

УДК 338.45:004.9:620.9

Колотіліна Олена Василівна*доктор філософії, асистентка
кафедри економічної кібернетики
Сумський державний університет
ORCID: 0000-0002-8928-0859*<https://doi.org/10.25313/3083-7782-2026-5-89>

КОНЦЕПТУАЛЬНО-КАУЗАЛЬНО- ІНСТИТУЦІЙНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ТА ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ СТАЛИХ БІЗНЕС-МОДЕЛЕЙ У СЕКТОРІ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ

Анотація. Вступ. У сучасних умовах прискореної цифрової трансформації та глобального енергетичного переходу відбувається фундаментальна перебудова архітектури енергетичних ринків, що супроводжується еволюцією традиційних бізнес-моделей у напрямі їх сталості, платформізації та децентралізації. Особливої актуальності набуває проблематика формування сталих (sustainable) бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики, де цифрові технології виступають системоутворюючим чинником створення нової логіки генерації, розподілу та монетизації енергетичної цінності.

Мета. Метою дослідження є формування теоретико-концептуальних положень та обґрунтування концептуальної моделі формування і імплементації сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики в умовах цифрової трансформації та енергетичного переходу.

Матеріали і методи. Методологічну основу дослідження становлять положення еволюційної та інституційної економічної теорії, концепції складних адаптивних систем, теорії динамічних здібностей підприємств, а також парадигма цифрової економіки. У процесі дослідження застосовано системний, каузально-структурний та інституційний підходи, методи концептуального моделювання, абстрагування, структурно-логічного аналізу та узагальнення. Особливу увагу приділено інтеграції цифрових технологій (Big Data, штучний інтелект, Інтернет речей, блокчейн, цифрові платформи та цифрові двійники) як ендогенних механізмів трансформації бізнес-моделей.

Результати. У результаті дослідження розроблено концептуально-інституційну модель трансформації та імплементації сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики, яка відображає багаторівневу взаємодію макро-, мезо- та мікроекономічних детермінант. Обґрунтовано, що цифрові технології виконують роль каталізаторів коеволюційних змін у структурі енергетичних систем, забезпечуючи перехід від статичних до адаптивних бізнес-моделей. Встановлено, що впровадження цифрових інструментів сприяє підвищенню економічної ефективності, зниженню екологічного навантаження та посиленню системної стійкості енергетичних ринків.

Перспективи. Подальші дослідження доцільно спрямувати на емпіричну верифікацію запропонованої моделі із застосуванням економіко-математичного інструментарію, зокрема багатоваріантного регресійного аналізу та моделей оцінювання ефективності цифрових інвестицій у секторі відновлюваної енергетики. Окремий науковий інтерес становить розвиток прикладних механізмів оцінювання впливу штучного інтелекту та платформних рішень на формування проsumer-екосистем і ринкову трансформацію енергетичних структур.



Copyright © The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Ключові слова: сталі (сестейнові) бізнес-моделі, prosumer-моделі, відновлювана енергетика, цифрова економіка, prosumer-економіка, енергетичні платформи, складні адаптивні системи, штучний інтелект, Big Data, Інтернет речей, блокчейн, сталий розвиток.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку світової енергетичної системи характеризується одночасним посиленням двох взаємопов'язаних мегатрендів — цифрової трансформації економіки та глобального енергетичного переходу до низьковуглецевих джерел генерації. У цих умовах традиційні підходи до організації діяльності енергетичних підприємств демонструють зростаючу методологічну та практичну обмеженість, оскільки не забезпечують належного рівня адаптивності до високої динаміки технологічних інновацій, інституційних змін та структурної перебудови енергетичних ринків.

Особливої наукової складності набуває проблема формування та імплементації сталих (sustainable) бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики, що зумовлено необхідністю одночасного врахування економічних, екологічних та інституційних детермінант розвитку. Існуючі концептуальні підходи до бізнес-моделювання переважно базуються на статичних або квазістатичних припущеннях, що не відображають повною мірою коеволюційний характер взаємодії енергетичних ринків, цифрових технологій та регуляторного середовища.

Додатковою складністю формує стрімке впровадження цифрових технологій (Big Data, штучний інтелект, Інтернет речей, блокчейн, цифрові платформи та цифрові двійники), які трансформують не лише операційні процеси, але й саму логіку створення, розподілу та привласнення енергетичної цінності. Це зумовлює перехід від лінійних бізнес-структур до платформних, мережових і децентралізованих екосистем, у яких ключову роль відіграють prosumer-моделі та механізми peer-to-peer взаємодії.

Незважаючи на значну кількість наукових досліджень у сфері сталого розвитку та цифрової економіки, залишається недостатньо розробленим теоретико-методологічний інструментарій, який би інтегрував інституційний, каузальний та цифрово-економічний виміри трансформації бізнес-моделей у єдину концептуальну конструкцію. Відсутність цілісної моделі, що пояснює механізми формування, функціонування та еволюції сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики, суттєво обмежує можливості ефективного управління процесами енергетичного переходу.

Таким чином, існує об'єктивна необхідність у розробленні концептуально-каузально-інституційної моделі формування та імплементації сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики, яка б забезпечувала системне узгодження технологічних інновацій, ринкових трансформацій та інституційних змін в умовах цифрової економіки та глобального енергетичного переходу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний науковий дискурс у сфері сталих бізнес-моделей у відновлюваній енергетиці формується на перетині досліджень цифрової трансформації, енергетичного переходу та інституційної еволюції енергетичних ринків. Узагальнення сучасних підходів свідчить, що ключовим трендом є переосмислення бізнес-моделі як динамічної, цифрово-детермінованої та екосистемної конструкції, здатної до безперервної адаптації під впливом технологічних та регуляторних змін.

Зокрема, у сучасних дослідженнях підкреслюється, що цифрові технології радикально трансформують структуру бізнес-моделей енергетичних компаній через модифікацію механізмів створення, доставки та захоплення вартості, що особливо виражено у секторі відновлюваної енергетики [12]. Автори доводять, що інтеграція штучного інтелекту, Інтернету речей, блокчейну та цифрових платформ формує нові траєкторії бізнес-моделейних інновацій, зокрема у напрямі платформізації та сервісної трансформації енергетичних систем [12].

У ширшому контексті енергетичного переходу наголошується, що цифрові технології виконують роль каталізатора декарбонізації та децентралізації енергетичних систем, забезпечуючи перехід до інтелектуальних мереж та гнучких ринкових структур [10]. У цьому контексті штучний інтелект використовується для прогнозування генерації, балансування навантажень та оптимізації розподілених енергетичних ресурсів, що суттєво підвищує ефективність функціонування енергетичних систем [11].

Окремий науковий напрям становлять дослідження бізнес-моделейних інновацій у секторі відновлюваної енергетики, де акцент робиться на необхідності гнучкої адаптації компаній до регуляторної невизначеності, технологічних змін та нових форм ринкової взаємодії [11]. Встановлено, що традиційні бізнес-моделі поступово заміщуються гібридними структурами, які поєднують елементи платформної економіки, сервісної логіки та децентралізованого управління енергетичними потоками [8].

Важливим напрямом є дослідження децентралізованих енергетичних систем і distributed energy resources (DER), які формують нову архітектуру енергетичних ринків, змінюючи роль споживача на активного учасника ринку — prosumer-а [2]. Це, у свою чергу, створює передумови для розвитку peer-to-peer енергетичних моделей та платформної координації енергетичних обмінів.

Додатково у науковій літературі розглядаються блокчейн- та IoT-орієнтовані енергетичні системи, які забезпечують прозорість, автоматизацію та підвищення ефективності енергетичних транзакцій, однак їх масш-

табування залишається обмеженим через технічні та регуляторні бар'єри [1; 7]. Аналогічно, IoT-екосистеми розглядаються як ключовий елемент формування енергетично стійких інфраструктур нового покоління [7].

Попри значний прогрес у дослідженні цифровізації енергетики та сталих бізнес-моделей, зберігається методологічний розрив, пов'язаний із відсутністю інтегрованих підходів, які б поєднували інституційні, каузальні та цифрово-економічні виміри трансформації енергетичних систем у єдину концептуальну модель. Це зумовлює необхідність розроблення комплексних теоретичних конструкцій, здатних пояснити механізми коеволуції технологій, ринків та інститутів у контексті енергетичного переходу.

Метою статті є розроблення та теоретико-методологічне обґрунтування концептуально-каузально-інституційної моделі формування та імплементації сталих (sustainable) бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики в умовах цифрової трансформації та енергетичного переходу. Дослідження спрямоване на виявлення системних закономірностей взаємодії між інституційними детермінантами, ринковими трансформаціями та цифровими технологіями (Big Data, штучний інтелект, Інтернет речей, блокчейн і цифрові платформи), що визначають еволюцію бізнес-модельних конструкцій від традиційних до адаптивних, платформних та екосистемних форм організації енергетичної діяльності.

