

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-82-159>

УДК 334.78:65.012.4:004

ЦИФРОВІ РІШЕННЯ В МОДЕЛІ ПРОМИСЛОВОГО СИМБІОЗУ: ОРГАНІЗАЦІЙНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ

DIGITAL SOLUTIONS IN THE INDUSTRIAL SYMBIOSIS MODEL: ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC ASPECTS

Мельникова Марина Віталіївна

доктор економічних наук, доцент,

Інститут економіки промисловості Національної академії наук України

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5342-622X>**Melnykova Maryna**

Institute of Industrial Economics of National academy of sciences of Ukraine

Стаття присвячена дослідженню актуального питання використання цифрових рішень в моделі промислового симбіозу для управління учасниками еко-індустріальних парків, створення яких визнано Урядом України важливим елементом сталого повоєнного відновлення економіки. Проаналізовано вітчизняний та зарубіжний досвід переходу до цифрових рішень в циркулярних бізнес-моделях та еко-індустріальних парках. Запропоновано використання диференційованого підходу до нових та існуючих моделей промислового симбіозу, а також врахування організаційних особливостей та економічних можливостей його учасників (включаючи трансформації циркулярної бізнес-моделі при переході на обмін енергією на підставі технології смарт-грид в умовах «зеленого» виробництва, а також забезпечення економії матеріальних ресурсів та бюджетних коштів за рахунок рекуперації теплової енергії технологічних процесів до комунальних мереж теплопостачання).

Ключові слова: промисловий симбіоз, модель, організаційні особливості та економічні можливості, впровадження цифрових рішень.

The article is devoted to the study of the use of digital solutions in the industrial symbiosis model, which is an important component of the management of eco-industrial park participants. The relevance of the study is determined by the fact that eco-industrial parks have been recognized by the Government of Ukraine as an important element of the sustainable post-war recovery of the Ukrainian economy, and digitalization and decarbonization are priority areas of industrial development. The purpose of the article is to develop recommendations for taking into account organizational and economic aspects when transitioning to the use of digital solutions in the industrial symbiosis model. To achieve the goal, the following research methods were used: analysis and synthesis, systematic approach, comparison, grouping, logical generalization. The domestic and foreign experience of transitioning to digital solutions (automation of business processes, creation of digital platforms, implementation of smart technologies based on the Internet of Things, processing of big data, use of elements of artificial intelligence and blockchain technologies) in circular business models and eco-industrial parks is analyzed. The need to take into account the organizational features and economic capabilities of participants in industrial symbiosis when implementing digital solutions is substantiated. The use of a differentiated approach to the use of digital solutions in new and existing models of industrial symbiosis is proposed. Attention is paid to the transformation of the circular business model when using digital solutions by participants in industrial symbiosis, which exchange energy based on smart grid technology in conditions of "green" production (hydrogen, metal, etc.). The need to take into account the role of the territorial community and the degree of development of digital infrastructure when forming a strategy and tactics for the transition to the use of digital solutions in the industrial symbiosis model has been identified. The developed proposals are useful for specialists involved in the implementation of individual digital solutions in new and existing models of industrial symbiosis. The issue of financing the comprehensive implementation of digital solutions in the industrial symbiosis model requires further research.

Keywords: industrial symbiosis, model, organizational features and economic opportunities, implementation of digital solutions.

