

Мехович Сергій Анатолійович, д.е.н., професор кафедри економіки бізнесу і міжнародних економічних відносин, +38(050)402-62-12, sm261245@gmail.com, ORCID ID:0000-0001-7080-7609

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002*

Кузьминський Костянтин Миколайович, аспірант PhD кафедри економіки бізнесу і міжнародних економічних відносин, +38(050)781-53-31, kantonion@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-2491-7440.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002*

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ У ІННОВАЦІЙНИХ ВИРОБНИЧИХ КЛАСТЕРАХ

Анотація. В статті розглянуто питання щодо особливостей процесів діджиталізації у таких мережеских формуваннях, як інноваційні виробничі кластери. Зазначено, що мета діджиталізації – підвищення інноваційності, конкурентоспроможності та адаптивності кластеру в умовах глобальних технологічних змін. Визначено сутність цифрової трансформації кластеру. Зазначено, що основні вирішувальні задачі діджиталізації для членів кластеру стосуються майже усіх сфер його діяльності. Обґрунтовано, що загальний вплив її на економіку проявляється у створенні ефекта мультиплікатора: цифрові кластери стимулюють розвиток суміжних галузей – ІТ, логістики, освіти, енергетики; формуванні цифрової інфраструктури регіонів; зменшенні залежності від імпорту технологій (через локальну розробку та кооперацію); зростанні експорту інтелектуальних рішень; підвищенні ефективності публічного управління через публічно-приватне партнерство. Побудовано складові процесу діджиталізації виробничого інноваційного кластеру та визначено сутність і напрями дій цих складових. Розроблено повну систему оцінки зрілості кожної виділеної вище складової діджиталізації (KPI) та обґрунтовано механізм діагностики його цифрового стану. Наведено приклад застосування системи KPI цифрової зрілості до інноваційного виробничого кластеру «Мехатроніка» (умовно-реальна модель, адаптована для ілюстрації діагностики) та здійснено оцінку його цифрової зрілості за складовими. На основі цих розрахунків сформульовано рекомендації щодо розвитку кластеру. Процеси діджиталізації створюють певні ефекти для економіки кластеру, інноваційної діяльності, у конкурентоспроможності, залученні інвестицій, а також у соціальній сфері. Обґрунтовано очікувані наслідки діджиталізації інноваційного виробничого кластеру. Зазначено, що важливою задачею для інноваційних кластерів є забезпечення ефективної безперервної взаємодії, обміну даними між членами кластеру, автоматизації рішень і гнучкого управління інноваціями. Вирішення цієї задачі забезпечується на основі інтеграції таких компонентів, як цифрові платформи, хмарні рішення, Digital Twin і штучний інтелект (AI). Розглянуто сутність, задачі, механізми інтеграції, очікувані наслідки інтеграції цифрових платформ, хмарних рішень, Digital Twin, AI.
Ключові слова: діджиталізація, кластер, цифрова трансформація, вплив на економіку, зрілість, KPI цифрової зрілості.

Mekhovich Sergiy, D.E.Sc., professor of the Department of Business Economics and International Economic Relations, +38(050)402-62-12, sm261245@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7080-7609

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".

2, Kirpychova St., Kharkiv, Ukraine, 61002.

Kuzmyskyi Kostiantyn, PhD student of the Department of Business Economics and International Economic Relations, +38 (050)781-53-31, kantonion@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-2491-7440.

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".
2, St. Kirpychova, Kharkiv, Ukraine, 61002.

FEATURES OF DIGITALIZATION PROCESSES IN INNOVATIVE PRODUCTION CLUSTERS

Abstract. *The article considers the issue of the features of digitalization processes in such network formations as innovative production clusters. It is noted that the goal of digitalization is to increase the innovativeness, competitiveness and adaptability of the cluster in the conditions of global technological changes. The essence of the digital transformation of the cluster is determined. It is noted that the main decisive tasks of digitalization for cluster members relate to almost all areas of its activity. It is substantiated that its overall impact on the economy is manifested in the creation of a multiplier effect: digital clusters stimulate the development of related industries - IT, logistics, education, energy; the formation of digital infrastructure of regions; - reducing dependence on the import of technologies (through local development and cooperation); increasing the export of intelligent solutions; increasing the efficiency of public administration through public-private partnership. The components of the digitalization process of a production innovation cluster are constructed and the essence and directions of action of these components are determined. A complete system for assessing the maturity of each of the above-mentioned components of digitalization (KPI) has been developed and a mechanism for diagnosing its digital state has been substantiated. An example of applying the KPI system of digital maturity to the innovative production cluster "Mechatronics" (a conditional-real model adapted to illustrate diagnostics) has been given and its digital maturity by components has been assessed. Based on these calculations, recommendations for the development of the cluster have been formulated. Digitalization processes create certain effects for the cluster economy, innovation activity, competitiveness, investment attraction, and also in the social sphere. The expected consequences of the digitalization of the innovative production cluster have been substantiated. It is noted that an important task for innovative clusters is to ensure effective continuous interaction, data exchange between cluster members, decision automation, and flexible innovation management. The solution to this problem is provided based on the integration of such components as digital platforms, cloud solutions, Digital Twin, and artificial intelligence (AI). The essence, tasks, integration mechanisms, expected consequences of the integration of digital platforms, cloud solutions, Digital Twin, AI are considered.*

Keywords: *digitalization, cluster, digital transformation, impact on the economy, maturity, KPI of digital maturity.*

Постановка проблеми. Сучасні умови глобальної конкуренції, динамічний розвиток цифрових технологій та зростаюча складність виробничих процесів вимагають від інноваційно орієнтованих виробничих кластерів гнучкості, адаптивності та здатності до швидкої трансформації. У цьому контексті діджиталізація виступає не лише інструментом модернізації окремих підприємств, але й системним чинником підвищення ефективності функціонування кластеру як цілісної інноваційної екосистеми.