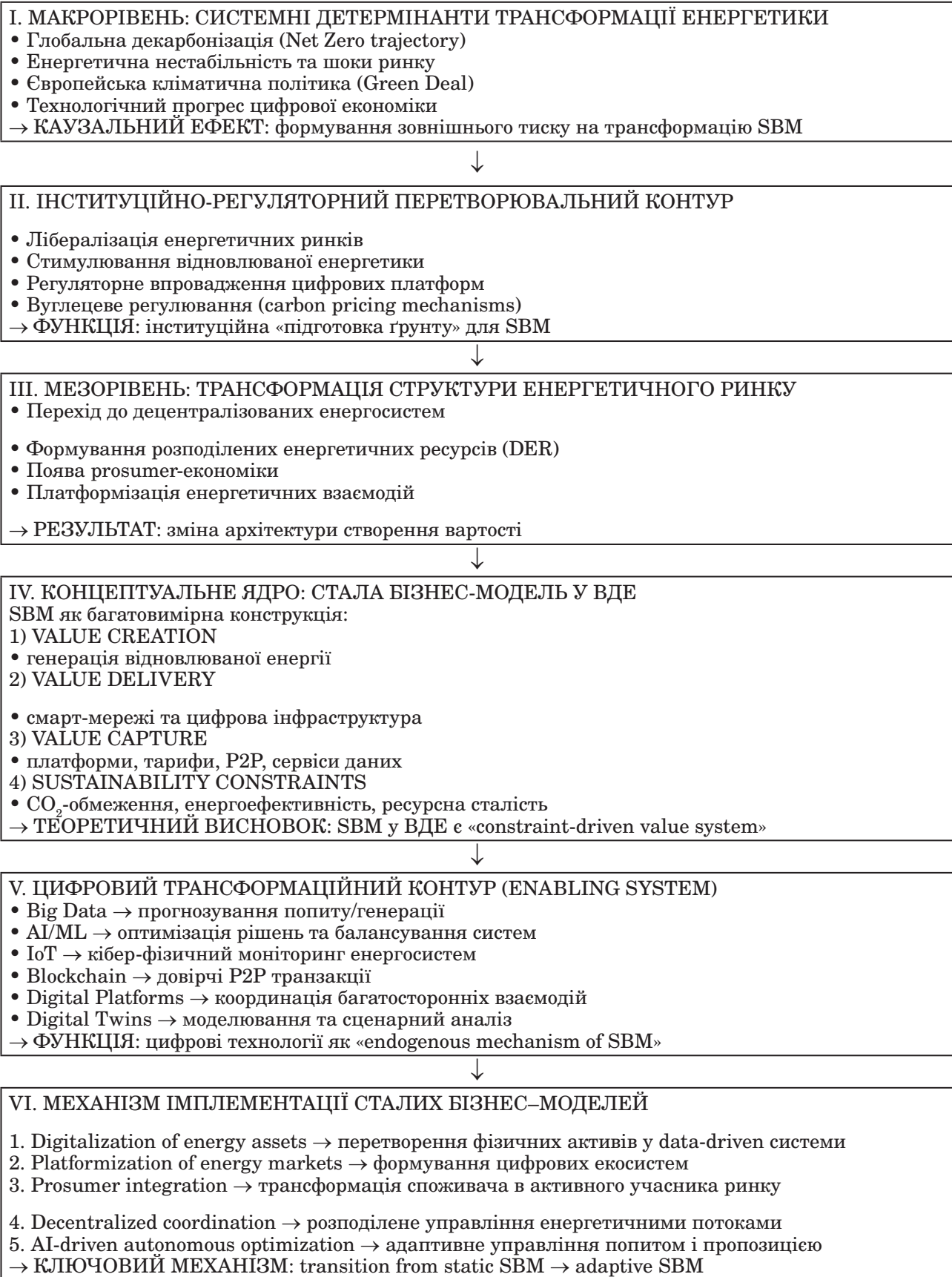
Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) наукові праці провідних вітчизняних і зарубіжних дослідників у сфері сталих (sustainable) бізнес-моделей, цифрової трансформації економіки, відновлюваної енергетики та інституційної економічної теорії, що формують теоретико-методологічну базу дослідження; 2) аналітичні та статистичні матеріали міжнародних організацій (зокрема IEA, IRENA, World Bank, OECD), які відображають глобальні тренди енергетичного переходу, декарбонізації та розвитку цифрових енергетичних систем; 3) нормативно-правові та стратегічні документи, що регулюють функціонування енергетичних ринків та визначають напрями впровадження цифрових технологій і відновлюваної енергетики в умовах «зеленого» та цифрового переходу; 4) концептуальні моделі та емпіричні результати попередніх досліджень у сфері платформної економіки, prosumer-моделей, distributed energy resources (DER) та енергетичних екосистем, що використовуються для порівняльного аналізу та узагальнення; 5) дані вторинного аналізу, що характеризують вплив цифрових технологій (Big Data, штучний інтелект, Інтернет речей, блокчейн, цифрові платформи) на ефективність функціонування енергетичних систем.

Методологічну основу дослідження становлять: 1) системний підхід — для розгляду сталих бізнес-моделей як складних багаторівневих соціально-економічних систем; 2) каузально-структурний аналіз — для виявлення причинно-наслідкових зв'язків між цифровізацією, інституційними змінами та трансформацією бізнес-моделей; 3) інституційний підхід — для дослідження ролі правил, регуляторних механізмів та ринкових інститутів у формуванні енергетичних екосистем; 4) концептуальне моделювання — для побудови концептуально-каузально-інституційної моделі трансформації бізнес-моделей; 5) порівняльний аналіз — для узагальнення міжнародного досвіду цифрової трансформації енергетичних ринків; 6) методи абстрагування та узагальнення — для формування теоретичних положень щодо еволюції сталих бізнес-моделей; 7) елементи еволюційної економічної теорії та теорії складних адаптивних систем — для опису коеволуційних процесів у секторі відновлюваної енергетики.

Виклад основного матеріалу. У межах запропонованого дослідження сформовано концептуально-каузально-інституційну модель трансформації та імплементації сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики в умовах цифрової трансформації та енергетичного переходу (рис. 1). Розроблена модель відображає багаторівневу архітектуру взаємозв'язків між макроекономічними детермінантами глобального енергетичного переходу, інституційно-регуляторними механізмами, структурними змінами енергетичних ринків та мікрорівневими бізнес-модельними інноваціями. Такий підхід дозволяє інтерпретувати трансформацію енергетичних систем як цілісний коеволуційний процес, у якому цифрові технології виступають системоутворюючим чинником змін.

Концептуальна логіка моделі ґрунтується на послідовному переході від зовнішніх системних імпульсів до внутрішніх механізмів трансформації бізнес-моделей. На макrorівні визначальними є глобальні процеси декарбонізації, енергетичної нестабільності та цифровізації економіки, які формують зовнішній тиск на реструктуризацію енергетичних систем. На мезорівні відбувається інституційне та ринкове переформування енергетичного сектору, що проявляється у децентралізації генерації, розвитку розподілених енергетичних ресурсів та становленні prosumer-економіки. На мікрорівні ці процеси трансформуються у нові типи сталих бізнес-моделей, включаючи платформні, кооперативні та peer-to-peer структури, які функціонують у цифрово-мережевому середовищі.

Ключовим елементом запропонованої конструкції виступає цифровий трансформаційний контур, який інтегрує технології Big Data, штучного інтелекту, Інтернету речей, блокчейну та цифрових платформ як ендогенні механізми перебудови процесів створення, доставки та розподілу енергетичної цінності. Саме цифрові технології забезпечують перехід від статичних до адаптивних бізнес-моделей, формуючи умови для безперервної оптимізації енергетичних потоків та підвищення системної ефективності функціонування сектору відновлюваної енергетики.



VII. МІКРОРІВЕНЬ: НОВІ ФОРМИ СТАЛИХ БІЗНЕС-МОДЕЛЕЙ

- Platform-based energy business models
- Peer-to-peer energy markets
- Energy cooperatives
- Aggregator-based models
- Hybrid producer–consumer ecosystems

VIII. РЕЗУЛЬТАТИ ТРАНСФОРМАЦІЇ (SUSTAINABILITY PERFORMANCE OUTPUT)
ECONOMIC OUTCOMES:

- зниження LCOE
- підвищення інвестиційної ефективності

ENVIRONMENTAL OUTCOMES:

- зменшення CO₂ інтенсивності
- зростання частки ВДЕ

SYSTEM OUTCOMES:

- енергетична стійкість
- ринкова децентралізація
- демократизація доступу до енергії



IX. АДАПТИВНИЙ ЦИКЛ ЗВОРотноГО ЗВ'ЯЗКУ (CO-EVOLUTION SYSTEM)

- Market feedback → корекція SBM
- AI analytics → оптимізація процесів
- IoT real-time data → operational adjustment
- Carbon regulation → інституційна перебудова

ФУНКЦІЯ: безперервна еволюція SBM як динамічної системи

Рис. 1. Концептуальна каузально-інституційна модель трансформації та імплементації сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики в умовах цифрової економіки

На рис. 1 представлено концептуальну блок-схему, що узагальнює архітектуру каузально-інституційної моделі дослідження. Проаналізовано поелементну інтерпретацію її структурних компонентів та логіки взаємозв'язків.

I. Макрорівень: системні детермінанти трансформації енергетики

Першим структурним елементом запропонованої концептуальної блок-схеми виступає макрорівень системних детермінант трансформації енергетики, який формує зовнішнє середовище розвитку сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики. На відміну від традиційних підходів, що розглядають бізнес-моделі переважно як результат внутрішніх управлінських рішень підприємства, запропонована концепція виходить із положення про те, що трансформація сучасних бізнес-моделей у секторі ВДЕ значною мірою обумовлюється впливом глобальних економічних, екологічних та технологічних процесів, які визначають стратегічні напрями розвитку енергетичних систем.

Ключовою системною детермінантою є глобальна декарбонізація економіки, що реалізується через досягнення цілей кліматичної нейтральності та скорочення викидів парникових газів відповідно до концепції Net Zero. У сучасних умовах декарбонізація вже не розглядається виключно як екологічний імператив, а виступає фундаментальним фактором структурної модернізації енергетичних ринків. Саме необхідність забезпечення довгострокового зниження вуглецевої інтенсивності економіки стимулює переорієнтацію інвестиційних потоків на відновлювані джерела енергії та формує попит на нові механізми створення економічної вартості в енергетичному секторі.

Другим системним чинником є зростання рівня енергетичної нестабільності та посилення впливу зовнішніх шоків на функціонування енергетичних ринків. Геополітичні конфлікти, порушення глобальних ланцюгів постачання, коливання цін на традиційні енергоресурси та підвищення ризиків енергозабезпечення актуалізують необхідність формування більш стійких та адаптивних моделей функціонування енергетичних систем. У цьому контексті відновлювана енергетика набуває значення не лише інструменту декарбонізації, але й механізму підвищення енергетичної незалежності та забезпечення довгострокової стійкості економіки.

Важливим драйвером трансформаційних процесів виступає також європейська кліматична політика, зокрема стратегічні орієнтири Європейського зеленого курсу (European Green Deal). Вплив даного чинника особливо актуальний для України в умовах євроінтеграційних процесів та гармонізації національного законодавства з європейськими нормами. Впровадження нових екологічних стандартів, механізмів вугле-

цевого регулювання та вимог щодо підвищення частки відновлюваних джерел енергії створює додаткові стимули для переосмислення традиційних підходів до організації енергетичного бізнесу та формування нових моделей створення вартості.

