

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ КОНСТРУЮВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ЕКОСИСТЕМ У КОНТЕКСТІ СИНЕРГІЇ ЦИФРОВОЇ ТА ЗЕЛЕНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЙ

Баула Олена Вікторівна

канд. екон. наук, доцент,

завідувач кафедри міжнародних економічних відносин

Луцький національний технічний університет, Україна

Анотація. У статті визначено ключові механізми синергії між цифровими та зеленими трансформаціями в контексті інноваційних екосистем; виявлено основні бар'єри (інституційні, організаційні, технологічні, регіональні та ресурсні), що перешкоджають формуванню синергетичних ефектів у інноваційних екосистемах під час twin transition, та оцінено їх вплив у контексті країн з перехідною економікою; запропоновано концептуальну модель конструювання інноваційних екосистем, адаптовану до вимог синергії цифрової та зеленої трансформацій, з визначенням ключових принципів, компонентів, етапів формування та індикаторів синергетичної ефективності.

Ключові слова: синергетичний ефект; сталий розвиток; цифровізація економіки; екологічна модернізація; відкриті інновації; федеративні простори даних; цифрові двійники; інституційне середовище; зелена економіка; data-driven управління.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку глобальної економіки характеризується одночасним розгортанням двох фундаментальних трансформаційних процесів — цифрової та зеленої (сталої), які дедалі частіше розглядаються в науковій літературі та політиці як подвійний перехід (twin transition), який визнаний ключовим механізмом досягнення цілей кліматичної нейтральності, циркулярної економіки та конкурентоспроможності на засадах знань до 2030–2050 років (Європейський зелений курс, Digital Decade, стратегічні документи ОЕСР, ООН та ін.).

Водночас емпіричні дані та теоретичні дослідження свідчать про існування суттєвих розривів між цими двома траєкторіями:

- цифрова трансформація часто супроводжується зростанням енергоспоживання, електронними відходами та вуглецевим слідом дата-центрів і пристроїв;
- зелена трансформація нерідко гальмується недостатньою доступністю даних, низькою прозорістю ланцюгів постачання, повільним впровадженням інтелектуального моніторингу та оптимізації ресурсів.

Саме синергія цифрових і зелених технологій (AI, IoT, digital twins, big data, blockchain, edge computing тощо) визнається сьогодні головним резервом



прискорення переходу до низьковуглецевої та ресурсоефективної економіки. Проте реалізація такої синергії вимагає не лише технологічних рішень, а й якісно нового організаційного рівня — інноваційних екосистем, здатних забезпечувати тісну взаємодію між наукою, бізнесом, державою, громадянським суспільством та інвесторами.

Незважаючи на активне зростання публікацій з окресленої проблематики, залишаються недостатньо розробленими такі ключові питання:

- які концептуальні моделі та принципи конструювання інноваційних екосистем найбільш адекватно відображають специфіку синергетичної взаємодії цифрової та зеленої трансформацій;
- як враховувати асиметрії розвитку (регіональні, галузеві, розмірні) при формуванні таких екосистем, особливо в країнах з перехідною економікою та в умовах воєнних і поствоєнних викликів;
- які інституційні, організаційні та технологічні бар'єри перешкоджають досягненню синергетичного ефекту та як їх можна системно подолати.

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена необхідністю теоретичного обґрунтування концептуальних засад побудови інноваційних екосистем, які б виступали не просто «майданчиками» для впровадження окремих цифрових чи зелених технологій, а організаційно-інституційними архітектурами синергії подвійного переходу, що забезпечують стале, інклюзивне та конкурентоспроможне економічне зростання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Поняття подвійного переходу, що поєднує цифрову та зелену (сталу) трансформації, активно розробляється в європейській та вітчизняній науковій літературі: наявна значна кількість емпіричних та концептуальних праць, присвячених ролі інноваційних екосистем як організаційного механізму синергії цих двох траєкторій.