Разом з тим, процеси діджиталізації у межах виробничих кластерів мають ряд особливостей і викликів, пов'язаних із різномірністю цифрової зрілості учасників кластеру, обмеженими ресурсами МСП (які часто є ядром кластерних структур), відсутністю уніфікованих стандартів цифрової взаємодії, необхідністю інтеграції цифрових рішень із урахуванням міжгалузевої кооперації, специфіки виробничих технологій та управлінських моделей.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розроблення методологічних підходів до оцінки, планування та супроводу процесів діджиталізації саме в кластерному форматі, де важливо забезпечити синергію цифрових рішень та узгодженість стратегій цифрового розвитку на рівні всіх учасників.

Таким чином, виникає науково-практична проблема – як забезпечити ефективну діджиталізацію інноваційних виробничих кластерів з урахуванням внутрішньої структурної складності, технологічної неоднорідності та різного рівня цифрової готовності учасників, що потребує ґрунтовного аналізу, моделювання та розробки інструментів управління цим процесом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом особливої актуальності набули наукові публікації стосовно процесів діджиталізації [1-16]. Розкриттю ролі цифровізації як чинника економічної трансформації, визначенню напрямів цифрової трансформації та дослідженню впливу цифровізації на соціально-економічну безпеку та стан економіки України присвячена колективна монографія за ред. Антонюк Л., Ільницького Д. та Севастюк А. «Цифровізація як чинник економічної трансформації та соціально-економічної безпеки України: теорія, практика, перспективи»(2025) [9].

Теоретико-концептуальні, методологічні та практичні аспекти інноваційного розвитку національних економік на основі кластерного підходу розглянуто в монографії «Кластерна політика інноваційного розвитку національної економіки: інтеграційний та інфраструктурний аспекти» (2020) [1]. На підставі узагальнення світового та європейського досвіду доводиться стратегічна роль кластерних структур для економічного зростання та забезпечення конкурентоспроможності національних економік на глобальному

рівні. На основі сегментного аналізу галузевих кластерних ініціатив в Україні запропонована кластерна модель структурної трансформації та конкурентного розвитку стратегічно важливих для економіки країни галузей, що має практичну актуальність.

В огляді 3-х спільнот кластерів ІАМ (Миколаєва, Харкова та Запоріжжя) проаналізовано поточний стан та систематизовано ключові терміни та поняття у спільноті промислових кластерів (2022) [15].

У науково-аналітичному звіті [8] систематизовано закономірності, особливості та передумови і наслідки процесів цифрової трансформації національних економічних моделей (2021).

Дослідники Зеркіна О. та Євстаф'єв С. (2024) у своїй статті досліджують сутність поняття діджиталізації, процес її впровадження у сфері підприємницької діяльності та вплив на розвиток українського бізнесу. Авторами проаналізовано сучасний стан діджиталізації підприємництва в Україні та її значення для економіки. Розглянуто державні заходи стимулювання впровадження цифрових технологій у підприємницьку діяльність та окреслено загальні риси сучасної державної політики у сфері цифрової економіки. Слід погодитись із ствердженням авторів, що вплив процесів діджиталізації на розвиток бізнесу, впровадження цифрових технологій не лише сприяє підвищенню продуктивності, але й в деяких сферах є об'єктивно необхідним засобом для забезпечення подальшої конкурентоспроможності бізнесу в умовах сучасного розвитку ринкових відносин. Автори також небезпідставно стверджують, що діджиталізація підприємництва є загальносвітовим процесом й Україна є активним його учасником [3].

Опрацювання зазначених та інших публікацій свідчить про стрімкий розвиток діджиталізації в Україні, а використання цифрових технологій захопило усі сектори економіки, включаючи мережеві структури. Тому наукове дослідження процесів діджиталізації підприємництва та їх результатів у кластерних формуваннях набуло вагомого значення.

Постановка завдання. Метою статті є узагальнення питань щодо особливостей процесів діджиталізації у таких мережових формуваннях, як інноваційні виробничі кластери, а також дослідження стану діджиталізації кластеру на основі поняття «цифрова зрілість кластеру».

Виклад основного матеріалу дослідження. Діджиталізація у виробничому кластері – це системне впровадження цифрових технологій, які забезпечують з'єднання, координацію, автоматизацію та інтелектуалізацію спільної діяльності підприємств, наукових закладів, влади та інфраструктурних учасників. Мета діджиталізації – підвищення інноваційності, конкурентоспроможності та адаптивності кластеру в умовах глобальних технологічних змін [1].