Окремого значення набуває технологічний прогрес цифрової економіки, який виступає каталізатором глибоких змін у функціонуванні енергетичних систем. Розвиток технологій штучного інтелекту, великих даних, Інтернету речей, блокчейну та цифрових платформ створює передумови для переходу від централізованих моделей управління енергетичними потоками до інтелектуальних децентралізованих систем. У результаті цифровізація перестає виконувати виключно допоміжну функцію та трансформується у самостійний фактор формування конкурентних переваг суб'єктів господарювання у секторі ВДЕ.

Сукупна дія зазначених чинників формує зовнішній каузальний тиск на трансформацію сталих бізнес-моделей. У межах запропонованої концептуальної рамки цей тиск розглядається як первинний імпульс, що ініціює процес перегляду традиційних підходів до створення, доставки та привласнення вартості в енергетичному секторі. Відповідно, макрорівень виконує функцію системоутворюючого середовища, в межах якого виникає об'єктивна необхідність розроблення та впровадження цифрово інтегрованих сталих бізнес-моделей, здатних забезпечити одночасне досягнення економічної ефективності, екологічної результативності та довгострокової стійкості розвитку сектору відновлюваної енергетики.

II. Інституційно-регуляторний перетворювальний контур як середовище імплементації сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики

Другим структурним компонентом запропонованої концептуальної рамки виступає інституційно-регуляторний перетворювальний контур, який забезпечує трансформацію макрорівневих імперативів розвитку енергетики у конкретні умови функціонування суб'єктів господарювання. Якщо макрорівень визначає стратегічні вектори та зовнішні рушійні сили трансформаційних процесів, то інституційно-регуляторний контур формує систему формальних правил, нормативних обмежень, економічних стимулів та організаційних механізмів, у межах яких здійснюється розроблення, впровадження та масштабування сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики.

У сучасній економічній науці інституційне середовище розглядається не лише як сукупність нормативно-правових регуляторів господарської діяльності, а як один із ключових чинників формування траєкторії технологічного розвитку та структурної модернізації економічних систем. У цьому контексті впровадження сталих бізнес-моделей у секторі ВДЕ є результатом не лише технологічного прогресу або ринкової конкуренції, а й цілеспрямованої інституційної трансформації, спрямованої на усунення бар'єрів розвитку відновлюваної енергетики та стимулювання цифрових інновацій.

Однією з базових складових інституційно-регуляторного контуру є процес лібералізації енергетичних ринків. Перехід від монополізованих і вертикально інтегрованих моделей організації енергетичного сектору до конкурентних ринкових механізмів створює передумови для появи нових суб'єктів господарювання, розвитку інноваційних форм підприємництва та розширення можливостей для впровадження альтернативних бізнес-моделей. Лібералізація сприяє зростанню ролі ринкових сигналів у процесі розподілу ресурсів, посиленню конкуренції між виробниками енергії та формуванню більш гнучких механізмів взаємодії між виробниками, споживачами та посередниками.

Не менш важливою складовою виступає система державного стимулювання розвитку відновлюваної енергетики. Світова практика свідчить, що поширення ВДЕ значною мірою залежить від наявності спеціалізованих інструментів підтримки, які компенсують структурні недоліки ринку та сприяють залученню інвестицій у нові технології. До таких інструментів належать механізми «зелених» тарифів, аукціонні системи підтримки, податкові пільги, інвестиційні стимули, державні гарантії та програми фінансування інноваційних проєктів. Їх застосування створює економічне підґрунтя для реалізації довгострокових інвестиційних стратегій та знижує рівень невизначеності для учасників ринку.

Особливого значення в умовах цифрової трансформації набуває регуляторне забезпечення функціонування цифрових платформ та інтелектуальних енергетичних систем. На відміну від традиційних моделей регулювання, орієнтованих переважно на фізичну інфраструктуру, сучасна цифровізована енергетика потребує формування нових правил управління даними, забезпечення кібербезпеки, стандартизації цифрових протоколів взаємодії та нормативного врегулювання механізмів цифрової координації учасників ринку. Саме регуляторна підтримка цифрових платформ створює умови для розвитку нових бізнес-моделей, заснованих на платформній взаємодії, автоматизованому управлінні енергетичними потоками та використанні алгоритмічних механізмів прийняття рішень.

Важливою складовою інституційного контуру також виступають механізми вуглецевого регулювання, які дедалі більше визначають економічну логіку функціонування енергетичних ринків. Запровадження систем торгівлі квотами на викиди парникових газів, механізмів вуглецевого ціноутворення та екологічного оподаткування спрямоване на внутрішню інтерналізацію екологічних витрат у структуру економічних рішень. У результаті екологічна ефективність перестає бути виключно соціальною або репутаційною

категорією та набуває безпосереднього економічного значення для суб'єктів господарювання. Це створює додаткові стимули для впровадження сталих бізнес-моделей, здатних забезпечувати одночасне досягнення економічних і екологічних цілей.

У межах запропонованої концептуальної рамки інституційно-регуляторний контур виконує функцію своєрідного трансформаційного механізму, через який макрорівневі виклики та стратегічні цілі трансформуються у конкретні стимули, обмеження та можливості для учасників енергетичного ринку. Саме на цьому рівні відбувається формування інституційної архітектури, необхідної для інтеграції цифрових технологій у бізнес-процеси підприємств ВДЕ та для переходу від традиційних моделей господарювання до сталих бізнес-моделей нового покоління.

Таким чином, інституційно-регуляторний контур у запропонованій концепції розглядається не як допоміжний елемент зовнішнього середовища, а як ключова передумова імплементації сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики. Його функціональне призначення полягає у створенні інституційного підґрунтя для цифровізації енергетичних систем, розвитку інноваційних механізмів ринкової взаємодії та формування умов для довгострокової трансформації сектору ВДЕ відповідно до принципів сталого розвитку та цифрової економіки.

III. Мезорівень: трансформація структури енергетичного ринку як передумова формування нових архітектур сталих бізнес-моделей

Наступним елементом запропонованої концептуальної рамки виступає мезорівень трансформації структури енергетичного ринку, який займає проміжне положення між інституційно-регуляторним середовищем та безпосередніми механізмами функціонування суб'єктів господарювання. Якщо макрорівень визначає загальні вектори розвитку енергетичних систем, а інституційний контур формує нормативні умови реалізації відповідних трансформацій, то мезорівень відображає структурні зміни у конфігурації ринку, які безпосередньо впливають на логіку створення, розподілу та привласнення вартості в секторі відновлюваної енергетики.

У межах сучасної парадигми енергетичного переходу відбувається фундаментальна перебудова традиційної архітектури енергетичних ринків. Протягом тривалого історичного періоду розвиток енергетики базувався на централізованій моделі організації, для якої були характерними великомасштабні генеруючі потужності, односторонній рух енергетичних потоків та домінування обмеженого кола виробників. У такій системі споживачі фактично виконували пасивну функцію кінцевих користувачів енергетичних ресурсів, а основні механізми координації ринку здійснювалися через централізовані інститути управління.

Однак розвиток відновлюваних джерел енергії, цифрових технологій та інтелектуальної інфраструктури спричинив поступовий перехід до децентралізованої моделі функціонування енергетичних систем. У новій конфігурації ринку відбувається зміщення акцентів від великих централізованих виробничих комплексів до мережі розподілених джерел генерації, здатних функціонувати автономно або в межах інтегрованих енергетичних екосистем. Така трансформація змінює не лише технологічну структуру енергетики, але й економічну логіку функціонування бізнес-моделей, що формуються в секторі ВДЕ.

Однією з ключових характеристик зазначених трансформацій є поширення концепції розподілених енергетичних ресурсів (Distributed Energy Resources, DER). Розвиток DER означає поступове формування багаторівневої системи генерації, накопичення та споживання енергії, в якій окремі домогосподарства, підприємства, громади та локальні енергетичні об'єкти стають активними елементами енергетичного ринку. Внаслідок цього відбувається диверсифікація джерел створення вартості та зростає кількість економічних агентів, залучених до процесів виробництва і розподілу енергії.

Логічним наслідком децентралізації енергетичних систем стає формування так званої prosumer-економіки. На відміну від традиційної моделі, де виробник та споживач є функціонально відокремленими учасниками ринку, у новій системі виникає категорія прос'юмерів — суб'єктів, які одночасно здійснюють виробництво та споживання енергії. Поява прос'юмерів свідчить про якісну зміну ролі кінцевого користувача енергетичних послуг. Споживач перестає бути пасивним елементом ринкової системи та перетворюється на активного учасника процесів створення економічної вартості, управління енергетичними потоками та формування ринкової пропозиції.

У контексті розвитку прос'юмерської економіки особливого значення набуває платформізація енергетичних взаємодій. Цифрові платформи поступово трансформуються на базову інфраструктуру координації економічних процесів у секторі ВДЕ. Вони забезпечують інтеграцію значної кількості учасників ринку, спрощують процеси обміну інформацією, сприяють зниженню транзакційних витрат та створюють умови для реалізації нових механізмів ринкової взаємодії. Саме платформна логіка дозволяє координувати діяльність великої кількості розподілених виробників та споживачів, забезпечуючи ефективне функціонування складних децентралізованих енергетичних систем.

З позицій теорії бізнес-моделей зазначені процеси означають докорінну зміну архітектури створення вартості. У традиційних енергетичних системах основним джерелом вартості виступала фізична генерація

та постачання енергії. Натомість у цифровізованому секторі відновлюваної енергетики дедалі більшого значення набувають інформаційні потоки, аналітичні сервіси, цифрові платформи, алгоритмічні механізми координації та дані як стратегічний ресурс. У результаті відбувається перехід від ресурсно орієнтованої моделі створення вартості до мережевої та даних-орієнтованої моделі, у якій економічна ефективність визначається не лише обсягами виробленої енергії, а й здатністю забезпечувати ефективну координацію складних цифрових екосистем.

У межах запропонованої концептуальної рамки мезорівень виконує функцію структурного мосту між інституційними умовами розвитку енергетики та внутрішньою архітектурою сталих бізнес-моделей. Саме на цьому рівні відбувається формування нових ринкових конфігурацій, які створюють об'єктивну потребу у трансформації традиційних бізнес-моделей та переході до цифрово інтегрованих моделей функціонування суб'єктів господарювання. Відповідно, структурна перебудова енергетичного ринку виступає не лише наслідком технологічного прогресу та інституційних реформ, а й безпосередньою передумовою формування нової парадигми сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики.

