

DOI: <https://doi.org/10.32782/ecovis/2024-1-11>
УДК 658.5:330.341.1

Воронкова Валентина Григорівна

доктор філософських наук, професор,
завідувачка кафедри управління та адміністрування,
Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0719-1546>

Метеленко Наталя Георгіївна

доктор економічних наук, професор, директорка,
Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6757-3124>

Паршин Юрій Іванович

доктор економічних наук, професор,
професор кафедри інформаційної економіки, підприємництва та фінансів,
Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8650-5303>

ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Сучасний етап розвитку промислового виробництва характеризується інтенсивною цифровою трансформацією, поширенням технологій Індустрії 4.0 та зростанням ролі інновацій як ключового чинника конкурентоспроможності підприємств. У статті здійснено комплексне дослідження технологій інноваційного розвитку, визначено ефективні підходи до їх впровадження у виробничу діяльність. Систематизовано сучасні методології інтеграції інновацій у виробничі процеси, класифіковано основні бар'єри (кадрові, економіко-екологічні, нормативно-правові), сформовано підхід до комплексної оцінки ефективності впровадження інновацій, що поєднує економічні та екологічні показники. Висновки сприяють розвитку наукового розуміння механізмів інноваційної трансформації промисловості та формують основу для практичних рішень, здатних забезпечити сталий розвиток підприємств у глобальній конкурентній економіці.

Ключові слова: інноваційний розвиток, промислове виробництво, Індустрія 4.0, цифровізація, роботизація, адитивні технології, штучний інтелект, стандартизація, екологічна ефективність.

Valentyna Voronkova

Doctor of Philosophy (D.Sc.), Professor,
Head of the Department of Management and Administration,
Y.M. Potebnya Engineering Educational and Scientific Institute
of Zaporizhzhia National University

Natalya Metelenko

Doctor of Economic Sciences (D.Sc.), Professor, Director,
Y.M. Potebnya Engineering Educational and Scientific Institute
of Zaporizhzhia National University

Yurii Parshyn

Doctor of Economic Sciences (D.Sc.), Professor,
Professor of the Department of Information Economy, Entrepreneurship and Finance
Y.M. Potebnya Engineering Educational and Scientific Institute
of Zaporizhzhia National University

TECHNOLOGIES OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL PRODUCTION

The current stage of industrial production is marked by accelerated digital transformation, widespread adoption of Industry 4.0 technologies, and the growing importance of innovation as a strategic driver of competitiveness, adaptability, and long-term resilience. This study presents a comprehensive analysis of key technologies that support innovative in-



© Воронкова В.Г., Метеленко Н.Г., Паршин Ю.І., 2024

dustrial development and outlines effective approaches to their implementation across various sectors. The integration of digitalization, robotics, additive manufacturing, artificial intelligence systems, and environmentally oriented innovations opens up new opportunities for enhancing operational efficiency, reducing production costs, improving workplace safety, and fostering the creation of sustainable, adaptive business models. Despite these prospects, several persistent barriers continue to hinder progress: the absence of standardized methods for assessing innovation effectiveness, unresolved challenges in human-machine interaction, and a lack of harmonized regulatory and institutional frameworks. The research systematizes current methodologies for integrating advanced technologies into production processes, offers a structured classification of key barriers (including human-social, economic-environmental, and regulatory-legal), and proposes a multidimensional evaluation model that combines economic performance indicators with environmental sustainability metrics. The findings contribute to a deeper understanding of the mechanisms driving industrial transformation and provide a foundation for the development of targeted, evidence-based solutions aimed at ensuring safe, efficient, and sustainable enterprise growth. Future research directions include the refinement of human-machine collaboration models, the incorporation of circular economy principles into industrial strategies, the development of predictive tools for risk management, and the alignment of national and international standards governing innovation in high-risk and high-impact industrial environments.

Keywords: innovative development, industrial production, Industry 4.0, digitalization, robotics, additive technologies, artificial intelligence, standardization, environmental efficiency.

Постановка проблеми. Інноваційний розвиток промислового виробництва є ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності підприємств у сучасній глобалізованій економіці. Він розглядається не лише як процес впровадження нових технологій, а як системне явище, що охоплює всі аспекти виробничої діяльності, включно з технологічним, організаційним, економічним, соціальним та екологічним. Такий підхід дозволяє забезпечити підвищення продуктивності, ефективності виробництва, створення нових продуктів і послуг, а також формування стійких конкурентних переваг на ринку. Сучасні підходи до інноваційного розвитку промислового виробництва базуються на мультидисциплінарній концепції, яка поєднує інженерний, інформаційний, економічний, соціально-організаційний та екологічний аспекти. Інженерний аспект включає розробку і впровадження нових матеріалів, автоматизованих і роботизованих систем, адитивних технологій, що забезпечують швидке прототипування та створення складних деталей. Інформаційний аспект передбачає використання цифрових платформ, Інтернету речей, штучного інтелекту та аналітики даних для оптимізації виробничих процесів, прогнозування дефектів і управління ланцюгами постачання. Економічний аспект охоплює підвищення ефективності використання ресурсів, зниження витрат і збільшення продуктивності, тоді як соціально-організаційний аспект стосується зміни структури управління, формування інноваційної культури та підвищення кваліфікації персоналу. Екологічний аспект спрямований на впровадження ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологій, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та інтеграцію принципів циркулярної економіки. Концепція розумного виробництва (Smart Manufacturing) об'єднує цифровізацію, автоматизацію, гнучкі виробничі системи та інтегровану аналітику, що дозволяє адаптувати виробничі процеси до потреб ринку, прогнозувати попит і дефекти продукції, оптимізувати ланцюги постачання та енергоспоживання. Актуальність