Призначення цифрової трансформації кластеру полягає у наступному. Перш за все – це організація взаємодії членів кластеру через цифровий хаб (Digital Hub) на основі платформи для спільної роботи [2]. По-друге, це інтелектуалізація рішень завдяки використанню AI, Big Data, IoT, Digital Twins. По-третє, діджиталізація сприяє скороченню трансакційних витрат завдяки – автоматизації логістики, закупівель, документообігу [3,4]. Завдяки діджиталізації формується спільний інформаційний простір для членів кластеру. Фактично це єдиний реєстр проєктів, компетенцій та обладнання. Нарешті, завдяки діджиталізації забезпечується кібербезпека та цифровий суверенітет, тобто, захист даних кластеру та стратегічної інформації. Основні вирішувальні задачі діджиталізації для членів кластеру стосуються майже усіх сфер його діяльності (табл. 1). Загальний вплив на економіку проявляється у створенні:

- ефекта мультиплікатора: цифрові кластери стимулюють розвиток суміжних галузей – IT, логістики, освіти, енергетики [5,6];
- формуванні цифрової інфраструктури регіонів [7];
- зменшенні залежності від імпорту технологій (через локальну розробку та кооперацію);
- зростанні експорту інтелектуальних рішень;
- підвищенні ефективності публічного управління через публічно-приватне партнерство.

Таблиця 1 – Основні вирішувальні задачі діджиталізації для членів кластеру.

Сфера	Завдання
Виробництво	Впровадження Smart Factory, систем моніторингу та управління виробництвом
Наука, розробки та дослідження (R&D)	Інтеграція з цифровими платформами обміну знаннями, симуляції та моделювання
Бізнес і менеджмент	Прийняття рішень на основі аналітики, цифровий аудит
Маркетинг і збут	Удосконалення цифрових каналів комунікації з ринками, впровадження CRM-систем, цифрових маркетингів
Логістика	Впровадження трекінгу, цифрових систем управління постачанням
Освіта та HR	Навчання цифровим компетенціям, формування цифрової культури

Процеси діджиталізації охоплюють цілу низку питань від забезпечення цифрової інтеграції учасників кластеру та цифрової взаємодії з ринком до використання штучного інтелекту і цифрових двійників у цифровій взаємодії з ринком (рис. 1).



Рисунок 1 – Складові процесу діджиталізації виробничого інноваційного кластеру. Розроблено авторами.

Розглянемо сутність і напрями дій складових, представлених у рис. 1.

1. *Цифрова інфраструктура кластеру* – це фізична та віртуальна основа для діджиталізації: мережі, сервери, хмари, цифрові платформи [8]. Напрямки дії – забезпечення швидкого та безпечного обміну даними між учасниками кластеру, інтеграція з IoT, хмарними сервісами, кіберзахист та створення Digital Hub кластеру.

2. *Цифрова інтеграція учасників кластеру* – це зв'язування підприємств, НДР, освітніх установ, органів влади в єдиний цифровий простір [9]. Напрямки дії: впровадження єдиних стандартів обміну даними (API, формати), створення платформи спільного управління проектами, синхронізація інноваційних циклів (R&D-виробництво-ринок).

3. *Автоматизація бізнес-процесів* спрямована на впровадження цифрових інструментів для оптимізації операцій. Напрямки дії: створення ERP/MES/CRM-системи для підприємств, автоматичне планування виробництва і логістики, роботизація операцій (RPA) .

4. *Штучний інтелект та аналітика даних* побудовані на застосуванні алгоритмів AI/ML для прийняття рішень, прогнозів та їх оптимізації [10]. Напрямки дії: прогнозування попиту, обсягів замовлень, ризиків; оптимізація енергоспоживання, маршрутів доставки, інтелектуальні системи контролю якості, тощо.

5. *Цифрові двійники (Digital Twins)* – це віртуальні копії виробничих процесів, продуктів, підприємств [11,12]. Напрямки дії: випробування продуктів у віртуальному середовищі, імітаційне моделювання перед реальним запуском, контроль зношування обладнання, предиктивний ремонт.

Вважається, що вперше "цифрові двійники" були згадані в американській космічній та оборонній промисловості приблизно 20 років тому при обговоренні подальшого розвитку комп'ютерного моделювання. Без створення цифрових двійників виробів неможливе впровадження сучасної технології PLM (Product Lifecycle Management, управління життєвим циклом виробу). IoT і PLM — невід'ємні атрибути "розумної фабрики" (Smart Factory). Її характерна риса — формування та використання цифрової моделі матеріальних потоків, тобто. Цифрового двійника вже не окремого виробу, а виробничої системи. Усі названі вище технології – підходи до реалізації концепції Четвертої індустріальної революції (Industry 4.0). Якщо традиційної промисловості досягнення необхідних характеристик виробу ведеться через численні натурні випробування, то Індустрії 4.0 ставиться завдання проводити багаторазові випробування з допомогою