Постановка проблеми. Завдання раціонального використання ресурсів, підтримки екологічної безпеки та створення комфортних умов життя населення були та залишаються актуальними для української економіки як в довоєнний період, так і в період сталого повоєнного відновлення. Вирішенню зазначених завдань сприяє промисловий симбіоз, який визнано Урядом України одним з критеріїв перетворення індустріальних парків в еко-індустріальні парки у відповідності до Стратегії розвитку індустріальних парків до 2030 року (Розпорядження КМУ №176-р від 24.02.2023 р.) (далі – Стратегія), яка містить розроблену за участю проєкту GEPP Ukraine Концепцію розвитку еко-індустріальних парків та план операційних дій. Проєкт GEPP Ukraine (далі – Проєкт) реалізується в Україні UNIDO за підтримки уряду Швейцарії в два етапи. В рамках другого етапу, який розраховано на 2025-2028 рр., Проєктом прийнято участь у розробці стандарту ДСТУ 9328:2025 Еко-індустріальні парки – Критерії сталості та метод оцінювання (Наказ УкрНДЦ № 95 від 05.06.2025 р.). Серед критеріїв трансформації індустріальних парків в еко-індустріальні визначено створення промислових симбіозів між підприємствами. Промисловий симбіоз являє собою міжгалузеве об'єднання підприємств, модель управління яким повинна забезпечити узгоджену переробку первинних та вторинних ресурсів, включаючи енергоресурси, що передбачає використання інформаційно-комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень. Завдання декарбонізації та цифровізації в сфері промислового розвитку, які було поставлено Урядом України в довоєнний період, актуальні в період воєнного стану та повоєнного відновлення, що обумовлює дослідження питань переходу до цифрових рішень в моделі промислового симбіозу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми формування та використання моделей промислового симбіозу як в рамках еко-індустріальних парків, так і безпосередньо на промислових територіях розглянуто в роботах вітчизняних та зарубіжних вчених та практиків [1-3], процес економічного управління в рамках організації промислового симбіозу, включаючи циркулярні бізнес-моделі, представлено в дослідженнях [4;5], перехід до використання цифрових рішень в складних організаційно-економічних системах, в загальному, та еко-індустріальних парках, зокрема, розглянуто в авторах робіт [6-11].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. В представлених дослідженнях вітчизняних та зарубіжних фахівців розглянуто впровадження цифрових рішень в еко-індустріальних парках, які використовують класичні циркулярні бізнес-моделі, а промисловий симбіоз передбачає обмін ресурсами та енергією за критерієм «три-два» (мінімум три учасника беруть участь в обміні мінімум двох ресурсів) шляхом використання одного з трьох видів взаємовигідного обміну (повторне використання супутніх продуктів, спільне використання комунальних послуг або інфраструктури, задоволення потреб в додаткових послугах), що відображено в роботах [1-3; 8-11]. Звичайно промисловий симбіоз має пріоритетним завданнями підвищення екологічної безпеки та створення комфортних умов життя населення за рахунок максимізації переробки відходів, а економічні вигоди, пов'язані з раціональним використанням ресурсів та енергії, не є пріоритетними. В умовах повоєнного відновлення економіки України декілька змінюються пріоритети використання моделі промислового симбіозу та на передній план виходять завдання ресурсозбереження та ресурсоефективності, що не виключає підтримки екологічної безпеки. Крім того слід враховувати, що елементи промислового симбіозу (обмін первинними та вторинними ресурсами і енергією між підприємствами містоутворювачого, містообслуговуючого та містобудівного секторів, дотримання принципів промислової екології) без створення еко-індустріальних парків мали місце у великих промислових містах, зокрема Дніпро, Запоріжжя, Кривий Ріг, Маріуполь, Харків ще в довоєнний період [12]. Тому цей процес слід продовжити, зважаючи на досвід Калундбогу, в якому ділові та партнерські зв'язки між підприємствами під керівництвом органів місцевого самоврядування перетворилися в модель промислового симбіозу, успішно діючу в еко-індустріальному парку. В даний час в Україні налічується 111 індустріальних парків, третя частина з яких комунальні (створені за ініціативою територіальної громади). Саме ці парки потенційно можуть перетворитися в еко-індустріальні в рамках співробітництва бізнесу з органами місцевого самоврядування та територіальними громадами. Важливим чинником переходу до цифрових рішень виступає наявність цифрової інфраструктури на території впровадження моделі промислового симбіозу. Це також слід враховувати в умовах повоєнного відновлення

