

УДК 658.5:004.9:005.591.6:658.62
 JEL: L23; M15; O31; O32
 DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-8-558-572>

УПРАВЛІННЯ ЦИФРОВІЗАЦІЄЮ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВА В СИСТЕМІ ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ НОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

© 2026 МАРИНЕНКО Н. Ю., СИНОВЕРСЬКИЙ Н. І.

УДК 658.5:004.9:005.591.6:658.62
 JEL: L23; M15; O31; O32

Мариненко Н. Ю., Синоверський Н. І. Управління цифровізацією операційних процесів підприємства в системі проєктування та розроблення нової продукції

Попри значний доробок у сфері цифрової трансформації, у науковій літературі висвітлення ефектів окремих IT-інструментів здебільшого є фрагментарним. Недостатньо опрацьованим залишається комплексний підхід, який поєднував би теоретичне трактування цифровізації процесів розроблення нової продукції з архітектурою наскрізного цифрового контуру, моделлю його зрілості, системою контрольних показників і формалізованою процедурою вибору технологічного портфеля за суворих ресурсних обмежень. Мета дослідження полягає в обґрунтуванні теоретико-методичних засад цифровізації операційних процесів проєктування та розроблення нової продукції, а також у розробленні на цій основі методичного підходу до визначення пріоритетів цифрового втручання та вибору оптимального набору цифрових технологій для підприємства. У статті застосовано комбінований методичний інструментарій, що охоплює: ентропійний метод (для об'єктивного розрахунку ваг критеріїв), метод TOPSIS (для багатокритеріального ранжування підприємств за потребою в цифровому втручанні) та бінарне цілочислове програмування (для оптимізації складу технологічного портфеля з урахуванням ресурсних, логічних та інфраструктурних обмежень). Розмежовано зміст оцифрування, автоматизації та цифровізації. Останню визначено як керовану перебудову даних, процедур, функціональних ролей і механізмів прийняття рішень. Систематизовано п'ять механізмів впливу цифрових технологій на процес розроблення нової продукції: інформаційний, когнітивний, координаційний, експериментальний і контрольний. Сформовано архітектуру наскрізного цифрового контуру та п'ятирівневу модель цифрової зрілості операційного контуру (від доступності даних до адаптивності й керованого навчання). Розроблено систему оцінювання результативності цифровізації за параметрами якості даних, інтегрованості систем, швидкості, якості продукції, бізнес-результатів і стійкості контуру. Наукова новизна полягає у розробленні концептуально-методичного підходу, який відокремлює етап цифрової діагностики підприємства від вибору конкретного технологічного пакета. Доведено, що навіть за однакового ресурсного ліміту склад цифрового портфеля має якісно адаптуватися до процесного «вузького місця»: для проблем із версійністю та конфігураціями пріоритетними є PDM/PLM та CAD/CAE, а для усунення нестабільності ринкового зворотного зв'язку – рішення CRM/VoC та workflow-систем. Апробація методичного підходу на матеріалах українських підприємств підтвердила його прикладну ефективність. Обґрунтовано доцільність поетапного впровадження цифрових пакетів за 90-денним апробаційним циклом із застосуванням gate-контролю (GO, HOLD, RECYCLE, KILL), вимірюванням процесних KPI та подальшим масштабуванням рішення лише за наявності підтвердженого операційного, економічного й організаційного ефекту.

Ключові слова: інноваційна діяльність; цифрова трансформація; розроблення нової продукції; операційні процеси; цифровий контур; управління життєвим циклом продукції; ефективність цифровізації.

Рис.: 3. Табл.: 6. Формул.: 15. Бібл.: 23.