цифрового двійника, а натурні випробування проходити з першого разу. Цифровий двійник виробу включає: геометричну та структурну модель об'єкта, набір розрахункових даних деталей, вузлів та виробів загалом, математичні моделі, що описують всі фізичні процеси, що відбуваються у виробі, інформацію про технологічні процеси виготовлення та збирання окремих елементів та виробу в цілому, систему керування життєвим циклом виробу, цифровий двійник застосовується на всіх стадіях життєвого циклу виробу, включаючи проектування, виробництво, експлуатацію та утилізацію [12]. Сьогодні "цифрові двійники" стали однією з ключових технологій диджиталізації у багатьох сферах. Згідно з аналізом консалтингової компанії McKinsey, глобальний ринок технології цифрових двійників зростатиме на 60 % щорічно і досягне 73,5 млрд дол. до 2027 року [13]. Розробка рішення в галузі Digital Twins може коштувати десятки тисяч доларів. При оцінці вартості варто враховувати ризики, які можна спрогнозувати та усунути за допомогою цих технологій. Якщо потенційні збитки від ризиків сильно перевищують вартість розробки, інвестувати в неї доцільно. Крім того, грамотне застосування Digital Twins швидко окупається. Розробка цифрових двійників виробництва потребує не лише програмістів, тестерів і дизайнерів, а також фахівців у галузі Data Science та кібербезпеки. Дуже небагато компаній сьогодні готові самостійно вирішити завдання такої розробки, не залучаючи досвідчених партнерів чи аутсорсерів, тому колаборація у межах мережевих структур буде сприяти підвищенню ефективності цієї роботи.

6. *Індустріальний Інтернет речей (IIoT)* – це система підключених пристроїв, датчиків і машин у виробництві. Напрямки дії: постійний моніторинг процесів і стану машин, збір телеметрії для аналітики, інтеграція з цифровими платформами обліку й управління [14].

7. *Кібербезпека* – це захист цифрових систем кластеру від атак, втрати або витоку даних. Напрямки дії: створення системи виявлення атак і реагування, захист персональних та комерційних даних, контроль доступу до кластерних платформ.

8. *Цифрове управління знаннями (Knowledge Management)* – це управління накопиченими знаннями, цифровими архівами, бібліотеками стандартів. Напрямки дії: формування внутрішніх кластерних баз знань, створення латформи для обміну ноу-хау між учасниками кластеру, інтеграція з освітніми та науковими інституціями.

9. *Цифрова взаємодія з ринком* забезпечується завдяки цифровим канали збуту, маркетингу, сервісного обслуговування. Напрямки дії: створення власних маркетплейсів, розвиток електронної комерції (e-commerce), Big Data-аналітика ринків, впровадження клієнтських цифрових кабінетів та систем підтримки.

10. *Навчання та розвиток цифрових компетенцій* потрібні для системного навчання персоналу кластеру новим цифровим навичкам. Напрямки дії: впровадження системи навчання, за допомогою інформаційних, електронних технологій (створення платформ Electronic Learning, *e-learning*) для членів кластеру, створення центрів компетенцій при університетах, сертифікація цифрової грамотності. *E-learning* значно популяризувався у 2020 році, причиною чому став Covid-19. Епідемія та вимушений карантин змусили людей дистанціюватись, унеможлививши традиційну методіку аудиторного викладання. Рішенням стало електронне навчання – процес отримання знань із застосуванням цифрових технологій [17]. Перехід на онлайн освіту є не тільки вимушеним заходом, а й успішною методикою для покращення освітньої системи. *E-learning* – це метод навчання, який передбачає використання мультимедіа, спеціальних онлайн-платформ та програмних забезпечень. Раніше викладачі були змушені знаходити способи залучення учнів до предмету у книгах, через власний досвід або за допомогою порад інших педагогів. Наразі для цього використовують інструменти електронного навчання, такі як: тестування, презентації, опитування, вікторини, онлайн-лекції тощо. Цей формат є гнучким та універсальним, оскільки дозволяє підлаштовувати його підконкретні задачі.

Стан діджиталізації кластеру характеризує таке поняття, як *цифрова зрілість кластеру* [16]. Це рівень розвитку та інтеграції цифрових технологій у всіх ключових функціях кластеру – від виробництва до управління знаннями. Цей

показник дозволяє виявити слабкі місця та сформувати дорожню карту діджиталізації. Розробимо повну систему оцінки зрілості кожної виділеної вище складової діджиталізації (KPI) [17] та обґрунтуємо механізм діагностики його цифрового стану кластеру (Табл. 2).

Таблиця 2 – Складові процесу діджиталізації інноваційного кластеру та рівні їх зрілості згідно запропонованим KPI для кожної складової. *Складено авторами.*