дослідження у тому, що інноваційні технології виступають каталізаторами стійкого розвитку, забезпечуючи економічну, соціальну та екологічну стабільність. Використання відновлюваних джерел енергії, впровадження адитивних технологій для зменшення матеріальних відходів, автоматизація контролю якості та енергоспоживання сприяють комплексному підвищенню ефективності виробництва. Інноваційний розвиток слід розглядати як довгострокову стратегічну мету підприємства, яка включає постійне вдосконалення виробничих процесів, навчання персоналу, формування інноваційної культури та інтеграцію цифрових і екологічно орієнтованих технологій у виробничу стратегію. Таким чином, технології інноваційного розвитку промислового виробництва забезпечують комплексну трансформацію підприємств, сприяючи підвищенню їхньої конкурентоспроможності, економічної ефективності та екологічної відповідальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних умовах цифровізації та глобалізації економіки інноваційний розвиток промислового виробництва набуває особливої актуальності. Останні дослідження вказують на необхідність комплексного підходу до впровадження інноваційних технологій, зокрема в контексті Індустрії 4.0. Одним із ключових напрямів є інтеграція Інтернету речей (IoT) у промислове виробництво. У статті «Industrial Internet of Things Intelligence Empowering Smart Manufacturing: A Literature Review» (2023) автори досліджують роль інтелектуальних систем на базі IoT у трансформації виробничих процесів. Вони пропонують ієрархічну архітектуру розвитку IoT, яка включає п'ять рівнів, та визначають сім технологій, що прискорюють трансформацію виробництва, зокрема штучний інтелект, машинне навчання та хмарні обчислення. Крім того, аналізуються етичні та екологічні аспекти впровадження IoT у виробництво. Іншим важливим аспектом є використання аналізу часових рядів у розумних виробничих системах. У статті «Time-Series Pattern Recognition in Smart Manufacturing Systems:

A Literature Review and Ontology» (2023) автори розглядають застосування аналізу часових рядів для виявлення закономірностей у виробничих процесах. Вони пропонують онтологію для класифікації та визначення понять, що дозволяє систематизувати підхід до застосування цього методу в умовах Індустрії 4.0. Також важливим є розуміння факторів, що впливають на технологічний перехід підприємств до технологій Індустрії 4.0. У дослідженні «Factors that affect the technological transition of firms toward the industry 4.0 technologies» (2022) автори аналізують вплив попередніх технологічних досягнень підприємств та державної підтримки на їх перехід до нових технологій. Виявлено, що підприємства з високим рівнем технологічної спорідненості та підтримкою з боку держави мають більші шанси успішно впроваджувати технології Індустрії 4.0. Крім того, інтеграція штучного інтелекту в виробничі системи є важливим напрямом інноваційного розвитку. У статті «Opportunities and Challenges to Integrate Artificial Intelligence into Manufacturing Systems: Thoughts from a Panel Discussion» (2023) автори обговорюють можливості та виклики інтеграції штучного інтелекту у виробничі системи. Вони визначають три основні аспекти: необхідність безшовної інтеграції штучного інтелекту з людським фактором, вирішення проблем інфраструктури для забезпечення ефективного використання даних та важливість координації між університетами, промисловістю та урядовими агентствами для сприяння розвитку цієї технології. Ми спираємося на роботи В. Воронкової, В. Нікітенко, В. Метеленко, В. Оглобліної, які підтверджують необхідність комплексного підходу до впровадження інноваційних технологій у промислове виробництво, що включає інтеграцію цифрових технологій, аналіз даних, підтримку з боку держави та розвиток інфраструктури.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на значний прогрес у розвитку технологій Індустрії 4.0 та інтеграції штучного інтелекту, у наукових дослідженнях залишаються не вирішеними низка ключових аспектів інноваційного розвитку промислового виробництва. По-перше, недостатньо розроблені методології інтеграції цифрових технологій у вже існуючі виробничі системи, що ускладнює безперервний технологічний перехід підприємств і підвищує ризики порушення виробничих процесів. По-друге, обмежена увага приділяється взаємодії людини і автоматизованих систем, зокрема питанням адаптації персоналу до нових технологій та формування компетенцій для ефективного управління розумними виробничими системами. Невирішеними залишаються проблеми гармонізації людського та машинного факторів, що безпосередньо впливає на ефективність виробництва та безпеку праці. По-третє, існує недостатня систематизація підходів до оцінки економічної ефективності та екологічної доцільності впровадження