Таким чином, мезорівневі трансформації відображають процес переходу від централізованих ієрархічних енергетичних систем до децентралізованих цифрових екосистем, у межах яких створюються нові форми економічної взаємодії, нові механізми генерації вартості та нові моделі участі суб'єктів ринку. Саме ці структурні зміни формують безпосереднє підґрунтя для побудови концептуального ядра сталих бізнес-моделей, яке розглядається в наступному елементі запропонованої концептуальної рамки.

IV. Концептуальне ядро: стала бізнес-модель у секторі відновлюваної енергетики як багатовимірною системою створення вартості

Центральним елементом запропонованої концептуальної рамки виступає концептуальне ядро сталої бізнес-моделі у секторі відновлюваної енергетики, оскільки саме на цьому рівні відбувається інтеграція економічних, екологічних, технологічних та соціальних компонентів розвитку в єдину логіку функціонування суб'єкта господарювання. На відміну від класичних підходів до трактування бізнес-моделі як інструменту організації процесів створення та привласнення економічної вартості, сучасна концепція сталих бізнес-моделей виходить із необхідності забезпечення збалансованого поєднання економічної результативності, екологічної відповідальності та суспільної цінності в межах єдиної системи управління.

У цьому контексті стала бізнес-модель доцільно розглядати не як статичну організаційну конструкцію або набір управлінських рішень, а як складну адаптивну соціо-техніко-економічну систему, функціонування якої спрямоване на забезпечення довгострокової життєздатності підприємства шляхом гармонізації інтересів усіх груп стейкхолдерів у межах ресурсних та екологічних обмежень. Такий підхід суттєво розширює традиційне розуміння бізнес-моделі, зміщуючи акцент із максимізації короткострокового прибутку на формування стійких механізмів генерації багатовимірної вартості.

Теоретичною основою запропонованого підходу виступає концепція створення вартості (value creation), відповідно до якої будь-яка бізнес-модель може бути інтерпретована через процеси формування, доставки та привласнення цінності. Проте в умовах розвитку відновлюваної енергетики зазначені процеси набувають якісно нових характеристик, оскільки економічна діяльність дедалі більше залежить від екологічних обмежень, цифрової інфраструктури та мережевої взаємодії між учасниками ринку.

Першою структурною складовою концептуального ядра виступає створення вартості (value creation). У традиційній енергетиці основним джерелом вартості є процес виробництва енергії шляхом використання викопних ресурсів. Натомість у секторі відновлюваної енергетики створення вартості базується на використанні природних відновлюваних ресурсів, ефективному управлінні енергетичними потоками та здатності інтегрувати інноваційні технології у виробничі процеси. У цьому випадку джерелом конкурентних переваг виступає не лише фізичний обсяг виробленої енергії, а й ефективність використання ресурсів, екологічна результативність, гнучкість системи управління та здатність адаптуватися до динамічних змін зовнішнього середовища.

Особливістю сучасного етапу розвитку ВДЕ є те, що процес створення вартості дедалі більше залежить від інтенсивності використання даних як стратегічного виробничого ресурсу. Дані про виробництво, споживання, погодні умови, поведінку споживачів та функціонування енергетичної інфраструктури поступово перетворюються на один із ключових факторів генерації доданої вартості. Відповідно, виробництво енергії вже не може розглядатися виключно як фізичний процес, а набуває рис інтегрованої кіберфізичної системи, у якій інформаційні ресурси стають невід'ємним компонентом економічної діяльності.

Другою складовою концептуального ядра є доставка вартості (value delivery), яка охоплює механізми доведення створеної цінності до кінцевого користувача. У традиційних моделях енергетики доставка вартості здійснювалася переважно через централізовані мережеві структури з одностороннім рухом енергетичних потоків. Проте розвиток цифрових технологій та децентралізація енергетичних систем призвели до появи принципово нових механізмів координації взаємодії між учасниками ринку.

У межах сучасних сталих бізнес-моделей доставка вартості забезпечується не лише фізичною інфраструктурою передачі електроенергії, але й цифровими платформами, інтелектуальними мережами,

автоматизованими системами диспетчеризації та алгоритмами управління енергетичними потоками. Таким чином, доставка вартості трансформується з логістичної функції у складний процес координації мережових взаємодій, який базується на безперервному обміні інформацією між усіма учасниками енергетичної екосистеми.

Третім елементом концептуального ядра виступає привласнення вартості (value capture), що характеризує механізми отримання економічних результатів від створеної цінності. У контексті цифрової трансформації сектору ВДЕ структура привласнення вартості суттєво ускладнюється та виходить за межі традиційної моделі продажу електроенергії. Поряд із доходами від реалізації енергетичних ресурсів дедалі більшого значення набувають цифрові сервіси, платформи управління енергетичними потоками, аналітичні послуги, механізми peer-to-peer торгівлі енергією та інші інноваційні джерела монетизації.

Відтак джерела економічної вартості поступово зміщуються від матеріальних активів до нематеріальних ресурсів, серед яких особливу роль відіграють цифрові дані, алгоритми обробки інформації, мережові ефекти та цифрові платформи. У результаті формується нова логіка економічної ефективності, відповідно до якої конкурентоспроможність підприємства визначається не лише обсягами генерації енергії, але й здатністю управляти інформаційними потоками та координувати взаємодію численних учасників цифрової енергетичної екосистеми.

Водночас принциповою відмінністю сталої бізнес-моделі від класичних бізнес-моделей є наявність системи обмежень сталості (sustainability constraints), яка визначає допустимі межі економічної діяльності. У межах запропонованої концепції зазначені обмеження не розглядаються як зовнішні бар'єри розвитку, а інтерпретуються як внутрішні параметри функціонування бізнес-моделі, що визначають логіку прийняття стратегічних рішень.

До таких обмежень належать вимоги щодо скорочення викидів парникових газів, підвищення енергоефективності, забезпечення раціонального використання природних ресурсів, розвитку циркулярних механізмів господарювання та досягнення цілей сталого розвитку. Внаслідок цього економічна діяльність підприємства повинна здійснюватися не за принципом максимізації прибутку за будь-яку ціну, а в межах екологічно та соціально допустимих параметрів функціонування.

Саме тому у межах запропонованої концептуальної рамки стала бізнес-модель у секторі відновлюваної енергетики визначається як «система створення вартості, керована обмеженнями сталого розвитку» (constraint-driven value system). Таке трактування дозволяє поєднати ресурсну, інституційну, екологічну та цифрову логіку функціонування підприємства в єдиній аналітичній конструкції. При цьому цифрові технології розглядаються не як допоміжний інструмент підвищення ефективності окремих бізнес-процесів, а як фундаментальний механізм трансформації архітектури створення, доставки та привласнення вартості.

Таким чином, концептуальне ядро запропонованої моделі формує теоретичну основу для подальшого дослідження ролі цифрових технологій у процесах впровадження сталих бізнес-моделей. Саме на цьому рівні відбувається інтеграція принципів сталого розвитку, економіки даних та цифрової трансформації у цілісну систему, яка визначає логіку функціонування сучасних суб'єктів господарювання у секторі відновлюваної енергетики. Наступним етапом аналізу є дослідження цифрового трансформаційного контуру, який забезпечує практичну реалізацію зазначених процесів та виступає внутрішнім механізмом еволюції сталих бізнес-моделей.

V. Цифровий трансформаційний контур як ендогенний механізм еволюції сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики

Після визначення концептуального ядра сталої бізнес-моделі логічним етапом дослідження є обґрунтування ролі цифрових технологій у процесах її трансформації та практичної реалізації. У межах запропонованої концептуальної рамки цифрові технології не розглядаються як зовнішні інструменти підвищення операційної ефективності або як допоміжні засоби автоматизації окремих бізнес-процесів. Навпаки, вони інтерпретуються як внутрішній, або ендогенний, механізм структурної еволюції бізнес-моделі, що визначає нові принципи створення, координації та привласнення вартості в секторі відновлюваної енергетики.

Таке трактування базується на положеннях сучасної теорії цифрової трансформації, відповідно до якої цифровізація змінює не лише технологічну основу функціонування організації, але й фундаментальну логіку економічної взаємодії між учасниками ринку. Якщо в індустріальній економіці ключовими джерелами конкурентних переваг виступали фізичні активи, масштаби виробництва та контроль над ресурсами, то в умовах цифрової економіки дедалі більшого значення набувають дані, алгоритми, мережові ефекти та здатність до інтеграції розподілених інформаційних потоків у єдину систему прийняття рішень.

У цьому контексті цифровий трансформаційний контур виконує функцію інтелектуальної інфраструктури сталої бізнес-моделі. Саме він забезпечує перехід від традиційної моделі управління енергетичними ресурсами до моделі, заснованої на даних, прогностичній аналітиці та адаптивному управлінні складними енергетичними екосистемами. Таким чином, цифровізація перестає бути окремим напрямом модернізації підприємства та перетворюється на фундаментальний механізм його стратегічного розвитку.

Однією з ключових технологічних складових цифрового контуру є Big Data, яка забезпечує формування принципово нової інформаційної основи функціонування сталих бізнес-моделей. В умовах розвитку відновлюваної енергетики відбувається експоненціальне зростання обсягів даних, що генеруються різними елементами енергетичної системи: генеруючими потужностями, накопичувачами енергії, інтелектуальними лічильниками, цифровими платформами та споживачами. Обробка таких масивів інформації створює можливість для переходу від реактивного управління до проактивного прогнозування поведінки енергетичних систем. У результаті дані перетворюються на стратегічний актив, який безпосередньо впливає на ефективність процесів створення вартості.

Наступним елементом цифрового контуру виступає штучний інтелект та машинне навчання (Artificial Intelligence / Machine Learning). Значення цих технологій полягає не лише в автоматизації окремих управлінських функцій, а у формуванні нової парадигми прийняття рішень. Завдяки використанню алгоритмів машинного навчання стає можливим прогнозування виробництва електроенергії з відновлюваних джерел, оптимізація режимів функціонування енергетичних систем, балансування попиту і пропозиції, а також моделювання сценаріїв розвитку ринку в умовах високої невизначеності. Таким чином, штучний інтелект виступає механізмом трансформації управлінської функції від експертно-орієнтованого до даних-орієнтованого формату.