Мариненко Наталія Юріївна – доктор економічних наук, професор, професор кафедри економіки і фінансів, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (вул. Руська, 56, Тернопіль, 46001, Україна)

E-mail: marynenko_n@tntu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6645-8167>

Синоверський Назар Іванович – здобувач кафедри економіки і фінансів, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (вул. Руська, 56, Тернопіль, 46001, Україна)

E-mail: nazar228synov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1848-6584>

UDC 658.5:004.9:005.591.6:658.62
 JEL: L23; M15; O31; O32

Marynenko N. Yu., Synoverskyi N. I. The Management of Digitalization of Enterprise's Operational Processes Within the New Product Design and Development System

Despite significant research on digital transformation, the current scientific literature predominantly addresses the effects of individual IT tools in a fragmented manner. A comprehensive approach that integrates the theoretical conceptualization of new product development process digitalization with an end-to-end digital loop architecture, a maturity model, a system of key performance indicators, and a formalized procedure for technology portfolio selection under strict resource constraints remains insufficiently developed. The aim of the study is to substantiate the theoretical and methodological foundations for digitalizing the operational processes of new product design and development, as well as to devise a methodological approach for prioritizing digital intervention and selecting an optimal portfolio of digital technologies for an enterprise. The study employs a hybrid methodological framework that includes the entropy weight method (for the objective calculation of criterion weights), the TOPSIS method (for multi-criteria ranking of enterprises based on their need for digital intervention), and binary integer programming (for optimizing the technology portfolio composition considering resource, logical, and infrastructure constraints). The study differentiates the concepts of digitization, automation, and digitalization, defining the latter as a managed restructuring of data,

procedures, functional roles, and decision-making mechanisms. Five mechanisms through which digital technologies impact the new product development process are systematized: informational, cognitive, coordination, experimental, and control. An architecture of an end-to-end digital loop and a five-level model of operational loop digital maturity (ranging from data availability to adaptability and managed organizational learning) are formulated. A system for evaluating digitalization performance across parameters of data quality, system integration, process speed, product quality, business results, and operational loop resilience is developed. The scientific novelty lies in the development of a conceptual and methodological approach that decouples the stage of enterprise digital diagnostics from the selection of a specific technology package. It is proved that even under identical resource limits, the composition of a digital portfolio must adapt qualitatively to the operational bottleneck: for issues related to versioning and configurations, PDM/PLM and CAD/CAE are prioritized, whereas CRM/VoC and workflow solutions prove more efficient in addressing unstable market feedback. Testing the methodological approach using data from Ukrainian enterprises confirmed its practical efficacy. The study substantiates the expediency of phased digital package implementation via a 90-day piloting cycle featuring gate control (GO, HOLD, RECYCLE, KILL), process KPI measurement, and subsequent scaling of the solution only upon confirming operational, economic, and organizational impacts.

Keywords: innovation activity; digital transformation; new product development; operational processes; digital loop; product lifecycle management; digitalization efficiency.

Fig.: 3. **Tabl.:** 6. **Formulae:** 15. **Bibl.:** 23.

Marynenko Nataliia Yu. – D. Sc. (Economics), Professor, Professor of the Department of Economics and Finance, Ternopil Ivan Pului National Technical University (56 Ruska Str., Ternopil, 46001, Ukraine)

E-mail: marynenko_n@tntu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6645-8167>

Synoverskyi Nazar I. – Applicant of the Department of Economics and Finance, Ternopil Ivan Pului National Technical University (56 Ruska Str., Ternopil, 46001, Ukraine)

E-mail: nazar228synov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1848-6584>

ВСТУП

Прискорення оновлення продукції, нестабільність ланцюгів постачання, зростання вимог до якості та обмеженість ресурсів посилюють потребу підприємств у скороченні тривалості й підвищенні обґрунтованості процесів розроблення нової продукції (New Product Development, далі – NPD). У традиційній функціональній моделі клієнтські вимоги, конструкторські рішення, технологічні нормативи, результати випробувань і дані про витрати формуються та зберігаються у відокремлених інформаційних середовищах. Така фрагментація ускладнює міжфункціональну координацію, спричиняє дублювання робіт, пізнє виявлення помилок, зростання кількості фізичних ітерацій і ризик виведення на ринок продукту, технічна готовність якого не узгоджена з економічною та виробничою доцільністю.