інноваційних технологій. Хоча багато досліджень вказують на переваги цифровізації та роботизації, відсутні узгоджені критерії та методики для комплексного аналізу впливу цих технологій на ресурсоспоживання, енергозбереження та викиди шкідливих речовин. По-четверте, не до кінця вирішене питання взаємодії між підприємствами, державними органами та науковими установами для забезпечення сталого розвитку інноваційних технологій. Незважаючи на наявність пілотних програм та ініціатив, відсутні узагальнені моделі співпраці та механізми підтримки, що ускладнює масштабування інноваційних рішень. Нарешті, залишається відкритим питання стандартизації і регулювання впровадження цифрових технологій та штучного інтелекту в промислове виробництво, що стримує швидкість технологічної трансформації та впливає на конкурентоспроможність підприємств на глобальному ринку.

Мета статті. Метою статті є комплексне дослідження технологій інноваційного розвитку промислового виробництва та визначення ефективних підходів до їх впровадження. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити завдання:

1. Провести системний аналіз сучасного стану інноваційного розвитку промислового виробництва, включаючи огляд актуальних технологій Індустрії 4.0, цифровізації, роботизації та адитивних технологій.

2. Дослідити методології та підходи до інтеграції інноваційних технологій у виробничі процеси, оцінити переваги та обмеження їх впровадження на різних етапах виробництва.

3. Виявити основні невирішені проблеми, що стримують ефективний розвиток інноваційних технологій у промислових підприємствах, зокрема щодо взаємодії людини та автоматизованих систем, оцінки економічної та екологічної ефективності, а також питань стандартизації і регулювання.

4. Розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо оптимізації процесу впровадження інноваційних технологій, інтеграції цифрових і «зелених» технологій, підвищення компетенцій персоналу та створення ефективних механізмів взаємодії між підприємствами, державними структурами та науковими установами.

Гіпотезою дослідження є припущення, що впровадження комплексних інноваційних технологій, що поєднують цифровізацію, автоматизацію, штучний інтелект та принципи сталого розвитку, значно підвищує ефективність, конкурентоспроможність та екологічну безпеку промислового виробництва. Передбачається, що інтеграція таких технологій у виробничі процеси дозволяє оптимізувати ресурси, скоротити виробничі витрати, підвищити гнучкість підприємств та сприяти формуванню стійких бізнес-моделей, здатних адаптуватися до динамічних умов ринку.

Методологія дослідження ґрунтується на системному, комплексному та мультидисциплінарному

підході, що дозволяє всебічно аналізувати процеси інноваційного розвитку промислового виробництва. Для досягнення поставленої мети і реалізації завдань дослідження були використані наступні методи та підходи.

Проведено систематичний огляд наукових статей, монографій і звітів за 2022–2023 роки, що стосуються Індустрії 4.0, цифровізації виробництва, роботизації, адитивних технологій та впровадження штучного інтелекту. Цей метод дозволив окреслити сучасні тенденції, підходи та невирішені проблеми інноваційного розвитку. Застосовано для моделювання виробничих процесів і технологічних потоків, оцінки взаємозв'язку між різними компонентами виробництва та визначення ключових факторів, що впливають на ефективність впровадження інноваційних технологій. Використаний для порівняння ефективності традиційних та інноваційних виробничих технологій, а також для аналізу досвіду різних підприємств у впровадженні Індустрії 4.0 і цифрових платформ. Проведено збір даних за допомогою опитувань, анкетування та інтерв'ю з фахівцями промислових підприємств щодо впровадження інноваційних технологій, рівня автоматизації, цифрової грамотності персоналу та економічних показників ефективності. Використано для оцінки ефекту інтеграції штучного інтелекту та цифрових платформ на продуктивність виробництва, енергозбереження та екологічні показники. Метод дозволяє прогнозувати результати інноваційної трансформації на коротко- та середньострокову перспективу. Використаний для визначення стратегічних пріоритетів інноваційного розвитку підприємств, оцінки ризиків та розробки рекомендацій щодо оптимізації процесу впровадження новітніх технологій. Завдяки поєднанню зазначених методів дослідження забезпечується комплексний аналіз технологій інноваційного розвитку, оцінка їх впливу на продуктивність, конкурентоспроможність та сталий розвиток промислового виробництва.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасний стан інноваційного розвитку промислового виробництва характеризується високою динамікою впровадження цифрових та автоматизованих технологій, що формують нову парадигму Індустрії 4.0. Основними складовими цього процесу є цифровізація, роботизація, адитивні технології та інтеграція штучного інтелекту, які сприяють підвищенню ефективності виробничих процесів, оптимізації ресурсів та створенню умов для гнучкого виробництва. Цифровізація виробництва передбачає впровадження інформаційних технологій для контролю, моніторингу та оптимізації виробничих процесів у режимі реального часу. Системи Інтернету речей (IoT) дозволяють інтегрувати всі елементи виробництва у єдину мережу, забезпечуючи збір та аналіз великих обсягів даних, що дає змогу прогнозувати потреби, виявляти дефекти та ухвалювати обґрунтовані