економіки зважаючи на обсяги руйнування інфраструктурних об'єктів в період воєнного стану. Тому невирішеною частиною загальної проблеми є адаптація існуючих та розробка власних підходів до використання цифрових рішень в моделі промислового симбіозу як організації міжгалузевої економічної взаємодії підприємств з обміну первинними і вторинними ресурсами та енергією в умовах повоєнного відновлення економіки.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета статті полягає в розробці рекомендацій щодо врахування організаційних та економічних аспектів при переході до використання цифрових рішень в моделі промислового симбіозу. Для досягнення мети в процесі дослідження використано методи: аналізу та синтезу, системний підхід, порівняння, групування, логічного узагальнення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження організаційних та економічних аспектів процесу переходу до використання цифрових рішень в моделі промислового симбіозу пов'язано з тим, що обмін ресурсами та енергією між учасниками в моделі складає економічний аспект, а організація міжгалузевої взаємодії – організаційний. Впровадження цифрових рішень в економічну складову моделі, пов'язану з обміном ресурсами та енергією, передбачає перехід до смарт-технологій у виробництві та використанні Інтернету речей для збору та накопичення даних про перебіг технологічних процесів в реальному масштабі часу; елементів штучного інтелекту для контролю та узгодження технологічних процесів; обробку великих даних про перебіг технологічних процесів для трансформації їх в економічну інформацію. Цифрові рішення для організаційної складової моделі промислового симбіозу полягають у використанні: цифрових платформ для зниження трансакційних витрат, пов'язаних з пошуком партнерів; блок-чейн технологій для створення інтегрованої бази даних учасників та забезпечення прозорості трансакцій між ними; укладання смарт-контрактів для обміну ресурсами між учасниками та управління ланцюгами постачання. Що стосується автоматизації бізнес-процесів та цифровізації циркулярної бізнес-моделі, то такі цифрові рішення звичайно використовують при розробці нової моделі промислового симбіозу. Слід зазначити, що циркулярна бізнес-модель передбачає наявність замкненого ланцюга постачання, що може викликати зниження загальної продуктивності. Це пов'язано

з тим, що відходи (вторинні ресурси) зазвичай мають нижчу якість ніж первинні ресурси, що потребує здійснення управління якістю відходів шляхом інтеграції їх постачальника в операційні процеси їх переробника. При цьому слід враховувати ступінь непередбачуваності та неоднорідності зворотних потоків. Використання Інтернету речей, штучного інтелекту та аналітики даних дозволяє оптимізувати виробничі процеси за рахунок збору технологічних даних та перетворення їх в інформацію, а також інтегрувати виробників та переробників відходів (вторинних ресурсів) або користувачів скидної енергії до ланцюгів постачання в режимі реального часу. В умовах використання цифрових рішень в циркулярній бізнес-моделі змінюються не ланки ланцюга вартості, які поєднують процес виробництва та реалізації продукції, а їх зміст та розташування, що впливає на склад та ролі учасників створення вартості. Поряд з циркулярної бізнес-моделлю для управління учасниками промислового симбіозу також використовується інформаційно-аналітична комп'ютерна система. Цифрова трансформація таких комп'ютерних систем управління докладно представлена в роботах [7; 8]

Слід підкреслити доцільність використання диференційованого підходу до впровадження цифрових рішень для нових та існуючих моделей промислового симбіозу. При переході до цифрових рішень для існуючих моделей промислового симбіозу необхідно забезпечити збереження організаційно-економічної структури, яка відображує рух ресурсних та інформаційних потоків між учасниками. При цьому слід враховувати те, що за результатами опитування, представленими в роботі [6], раціональному енергоспоживанню та підвищенню ефективності переробки ресурсів сприяє впровадження смарт-технологій та Інтернету речей, для управління запасами та ланцюгами постачання використовується аналітика великих даних, стандартизації сировини та сертифікації готової продукції сприяє використанню технології блок-чейн, а штучний інтелект оцінює вплив на довкілля і контролює надійність постачальників та замовників. Зважаючи на те, цифрові рішення потребують залучення значних фінансових ресурсів та спеціально підготовлених наявності фахівців, порядок їх впровадження визначається виходячи з організаційних особливостей та економічних можливостей учасників промислового симбіозу.

Для нових виробництв при впровадженні цифрових рішень в модель промислового

симбіозу слід враховувати такі обставини. При використанні цифрових рішень в моделі промислового симбіозу між виробниками та споживачами відновлюваної енергії можлива організація перехресного обміну первинними та вторинними енергоресурсами на підставі використання технології смарт-грид, що в свою чергу впливає на їх економічні взаємовідносини. Тому, в проектах з виробництва «зеленого водню» для узгодження енергетичних потреб та можливостей їх отримання має сенс передбачити залучення непрофільних активних споживачів-просьюмерів «зеленої» енергії (сонячної або вітрової), які діють на території присутності, та забезпечення їх обладнанням для зберігання надлишково виробленої енергії або використання для цього хмарних сховищ енергії (у відповідності до досвіду Німеччини). Ця надлишково вироблена енергія – вторинний ресурс може використовуватися як резервна в процесі переробки первинного ресурсу (води) для виробництва «зеленого» водню. На користь залучення активних споживачів-просьюмерів також є спрощення Урядом України процедури дозволу розміщення сонячних батарей на дахах житлових будинків. Це дозволить вирішити не тільки проблему організації резервного енергопостачання, але й сприятиме зниженню негативного відношення місцевого населення до зменшення запасів прісної води за рахунок організації виробництва «зеленого» водню. Також необхідно додатково визначити та економічно оцінити процес перехресного використання енергоресурсів на підставі технології смарт-грид учасниками промислового симбіозу. Поряд з організаційними особливостями слід враховувати можливості економії матеріальних ресурсів та бюджетних коштів за рахунок використання технології смарт-грид на підставі корегування обсягів централізованого виробництва теплової енергії комунальними підприємствами при рекуперації теплової