Цифрові технології дають змогу подолати окреслені проблеми, проте їх локальне чи несистемне впровадження не гарантує скорочення часу виходу продукту на ринок, підвищення його якості або зниження витрат. Результативність цифровізації визначається рівнем інтеграції даних і платформ, чітким розподілом ролей, завчасною техніко-економічною валідацією, наявністю процесних KPI (Key Performance Indicators, ключові показники ефективності) та дієвим зворотним зв'язком. В умовах обмежених інвестицій наукового й практичного обґрунтування потребують не лише доцільність окремих технологій, а й послідовність їх впровадження, оптимальний

склад технологічного пакета, умови його апробації та критерії подальшого масштабування.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Теоретичні, методичні та практичні аспекти цифровізації операційних систем і процесів NPD перебувають у фокусі уваги багатьох вітчизняних і зарубіжних науковців. Концептуальні засади цифровізації як системної трансформації економічних взаємодій і чинника інноваційного розвитку висвітлено у працях В. П. Вишневського, О. М. Гаркушенка, С. І. Князева [1], І. З. Савраса та Н. І. Фединець [3]. Трансформацію змісту робіт, специфіку міжфункціональної співпраці та зміни в логіці проектування під впливом інструментів штучного інтелекту й цифрових технологій досліджують Т. Дж. Меріон, С. К. Фіксон [2], а також Р. Верганті, А. Вендрамінеллі та М. Янсінті [4].

Питанням поетапного планування цифрових перетворень із урахуванням ресурсних обмежень присвячено праці В. В. Македона, О. О. Байлової [5]. Специфіку застосування цифрових двійників, технологій IoT, блокчейну та засобів комп'ютерного моделювання в конструкторсько-технологічній діяльності розкрито в публікаціях Ф. Тао зі співавторами [6], О. О. Шапурова [7], а також С. А. Меховича, Ф. В. Потапова та Г. А. Тюфанова [8].

Функціональне призначення систем управління життєвим циклом виробу і стандартизованих інженерних змін розглядають П. В. Кондрашев

і Д. А. Лесик [9], а концептуальну різницю між цифровою моделлю, тінню та двійником обґрунтовано В. Критцінгером та ін. [10]. Взаємозв'язок цифрової трансформації бізнес-процесів із перевизначенням функціональних ролей, узгодженням даних та екосистемною організацією праці конструкторів досліджено М. О. Кравченко, В. О. Салабаєм, О. М. Савицькою [11; 13] і Ф. В. Потаповим [12].

Комплементарний характер впровадження технологій Індустрії 4.0, питання стандартизації даних, а також ключові бар'єри цифрових змін (несумісність систем, дефіцит компетенцій, кіберризик) висвітлено в працях А. Г. Франка та ін. [14], В. В. Прохорової та ін. [15], Є. А. Івченка й А. О. Хімченка [16].

Попри значний науковий доробок, недостатньо опрацьованим залишається комплексний підхід, який поєднував би теоретичне трактування цифровізації NPD з архітектурою наскрізного цифрового контуру, моделлю його зрілості, системою контрольних показників і формалізованою процедурою вибору технологічного портфеля за ресурсних обмежень. У наукових працях окремі цифрові технології та їхні ефекти здебільшого розглядаються фрагментарно, тоді як управлінський перехід від діагностування процесного вузького місця до обґрунтування достатнього набору рішень і критеріїв їх масштабування потребує подальшого розвитку. Зазначена не вирішена частина проблеми визначає спрямованість цього дослідження.

Метою дослідження є обґрунтування теоретико-методичних засад цифровізації операційних процесів проектування та розроблення нової продукції, а також розроблення на цій основі методичного підходу до визначення пріоритетів цифрового втручання та вибору оптимального набору цифрових технологій для підприємства.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

- ✦ уточнити сутність і зміст цифровізації процесів розроблення нової продукції;
- ✦ систематизувати механізми впливу цифрових технологій на швидкість, якість, витратомісткість і міжфункціональну координацію інноваційних процесів;
- ✦ визначити функціональне призначення та межі застосування основних цифрових інструментів: систем управління даними про продукцію та її життєвим циклом (PDM/PLM), систем автоматизованого проектування й інженерного аналізу (CAD/CAE), систем управління ресурсами та виробництвом (ERP/MES/QMS), цифрових двійників, Інтернету речей (IoT), а також тех-