Значний внесок у розуміння синергії цифрової та зеленої трансформацій зробили роботи, що акцентують на потенціалі цифрових технологій для прискорення декарбонізації та ресурсоефективності [1; 2]. Водночас деякі автори підкреслюють ризик зростання енергоспоживання та вуглецевого сліду від дата-центрів і цифрової інфраструктури [3; 4].

Щодо інноваційних екосистем як інструменту twin transition можна виділити такі напрями досліджень:

- підприємницькі та регіональні інноваційні екосистеми як платформи для поєднання цифрових і зелених інновацій. Rodriguez S. [5] та Hegerty S. [6] демонструють, що кластери та підприємницькі екосистеми суттєво прискорюють впровадження Industry 4.0 та циркулярної економіки завдяки спільним сервісам інновацій, сильному лідерству та мережам співпраці. Членство в кластерах підвищує як цифрову зрілість, так і рівень зелених практик (сертифікація, низьковуглецеві технології);

- міські та регіональні виміри подвійного переходу. Lember V. та ін. [7] аналізують, як міста координують взаємодію режимів цифровізації та сталості, підкреслюючи необхідність нових організаційних можливостей та багаторежимне управління. Аналогічно, Abbasiharofteh M. та ін. [8] за допомогою великомасштабного мапінгу німецьких фірм показують, що регіональні AI-компетенції позитивно корелюють з ринковими застосунками twin transition;

- роль цифрових платформ та технологічних інфраструктур. Jurmu M. та ін. [9] та Ben Youssef A. [10] досліджують федеративні простори даних і цифрові платформи як засоби забезпечення синергії, особливо в контексті природоорієнтованих рішень та оптимізації життєвого циклу за допомогою цифрових двійників, штучного інтелекту та Інтернету речей;

- критичні аспекти та бар'єри. Низка авторів звертає увагу на асиметрії: географічні диспаритети [11], інституційні бар'єри в країнах Центральної та Східної Європи [12], а також напругу між цифровізацією та зростанням енерговитрат [13].

Вітчизняні дослідники аналізують синергію цифрових інновацій (цифрова економіка, інструменти цифровізації) та зелених технологій для підвищення конкурентоспроможності, енергоефективності та зменшення екологічного навантаження [14]; обґрунтовують, що концепція подвійного переходу вимагає поєднання водоспадних і agile-підходів для ефективного впровадження зелених та цифрових технологій [15]; аналізують вплив цифрової трансформації бізнесу як каталізатора впровадження зелених технологій у контексті подвійного переходу [16].

Незважаючи на значний прогрес, у науковій літературі залишаються прогалини: недостатньо розроблені універсальні концептуальні моделі конструювання інноваційних екосистем, спеціально адаптовані до синергії twin transition; бракує емпіричних досліджень у країнах з перехідною економікою та в умовах кризових викликів; не повною мірою враховуються інституційні, організаційні та культурні бар'єри для досягнення справжньої синергії.

Отже, аналіз останніх публікацій свідчить про актуальність розробки концептуальних засад конструювання інноваційних екосистем, які б виступали архітектурою синергії цифрової та зеленої трансформацій, з урахуванням регіональних особливостей та необхідності подолання бар'єрів.

Мета роботи. Мета статті полягає в розробці концептуальних засад конструювання екосистем з урахуванням специфіки синергії цифрової та зеленої трансформацій.

Виклад основного матеріалу. Синергія цифрової та зеленої трансформацій у контексті інноваційних екосистем реалізується через взаємне посилення двох процесів: цифровізація прискорює досягнення екологічних цілей, тоді як зелені вимоги стимулюють ефективніше впровадження цифрових рішень. У рамках регіональних, кластерних та підприємницьких екосистем ця синергія забезпечується системною взаємодією наукових установ, бізнесу, держави, громадянського суспільства та інвесторів.

Основні механізми синергії включають технологічні інструменти Industry 4.0/5.0, які безпосередньо сприяють оптимізації ресурсів і зниженню екологічного навантаження. Цифрові двійники дозволяють моделювати життєвий цикл продуктів із метою зменшення відходів та енергоспоживання. Штучний інтелект і аналітика великих даних забезпечують прогнозування неефективностей та оптимізацію енергетичних і матеріальних потоків. Інтернет речей та сенсорні мережі здійснюють моніторинг у реальному часі, а блокчейн-технології гарантують прозорість ланцюгів постачання і верифікацію екологічних стандартів.