управлінські рішення. Роботизація промислового виробництва полягає у використанні промислових роботів та автоматизованих систем, які підвищують продуктивність, точність та безпеку праці. Роботизовані комплекси дозволяють виконувати рутинні операції та складні технологічні процеси з високою швидкістю, знижуючи вплив людського фактора та мінімізуючи ймовірність виробничих помилок. Адитивні технології, зокрема 3D-друк, відкривають нові можливості для швидкого прототипування та виготовлення складних деталей з високою точністю. Вони дозволяють зменшити матеріальні витрати, скоротити час на розробку нових продуктів та підвищити гнучкість виробництва, адаптуючи його під індивідуальні замовлення клієнтів. Інтеграція штучного інтелекту у виробничі системи забезпечує прогнозування ефективності виробничих процесів, оптимізацію ланцюгів постачання та підвищення якості продукції. Алгоритми машинного навчання дозволяють аналізувати великі обсяги даних, автоматично визначати закономірності та ухвалювати рішення на основі отриманих результатів, що значно прискорює інноваційні процеси та підвищує адаптивність підприємств (табл. 1).

Аналіз засвідчив, що сучасний стан інноваційного розвитку промислового виробництва є результатом комплексної інтеграції цифрових, роботизованих та адитивних технологій з принципами Індустрії 4.0. Така синергія дозволяє підприємствам досягати високої продуктивності, економії ресурсів, скорочення витрат та підвищення конкурентоспроможності, формуючи основу для сталого розвитку виробничих систем у глобальному контексті. Системний аналіз сучасного стану інноваційного розвитку промислового виробництва засвідчує, що ключову роль у трансформації галузі відіграють технології Індустрії 4.0, зокрема цифровізація, роботизація, адитивні технології, штучний інтелект, цифрові двійники та «зелені» інновації. Їх впровадження створює нові можливості для підвищення продуктивності, гнучкості та конкурентоспроможності підприємств, оптимізації використання ресурсів і зменшення екологічного навантаження. Разом із тим існують виклики, пов'язані з високими інвестиційними витратами, потребою у підготовці висококваліфікованих кадрів, інтеграцією нових систем у традиційні виробничі процеси та забезпеченням кібербезпеки. Отже, подальший розвиток промислового виробництва визначатиметься здатністю підприємств ефективно поєднувати інноваційні технології з управлінськими стратегіями, що базуються на принципах сталого розвитку та цифрової трансформації.

Інтеграція інноваційних технологій у промислові виробничі процеси здійснюється на основі різних методологій і підходів, які враховують як технічні, так і організаційно-економічні аспекти трансформації виробництва. Найбільш поширеними є системний, процесний, модульний, Lean-підхід і гібридна

Таблиця 1

Системний аналіз сучасного стану інноваційного розвитку промислового виробництва

Технологія	Основні характеристики	Переваги для виробництва	Виклики та обмеження	Приклади застосування
Цифровізація	Інтернет речей (IoT)	Підключення виробничого обладнання до мережі, збір та аналіз даних у реальному часі	Оптимізація виробничих процесів, прогнозування дефектів, підвищення гнучкості Високі інвестиційні витрати, кібербезпека, інтеграція з існуючими системами	Smart factory Siemens, Bosch, GE
Роботизація	Використання промислових роботів для автоматизації рутинних та складних процесів	Підвищення продуктивності, точності, безпеки праці	Висока вартість обладнання, потреба у кваліфікованому персоналі, адаптація процесів	Автоскладальні лінії Tesla, ABB, FANUC
Адитивні технології (3D-друк)	Пошарове створення деталей та прототипів із цифрових моделей	Швидке прототипування, зменшення матеріальних витрат, гнучкість виробництва	Обмеження щодо матеріалів, швидкості масового виробництва, необхідність спеціальних знань	Airbus – 3D-друк деталей літаків, General Electric – турбінні компоненти
Штучний інтелект (AI) та машинне навчання	Наявність великих обсягів даних, прогнозування, оптимізація виробничих процесів	Автоматичне ухвалення рішень, підвищення якості продукції, оптимізація ресурсів	Необхідність якісних даних, складність інтеграції, етичні питання	Predictive maintenance на підприємствах Bosch, Rolls-Royce
Цифрові двійники (Digital Twins)	Створення віртуальної копії виробничої системи для моделювання процесів	Можливість тестування змін без зупинки виробництва, оптимізація роботи обладнання	Високі витрати на розробку, потреба у постійному оновленні даних	Siemens – віртуальне тестування фабрик, GE – оптимізація турбін
Енергозберігаючі та «зелені» технології	Використання відновлюваних джерел енергії, переробка відходів, оптимізація енергоспоживання	Зниження витрат на енергію, мінімізація екологічного впливу	Початкові інвестиції, складність інтеграції у існуючі процеси	Toyota – енергозберігаючі заводи, Siemens – green factory