нологій штучного інтелекту та машинного навчання (AI/ML);

- ✦ сформувати архітектуру наскрізного цифрового контуру та розробити модель його операційної зрілості;
- ✦ обґрунтувати систему показників для оцінювання результативності процесів цифровізації;
- ✦ апробувати комбінований методичний інструментарій (ентропійний метод, метод TOPSIS та модель бінарної оптимізації) для ранжування підприємств за потребою в цифровому втручанні й обґрунтування складу технологічних пакетів в умовах ресурсних обмежень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Скорочення життєвих циклів продукції, посилення конкуренції та нестабільність ринкового середовища підвищують вимоги до швидкості, якості й економічної обґрунтованості розроблення нової продукції. За таких умов цифровізація операційних процесів виходить за межі простого оцифрування інформації та автоматизації окремих операцій, оскільки передбачає перебудову наскрізної логіки формування, передавання й використання даних, міжфункціональної взаємодії та прийняття управлінських рішень. У контексті NPD її доцільно трактувати як кероване перетворення даних, процедур, ролей і повноважень, за якого цифровий слід продукту безперервно формується, перевіряється та використовується на всіх етапах його життєвого циклу.

Вплив цифрових технологій реалізується через п'ять взаємопов'язаних механізмів, при цьому інформаційний механізм формує єдину версію вимог, специфікацій і нормативів; когнітивний прискорює пошук та перевірку альтернатив; координаційний забезпечує паралельну роботу і прозорість міжфункціональних залежностей; експериментальний переносить частину випробувань у віртуальне середовище; контрольний забезпечує простежуваність змін, якості, відповідності й відповідальності.

Функціональне призначення основних технологічних класів, очікувані результати та критичні умови їх застосування систематизовано в табл. 1.

Відповідно, цифрові технології не є взаємозамінними і акцентують увагу на окремі операції, зокрема CAD/CAE розширює простір конструктивних альтернатив, PDM/PLM утримує цілісність конфігурації, ERP/MES/QMS переводить її у ресурсний, виробничий та якісний виміри, а IoT повертає фактичний стан у модель. Тому цифрова

Функціональний вплив цифрових технологій на створення нової продукції

Технологічний клас	Основна функція у NPD	Очікуваний ефект	Критичне обмеження
CAD/CAE/CAM, генеративний дизайн	Побудова й оптимізація геометрії; розрахунок технологічності	Розширення простору альтернатив; менше фізичних ітерацій; точніша підготовка	Якість моделей, бібліотек матеріалів і критеріїв оптимізації
PDM/PLM та керування конфігураціями	Єдина структура нового виробу, версії, погодження та інженерні зміни	Простежуваність; менше колізій; контроль собівартості змін	Дисципліна довідників і визначення власників даних
Інтеграція ERP/MES/QMS	Зв'язок специфікації з ресурсами, маршрутами, виконанням і якістю	Реалістичний бізнес-кейс; готовність до серійного виробництва	Сумісність, API та коректність нормативів
IoT/CPS і цифровий двійник	Надходження фактичних даних та віртуальна валідація виробу/процесу	Раннє виявлення відхилень; прогнозування поведінки	Вартість сенсоризації, калібрування та довіра до моделі
AI/ML та розширена аналітика	Пошук закономірностей, прогноз попиту/дефектів, підтримка рішень	Швидше навчання; точніше пріоритезування	Зміщені дані, пояснюваність та інтелектуальна власність
Аддитивне виробництво	Швидке створення прототипів і малих серій	Скорочення lead time; перевірка форми та складання	Матеріали, сертифікація й економіка масштабу
Хмарна співпраця, AR/VR	Спільна робота, дизайн-рев'ю, навчання і сервісна перевірка	Менше координаційних затримок; залучення клієнта	Кібербезпека, доступність зв'язку та UX

Джерело: систематизовано авторами на основі [6, с. 3941; 7, с. 118; 8, с. 75; 9, с. 59; 10, с. 1019].