Організаційно-структурні механізми передбачають формування мереж співпраці в кластерах та регіональних інноваційних системах, де спільні сервіси інновацій, лідерство та обмін знаннями прискорюють інтеграцію цифрових і зелених практик. Федеративні простори даних забезпечують безпечний обмін інформацією для спільного моніторингу ESG-показників, а моделі quadruple/quintuple helix інтегрують громадянське суспільство, сприяючи інклюзивності переходу.

Інституційні механізми підтримки синергії формуються через регуляторні рамки (Європейський зелений курс, Digital Decade) та фінансові стимули для комбінованих проєктів, що дозволяють подолати бар'єри, зокрема географічні диспаритети, ефекти відскоку та інституційні асиметрії в перехідних економіках.

Реалізація зазначених механізмів у інноваційних екосистемах забезпечує мультиплікативний ефект: зниження викидів парникових газів, підвищення ресурсоефективності, формування циркулярних бізнес-моделей та зростання конкурентоспроможності. В умовах України ці механізми набувають особливого значення для післявоєнної відбудови, де поєднання цифрових платформ і регіональних кластерів може стати основою переходу до низьковуглецевої економіки.

Незважаючи на значний потенціал синергії цифрової та зеленої трансформацій, у більшості інноваційних екосистем реалізується лише частковий або адитивний ефект замість очікуваного мультиплікативного. Це зумовлено системними бар'єрами, які перешкоджають повній інтеграції двох траєкторій переходу. Аналіз літератури дозволяє виокремити п'ять ключових груп бар'єрів: інституційні, організаційні, технологічні, регіональні та ресурсні (таблиця 1).

Таблиця 1

Основні бар'єри формування синергетичних ефектів у інноваційних екосистемах під час twin transition та їх вплив у країнах з перехідною економікою

Тип бар'єру	Основні прояви	Вплив на синергетичні ефекти	Специфіка в країнах з перехідною економікою	Рівень впливу
Інституційний	Фрагментоване регулювання, відсутність інтегрованої стратегії twin transition	Блокує спільне фінансування та нормативну підтримку	Неузгодженість законів про цифровізацію та «зелений» курс, слабка координація міністерств	Високий
Організаційний	Слабкі мережі співпраці, дефіцит крос-функціональних команд	Перешкоджає обміну знаннями та спільному створенню цінності	Низький рівень довіри між бізнесом, наукою та владою, брак досвіду quintuple-helix моделей	Високий



Продовження табл. 1

Тип бар'єру	Основні прояви	Вплив на синергетичні ефекти	Специфіка в країнах з перехідною економікою	Рівень впливу
Технологічний	Ефекти відскоку (rebound effects), висока вартість інтеграції, низька інтероперабельність	Знижує ефективність цифрових рішень для зелених цілей	Обмежений доступ до federated data spaces та цифрових двійників, висока залежність від імпорту технологій	Середній-високий
Регіональний	Значна територіальна асиметрія розвитку екосистем	Посилює нерівність доступу до ресурсів інновацій	Концентрація потенціалу в кремних містах та регіонах країни	Високий
Ресурсний	Обмеженість фінансування, дефіцит кваліфікованих кадрів	Гальмує масштабування пілотних проєктів	Висока вартість капіталу, відтік спеціалістів з цифрових та зелених компетенцій	Високий

дані сформовано з [11; 12; 13; 14].

Найбільш критичними є інституційні бар'єри (відсутність скоординованої політики, фрагментоване регулювання, неузгодженість стратегій цифровізації та зеленого курсу), організаційні (слабка взаємодія між учасниками екосистеми, дефіцит крос-функціональних компетенцій, брак спільного лідерства) та технологічні (висока вартість інтеграції цифрових рішень із зеленими технологіями, проблема rebound effects та недостатня інтероперабельність платформ). Регіональні та ресурсні бар'єри посилюються в країнах з перехідною економікою через значну територіальну асиметрію та обмеженість фінансових і кадрових ресурсів.