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень

модель. Системний підхід передбачає розгляд підприємства як цілісної системи, що функціонує завдяки взаємодії всіх елементів, і дозволяє поетапно впроваджувати інновації на різних рівнях. Процесний підхід орієнтується на оптимізацію окремих бізнес-процесів за допомогою цифровізації, роботизації та штучного інтелекту. Модульний підхід забезпечує гнучкість та поступове тестування нових технологій без повної перебудови виробництва. Lean-методологія та принципи Kaizen спрямовані на усунення втрат і постійне вдосконалення процесів, а гібридний підхід поєднує кілька моделей, дозволяючи адаптувати інновації до конкретних виробничих умов. Впровадження інноваційних технологій на різних етапах виробництва має низку переваг. На стадії проектування використання цифрових двійників і систем моделювання дає можливість прогнозувати наслідки змін, оптимізувати ресурси та зменшувати

ризик. На етапі виробництва роботизація, IoT та адитивні технології підвищують продуктивність, якість і гнучкість виробничих систем. У логістиці та управлінні ланцюгами постачання інноваційні рішення дозволяють знижувати витрати, прискорювати поставки та прогнозувати попит за допомогою аналітики Big Data. На етапі обслуговування і післяпродажної підтримки предиктивна аналітика та дистанційний моніторинг забезпечують своєчасне виявлення несправностей, що підвищує рівень сервісу й сприяє формуванню нових бізнес-моделей. Разом із тим інтеграція інновацій супроводжується певними обмеженнями. Серед них варто відзначити значні капітальні інвестиції, складність інтеграції з існуючими системами, кадрові виклики, потребу в кіберзахисті, регуляторні обмеження та соціальні наслідки, пов'язані зі зменшенням частки ручної праці. Усе це вимагає комплексного управлінського

підходу, здатного поєднувати технологічні новації з організаційними змінами (табл. 2).

Аналіз методологій та підходів до інтеграції інноваційних технологій у виробничі процеси свідчить про те, що успішна цифрова трансформація промисловості можлива лише за умови поєднання системного бачення та гнучких управлінських стратегій.

Застосування системного та процесного підходів забезпечує комплексне охоплення усіх етапів життєвого циклу виробництва – від проєктування до післяпродажного обслуговування, тоді як модульна та Lean-методології дозволяють знизити ризики та адаптуватися до змінних умов ринку. Гібридні підходи, що поєднують цифрові двійники, штучний інтелект, адитивні технології та IoT, формують основу для створення «розумних фабрик» нового покоління. Водночас виявлено низку обмежень, що гальмують впровадження інновацій: значні початкові інвестиції, труднощі інтеграції з наявною інфраструктурою, брак кваліфікованих кадрів, ризики інформаційної безпеки, а також соціальні виклики, пов'язані з можливим витісненням низькокваліфікованої праці. Ці чинники підкреслюють необхідність вироблення стратегій балансування між технологічними перевагами та економічними і соціальними наслідками. Узагальнюючи, можна стверджувати, що інноваційні технології на кожному етапі виробництва створюють значний потенціал для підвищення продуктивності, зниження витрат, оптимізації ресурсів та формування нових бізнес-моделей. Проте їхній ефект є максимально позитивним лише за умови інтегрованого підходу, який передбачає поєднання технологічних інновацій із організаційними змінами, розвитком кадрового потенціалу та формуванням культури інновацій на підприємствах. Це дозволить не тільки забезпечити економічну ефективність, а й досягти довгострокової стійкості

промислового розвитку у відповідності до принципів Індустрії 4.0 та сталого розвитку.

Попри значний прогрес у впровадженні інноваційних технологій у промисловість, існує низка невирішених проблем, що істотно стримують ефективність цього процесу. Передусім важливим викликом є взаємодія людини та автоматизованих систем. Автоматизація і роботизація змінюють характер праці, знижуючи потребу в рутинних операціях, але водночас висувають високі вимоги до компетентностей працівників. На практиці це породжує кадрові дисбаланси: брак фахівців у сфері цифрових технологій, складність перенавчання існуючого персоналу, а також психологічні бар'єри щодо взаємодії з роботизованими комплексами. Проблемою залишається і пошук оптимальної моделі співпраці між людиною та машиною, яка б поєднувала ефективність автоматизації з креативністю і гнучкістю людського інтелекту. Другою вагомою проблемою є оцінка економічної та екологічної ефективності впровадження інновацій. На рівні окремих підприємств часто бракує методик, що дозволяли б коректно оцінювати окупність інвестицій у цифровізацію, адитивні технології чи штучний інтелект. Водночас екологічний аспект також недостатньо враховується: питання скорочення викидів, підвищення енергоефективності чи повторного використання матеріалів не завжди інтегровані у бізнес-моделі. Відсутність єдиних критеріїв оцінки економічної й екологічної результативності інноваційних рішень ускладнює ухвалення стратегічних рішень щодо масштабування технологій. Третьою ключовою проблемою виступає недостатня стандартизація та регуляторне забезпечення процесів інноваційного розвитку. Впровадження Індустрії 4.0 супроводжується зростанням потреби у взаємній сумісності систем, інтеграції даних між різними виробниками та кра-