Особливу роль у забезпеченні функціонування цифровізованих енергетичних систем відіграє Інтернет речей (Internet of Things, IoT). З позицій концепції сталих бізнес-моделей IoT формує кіберфізичний рівень інтеграції, який забезпечує безперервний зв'язок між фізичною інфраструктурою та цифровими системами управління. Завдяки використанню сенсорних технологій та мереж передачі даних створюється можливість здійснювати моніторинг функціонування енергетичних об'єктів у режимі реального часу, оперативно виявляти відхилення від нормативних параметрів та забезпечувати адаптивне реагування на зміни зовнішнього середовища. Внаслідок цього відбувається підвищення надійності, стійкості та ресурсної ефективності енергетичних систем.

Не менш важливим компонентом цифрового трансформаційного контуру є технологія блокчейн, яка забезпечує формування нових механізмів довіри та координації економічних взаємодій. У традиційних енергетичних системах довіра між учасниками ринку значною мірою забезпечується централізованими інституціями та посередниками. Натомість блокчейн створює можливість реалізації децентралізованих механізмів підтвердження транзакцій та управління правами власності без необхідності залучення додаткових посередницьких структур. Особливої актуальності це набуває у контексті розвитку моделей peer-to-peer торгівлі енергією, де блокчейн забезпечує прозорість, незмінність та верифікованість усіх операцій між учасниками ринку.

Ключовим інтеграційним елементом цифрового контуру виступають цифрові платформи, які виконують функцію координаційного середовища для взаємодії між виробниками, споживачами, про'юмерами, агрегаторами та іншими суб'єктами енергетичного ринку. З точки зору сучасної платформної економіки саме цифрові платформи забезпечують формування мережевих ефектів, які стають одним із найважливіших джерел створення економічної вартості. Їх значення полягає не лише у забезпеченні обміну інформацією, а й у створенні механізмів колективної координації, які дозволяють управляти складними розподіленими енергетичними системами в умовах високої динамічності ринкового середовища.

Особливе місце у структурі цифрового контуру займає технологія цифрових двійників (Digital Twins), яка репрезентує якісно новий етап розвитку цифрових інструментів управління. Цифровий двійник являє собою віртуальну модель фізичного об'єкта або системи, що функціонує синхронно з реальним середовищем на основі безперервного надходження даних. Використання цифрових двійників дозволяє здійснювати моделювання альтернативних сценаріїв розвитку енергетичних систем, прогнозувати наслідки управлінських рішень та оптимізувати параметри функціонування бізнес-моделі до моменту їх практичної реалізації. Таким чином, управління поступово переходить від принципу реагування на події до принципу їх випереджувального прогнозування.

У сукупності зазначені технології формують інтегровану цифрову екосистему, яка забезпечує функціонування сталої бізнес-моделі як складної адаптивної системи. Важливо підкреслити, що їх вплив не обмежується окремими елементами бізнес-процесів. Цифрові технології трансформують саму архітектуру бізнес-моделі, змінюючи способи створення вартості, механізми взаємодії між учасниками ринку, структуру витрат, джерела доходів та логіку стратегічного управління.

Саме тому в межах запропонованої концептуальної рамки цифровий трансформаційний контур визначається як ендогенний механізм еволюції сталих бізнес-моделей. На відміну від традиційного підходу, де цифровізація розглядається як фактор зовнішнього впливу, запропонована концепція виходить із того, що цифрові технології стають невід'ємною складовою внутрішньої архітектури бізнес-моделі та визначають траєкторію її розвитку. У цьому контексті ефективність функціонування суб'єктів господарювання у секторі відновлюваної енергетики дедалі більшою мірою залежить не від обсягів фізичних активів, а від здатності інтегрувати цифрові інструменти у процеси створення, доставки та привласнення вартості.

Отже, цифровий трансформаційний контур виступає центральною ланкою, яка поєднує концептуальне ядро сталої бізнес-моделі з практичними механізмами її впровадження. Саме через цифровізацію забезпечується перехід від традиційних моделей функціонування енергетичних підприємств до адаптивних, інтелектуалізованих та даних-орієнтованих бізнес-моделей, здатних забезпечувати довгострокову економічну ефективність, екологічну результативність та системну стійкість в умовах цифрової економіки та енергетичного переходу.

VI. Механізм імплементації сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики: від цифровізації активів до адаптивного управління енергетичними екосистемами

Після обґрунтування ролі цифрового трансформаційного контуру як ендogenous механізму еволюції сталих бізнес-моделей постає необхідність пояснення безпосереднього процесу їх практичної імплементації у секторі відновлюваної енергетики. Якщо попередній блок концептуальної схеми розкриває технологічні передумови трансформації бізнес-моделей, то механізм імплементації відображає послідовність структурних змін, у межах яких цифрові технології інтегруються в економічну логіку функціонування підприємств та поступово трансформують їхню організаційну архітектуру.

У межах запропонованого підходу імплементація сталих бізнес-моделей розглядається не як одноразовий процес впровадження окремих цифрових рішень або модернізації технологічної інфраструктури. Навпаки, вона інтерпретується як багаторівневий процес системної реконфігурації механізмів створення вартості, що супроводжується зміною структури економічних відносин, трансформацією ролей ринкових агентів та формуванням нових принципів координації енергетичних потоків.

Теоретичною основою такого підходу виступає концепція соціо-технічних трансформацій, відповідно до якої стійкі зміни в економічних системах виникають лише за умови одночасної трансформації технологічних, організаційних, інституційних та поведінкових компонентів. Саме тому впровадження сталих бізнес-моделей у секторі ВДЕ слід розглядати як процес переходу від індустріальної архітектури енергетичного ринку до цифрово-керованої енергетичної екосистеми.

Першою стадією зазначеного процесу виступає цифровізація енергетичних активів (digitalization of energy assets). Її сутність полягає у трансформації фізичних енергетичних об'єктів у кіберфізичні системи, здатні генерувати, передавати та аналізувати дані в режимі реального часу. У традиційних моделях функціонування енергетичні активи розглядалися переважно як матеріальні виробничі ресурси, ефективність яких визначалася технічними параметрами та виробничою потужністю. В умовах цифрової трансформації вони набувають подвійної природи, поєднуючи фізичні характеристики з інформаційною функціональністю.

У результаті цифровізації сонячні електростанції, вітрові електростанції, накопичувачі енергії та інші елементи енергетичної інфраструктури стають джерелами безперервних інформаційних потоків, які формують основу для прогнозування, оптимізації та автоматизованого управління. Таким чином, цифровізація активів створює первинний інформаційний фундамент для функціонування сталих бізнес-моделей нового покоління.

Наступним етапом імплементації виступає платформізація енергетичних ринків (platformization of energy markets). На даному етапі відбувається перехід від традиційних ієрархічних моделей організації ринку до мережових механізмів взаємодії, у межах яких цифрові платформи виконують роль ключового координаційного інституту. Платформізація передбачає не лише використання цифрових технологій для обміну інформацією, але й формування принципово нової архітектури економічних взаємодій між учасниками ринку.

У межах платформної логіки цінність створюється не окремими суб'єктами господарювання, а мережею взаємопов'язаних учасників, які спільно формують цифрову екосистему. Внаслідок цього відбувається зміна традиційних механізмів координації економічної діяльності: ієрархічне управління поступово замінюється алгоритмічною координацією, а ринкові транзакції дедалі частіше здійснюються через цифрові середовища взаємодії.

Третім структурним етапом є інтеграція про'юмерів у процеси створення вартості (prosumer integration). З точки зору економічної теорії це є однією з найбільш радикальних трансформацій сучасного енергетичного сектору. Традиційна енергетична система базувалася на чіткому функціональному розмежуванні виробника та споживача. Однак розвиток відновлюваної енергетики та цифрових технологій призвів до появи гібридних економічних агентів, які одночасно беруть участь у виробництві, споживанні, накопиченні та обміні енергетичними ресурсами.

Інтеграція про'юмерів змінює саму природу бізнес-моделі, оскільки процес створення вартості перестає бути виключною функцією підприємства. Натомість він набуває характеру співтворення вартості (co-creation of value), де кінцеві користувачі стають повноцінними учасниками економічної системи. У результаті формується нова конфігурація енергетичного ринку, заснована на принципах участі, децентралізації та мережової взаємодії.

Четвертим етапом виступає децентралізована координація енергетичних потоків (decentralized coordination). На цьому рівні відбувається перехід від централізованих механізмів диспетчеризації до роз-

поділених систем управління, у яких прийняття рішень здійснюється на основі даних, що надходять від численних елементів енергетичної мережі. Децентралізація координаційних механізмів дозволяє підвищити гнучкість енергетичної системи, скоротити транзакційні витрати та забезпечити оперативне реагування на зміни параметрів попиту й пропозиції.

Особливо важливим є те, що децентралізована координація створює умови для масштабування відновлюваної енергетики без необхідності пропорційного збільшення централізованих управлінських структур. Таким чином, цифрові технології забезпечують можливість ефективного функціонування складних мережевих систем, які характеризуються високим рівнем структурної неоднорідності та динамічності.

Найвищим рівнем розвитку механізму імплементації виступає автономна оптимізація на основі штучного інтелекту (AI-driven autonomous optimization). На цьому етапі цифрові технології перестають виконувати лише функції підтримки управлінських рішень і починають брати участь у формуванні управлінських дій. Завдяки використанню алгоритмів машинного навчання та прогнозувальної аналітики енергетична система отримує здатність до самонавчання, адаптації та автоматичного коригування режимів функціонування.

З наукової точки зору саме ця стадія відображає перехід від концепції «розумної енергетики» до концепції «автономної енергетики», де значна частина процесів управління здійснюється без безпосереднього втручання людини. Відповідно, ефективність функціонування бізнес-моделі дедалі більше визначається якістю алгоритмів обробки даних, швидкістю прийняття рішень та здатністю системи адаптуватися до змін зовнішнього середовища.

У сукупності зазначені етапи формують цілісний механізм імплементації сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики. Важливо підкреслити, що їх взаємодія не має лінійного характеру. Йдеться про складний процес коеволюційного розвитку, у межах якого технологічні інновації, інституційні зміни та ринкові трансформації взаємно підсилюють одна одну, формуючи нову архітектуру енергетичної системи.