№	Складова	Ключові KPI	Рівні зрілості (1–5)	Пояснення
1	Цифрова інфраструктура	% учасників з підключенням до кластерної мережі % хмарних сервісів у користуванні	1 – відсутня, 5 – повністю інтегрована кластерна платформа	Базовий рівень цифрової екосистеми
2	Цифрова інтеграція	Кількість API-з'єднань між підприємствами % спільних цифрових проєктів	1 – ізольовані IT-системи 5 – єдина цифрова операційна система кластеру	Визначає рівень синхронізації
3	Автоматизація процесів	% автоматизованих бізнес-процесів кількість впроваджених ERP/MES	1 – ручне управління 5 – наскрізна автоматизація	Впливає на продуктивність та помилки
4	AI/Аналітика	Кількість AI-алгоритмів у використанні Наявність систем прогнозування	1 – аналітика в Excel 5 – інтелектуальна підтримка рішень	Показує здатність до адаптації
5	Digital Twins	Наявність цифрових двійників % процесів, змодельованих віртуально	1 – немає 5 – цифрові двійники всіх ключових процесів	Інструмент оптимізації та передбачення
6	ІоТ/ІюТ	Кількість сенсорів, що генерують дані устаткування з ІюТ-модулями, %	1 – відсутність 5 – повна підключеність виробництва	Ступінь оцифрування фізичного середовища
7	Кібербезпека	Наявність політики безпеки. Кількість інцидентів/місяць	1 – відсутність систем 5 – сертифікована система (ISO, NIST)	Впливає на довіру та стійкість
9	Цифровий маркетинг/ канали	% продажів через цифрові канали К-сть активних клієнтів у CRM	1 – традиційні методи 5 – оцифровані взаємини	Визначає динаміку виходу на ринок
10	Навчання і цифрова культура	% працівників, що пройшли <i>e-learning</i> . Кількість сертифікатів з IT-напрямів	1 – низька обізнаність 5 – кластерна система підготовки кадрів	Визначає рівень людської готовності до сприймання цифрових технологій

Визначемо, яким чином пов'язати КРІ із діагностикою стану кластеру та виділимо етапи вирішення цієї задачі.

Етап 1. Оцінюються всі 10 складових процесу діджиталізації інноваційного кластеру, зазначених у таблиці 1, кожна за шкалою 1–5 балів.

Етап 2. Розраховується інтегральний індекс цифрової зрілості кластеру (ІЦЗК) за формулою (1):

$$\text{ІЦЗК} = \frac{\sum_{i=1}^{10} w_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^{10} w_i} \quad (1)$$

де V_i – оцінка складової (1–5), w_i – вага складової (від 0 до 1, яка задається експертно).

Етап 3. Результати діагностики кластеру зводимо у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати діагностики кластеру.

І Ц З К	Інтерпретація
1.0–2.0	Початковий рівень (кластер лише починає діджиталізацію)
2.1–3.0	Базовий рівень (впроваджені окремі рішення, не інтегровані)
3.1–4.0	Середній рівень (існує координація, але немає єдиного середовища)
4.1–4.5	Високий рівень (кластер функціонує як цифрова екосистема)
4.6–5.0	Еталонний рівень (інноваційно-цифровий кластер нового покоління)

Така діагностика дає можливість виявити «вузькі місця» у діджиталізації, сформувати дорожню карту цифрової трансформації, а також обґрунтувати залучення державної чи донорської підтримки, що надає можливість порівняння кластерів між собою (бенчмаркінг).

Розглянемо приклад застосування системи КРІ цифрової зрілості до інноваційного виробничого кластеру «Мехатроніка» (умовно-реальна модель, адаптована для ілюстрації діагностики) [18]. До кластеру входять понад сорока високотехнологічних підприємств, науково-дослідні установи, університети, інжинірингові компанії, цифрова платформа та освітні партнери (табл. 3).

Таблиця 3 – Оцінка цифрової зрілості інноваційного виробничого кластеру «Мехатроніка» за складовими (1–5).

№	Складова	KPI-показники	Оцінка (V _i)	Коментар
1	Цифрова інфраструктура	87 % учасників мають захищений доступ до кластерної платформи	4	Висока інтеграція, проте відсутні деякі елементи SmartGrid
2	Цифрова інтеграція	Створено понад 10 спільних цифрових проєктів	3.5	Є цифровий хаб, але інтеграція не повна
3	Автоматизація	68 % підприємств впровадили MES/ERP	4	Добрий рівень автоматизації, однак не всі пов'язані
4	AI/Аналітика	Прогнозування техобслуговування на 60 % об'єктів	3.5	Використовується AI, але не системно
5	Digital Twins	4 підприємства активно застосовують цифрових двійників	2.5	Пілотний етап, без масштабного розгортання
6	ІоТ	Встановлено понад 1200 сенсорів у 6 компаніях	3	Є зростання, але поки не критична маса
7	Кібербезпека	Є базові політики, але вони не сертифіковані	2.5	Середній рівень, потрібна централізація
8	Управління знаннями	Існує спільна база навчальних модулів	3	Розвивається, але бракує актуалізації в реальному часі
9	Цифровий маркетинг	6 компаній вийшли на глобальні цифрові ринки	4	Активно використовуються e-commerce, CRM
10	Навчання/культура	Проведено понад 15 цифрових курсів за 2 роки	3.5	Є внутрішня система сертифікації персоналу

Розрахуємо Індекс Цифрової Зрілості Кластеру (ІЦЗК) без ваг (усі $w_i = 1$):

$$\text{ІЦЗК} = \frac{4 + 3.5 + 4 + 3.5 + 2.5 + 3 + 2.5 + 3 + 4 + 3.5}{10} = \frac{33.5}{10} = 3.35 \quad (2)$$

Розрахунки показують, що:

- 1) поточний рівень ІЦЗК «Мехатроніка» має середній рівень 3.35;
- 2) у кластері є інфраструктура, цифрова платформа, автоматизація;
- 3) спостерігається часткова інтеграція ІоТ, Digital Twins, AI.
- 4) кластер потребує вдосконалення в кібербезпеці, знаннях та моделюванні.