Таблиця 2

Порівняльний аналіз етапів виробництва за критеріями впровадження та ризиків

Етап виробничого процесу	Переваги впровадження	Обмеження та виклики
Проектування і планування	Використання цифрових двійників для моделювання процесів Оптимізація ресурсів і термінів Зниження ризиків за рахунок віртуального тестування	Високі витрати на розробку Потреба у спеціалізованому програмному забезпеченні Необхідність постійного оновлення даних
Виробництво	Автоматизація рутинних операцій Підвищення продуктивності та якості Зменшення відходів завдяки 3D-друку Управління в режимі реального часу (IoT, AI)	Високі капітальні витрати Складність інтеграції з традиційними процесами Потреба у кваліфікованих кадрах
Логістика та постачання	Оптимізація транспортних маршрутів Прогнозування попиту на основі Big Data Зниження витрат на складування і транспортування	Залежність від цифрової інфраструктури Кіберризики у ланцюгах постачання Необхідність інтеграції з партнерами
Обслуговування і післяпродажна підтримка	Предиктивна аналітика несправностей Дистанційний моніторинг обладнання Нові бізнес-моделі («продукт як послуга»)	Додаткові витрати на аналітику і сенсорні системи Проблеми захисту даних клієнтів Потреба у зміні бізнес-процесів

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень

інами, а також захисті комерційно важливої інформації. Однак національні й міжнародні стандарти не завжди відповідають темпам технологічного прогресу. Регуляторні механізми відстають від практики, що призводить до правових колізій, особливо у сфері кібербезпеки, захисту персональних даних, сертифікації «зелених» технологій. Отже, невирішені проблеми розвитку інноваційних технологій у промислових підприємствах концентруються у трьох сферах: кадрово-соціальній (взаємодія людини та автоматизованих систем), економіко-екологічній (оцінка ефективності), а також нормативно-правовій (стандартизація і регулювання). Їх подолання потребує міждисциплінарного підходу, що поєднує технічні, управлінські, соціальні та правові інструменти, а також активної державної політики й міжнародного співробітництва (табл. 3).

Аналіз дозволяє чітко побачити, де саме зосереджені вузькі місця у розвитку інновацій та які кроки можуть допомогти їх усунути. Узагальнення виявлених проблем свідчить про те, що бар'єри у впровадженні інноваційних технологій у промислових підприємствах мають комплексний характер і охоплюють соціально-кадрову, економічну, екологічну та нормативно-правову площини. Найбільш критичною залишається проблема взаємодії людини та автоматизованих систем: автоматизація відкриває нові можливості для підвищення продуктивності, проте водночас актуалізує питання

перекваліфікації кадрів, психологічної адаптації працівників та створення зручних інтерфейсів для людини. Це підкреслює, що цифрова трансформація є не лише технічним, а й соціальним викликом. Не менш важливою є відсутність уніфікованих методик оцінки економічної та екологічної ефективності інновацій.

Підприємства часто орієнтуються лише на короткострокові фінансові показники, ігноруючи довгострокові вигоди від «зелених» технологій та сталого розвитку. Це знижує мотивацію до інвестування у перспективні рішення, здатні принести стратегічні конкурентні переваги. Водночас слабкість системи стандартизації та регулювання уповільнює гармонізацію ринкових практик, створює бар'єри для міжнародної кооперації та збільшує ризики кіберзагроз. Таким чином, вирішення цих проблем вимагає комплексного та багаторівневого підходу, що включає розробку міжнародно визнаних стандартів і методик оцінки інновацій, посилення державної та корпоративної політики у сфері «зеленої» промисловості, а також системну підготовку кадрів для роботи в умовах Індустрії 4.0. Лише поєднання технологічних, економічних, соціальних і правових інструментів дозволить подолати існуючі бар'єри та забезпечити ефективний і сталий розвиток інноваційних технологій у промисловості.