У країнах з перехідною економікою сукупний вплив зазначених бар'єрів є особливо руйнівним, оскільки вони не лише знижують синергетичний потенціал, а й створюють ризик «часткового переходу», коли цифрова трансформація відбувається окремо від зеленої, що призводить до зростання енергоспоживання та екологічного навантаження [13]. В умовах України додатковим ускладнюючим фактором виступає воєнний контекст, який посилює ресурсні та регіональні диспропорції.

Таким чином, подолання виявлених бар'єрів вимагає не локальних заходів, а системної концептуальної рамки конструювання інноваційних екосистем, що стане предметом подальшого розгляду в роботі.



У сучасних умовах подвійного переходу, що охоплює цифрову та зелену трансформації, формування інноваційних екосистем потребує розроблення цілісної концептуальної моделі, здатної забезпечити синергію між технологічним розвитком і досягненням цілей сталого розвитку. Запропонована модель (рис. 1) ґрунтується на інтеграції системного, екосистемного та трансформаційного підходів і передбачає формування багаторівневої структури взаємодії акторів, інфраструктур, інституційних механізмів і потоків даних. Її ключовою особливістю є орієнтація на досягнення синергетичного ефекту, за якого впровадження цифрових технологій одночасно сприяє підвищенню екологічної ефективності та ресурсозбереженню.