На основі цих розрахунків можна дати наступні рекомендації щодо розвитку кластеру (табл. 4).

Таблиця 4 – Основні напрями дій у розвитку кластеру «Мехатроніка».

Напря́м	Дії
Digital Twins	Масштабувати пілотні моделі на ключові виробничі процеси
Кібербезпе́ка	Впровадити кластерну політику безпеки, пройти сертифікацію (ISO 27001)
AI/Аналі́тика	Створити Центр предиктивної аналітики на базі хабу <i>Знання та освіта</i> . Формалізувати систему цифрових сертифікацій (Digital Skills Passport)
IoT	Досягти повної підключеності виробничих вузлів до IoT-моніторингу

Для наочності представимо отримані дані у вигляді діаграми Ківіата (радарної діаграми) [15]. Радарна діаграма (Radar chart) – це графічний метод відображення багатовимірних даних у вигляді двовимірного графіка трьох або більше кількісних змінних, представлених на осях, що починаються в одній точці. Головне призначення радарної діаграми – дати графічне уявлення про проблемні зони.

Радарна діаграма дає змогу порівнювати системи за декількома параметрами (більше трьох). Параметри розташовуються через рівні кутові інтервали. На кожній осі ставиться одна точка, яка відповідає даній системі. Поєднання точок утворює контур, що є характеристикою системи. Радарна діаграма цифрової зрілості інноваційного кластеру «Мехатроніка» має наступний вигляд (рис. 2).

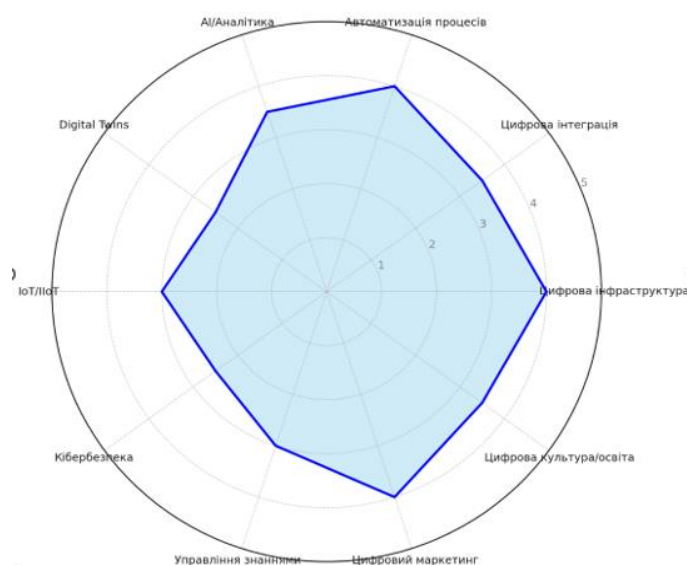


Рисунок 2 – Радарна діаграма цифрової зрілості кластеру «Мехатроніка».

Така діагностика дозволяє побудувати поетапну стратегію цифрової трансформації, прив'язану до конкретних КРІ.

Схематично ці складові процесів діджиталізації інноваційних кластерів можна згрупувати за чотирма рівнями (табл. 5).

Таблиця 5 – Рівень та групи складових відповідно цілям процесів діджиталізації.

№ n/n	Рівень	Група складових	Ціль
1	Технічний	Інфраструктура, IoT, Digital Twins	Цифровізація середовища
2	Операційний	Автоматизація, AI, Big Data	Оптимізація процесів
3	Системний	Інтеграція, безпека, платформи	Координація діяльності
4	Людський	Освіта, управління знаннями	Розвиток персоналу

Процеси діджиталізації створюють певні ефекти для економіки кластеру, інноваційної діяльності, у конкурентоспроможності, залученні інвестицій, а також у соціальній сфері (табл. 6).

Таблиця 6 – Очікувані наслідки діджиталізації інноваційного виробничого кластеру.

Напрямок	Очікувані результати
Економіка кластеру	Зростання продуктивності, зменшення витрат, збільшення швидкості обміну даними
Інновації	Прискорення циклу інновацій: від ідеї до впровадження
Конкурентоспроможність	Вихід на нові ринки, персоналізація продуктів, сервісні моделі
Залучення інвестицій	Прозорість даних, аналітика ризиків, кіберзахист
Соціальний ефект	Нові робочі місця, перекваліфікація кадрів, цифрова інклюзія

Як видно з аналізу, кластер “Мехатроніка” – приклад середньо-зрілого інноваційного виробничого кластеру з потужною базою, що готовий до масштабної діджиталізації.

Висновки

1. Процеси діджиталізації у виробничих кластерах мають багаторівневий характер, охоплюючи як внутрішні перетворення на рівні окремих підприємств, так і міжорганізаційну інтеграцію в рамках спільної цифрової інфраструктури. Особливої уваги потребує гармонізація цифрових стратегій учасників кластеру з метою досягнення синергетичного ефекту.