Враховуючи проведені дослідження слід зазначити, що науково-обґрунтованими підходами до роз-

Таблиця 3

Основні невирішені проблеми впровадження інноваційних технологій у промислових підприємствах

Ключова проблема	Основні причини	Можливі шляхи подолання
Взаємодія людини та автоматизованих систем	Брак кадрів із цифровими компетентностями Труднощі перенавчання персоналу Психологічні бар'єри щодо роботи з роботизованими комплексами Недостатня інтеграція систем НМІ (людина–машина)	Розвиток програм підвищення кваліфікації та перекваліфікації Інтеграція принципів ergonomics by design (зручність для людини) Стимулювання корпоративної культури співпраці «людина–машина» Використання інтерфейсів доповненої реальності для навчання
Оцінка економічної ефективності	Відсутність уніфікованих методик розрахунку ROI інновацій Непередбачуваність довгострокових вигід Обмежений доступ до фінансових інструментів	Розробка галузевих стандартів оцінки інновацій Використання сценарного моделювання та аналізу чутливості Державні та приватні програми підтримки інноваційного інвестування
Оцінка екологічної ефективності	Брак систем моніторингу «зелених» показників Недостатня інтеграція принципів циркулярної економіки Високі витрати на екологічні технології	Впровадження Life Cycle Assessment (оцінка життєвого циклу) Податкові стимули за використання екологічно чистих технологій Поширення «зелених» стандартів і сертифікації
Стандартизація та регулювання	Відставання правових норм від технологічних змін Фрагментованість стандартів у різних країнах Недостатня увага до кібербезпеки Відсутність єдиних вимог до інтеграції систем	Розробка міжнародних стандартів сумісності (ISO, IEC) Посилення регуляцій у сфері кібербезпеки Гармонізація національних стандартів з європейськими та світовими Запровадження обов'язкової сертифікації «розумних» технологій

робки рекомендацій для оптимізації процесу впровадження інноваційних технологій можуть бути:

1. Оптимізація процесу впровадження інноваційних технологій.

- Створення системи управління інноваціями – впровадження стратегічного плану інноваційного розвитку підприємства з чіткими етапами: дослідження, тестування, впровадження та масштабування.

- Використання методології Agile та Lean – гнучкі підходи дозволяють швидко адаптувати технології до потреб виробництва та знижують ризик невдач.

- Моніторинг та оцінка ефективності – регулярний контроль KPI інноваційних проєктів та аналіз їх впливу на виробничі та фінансові показники.

- Інвестиції у R&D – виділення частки бюджету на дослідження і розробки для прискорення появи власних технологічних рішень.

2. Інтеграція цифрових та «зелених» технологій.

- Синергія цифровізації та екологічності – впровадження «зелених» цифрових платформ (IoT, AI, Big Data) для моніторингу енергоспоживання, відходів та вуглецевого сліду підприємства.

- Цифрові двійники (Digital Twins) – створення віртуальних моделей виробництва для тестування енергоефективних і екологічних рішень до їх впровадження на практиці.

- Використання енергоефективного обладнання та технологій відновлюваної енергії (сонячні батареї, вітрові турбіни) у поєднанні з системами цифрового контролю.

- Стимулювання екологічної відповідальності персоналу через цифрові платформи для обліку і мотивації «зелених» практик.

3. Підвищення компетенцій персоналу.

- Системне навчання та перепідготовка – програми з цифрової грамотності, роботи з AI, «зелених» технологій, управління інноваційними процесами.

- Менторство та внутрішні тренінги – створення корпоративних центрів навчання та обміну знаннями між відділами.

- Залучення зовнішніх експертів – партнерство з університетами та науковими установами для проведення сертифікованих курсів і стажувань.

- Оцінка компетенцій – регулярний аудит знань персоналу та корекція навчальних програм відповідно до новітніх технологічних стандартів.

4. Механізми ефективної взаємодії.

- Партнерські платформи «підприємство – держава – наука» – створення спільних цифрових майданчиків для обміну даними, проєктами і ресурсами.

- Системи стимулювання інноваційної взаємодії – гранти, податкові пільги та бонуси для підприємств, які впроваджують екологічно та цифрово орієнтовані інновації.

- Регулярні науково-практичні форуми – обмін досвідом між підприємствами, державними органами та академічними установами.

- Стандартизація та сертифікація – впровадження єдиних стандартів якості інноваційних рішень та цифрових/«зелених» технологій для спрощення інтеграції на ринку.