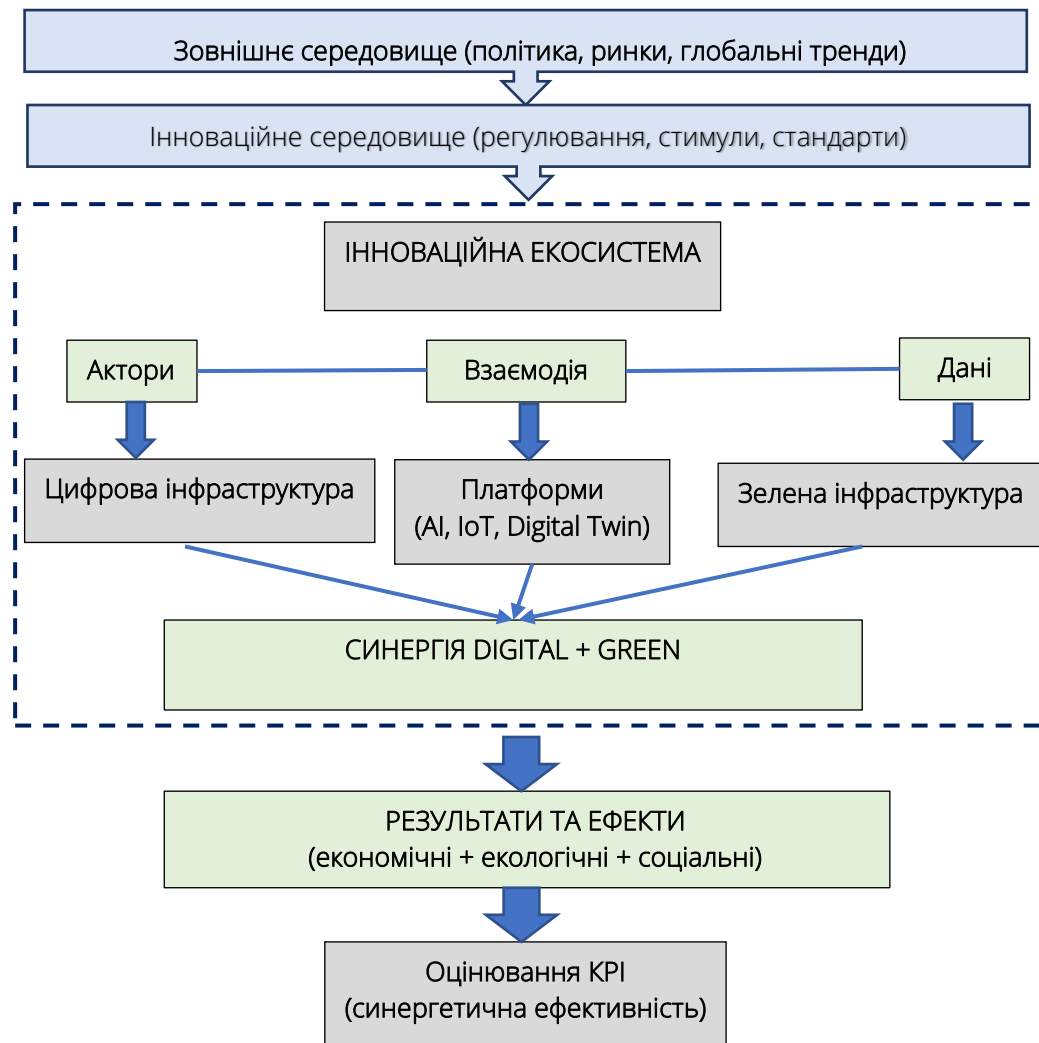


Рис 1. Концептуальна модель інноваційної екосистеми в умовах синергії цифрової та зеленої трансформацій

У межах запропонованої моделі інноваційна екосистема розглядається як динамічна мережа взаємопов'язаних суб'єктів, до яких належать підприємства, науково-дослідні установи, органи державної влади, інвестори та інститути громадянського суспільства. Їх взаємодія забезпечується через цифрову

інфраструктуру, що включає хмарні платформи, технології штучного інтелекту, інтернету речей, цифрові двійники та федеративні простори даних, які створюють умови для ефективного обміну інформацією та координації діяльності. Водночас зелена складова екосистеми формується за рахунок інтеграції відновлюваних джерел енергії, циркулярних моделей виробництва та екологічно орієнтованих технологій, що забезпечують зниження антропогенного навантаження на довкілля.

Функціонування такої екосистеми базується на принципах синергії, відкритості, інтероперабельності, сталості, мультиакторності та адаптивності, що забезпечують узгодження інтересів учасників і здатність системи до саморозвитку. Особливу роль відіграє даноцентричний підхід до управління, який передбачає використання великих масивів даних для прийняття управлінських рішень і прогнозування розвитку. Інституційне середовище, у свою чергу, формує нормативно-правову та організаційну основу функціонування екосистеми, стимулюючи інноваційну активність і впровадження зелених технологій через відповідні політики та фінансові інструменти.

Процес формування інноваційної екосистеми має ітеративний характер і включає послідовний перехід від етапу діагностики наявного потенціалу та ідентифікації структурних розривів до етапу проектування архітектури взаємодії, подальшої інтеграції учасників через цифрові платформи та масштабування інноваційних рішень. Завершальним елементом є постійне оцінювання результативності та адаптація моделі до змін зовнішнього середовища. Така логіка розвитку забезпечує не лише накопичення інноваційного потенціалу, але й його ефективну реалізацію у вигляді економічних, екологічних і соціальних результатів.

Оцінювання синергетичної ефективності функціонування екосистеми доцільно здійснювати на основі інтегрованої системи індикаторів, що відображають взаємозв'язок між цифровими та зеленими результатами. Зокрема, йдеться про показники зростання інноваційної продуктивності, рівень цифровізації процесів, обсяг обміну даними, скорочення викидів парникових газів, підвищення енергоефективності, а також рівень розвитку людського капіталу. Важливим є врахування інтегральних показників, що відображають співвідношення екологічного ефекту до обсягів цифрових інвестицій та ступінь міжсекторальної інтеграції інновацій.

Таким чином, запропонована концептуальна модель дозволяє забезпечити комплексний підхід до конструювання інноваційних екосистем, у межах якого цифрові технології виступають не лише інструментом економічного зростання, але й каталізатором екологічної трансформації. Її застосування створює передумови для формування нової якості економічного розвитку, що базується на принципах сталості, інноваційності та синергетичної взаємодії.