Саме тому ключовим теоретичним висновком даного блоку є положення про те, що впровадження сталих бізнес-моделей у цифровізованому секторі відновлюваної енергетики являє собою процес переходу від статичної бізнес-моделі (static SBM) до адаптивної бізнес-моделі (adaptive SBM). На відміну від традиційних підходів, де бізнес-модель розглядається як відносно стабільна організаційна конструкція, адаптивна модель характеризується здатністю до безперервного самокоригування, використання даних у режимі реального часу та динамічної реконфігурації механізмів створення й привласнення вартості відповідно до змін зовнішнього середовища.

Таким чином, механізм імплементації виступає центральною ланкою, яка забезпечує перетворення концептуальних засад сталого розвитку та цифрової трансформації на практично реалізовану модель функціонування суб'єктів господарювання. Саме через цей механізм відбувається матеріалізація теоретичних положень у вигляді нових організаційних форм, економічних практик та цифрових екосистем, що визначають сучасну траєкторію розвитку сектору відновлюваної енергетики.

VII. Мікрорівень: нові організаційно-економічні форми сталих бізнес-моделей у цифровізованому секторі відновлюваної енергетики

Завершальним етапом процесу імплементації, описаного у попередньому блоці концептуальної схеми, є формування нових організаційно-економічних форм функціонування суб'єктів господарювання, які виникають як результат поєднання принципів сталого розвитку, цифрової трансформації та децентралізації енергетичних систем. Саме на мікрорівні відбувається практична матеріалізація тих структурних змін, які були ініційовані макроекономічними викликами, інституційними перетвореннями, ринковою реконфігурацією та впровадженням цифрових технологій.

У межах запропонованої концептуальної рамки мікрорівень розглядається не лише як сукупність окремих підприємств або бізнес-структур. Його доцільно інтерпретувати як простір формування нових конфігурацій економічної взаємодії, в яких змінюється сама логіка функціонування суб'єктів ринку, механізми координації економічної діяльності та способи створення суспільної й економічної цінності. Внаслідок цього відбувається поступовий перехід від традиційних корпоративних моделей енергетичного бізнесу до мережевих, платформних та екосистемних форм організації господарської діяльності.

Фундаментальною особливістю нових бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики є те, що вони формуються на основі інтеграції трьох взаємопов'язаних принципів: цифрової координації, децентралізованого управління та багатостороннього створення вартості. Саме поєднання цих характеристик забезпечує виникнення якісно нових організаційних конструкцій, які не можуть бути адекватно пояснені в межах класичних підходів до аналізу бізнес-моделей енергетичних підприємств.

Однією з найбільш показових форм такої трансформації є платформні бізнес-моделі в енергетиці (platform-based energy business models). Їхня поява відображає загальну тенденцію платформізації сучасної економіки, за якої створення вартості відбувається через організацію взаємодії між великою кількістю незалежних учасників цифрової екосистеми. На відміну від традиційних енергетичних компаній, які створюють вартість переважно шляхом виробництва та реалізації енергетичних ресурсів, платформні

структури концентруються на забезпеченні механізмів координації, обміну інформацією та взаємодії між різними групами користувачів.

У цьому випадку джерелом конкурентних переваг стають не виробничі потужності як такі, а масштаби цифрової мережі, кількість учасників платформи та інтенсивність мережевих ефектів. Чим більшою є кількість інтегрованих користувачів та обсяг інформаційних потоків, тим вищою стає економічна цінність платформи. Відповідно, створення вартості дедалі більше базується на управлінні взаємодіями, а не лише на виробництві фізичного продукту.

Іншим важливим напрямом трансформації є розвиток ринків peer-to-peer торгівлі енергією (P2P energy markets). З теоретичної точки зору такі моделі являють собою приклад дезінтермедіації енергетичного сектору, коли значна частина традиційних посередницьких функцій заміщується цифровими механізмами координації. Завдяки використанню блокчейн-технологій, смарт-контрактів та цифрових платформ окремі виробники та споживачі отримують можливість здійснювати прямі транзакції з купівлі-продажу електроенергії.

Економічне значення таких моделей полягає не лише у скороченні трансакційних витрат. Значно важливішим є формування принципово нової структури ринку, у межах якої споживачі перетворюються на активних учасників процесів виробництва та обміну ресурсами. У результаті виникає новий тип економічних відносин, заснований на принципах горизонтальної взаємодії, цифрової довіри та децентралізованого прийняття рішень.

Особливе місце серед нових організаційно-економічних форм займають енергетичні кооперативи (energy cooperatives). Їх розвиток відображає тенденцію до посилення соціального виміру сталих бізнес-моделей. На відміну від традиційних корпоративних структур, діяльність кооперативів орієнтована не лише на отримання економічного результату, але й на досягнення ширших соціальних та екологічних цілей.

У контексті цифрової трансформації енергетичні кооперативи набувають нових функціональних можливостей. Використання цифрових платформ дозволяє координувати діяльність значної кількості учасників, забезпечувати прозорість управлінських процесів, здійснювати моніторинг виробництва та споживання енергії, а також організувати колективне прийняття рішень на основі даних. Таким чином, цифровізація підвищує масштабованість кооперативних моделей та створює умови для їх більш широкого поширення в секторі ВДЕ.

Ще одним перспективним напрямом розвитку виступають агрегаторні бізнес-моделі (aggregator-based models). Їх поява обумовлена необхідністю інтеграції великої кількості розподілених енергетичних ресурсів у єдину систему управління. У сучасних умовах окремі об'єкти генерації часто не мають достатнього масштабу для ефективної участі в ринкових механізмах. Саме тому виникає потреба у спеціалізованих суб'єктах — агрегаторах, які об'єднують численні джерела генерації, накопичення та споживання енергії в єдиний керований комплекс.

З позицій теорії бізнес-моделей агрегатор виступає посередником нового типу, основна функція якого полягає не у фізичному переміщенні ресурсів, а в управлінні потоками даних та координації поведінки учасників ринку. Економічна цінність агрегатора формується завдяки здатності забезпечувати балансування енергетичної системи, оптимізувати використання ресурсів та підвищувати ефективність ринкової взаємодії.

Найбільш комплексною формою розвитку сталих бізнес-моделей виступають гібридні екосистеми виробників і споживачів (hybrid producer–consumer ecosystems). У межах таких систем поступово стираються межі між виробництвом, споживанням, накопиченням та розподілом енергії. Учасники ринку можуть одночасно виконувати декілька функцій, а цифрові платформи забезпечують координацію їхньої діяльності в режимі реального часу.

Теоретично такі екосистеми можна розглядати як прояв переходу від лінійної до мережевої логіки організації економічних процесів. Якщо традиційні бізнес-моделі будувалися навколо окремого підприємства як центрального суб'єкта створення вартості, то в екосистемній моделі джерелом вартості стає вся мережа взаємодій між учасниками. Відповідно, конкурентоспроможність визначається не лише ресурсним потенціалом окремої організації, а й її здатністю інтегруватися в складні цифрові екосистеми та ефективно управляти міжорганізаційними зв'язками.

У межах запропонованої концептуальної рамки всі зазначені форми розглядаються не як альтернативні варіанти розвитку бізнесу, а як різні прояви єдиного процесу еволюції сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики. Їх об'єднує спільна характеристика — використання цифрових технологій як механізму інтеграції економічних, екологічних та соціальних цілей розвитку.

Таким чином, мікрорівень відображає завершальну фазу трансформаційного процесу, у межах якої концептуальні принципи сталого розвитку та цифрової економіки набувають конкретних організаційних форм. Саме тут формується нове покоління бізнес-моделей, здатних забезпечувати не лише економічну ефективність функціонування підприємств, але й системну стійкість енергетичних ринків, підвищення

рівня енергетичної безпеки та досягнення довгострокових цілей зеленої трансформації. У подальшій логіці концептуальної схеми ці моделі формують сукупний вплив на економічні, екологічні та системні результати розвитку сектору відновлюваної енергетики, що становить зміст наступного блоку дослідження — результатів трансформації (Sustainability Performance Output).

VIII. Результати трансформації: багатовимірна оцінка ефективності сталих бізнес-моделей у цифровізованому секторі відновлюваної енергетики

Логічним завершенням процесу формування та впровадження сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики є досягнення відповідних результатів трансформації, які відображають ступінь реалізації економічних, екологічних та системних цілей розвитку. У межах запропонованої концептуальної рамки результати не розглядаються як кінцевий статичний стан функціонування енергетичної системи. Навпаки, вони інтерпретуються як динамічний прояв ефективності взаємодії між інституційними механізмами, цифровими технологіями, ринковими структурами та бізнес-моделями, що функціонують у секторі ВДЕ.

Принципово важливо наголосити, що оцінювання ефективності сталих бізнес-моделей не може обмежуватися виключно фінансовими показниками діяльності підприємств. Такий підхід був характерний для індустріальної парадигми розвитку, в якій головним критерієм успішності господарської діяльності виступала максимізація прибутку або ринкової вартості компанії. Натомість сучасна концепція сталого розвитку передбачає необхідність одночасного врахування економічних, екологічних та суспільних результатів функціонування бізнес-систем.

Саме тому в межах запропонованого теоретико-концептуального підходу результати трансформації розглядаються як багатовимірна категорія, що охоплює три взаємопов'язані групи ефектів: економічні результати (economic outcomes), екологічні результати (environmental outcomes) та системні результати (system outcomes). Така структура дозволяє забезпечити комплексну оцінку ефективності впровадження сталих бізнес-моделей і водночас відобразити специфіку цифрової трансформації сектору відновлюваної енергетики.

Перший вимір результативності представлений економічними результатами, які характеризують здатність бізнес-моделей забезпечувати довгострокову економічну життєздатність та створення вартості для суб'єктів господарювання. У контексті розвитку відновлюваної енергетики особливого значення набуває показник зниження приведеної вартості виробництва електроенергії (Levelized Cost of Energy, LCOE), який відображає ефективність використання ресурсів протягом усього життєвого циклу енергетичних об'єктів.

Зниження LCOE є наслідком одночасного впливу кількох факторів. По-перше, цифрові технології забезпечують підвищення точності прогнозування виробництва та споживання енергії, що дозволяє мінімізувати втрати та оптимізувати використання ресурсів. По-друге, автоматизація процесів управління сприяє скороченню операційних витрат та підвищенню ефективності використання активів. По-третє, платформні механізми координації зменшують трансакційні витрати, пов'язані з обміном інформацією та організацією ринкових взаємодій.

