким чином, аналіз трьох сценаріїв (агресивна політика підтримки, ринкова підтримка та повільне узгодження) показує, що сильна політична підтримка та регуляторне узгодження відіграють вирішальну роль в успішній інтеграції сектору відновлюваної енергетики України до спільного ринку ЄС. Сценарій агресивної політичної підтримки демонструє найвищі темпи зростання встановленої потужності, інвестицій та попиту на відновлювану енергію. І навпаки, повільний прогрес в узгодженні політики призводить до стагнації зростання. Для досягнення безперешкодної інтеграції політики

повинні зосередитися на сприянні узгодженню нормативно-правової бази з політикою та директивами ЄС у сфері відновлюваної енергетики, стимулюванні інвестицій та створенні ринкових умов, що сприятимуть зростанню відновлюваної енергетики в Україні.

Література:

1. Енергетика. Галузева співпраця з ЄС. URL: <https://eu-ua.org/yevrointehratsiia/enerhetyka/> (дата звернення: 03.05.2023).
2. Енергетичний баланс України. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm (дата звернення: 03.05.2023).
3. Кінцеве енергоспоживання за 2007—2021 роки. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2020/energ/k_energospog/k_ensp_ue.xls (дата звернення: 03.05.2023).
4. Ціни на електроенергію для споживачів. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/energ/ser_cin_el_energ/ser_cin_el_energ_u/arh_sc_elen2018_u.htm (дата звернення: 03.05.2023).
5. Gholizad A., Ahmadi L., Hassannayebi E., Memarpour M., Shakibayifar M. A System Dynamics Model for the Analysis of the Deregulation in Electricity Market. *Int. J. Syst. Dyn. 2017. Appl.*, 6. P. 1—30.
6. Redondo J.M., Olivar G., Ibarra-Vega D., Dyner I. Modeling for the regional integration of electricity markets. *Energy for Sustainable Development*. 2018. № 43, P. 100—113.
7. Sanchez J.J., Barquin J., Centeno E., Lopez-Pena A. System Dynamics models for generation expansion planning in a competitive framework: oligopoly and market power representation. *25th International System Dynamics Conference Proceedings*. 2007. Vol. 7. P. 4179—4202 URL: <https://proceedings.systemdynamics.org/2007/proceed/papers/SANCH367.pdf> (дата звернення: 03.05.2023).

8. Santos G. et al. Multi-agent simulation of competitive electricity markets: Autonomous systems cooperation for European market modeling. *Energy Conversion and Management*. 2015. № 99. P. 387—399.

9. Teufel F., Miller M., Genoese M., Fichtner W. Review of System Dynamics models for electricity market simulations. Working paper series in production and energy. 2013. 40 p. URL: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000034732> (дата звернення: 03.05.2023).

10. Ukraine. Energy profile. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Ukraine_Europe_RE_SP.pdf?rev=0360d365aa434e7c863ba02fe795ffc9 (дата звернення: 03.05.2023).

11. Wang J., Wu J., Che Y. Agent and system dynamics-based hybrid modeling and simulation for multilateral bidding in electricity market. *Energy*. 2019. № 180. P. 444—456. doi:10.1016/j.energy.2019.04.180

References:

1. EUUA (2023), "Energy. Industry cooperation with the EU", Available at: <https://eu-ua.org/en/eu-integration/energy> (Accessed May 3, 2023).

2. State Statistics Service of Ukraine (2023), "Energy balance of Ukraine", Available at: https://ukrstat.gov.ua/en/operativ/menu/menu_u/energ.htm (Accessed May 3, 2023).

3. State Statistics Service of Ukraine (2023), "Final energy consumption for 2007-2021", Available at: https://ukrstat.gov.ua/en/operativ/operativ2020/energ/k_energospog/k_ensp_ue.xls (Accessed May 3, 2023).

4. State Statistics Service of Ukraine (2023), "Electricity prices for consumers", Available at: https://ukrstat.gov.ua/en/operativ/operativ2018/energ/ser_cin_el_energ/ser_cin_el_energ_u/arh_scelen2018_u.htm (Accessed May 3, 2023).

5. Gholizad, A., Ahmadi, L., Hassannayebi, E., Memarpour, M., & Shakibayifar, M. (2017). "A System Dynamics Model for the Analysis of the Deregulation in Electricity Market", *Int. J. Syst. Dyn. Appl.*, vol. 6, pp. 1—30.

6. Redondo, J., Olivar, G., Ibarra-Vega, D., & Dyer, I. (2018). "Modeling for the regional integration of electricity markets". *Energy for Sustainable Development*, vol. 43, pp. 100—113.

7. Sanchez, J., Barquin, J., Centeno, E., & Lopez-Pena, A. (2007). "System Dynamics models for generation expansion planning in a competitive framework: oligopoly and market power representation", 25th International System Dynamics Conference Proceedings, vol. 7, pp. 4179—4202, Available at: <https://proceedings.systemdynamics.org/2007/proceed/papers/SANC-H367.pdf> (Accessed 5 May 2023).

8. Santos, G., Pinto, T., Morais, H., Sousa, T., Pereira, I., Fernandes, R., Praca, I., & Vale, Z. (2015), "Multi-agent simulation of competitive electricity markets: Autonomous systems cooperation for European market modelling", *Energy Conversion and Management*, vol. 99, pp. 387—399.

9. Teufel, F., Miller, M., Genoese, M., & Fichtner, W. (2016), "Review of System Dynamics models for electricity

market simulations", Working paper series in production and energy, vol. 2, 40 p., Available at: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000034732> (Accessed 5 May 2023).

10. IRENA (2023), "Ukraine. Energy profile", Available at: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Ukraine_Europe_RE_SP.pdf?rev=0360d365aa434e7c863ba02fe795ffc9 (Accessed 5 May 2023).

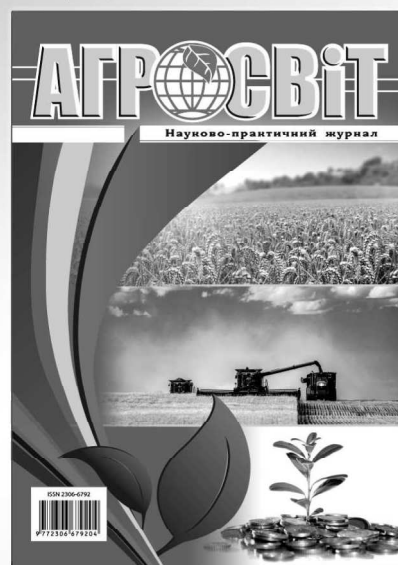
11. Wang, J., Wu, J., & Che, Y. (2019), "Agent and system dynamics-based hybrid modeling and simulation for multilateral bidding in electricity market", *Energy*, vol. 180, pp. 444—456. doi:10.1016/j.energy.2019.04.180.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2023 р.

АГРОСВІТ

<https://nayka.com.ua>

Передплатний індекс: 23847



Виходить 24 рази на рік

**Журнал включено до переліку
наукових фахових видань України
з ЕКОНОМІЧНИХ НАУК (Категорія «Б»)**

Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292