Висновки та пропозиції. У результаті проведеного дослідження обґрунтовано, що конструювання інноваційних екосистем у сучасних умовах має здійснюватися з урахуванням взаємопов'язаного характеру цифрової та зеленої трансформацій, які формують нову парадигму економічного розвитку. Встановлено, що досягнення синергетичного ефекту можливе лише за умови інтеграції цифрових технологій із екологічно орієнтованими підходами на всіх



рівнях функціонування екосистеми — від стратегічного планування до операційної реалізації інноваційних рішень.

Запропонована концептуальна модель інноваційної екосистеми дозволяє системно поєднати ключові елементи цифрової інфраструктури, зеленої економіки, інституційного середовища та мультиакторної взаємодії. Доведено, що її застосування сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів, стимулює розвиток інноваційного підприємництва та забезпечує зниження екологічного навантаження. Особливого значення набуває впровадження даноцентричних механізмів управління, які забезпечують прийняття обґрунтованих рішень на основі аналізу даних та сприяють підвищенню прозорості й узгодженості дій учасників екосистеми.

Обґрунтовано доцільність використання інтегрованої системи індикаторів для оцінювання синергетичної ефективності, яка дозволяє враховувати економічні, екологічні, цифрові та соціальні результати функціонування екосистеми. Це створює передумови для комплексного моніторингу трансформаційних процесів і своєчасного коригування стратегій розвитку.

Практична реалізація запропонованих підходів потребує формування сприятливого інституційного середовища, розвитку цифрової інфраструктури, а також активізації інвестицій у зелені та цифрові технології. У цьому контексті доцільним є посилення ролі державної політики у стимулюванні інтеграційних процесів, підтримці відкритих інновацій та розвитку федеративних баз даних.

З огляду на отримані результати доцільно запропонувати такі напрями подальшого розвитку та практичного впровадження:

- по-перше, удосконалення нормативно-правового забезпечення розвитку інноваційних екосистем із урахуванням принципів синергії цифрової та зеленої трансформацій;
- по-друге, стимулювання створення та розвитку цифрових платформ і федеративних баз даних як основи для інтеграції учасників екосистеми;
- по-третє, розширення фінансових інструментів підтримки інновацій, зокрема через механізми зеленого фінансування та державно-приватного партнерства;
- по-четверте, розвиток людського капіталу шляхом формування цифрових і «зелених» компетентностей, необхідних для забезпечення трансформаційних процесів;
- по-п'яте, впровадження системи моніторингу та оцінювання синергетичної ефективності інноваційних екосистем на основі інтегрованих показників.

Таким чином, реалізація запропонованих підходів сприятиме формуванню ефективних інноваційних екосистем, здатних забезпечити стійке економічне зростання, підвищення конкурентоспроможності та досягнення цілей сталого розвитку в умовах цифрової та зеленої трансформацій.

Список використаних джерел:

- [1] Montresor, S., & Vezzani, A. (2023). Digital technologies and eco-innovation. Evidence of the twin transition from Italian firms. *Industry and Innovation*. Volume 30. Issue 7. <https://doi.org/10.1080/13662716.2023.2213179>