Примітка:

CAM – Computer-Aided Manufacturing (автоматизована система технологічної підготовки виробництва)

API – Application Programming Interface (інтерфейс програмування застосунків)

CPS – Cyber-Physical Systems (кіберфізичні системи)

AR/VR – Augmented Reality / Virtual Reality (доповнена реальність / віртуальна реальність)

UX – User Experience (користувачський досвід)

інвестиція має визначатися конкретним процесним вузьким місцем, а не популярністю технології або прагненням максимально розширити IT-ландшафт.

Архітектура цифровізації повинна будуватися навколо узгодженого ядра даних і правил, а не навколо однієї інформаційної системи. До ядра належать ідентифікатор продукту, структура виробу, вимоги, специфікації, версії, статуси, нормативи, права доступу та протокол інженерних змін.

Взаємозв'язок джерел даних, цифрового ядра, етапів NPD і результативного контуру наведено на рис. 1.

У межах наскрізного цифрового контуру клієнтські, ринкові, постачальницькі та виробничі сигнали трансформуються у формалізовані й верифіковані вимоги до нової продукції.

Єдине цифрове ядро забезпечує послідовне застосування цих вимог на етапах формування концепції, конструювання, технологічної підготовки, прототипування, випробування та підготовки

виробу до ринкового запуску. Після виходу продукту на ринок фактичні дані щодо його якості, умов експлуатації та сервісного обслуговування повертаються до системи вимог, утворюючи замкнений контур зворотного зв'язку.

За такого підходу цифровізація сприяє скороченню не лише загальної тривалості операцій, а й інформаційних затримок, які виникають у процесі міжфункціональної взаємодії.

На кожному етапі цифрові підтвердження (докази) мають змінювати зміст управлінських рішень: від інтуїтивного вибору ідеї – до фактологічного підтвердження проблеми клієнта; від єдиного статичного прогнозу – до сценарного бізнес-кейсу; від послідовного ручного погодження – до паралельної оцінки технологічності, ресурсної здійсненності та сервісопридатності виробу.

Узгодження цифрових доказів, рішень і контрольних показників наведено в табл. 2.

Дані, представлені у таблиці 2, конкретизують зміст принципу ранньої економічної та виробничої валідації нової продукції, відповідно до якого зміна матеріалу, геометричних параметрів, рецептури,