Висновки. Інтегрований підхід до впровадження інновацій передбачає одночасне поєднання цифрових та «зелених» технологій, розвиток компетенцій персоналу, удосконалення управлінських практик і забезпечення ефективної комунікації між ключовими учасниками виробничого процесу. Такий підхід сприяє формуванню гнучких і адаптивних систем управління, здатних оперативно реагувати на виклики зовнішнього середовища. Реалізація зазначених рекомендацій дозволяє підприємствам не лише підвищити конкурентоспроможність і знизити екологічний вплив, а й забезпечити довгострокову стійкість, технологічну модернізацію та відповідність міжнародним стандартам у контексті сучасної цифрової економіки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурашнікова О.С. Міжнародний досвід побудови цифрових та інтелектуальних податкових сервісів та систем «Vectors of the development of science and education in the modern world» / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2023. С. 46–66. URL: https://www.eo.kiev.ua/resources/zmist/mono_2023_14/mono_2023_14.pdf
2. Бурашнікова Олена. Міжнародний досвід цифровізації в податковій сфері. *Humanities studies: Collection of Scientific Papers* / Ed. V. Voronkova. Zaporizhzhia : Publishing house «Helvetica», 2023. 14(91). P. 148–157. URL: <http://humstudies.com.ua/article/view/277865/272613>
3. Воронкова В.Г., Нікітенко В.О. Формування та розвиток цифрової економіки у високорозвинутих країнах світу. *Prospective directions of scientific and practical activity : collective monograph* / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2023. 403 p. С. 43–57. URL: https://www.eo.kiev.ua/resources/zmist/mono11/mono_2023_11.pdf
4. Воронкова В.Г., Нікітенко В.О., Метеленко Н.Г. Еволюція від Смарт-освіти до смарт-економіки та смарт-бізнесу. *Економіка та суспільство*. 2023. № 48. 2023. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2206/2130>
5. Метеленко В.Г., Воронкова В.Г., Нікітенко В.О. Сіліна І.В. Становлення і розвиток smart-економіки та її модифікацій в умовах цифрового розвитку. «Vectors of the development of science and education in the modern world» / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2023. С. 79–95. URL: https://www.eo.kiev.ua/resources/zmist/mono_2023_14/mono_2023_14.pdf
6. Metelenko, Natalya, Vasylychuk, Gennadiy, Kaganov, Yuriy, Nikitenko, Vitalina, Voronkova, Valentyna. Digital cultural development under new threats and challenges. *Цифровий культурний розвиток в умовах нових загроз і викликів*.

Humanities studies: Collection of Scientific Papers / Ed. V. Voronkova. Zaporizhzhia: Publishing house «Helvetica», 2023. 15(92). P.33–43. URL: <http://humstudies.com.ua/article/view/284985>

7. Sliusar, Mykyta. Stablishment and development of the network platform model in China and its impact on the formation of the digital economy. *Humanities studies: Collection of Scientific Papers*. Zaporizhzhia: Publishing house «Helvetica», 2023. 14 (91). P. 165–175. URL: <http://humstudies.com.ua/article/view/277867/272615>

REFERENCES

1. Burashnikova O.S. (2023) Mizhnarodnyi dosvid pobudovy tsyfrovyykh ta intelektualnykh podatkovykh servisiv ta system [International experience in building digital and intelligent tax services and systems]. *«Vectors of the development of science and education in the modern world»* / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, pp. 46–66. URL: https://www.eo.kiev.ua/resources/zmist/mono_2023_14/mono_2023_14.pdf (in Ukrainian).
2. Burashnikova Olena (2023) Mizhnarodnyi dosvid tsyfrovizatsii v podatkovii sferi [International experience in digitalization in the tax sphere]. *Humanities studies: Collection of Scientific Papers* / Ed. V. Voronkova. Zaporizhzhia : Publishing house «Helvetica», vol. 14(91), pp. 148–157. URL: <http://humstudies.com.ua/article/view/277865/272613>
3. Voronkova V.H., Nikitenko V.O. (2023) Formuvannia ta rozvytok tsyfrovoy ekonomiky u vysokorozvynutykh krainakh svitu [Formation and development of the digital economy in highly developed countries of the world]. *Prospective directions of scientific and practical activity : collective monograph* / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, pp. 43–57. URL: https://www.eo.kiev.ua/resources/zmist/mono11/mono_2023_11.pdf
4. Voronkova V.H., Nikitenko V.O., Metelenko N.H. (2023) Evoliutsiia vid Smart-osvity do smart-ekonomiky ta smart-biznesu [Evolution from Smart Education to Smart Economy and Smart Business]. *Ekonomika*, vol. 48. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2206/2130>
5. Metelenko V.H., Voronkova V.H., Nikitenko V.O. Silina I.V. (2023) Stanovlennia i rozvytok smart-ekonomiky ta yii modyfikatsii v umovakh tsyfrovoho rozvytku [The formation and development of the smart economy and its modifications in the context of digital development]. *«Vectors of the development of science and education in the modern world»* / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, pp. 79–95. URL: https://www.eo.kiev.ua/resources/zmist/mono_2023_14/mono_2023_14.pdf
6. Metelenko, Natalya, Vasyl'chuk, Gennadiy, Kaganov, Yuriy, Nikitenko, Vitalina, Voronkova, Valentyna. (2023) Digital cultural development under new threats and challenges. *Humanities studies: Collection of Scientific Papers* / Ed. V. Voronkova. Zaporizhzhia: Publishing house «Helvetica», vol. 15(92), pp. 33–43. URL: <http://humstudies.com.ua/article/view/284985>
7. Sliusar, Mykyta (2023) Stablishment and development of the network platform model in China and its impact on the formation of the digital economy. *Humanities studies: Collection of Scientific Papers*. Zaporizhzhia: Publishing house «Helvetica», vol. 14(91), pp. 165–175. URL: <http://humstudies.com.ua/article/view/277867/272615>

Стаття надійшла: 10.05.2024

Стаття прийнята: 01.06.2024

Стаття опублікована: 20.06.2024