2. Цифрова трансформація кластерів ускладнюється наявністю бар'єрів, серед яких найпоширенішими є: нерівномірний рівень цифрової зрілості підприємств, недостатній рівень цифрових компетенцій персоналу, обмеженість фінансових ресурсів, а також низька інтегрованість цифрових платформ управління.

3. Інноваційні виробничі кластери потребують розробки єдиної архітектури цифрової взаємодії, яка включає спільні стандарти даних, інтероперабельність систем, та створення спільних цифрових хабів, що забезпечують взаємообмін інформацією, координацію логістичних і виробничих процесів.

4. Ключову роль у діджиталізації кластерів відіграють управляючі компанії або координаційні центри, які можуть ініціювати спільні цифрові проекти, впроваджувати інструменти управління знаннями, платформи для R&D-кооперації та забезпечення кібербезпеки.

5. Для підвищення ефективності цифрової трансформації кластерів доцільно впроваджувати моделі цифрової зрілості, які дозволяють оцінити поточний стан, ідентифікувати "вузькі місця", сформувати дорожні карти цифрового розвитку та відстежувати динаміку трансформацій.

6. Подальші дослідження доцільно зосередити на моделюванні цифрових двійників кластерів, застосуванні штучного інтелекту для оптимізації управління кластерними мережами, а також на розробці кластерно-орієнтованих КРІ для оцінки ефективності цифрових ініціатив.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Кластерна політика інноваційного розвитку національної економіки : інтеграційний та інфраструктурний аспекти : монографія / За загальною редакцією д.е.н., проф. С. В. Смерічевської. Познань : Wydawnictwo naukowe WSPIA, 2020. 382 с.
2. Цифровий хаб публічного управління та проектного менеджменту. URL: <https://education.digitaloffice.kr.ua/>
3. Зеркіна О., Євстаф'єв С. Діджиталізація підприємництва в Україні: поняття та значення. *Економіка та суспільство*, 2024. № 63. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-52>
4. Варга В. П. Діджиталізація як один з чинників конкурентоспроможності підприємства. *Ефективна економіка*, 2020. № 8. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8121> (дата звернення: 21.04.2025). DOI: 10.32702/2307-2105-2020.8.154
5. Вячеслав Македон. Інтеграція цифрових інструментів у міжнародну логістичну діяльність. *Економіка та суспільство*, 2024. № 65.

6. Лісіца В. В., Михайленко О. М., Ротенберг О. В. Цифрові ланцюги поставок: технології, тенденції та напрями розвитку. *Причорноморські економічні студії*, 2023. № 81. С. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.32782/bses.81-17>.
7. Боровик Т., Даниленко В. Транспортна логістика як фактор забезпечення зовнішньоекономічної діяльності вітчизняних підприємств. *Економіка та управління національним господарством*, 2022. № 177. С. 35–39. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/177->
8. Цифрова економіка: Вплив інформаційно-комунікаційних технологій на людський капітал та формування компетентностей майбутнього: монографія / Л. Л. Антонюк, Д. О. Ільницький, Л. О. Лігоненко, О. О. Денісова та ін.; за ред. Антонюк Л., Ільницького Д., Севастюк А.. Київ : КНЕУ, 2021. 337 с.
9. Цифровізація як чинник економічної трансформації та соціально-економічної безпеки України: теорія, практика, перспективи : колективна монографія / за ред. А. В. Череп, І. М. Дашко, Ю. О. Огренич, О. Г. Череп. Рига, Латвія : Baltija Publishing, 2025. 376 с
10. Нестеров В., Шиш А., Музиченко Т. Ефективний економічний розвиток підприємства через інтелектуальний аналіз даних: використання AI для прогнозування та оптимізації стратегії бізнесу. *Економіка та суспільство*, 2024. № 59. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-87>
11. E-learning (електронне навчання) – що це таке та які його переваги? URL: <https://gudhub.com.ua/blog/osvitni-tehnologiji/shcho-take-e-learning/>
12. Цифровий двійник (Digital Twin).URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/cifrovoj-dvojnik-digital-twin>
13. Що таке технологія Digital Twins та як використовувати бізнесу .URL: <https://wezom.com.ua/ua/blog/digital-twins-kak-ispolzovat-tehnologiju-dvojnikov-v-biznese>
14. Бачити майбутнє: як цифрові двійники змінюють світ довкола нас.URL: <https://epravda.com.ua/publications/2024/09/19/719518/>
15. Радарна діаграма (Radar chart).URL: <https://www.maxzosim.com/radarna-diaghrama/>
- 16.Тренди Пот – Індустріальний інтернет речей.URL: <https://smart-eam.com/ua/news/trend-iiot/>
17. Модель зрілості кластерів – роль метчмейкінгу та як його включити.URL: <https://www.clusters.org.ua/instrumenti-klasterного-koordinatora/model-zrilosti-klasteriv/>
18. Мехович С. А., Лаушкін А. М. Моделювання цифрових КРІ у міжнародних економічних відносинах. *Енергозбереження.Енергетика.Енергоаудит*, 2025. № 4 (207). С.74–94.
19. Шлюз API (Application Programming Interface). URL: <https://www.hostragons.com/uk/>
20. Шлюз IoT(інтернет речей). URL:<https://www.dusuniot.com/uk/blog/what-is-an-iot-gateway>
21. URL: <https://charts.livegap.com/?lan=uk>