енергії технологічних процесів непрофільних виробництв до мережи міського теплопостачання в рамках моделі промислового симбіозу. Реалізація запропонованих підходів трансформації циркулярної бізнес-моделі та економії матеріальних і фінансових ресурсів за рахунок впровадження цифрових рішень учасниками промислового симбіозу залежить від наявності цифрової інфраструктури та участі органів місцевого самоврядування в процесах організації обміну ресурсами та енергією між виробниками «зеленої» енергії і комунальними підприємствами.

Висновки. Таким чином, розглянуті досвід та розроблені пропозиції щодо врахування організаційно-економічних аспектів впровадження цифрових рішень в модель промислового симбіозу є локальними. Для перетворення їх в комплексні доцільна розробка відповідної стратегії і тактики на підставі наявних організаційних особливостей міжгалузевої взаємодії підприємств з обміну первинними і вторинними ресурсами та енергією, а також можливості отримання економічних, екологічних та соціальних ефектів за рахунок цього обміну. Стратегія визначає пріоритети та принципи, а тактика – умови а чинники впровадження цифрових рішень в модель промислового симбіозу. В процесі впровадження цифрових рішень в модель промислового симбіозу можуть бути отримані додаткові економічні ефекти та виявлено резерви економії ресурсів і енергії. Поряд з ефектами існують бар'єри, пов'язані з необхідністю підвищення кібербезпеки, підготовкою персоналу, послідовністю впровадження цифрових рішень учасниками промислового симбіозу і т. ін. Зазначені бар'єри мають вплив на тактику впровадження цифрових рішень в модель промислового симбіозу, тому шляхи їх подолання та забезпечення комплексного впровадження цифрових рішень повинні стати предметом подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Мазур Е.М., Король Е.І. Еко-індустріальні парки як напрям інноваційного розвитку виробничих територій. *Просторовий розвиток*. 2023. № 6. С. 71-89.
2. Maranesi C., De Giovanni P. Modern Circular Economy: Corporate Strategy, Supply Chain, and Industrial Symbiosis. *Sustainability*. 2020. № 12(22). URL: <https://doi.org/10.3390/su12229383>
3. Chopra S., Khanna V. Understanding resilience in industrial symbiosis networks: Insights from network analysis. *Journal of Environmental Management*. 2014. № 141. P. 86-94.
4. Dong L., Taka G.N., Lee D., Park Y., Park H. S. Tracking industrial symbiosis performance with ecological network approach integrating economic and environmental benefits analysis. *Resources, Conservation and Recycling*. 2022. Vol. 185. Article 106454. URL: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106454>

5. Заблоцька Р.О., Русак Д.М. Особливості розвитку циркулярних бізнес-моделей в умовах сталого розвитку. *Журнал стратегічних економічних досліджень*. 2024. № 4(21). С. 28-37. DOI: 10.30857/2786-5398.2024.4.3
6. Geissdoerfer M., Pieroni M.P.P., Pigosso D.C.A., Soufani K. Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 277. Article 12374. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>
7. Мельник А.О. Впровадження цифрових рішень для оптимізації управлінських процесів організації. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2024. Том 9. № 4. С. 171–176
8. Свиноус І. В., Радько В. І., Хахула Б. В. Цифрова трансформація бізнес-процесів фінансово-промислових компаній: економічні переваги та ризики. *Економіка та суспільство*. 2025. № 81 DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-81-87>
9. Schoggl J. P., Rusch M., Stumpf L., Baumgartner R.J. Implementation of digital technologies for a circular economy and sustainability management in the manufacturing sector. *Sustainable Production and Consumption*. 2022. Vol. 35. P. 401-420. URL: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.012>
10. Ahmad Termizi S.N.A., Wan Alwi S.R., Manan Z.A., Varbanov, P.S. Potential Application of Blockchain Technology in Eco-Industrial Park Development. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. Article 52. URL: <https://doi.org/10.3390/su15010052>
11. Mollica M., Fraccascia L. Nastasi A. What drives the success of online platforms for industrial symbiosis? An agent-based model. *Ecological Economics*. 2025. Vol. 230. Article 108502. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108502>
12. Melnykova M., Boichenko M., Ragulina N., Kocheshkova I. The Task of "recycling-revitalization" as a Priority of Sustainable Development of Ukrainian Industrial Cities. *European Journal of Sustainable Development*. 2022. Vol.11. Issue 1. P. 212-229 URL: <https://doi.org/10.14207/ejsd.2022.v11n1p212>