Водночас економічна ефективність сталих бізнес-моделей проявляється не лише через скорочення витрат, але й через підвищення інвестиційної привабливості сектору ВДЕ. Інтеграція цифрових технологій сприяє зростанню прозорості бізнес-процесів, покращенню якості управління ризиками та підвищенню прогнозованості фінансових результатів. У результаті знижується рівень інвестиційної невизначеності, що створює додаткові стимули для залучення приватного капіталу в розвиток відновлюваної енергетики.

Другий вимір результативності представлений екологічними результатами, які відображають внесок сталих бізнес-моделей у досягнення цілей низьковуглецевого розвитку та екологічної модернізації економіки. У сучасних умовах саме екологічна ефективність дедалі частіше виступає одним із ключових критеріїв оцінки успішності енергетичних трансформацій.

Центральним показником у цьому контексті є скорочення вуглецевої інтенсивності енергетичних систем. Перехід до відновлюваних джерел енергії забезпечує істотне зменшення залежності від викопних палив та сприяє зниженню обсягів викидів парникових газів. Однак важливо підкреслити, що в межах цифровізованих бізнес-моделей екологічний ефект досягається не лише за рахунок заміщення традиційних джерел енергії. Значну роль відіграє підвищення ефективності управління енергетичними потоками, оптимізація режимів споживання та скорочення непродуктивних витрат ресурсів.

Крім того, поширення цифрових технологій створює передумови для більш ефективної інтеграції відновлюваних джерел у загальну структуру енергетичної системи. Завдяки використанню штучного інтелекту, технологій прогнозування та цифрових двійників стає можливим підвищення стабільності функціонування систем із високою часткою ВДЕ, що сприяє подальшому зростанню їхньої ролі в енергетичному балансі.

Третій вимір результативності представлений системними результатами, які виходять за межі діяльності окремих підприємств і характеризують зміни в архітектурі функціонування енергетичного сектору загалом. Саме цей рівень результатів є найбільш важливим у контексті сучасних досліджень енергетичного переходу, оскільки відображає довгострокові структурні наслідки впровадження сталих бізнес-моделей.

Одним із ключових системних ефектів виступає підвищення рівня енергетичної стійкості. Децентралізація виробництва енергії, диверсифікація джерел генерації та розвиток розподілених енергетичних ресурсів знижують вразливість системи до зовнішніх шоків та підвищують її адаптаційну спроможність. Особливою актуальності цей аспект набуває для України в умовах післявоєнного відновлення, коли питання забезпечення надійності енергопостачання набуває стратегічного значення.

Іншим важливим результатом є формування більш децентралізованої структури енергетичного ринку. У традиційних системах контроль над виробництвом та розподілом енергії концентрувався у відносно вузького кола суб'єктів господарювання. Натомість розвиток цифрових технологій та нових бізнес-моделей сприяє розширенню кола учасників ринку, залученню прос'юмерів, енергетичних кооперативів та локальних громад до процесів створення вартості.

Важливим наслідком таких трансформацій є також демократизація доступу до енергетичних ресурсів, яка передбачає розширення можливостей участі різних соціально-економічних груп у функціонуванні енергетичної системи. У цьому контексті цифрові технології виконують не лише економічну, але й соціальну функцію, створюючи інструменти для більш справедливого розподілу можливостей та вигод, що генеруються в процесі енергетичного переходу.

З теоретичних позицій зазначені результати свідчать про те, що ефективність сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики має розглядатися як багаторівнева категорія, яка охоплює одночасно економічний, екологічний та системний виміри розвитку. Такий підхід дозволяє подолати обмеження традиційних моделей оцінювання ефективності та сформувати більш комплексне уявлення про результати цифрової трансформації енергетичного сектору.

У межах запропонованої концептуальної схеми зазначені результати не є завершальною точкою трансформаційного процесу. Досягнуті ефекти генерують нові інформаційні потоки, управлінські сигнали та інституційні імпульси, які впливають на подальшу еволюцію бізнес-моделей. Саме тому заключним елементом концептуальної рамки виступає адаптивний цикл зворотного зв'язку, який забезпечує безперервне саморозвиток, самооновлення та коеволюцію сталих бізнес-моделей у цифровізованому секторі відновлюваної енергетики.

ІХ. Адаптивний цикл зворотного зв'язку як механізм коеволюції сталих бізнес-моделей у цифровізованому секторі відновлюваної енергетики

Завершальним елементом запропонованої концептуальної рамки виступає адаптивний цикл зворотного зв'язку (co-evolution system), який забезпечує безперервний процес оновлення, коригування та еволюційного розвитку сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики. Саме цей блок відображає одну з ключових відмінностей сучасних цифровізованих бізнес-моделей від традиційних моделей господарювання, що домінували в індустріальній економіці. Якщо класичні бізнес-моделі переважно характеризувалися відносною стабільністю та змінювалися лише під впливом суттєвих зовнішніх факторів, то в умовах цифрової економіки вони набувають рис адаптивних систем, здатних до постійної самоорганізації та самокоригування.

Теоретичним підґрунтям такого підходу виступають положення еволюційної економіки, теорії складних адаптивних систем (Complex Adaptive Systems), концепції динамічних здібностей (Dynamic Capabilities Theory) та сучасних досліджень цифрової трансформації. У межах зазначених підходів підприємство розглядається не як ізольована економічна одиниця, а як складний елемент багаторівневої соціо-техніко-економічної системи, розвиток якої визначається постійною взаємодією між внутрішніми механізмами адаптації та зовнішнім середовищем.

У контексті сектору відновлюваної енергетики особливого значення набуває той факт, що цифровізація суттєво скорочує часовий лаг між виникненням змін у зовнішньому середовищі та реакцією бізнес-моделі на такі зміни. У традиційних системах процес адаптації часто характеризувався значною інерційністю, оскільки управлінські рішення приймалися на основі обмеженого обсягу інформації та ретроспективного аналізу. Натомість цифрові технології забезпечують можливість безперервного моніторингу середовища та оперативного коригування параметрів функціонування бізнес-моделі.

Першим елементом адаптивного циклу виступає ринковий зворотний зв'язок (market feedback). У сучасних умовах цифрові платформи та інформаційні системи забезпечують безперервне накопичення даних про поведінку учасників ринку, структуру попиту, динаміку цін, характер споживання енергії та ефективність окремих механізмів створення вартості. Такі дані формують основу для переоцінки існуючих бізнес-процесів та коригування стратегічних орієнтирів розвитку.

На відміну від традиційних підходів, де ринковий сигнал розглядався переважно як індикатор поточного стану ринку, у цифровізованих бізнес-моделях він перетворюється на інструмент безперервного стратегічного навчання. Ринок фактично стає джерелом інформації для постійного вдосконалення механізмів створення, доставки та привласнення вартості. У результаті бізнес-модель перестає бути фіксованою конструкцією та набуває властивостей системи, що постійно еволюціонує під впливом накопиченого досвіду.

Другим компонентом адаптивного циклу є аналітика на основі штучного інтелекту (AI analytics). Якщо ринковий зворотний зв'язок забезпечує надходження інформації, то алгоритми штучного інтелекту виконують функцію її інтерпретації та трансформації у практично значущі управлінські рішення. Саме завдяки технологіям машинного навчання стає можливим виявлення прихованих закономірностей, прогнозування майбутніх змін та оцінювання альтернативних сценаріїв розвитку.

У цьому контексті штучний інтелект виконує роль своєрідного когнітивного механізму бізнес-моделі. Він не лише підтримує процес прийняття рішень, але й формує здатність системи до самонавчання. Унаслідок цього конкурентоспроможність підприємства дедалі більше визначається не обсягом матеріальних ресурсів, а здатністю ефективно використовувати інформацію для генерації нових управлінських знань.

Третім елементом адаптивного циклу виступають дані реального часу, що надходять від IoT-інфраструктури (IoT real-time data). Значення цього компонента полягає в тому, що він забезпечує безперервний зв'язок між цифровою моделлю та фізичним середовищем функціонування енергетичної системи. Завдяки мережі сенсорів, інтелектуальних лічильників та цифрових пристроїв формується можливість оперативного моніторингу технічного стану активів, параметрів генерації та споживання енергії, а також ефективності функціонування окремих елементів інфраструктури.

Фактично IoT створює інформаційну основу для реалізації принципу адаптивного управління. Будь-які відхилення від оптимальних параметрів функціонування можуть бути оперативно зафіксовані та враховані в процесі прийняття управлінських рішень. У результаті суттєво підвищується гнучкість бізнес-моделі та її здатність реагувати на зміни зовнішнього середовища без значних втрат ефективності.

Четвертим компонентом адаптивного циклу виступає інституційний зворотний зв'язок, пов'язаний із трансформацією регуляторного середовища (carbon regulation feedback). Однією з характерних особливостей сучасного енергетичного сектору є високий рівень залежності від державної політики та міжнародних кліматичних зобов'язань. У зв'язку з цим будь-які зміни в системі екологічного регулювання, механізмах вуглецевого ціноутворення або правилах функціонування енергетичних ринків безпосередньо впливають на економічну доцільність тих чи інших бізнес-моделей.

У межах адаптивного циклу такі зміни не розглядаються як зовнішні шоки, що порушують стабільність системи. Навпаки, вони виступають одним із джерел її еволюції. Бізнес-модель постійно перебудовується відповідно до нових інституційних вимог, інтегруючи регуляторні зміни у власну логіку функціонування. Таким чином, інституційне середовище стає активним учасником процесу розвитку бізнес-моделі, а не лише зовнішнім фактором впливу.

Загалом взаємодія зазначених компонентів формує замкнений цикл безперервного вдосконалення, у межах якого результати функціонування бізнес-моделі перетворюються на вхідні параметри її подальшої трансформації. Саме ця особливість дозволяє розглядати сучасні сталі бізнес-моделі як системи, здатні до саморозвитку, накопичення знань та адаптації до нових умов функціонування.