REFERENSIS:

1. Klasterna polityka innovatsiinoho rozvytku natsionalnoi ekonomiky : intehratsiinyi ta infrastruktturnyi aspekty : monohrafiia / Za zahalnoiu redaktsiieiu d.e.n., prof. S. V. Smerichevskoi. – Poznan : Wydawnictwo naukowe WSPiA, 2020. 382 s.
- 2.Tsyfrovyi khab publicлноho upravlinnia ta proektnoho menedzhmentu. URL: <https://education.digitaloffice.kr.ua/>
3. Zerkina O., Yevstafiev S. Didzhytalizatsiia pidpriemnytstva v Ukraini:poniattia ta znachennia. *Економіка та суспільство*, 2024. № 63. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-52>
4. Varha V. P. Didzhytalizatsiia yak odyн z chynnykiv konkurentospromozhnosti pidpriemstva. *Ефективна економіка*, 2020. № 8. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8121> (data zvernennia: 21.07.2025). DOI: 10.32702/2307-2105-2020.8.154

5. Viacheslav Makedon. Intehratsiia tsyfrovyykh instrumentiv u mizhnarodnu lohistrychnu diialnist. *Ekonomika ta suspilstvo*, 2024. № 65.
6. Lisitsa V. V., Mykhailenko O. M., Rotenberh O. V. Tsyfrovi lantsiuihy postavok: tekhnolohii, tendentsii ta napriamy rozvytku. *Prychornomorski ekonomichni studii*, 2023. № 81. S. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.32782/bses.81-17>.
7. Borovyk T., Danylenko V. Transportna lohistryka yak faktor zabezpechennia zovnishnoekonomichnoi diialnosti vitchyznianykh pidpriemstv. *Ekonomika ta upravlinnia natsionalnym hospodarstvom*, 2022. № 177. S. 35–39. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/177->
8. Tsyfrova ekonomika: Vplyv informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii na liudskyi kapital ta formuvannia kompetentnosti maibutnoho: monohrafiia / L. L. Antoniuk, D. O. Ilnytskyi, L. O. Lihonenko, O. O. Denisova ta in.; za red. Antoniuk L., Ilnytskoho D., Sevastiuk A.. Kyiv: KNEU, 2021. 337 s.
9. Tsyfrovizatsiia yak chynnyk ekonomichnoi transformatsii ta sotsialno- ekonomichnoi bezpeky Ukrainy: teoriia, praktyka, perspektyvy : kolektyvna monohrafiia / za red. A. V. Cherep, I. M. Dashko, Yu. O. Ohrenych, O. H. Cherep. Ryha, Latviia : Baltija Publishing, 2025. 376 s
10. Nesterov V., Shysh A., Muzychenko T. Efektyvnyi ekonomichni rozvytok pidpriemstva cherez intelektualnyi aaliz danykh: vykorystannia AI dlia prohnozuvannia ta optymizatsii stratehii biznesu. *Ekonomika ta suspilstvo*, 2024. №59. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-87>
11. E-learning (elektronne navchannia) – shcho tse take ta yaki yoho perevahy? URL: <https://gudhub.com.ua/blog/osvitni-tehnologiji/shcho-take-e-learning/>
12. Digital Twin — tsyfrovaia kopyia fyzycheskoi systemy. URL: <https://habr.com/ru/articles/887936/>
13. Shcho take tekhnolohiia Digital Twins ta yak vykorystovuvaty biznesu .URL: <https://wezom.com.ua/ua/blog/digital-twins-kak-ispolzovat-tehnologiju-dvojniov-v-biznese>
14. Bachyty maibutnie: yak tsyfrovi dviinyky zminiuiut svit dovkola nas. URL: <https://pravda.com.ua/publications/2024/09/19/719518/>
15. Radarna diahrama (Radar chart). URL: <https://www.maxzosim.com/radarna-diaghrama/>
16. Trendy IIot – Industrialnyi internet rechei. URL: <https://smart-eam.com/ua/news/trend-iiot/>
17. Model zrilosti klasteriv – rol metchmeikynhu ta yak yoho vkliuchyty. URL: <https://www.clusters.org.ua/instrumenti-klasteriv-koordinatora/model-zrilosti-klasteriv/>
18. Mekhovych S.A., Laushkin A.M. Modeliuvannia tsyfrovyykh KPI u mizhnarodnykh ekonomichnykh vidnosynakh. *Enerhozberezhennia. Enerhetyka. Enerhoaudyt*. № 4 (207) 2025. -S.74-94.
19. Shliuz API (Application Programming Interface). URL: <https://www.hostragons.com/uk/>
20. Shliuz IoT(internet rechei). URL: <https://www.dusuniot.com/uk/blog/what-is-an-iot-gateway>
21. URL: <https://charts.livegap.com/?lan=uk>

Надійшла до редакції 27.04.2025р.