REFERENCES:

1. Mazur, E.M., & Korol, E.I. (2023). Eko-industrialni parky yak napriam innovatsiinoho rozvytku vyrobnychkykh terytorii [Eco-industrial parks as a direction of innovative development of production areas]. *Spatial development*, 6, 71-89. [in Ukrainian].
2. Maranesi, C., & De Giovanni, P. (2020). Modern Circular Economy: Corporate Strategy, Supply Chain, and Industrial Symbiosis. *Sustainability*. 12(22). URL: <https://doi.org/10.3390/su12229383>
3. Chopra, S., & Khanna, V. (2014). Understanding resilience in industrial symbiosis networks: Insights from network analysis. *Journal of Environmental Management*, 141, 86-94.
4. Dong, L., Taka, G. N., Lee, D., Park, Y., & Park, H. S. (2022). Tracking industrial symbiosis performance with ecological network approach integrating economic and environmental benefits analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 185, 106454. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106454>
5. Zablotska, R.O., & Rusak, D.M. (2024). Osoblyvosti rozvytku tsyrkuliarnykh biznes-modelei v umovakh staloho rozvytku [Peculiarities of the development of circular business models in the context of sustainable development.]. *Journal of Strategic Economic Research*, 4(21), 28-37. DOI: 10.30857/2786-5398.2024.4.3 [in Ukrainian].
6. Geissdoerfer, M., Pieroni, M.P.P., Pigosso, D.C.A., & Soufani, K. (2020). Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production*. 277. 12374. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>
7. Melnyk A.O. (2024). Vprovadzhennia tsyfrovyykh rishen dlia optymizatsii upravlinskykh protsesiv orhanizatsii. [Implementation of digital solutions for optimizing the organization's management processes]. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, 9(4), 171–176 [in Ukrainian].
8. Svynous, I.V., Radko, V.I. & Khakhula, B.V. (2025). Tsyfrova transformatsiia biznes-protsesiv finansovo-promyslovykh kompanii: ekonomichni perevahy ta ryzyky [Digital transformation of business processes of financial and industrial companies: economic benefits and risks]. *Economy and society*, 81. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-81-87> [in Ukrainian].
9. Schoggl, J.P., Rusch, M., Stumpf, L., & Baumgartner R.J. (2022). Implementation of digital technologies for a circular economy and sustainability management in the manufacturing sector. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 401-420. URL: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.012>
10. Ahmad Termizi S.N.A. Ahmad Termizi, S.N.A., Wan Alwi, S.R., Manan, Z.A., & Varbanov, P.S. (2023). Potential Application of Blockchain Technology in Eco-Industrial Park Development. *Sustainability*, 15, 52. URL: <https://doi.org/10.3390/su15010052>
11. Mollica, M., Fraccascia, L. & Nastasi, A. (2025). What drives the success of online platforms for industrial symbiosis? An agent-based model. *Ecological Economics*, 230, 108502. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108502>

12. Melnykova, M., Boichenko, M., Ragulina, N. & Kocheshkova, I. (2022). The Task of "recycling-revitalization" as a Priority of Sustainable Development of Ukrainian Industrial Cities. *European Journal of Sustainable Development*, 11(1), 212-229 URL: <https://doi.org/10.14207/ejsd.2022.v11n1p212>

Дата надходження статті: 08.12.2025

Дата прийняття статті: 18.12.2025

Дата публікації статті: 29.12.2025