У теоретичному вимірі це дає підстави стверджувати, що цифровізація змінює не лише окремі елементи бізнес-моделі, а її онтологічну природу. Бізнес-модель перестає бути статичним інструментом організації господарської діяльності та трансформується у динамічну систему коеволуції, в межах якої технології, ринки, інститути та поведінка учасників розвиваються одночасно та взаємозалежно.

Відповідно, головним теоретичним висновком запропонованої концептуальної рамки є положення про те, що впровадження сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики не може розглядатися як завершений проект цифрової модернізації або одноразова організаційна трансформація. Йдеться про безперервний процес коеволуційного розвитку, у межах якого цифрові технології, інституційні механізми, ринкові структури та суб'єкти господарювання формують єдину адаптивну систему створення вартості.

Саме тому запропонована концепція дозволяє інтерпретувати сталу бізнес-модель у цифровізованому секторі відновлюваної енергетики як динамічну цифрово-керовану систему багатовимірного створення вартості, здатну до безперервної адаптації в умовах енергетичного переходу, цифрової трансформації та реалізації цілей сталого розвитку. Це положення становить центральний теоретичний результат дослідження та формує основу для подальших емпіричних досліджень впливу цифрових технологій на економічну, екологічну та системну ефективність підприємств сектору відновлюваної енергетики.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У результаті проведеного дослідження сформовано концептуально-каузально-інституційну модель формування та імплементації сталих бізнес-моделей у секторі відновлюваної енергетики в умовах цифрової трансформації та енергетичного переходу. Обґрунтовано, що трансформація бізнес-модельних конструкцій у досліджуваному секторі має багаторівневий характер і визначається взаємодією макроекономічних детермінант глобальної декарбонізації, інституційно-регуляторних змін та структурної перебудови енергетичних ринків на основі децентралізації та платформізації.

Доведено, що цифрові технології (Big Data, штучний інтелект, Інтернет речей, блокчейн, цифрові платформи та цифрові двійники) виступають ключовим ендегенним чинником трансформації, який за-

безпечує перехід від традиційних статичних бізнес-моделей до адаптивних, екосистемних та платформних структур. Встановлено, що інтеграція цифрових інструментів суттєво підвищує економічну ефективність функціонування енергетичних систем, сприяє зниженню екологічного навантаження та посилює системну стійкість ринку відновлюваної енергетики.

Теоретичним результатом дослідження є поглиблення концептуальних засад розуміння сталих бізнес-моделей як динамічних, коєволюційних систем, що функціонують у режимі безперервної взаємодії технологічних інновацій, інституційних змін та ринкових трансформацій. Запропонована модель дозволяє системно інтерпретувати механізми формування нових форм енергетичних взаємодій, зокрема prosumer-економіки, платформних енергетичних ринків та peer-to-peer обмінів.

Перспективи подальших досліджень полягають у необхідності емпіричної верифікації запропонованої моделі із застосуванням економіко-математичного інструментарію, зокрема регресійного моделювання та методів оцінювання ефективності цифрових інвестицій у секторі відновлюваної енергетики. Окремого наукового інтересу набуває дослідження впливу штучного інтелекту та платформних екосистем на формування нових ринкових структур та прискорення енергетичного переходу в умовах повоєнного відновлення економіки України.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Дослідження виконано в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи: 0126U000877 «Цифрова економіка та відновлювана енергетика: формування сталих бізнес-моделей для повоєнного відновлення України».

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Література

1. Borkovcová A., Černá M., Sokolová M. Blockchain in the Energy Sector — Systematic Review. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 22. P. 14793. DOI: 10.3390/su142214793.
2. Hargroves K., James B., Newman P. The Role of Distributed Energy Resources and Associated Business Models in the Decentralised Energy Transition: A Review. *Energies*. 2023. DOI: 10.3390/en16104231.
3. Hu J.-L., Li Y., Chew J.-C. Industry 5.0 and Human-Centered Energy System: A Comprehensive Review with Socio-Economic Viewpoints. *Energies*. 2025. Vol. 18, No. 9. P. 2345. DOI: 10.3390/en18092345.
4. World Energy Outlook 2024. Paris: IEA, 2024.
5. Renewable Capacity Statistics 2025. Abu Dhabi: IRENA, 2025.
6. Looock M. Unlocking the value of digitalization for the European energy transition: A typology of innovative business models. *Energy Research & Social Science*. 2020. Vol. 69. P. 101740. DOI: 10.1016/j.erss.2020.101740.
7. López O. A. et al. Energy-Sustainable IoT Connectivity: Vision, Technological Enablers, Challenges, and Future Directions. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2306.02444> (дата звернення: 09.04.2026).
8. Nosratabadi S., Mosavi A., Shamshirband S. et al. Sustainable Business Models: A Review. 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1907.10052> (дата звернення: 09.04.2026).
9. Digitalisation and Energy Transitions. Paris: OECD Publishing, 2023.
10. Radvilė E., Urbonas R. Digital transformation in energy systems: a comprehensive review of AI, IoT, blockchain, and decentralised energy models. *Energetika*. 2025. DOI: 10.6001/energetika.2025.71.1.1.
11. Ferdous M. M., Dam T., Anavatti S., Das S. Digital technologies for a net-zero energy future: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Vol. 202. P. 114681. DOI: 10.1016/j.rser.2024.114681.
12. Thakkar P., Khodaei H., Ortt J. R., Kharbeet G. Digital Technologies as Drivers of Business Model Change in Renewable Energy Firms: A Systematic Literature Review. *Systems*. 2026. Vol. 14, No. 3. P. 269. DOI: 10.3390/systems14030269.
13. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. New York: UN, 2023.
14. Digital Development Report 2024: Digital Transformation for Energy Systems. Washington, DC: World Bank, 2024.

References

1. Borkovcová, A., Černá, M., & Sokolová, M. (2022). Blockchain in the energy sector — systematic review. *Sustainability*, 14(22), 14793. <https://doi.org/10.3390/su142214793>
2. Hargroves, K., James, B., & Newman, P. (2023). The role of distributed energy resources and associated business models in the decentralised energy transition: A review. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en16104231>

3. Hu, J.-L., Li, Y., & Chew, J.-C. (2025). Industry 5.0 and human-centered energy system: A comprehensive review with socio-economic viewpoints. *Energies*, 18(9), 2345. <https://doi.org/10.3390/en18092345>
4. International Energy Agency. (2024). *World Energy Outlook 2024*. Paris: IEA.
5. International Renewable Energy Agency. (2025). *Renewable capacity statistics 2025*. Abu Dhabi: IRENA.
6. Loock, M. (2020). Unlocking the value of digitalization for the European energy transition: A typology of innovative business models. *Energy Research & Social Science*, 69, 101740. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101740>
7. López, O. A., et al. (2023). Energy-sustainable IoT connectivity: Vision, technological enablers, challenges, and future directions. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2306.02444>
8. Nosratabadi, S., Mosavi, A., Shamshirband, S., et al. (2019). Sustainable business models: A review. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1907.10052>
9. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *Digitalisation and energy transitions*. Paris: OECD Publishing.
10. Radvilė, E., & Urbonas, R. (2025). Digital transformation in energy systems: A comprehensive review of AI, IoT, blockchain, and decentralised energy models. *Energetika*. <https://doi.org/10.6001/energetika.2025.71.1.1>
11. Ferdaus, M. M., Dam, T., Anavatti, S., & Das, S. (2024). Digital technologies for a net-zero energy future: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 202, 114681. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114681>
12. Thakkar, P., Khodaei, H., Ortt, J. R., & Kharbeet, G. (2026). Digital technologies as drivers of business model change in renewable energy firms: A systematic literature review. *Systems*, 14(3), 269. <https://doi.org/10.3390/systems14030269>
13. United Nations. (2023). *Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector*. New York: UN.
14. World Bank. (2024). *Digital development report 2024: Digital transformation for energy systems*. Washington, DC: World Bank.

Дата першого надходження статті до видання: 25.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.05.2026

Дата публікації: 31.05.2026

Kolotilina Olena

*PhD, Assistant of the Department of Economic
Cybernetics
Sumy State University*

CONCEPTUAL-CAUSAL-INSTITUTIONAL MODEL OF FORMATION AND IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE BUSINESS MODELS IN THE RENEWABLE ENERGY SECTOR UNDER DIGITAL TRANSFORMATION AND ENERGY TRANSITION

Summary. *Introduction.* In the context of accelerated digital transformation and the global energy transition, a fundamental restructuring of energy market architecture is underway, accompanied by the evolution of traditional business models toward sustainability, platformization, and decentralization. Of particular relevance is the problem of forming sustainable business models in the renewable energy sector, where digital technologies act as a system-forming driver of new mechanisms for energy generation, distribution, and value monetization.

Purpose. The aim of the study is to develop theoretical and conceptual provisions and substantiate a conceptual model for the formation and implementation of sustainable business models in the renewable energy sector under conditions of digital transformation and energy transition.

Materials and Methods. The methodological framework of the study is based on evolutionary and institutional economic theory, the concept of complex adaptive systems, the theory of dynamic capabilities of firms, and the paradigm of the digital economy. The study employs systemic, causal-structural, and institutional approaches, as well as methods of conceptual modelling, abstraction, structural-logical analysis, and generalization. Special attention is given to the integration of digital technologies (Big Data, artificial intelligence, the Internet of Things, blockchain, digital platforms, and digital twins) as endogenous mechanisms of business model transformation.

Results. The study develops a conceptual-institutional model for the transformation and implementation of sustainable business models in the renewable energy sector, reflecting a multi-level interaction of macro-, meso-, and microeconomic determinants. It is substantiated that digital technologies act as catalysts of co-evolutionary changes in energy systems, enabling the transition from static to adaptive business models. It is demonstrated that the implementation of digital tools contributes to improved economic efficiency, reduced environmental impact, and enhanced systemic resilience of energy markets.

Discussion. Future research should focus on the empirical verification of the proposed model using econometric and mathematical tools, including multivariate regression analysis and models for assessing the effectiveness of digital investments in the renewable energy sector. Of particular scientific interest is the development of applied mechanisms for evaluating the impact of artificial intelligence and platform-based solutions on the formation of prosumer ecosystems and the market transformation of energy structures.

Key words: sustainable business models, prosumer models, renewable energy, digital economy, prosumer economy, energy platforms, complex adaptive systems, artificial intelligence, Big Data, Internet of Things, blockchain, sustainable development.