- [2] Diodato, D., Huergo, E., Rentocchini, F., & Moncada-Paternò-Castello, P. (2023). Introduction to the special issue on «the twin (digital and green) transition: handling the economic and social challenges». *Industry and Innovation*, 30(7), 755–765. <https://doi.org/10.1080/13662716.2023.2254272>
- [3] Bianchini, S., Damioli, G., & Ghisetti, C. (2023). The environmental effects of the «twin» green and digital transition in European regions. *Environmental and Resource Economics*, 84(4), 877–918. <https://doi.org/10.1007/s10640-022-00741-7>
- [4] OECD Digital Economy Outlook 2024. Volume 2: Digital technologies and the environment. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/quantifying-digital-innovation-for-the-twin-transition_8cc4cff0-en.html
- [5] Rodriguez Santiago, J. J. (2024). Cultivating entrepreneurial ecosystems for the twin transition. *Scientific Papers of the University of Pardubice*. Volume 32. Issue 2, 1-12. <https://www.econstor.eu/handle/10419/334834>
- [6] Hegerty, S. W., Kowalski, A. M. (2026). The impact of clusters on twin transition: Green and digital transformation. *Digital Policy, Regulation and Governance*, 1-18. <https://doi.org/10.1108/DPRG-05-2025-0134>
- [7] Lember, V., Vihma, P., Bylicki, V., et al. (2025). The twin transition puzzle: Can city governments align digital and sustainability regimes? *UCL Institute for Innovation and Public Purpose Working Paper Series*, (IIPP WP 2025-12). https://www.ucl.ac.uk/bartlett/sites/bartlett/files/2025-07/The%20Twin%20Transition%20Puzzle_0.pdf
- [8] Abbasiharofteh, M., Kriesch, L. (2026). Not all twins are identical: The geography of «twin» transition market applications. *Applied Geography*. Volume 190. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2026.103974>
- [9] Jurmu, M., Niskanen, I., Kinnula, A., Kääriäinen, J., & Tuomainen, M. (2023). Exploring the role of federated data spaces in implementing twin transition within manufacturing ecosystems. *Sensors*, 23(9), 4315. <https://doi.org/10.3390/s23094315>
- [10] Ben Youssef, A. (2025). Twin transition: Digital transformation pathways for sustainable innovation. *Sustainability*, 17(21), 9491. <https://doi.org/10.3390/su17219491>
- [11] Marrocu, E., et al. (2026). Leveraging the twin transition: The impact of green and digital investments on firm performance. *Economics of Innovation and New Technology*, 1-32. <https://doi.org/10.1080/10438599.2025.2612614>
- [12] Brozkova, D., Prokop, V., et al. (2025). Twin transition across Central and Eastern European innovation ecosystems in times of multi-crises: The quintuple-helix perspective. *Baltic Journal of European Studies*. Vol. 15(3), 55-101. <https://ideas.repec.org/a/vrs/bjeust/v15y2025i3p55-101n1003.html>
- [13] Hambye-Verbrugghen, J., Bianchini, S., Brockway, P. E., Aramendia, E., K. Heun, M., & Marshall, Z. (2026). From twin transition to twice the burden? Digitalisation, energy demand, and economic growth. *Ecological Economics*. Volume 239, Article 108747. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2025.108747>
- [14] Дзямулич, М. І., & Рейкін, Ю. Ю. (2024). Подвійний цифровий та зелений перехід в контексті формування стійкої економічної системи. *Економіка та суспільство*, 61. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-62>
- [15] Мартиняк, І. (2024). Гібридні моделі управління проєктами в умовах сталого розвитку та цифрової економіки. *Економічний розвиток*, 3(50), 21-26. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-50-4>
- [16] Дзямулич, М. І. (2025). Цифрова трансформація бізнесу як каталізатор впровадження зелених технологій. *Інвестиції: практика та досвід*, № 5. <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.5.96>



CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF CONSTRUCTING INNOVATION ECOSYSTEMS IN THE CONTEXT OF THE SYNERGY OF DIGITAL AND GREEN TRANSFORMATIONS

Olena Baula

Ph.D in Economic sciences, Associate professor,
Head of the Department of International Economic Relations
Lutsk National Technical University, Ukraine

Summary. *The article identifies the key mechanisms of synergy between digital and green transformations in the context of innovation ecosystems. It reveals the main barriers (institutional, organizational, technological, regional, and resource-related) that hinder the formation of synergistic effects in innovation ecosystems during the twin transition, and assesses their impact in the context of countries with transition economies. A conceptual model for constructing innovation ecosystems adapted to the requirements of the synergy between digital and green transformations is proposed, with the identification of key principles, components, stages of formation, and indicators of synergistic efficiency.*

Keywords: *synergistic effect; sustainable development; digitalization of the economy; environmental modernization; open innovation; federated data spaces; digital twins; institutional environment; green economy; data-driven governance.*