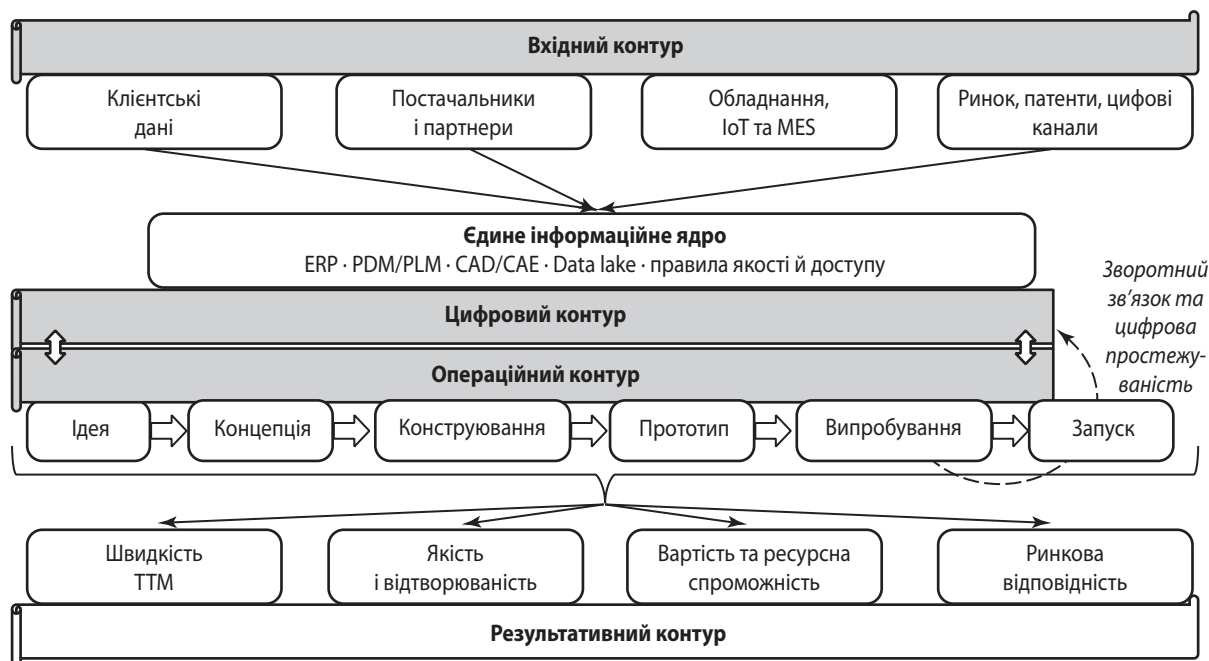


Рис. 1. Архітектура наскрізного цифрового контуру створення нової продукції

Джерело: розроблено авторами з урахуванням [2, с. 197; 9, с. 59; 11, с. 80].

Примітка:

MES – Manufacturing Execution System (система управління виробничими процесами)

Data lake – озеро даних

TTM – Time-to-Market (час виходу продукту на ринок)

Таблиця 2

Цифрова трансформація управлінських рішень за етапами розроблення нової продукції

Етап	Акценти цифровізації	Зміна управлінського рішення	Контрольний показник
Пошук можливостей	Єдина база VoC, продажів, сервісу, ринкових тенденцій і патентів	Перехід від інтуїтивного вибору ідеї до ранжування проблем клієнта	Частка ідей із підтвердженою відповідністю проблеми запропонованому рішення
Концепція і бізнес-кейс	Сценарії попиту, ціни, конфігурації продукту та ресурсного забезпечення	Вибір не найпривабливішої, а найбільш стійкої ціннісної пропозиції	NPV і маржа за сценаріями; рівень невизначеності
Проектування	Параметрична модель, цифрова специфікація, перевірка конструкції з урахуванням виробництва, якості та сервісу	Паралельне узгодження конструкції, технології, закупівель і сервісу	Повнота специфікації; тривалість внесення інженерної зміни
Прототипування	Віртуальне моделювання та фізичний прототип із цифровим керуванням	Швидкі цикли «створення – вимірювання – навчання» з фіксацією версій	Частка віртуальних випробувань; вартість однієї ітерації
Валідація	Пов'язаний протокол «вимога – випробування – результат – невідповідність»	Gate-рішення на основі доказів, а не календарного завершення етапу	Частка вимог, охоплених випробуваннями; кількість критичних дефектів
Підготовка запуску	ERP/MES-маршрути, контрольний план, навчання персоналу та простежуваність	Перевірка готовності всієї виробничої системи, а не лише дослідного зразка	Частка придатної продукції з першого проходження; готовність постачання і сервісу

Джерело: розроблено авторами з урахуванням [4, с. 217; 9, с. 106; 12, с. 141].

Примітка:

VoC – Voice of Customer (голос споживача)

NPV – Net Present Value (чиста теперішня вартість)

упаковки або технологічного режиму має супроводжуватися одночасним коригуванням попередньої собівартості, потреби у виробничих потужностях і оцінки ризику серійного відтворення. Такий підхід забезпечує своєчасне узгодження технічних і економічних параметрів продукту та знижує ймовірність виведення на ринок технічно завершеної, проте економічно нежиттєздатної новинки.

Водночас результативність цифровізації має накопичувальний характер і визначається рівнем зрілості операційного контуру підприємства. Послідовність його розвитку – від забезпечення доступності даних і автоматизації окремих операцій – до інтеграції систем, прогнозування та керованого навчання узагальнено на рис. 2.



Рис. 2. Модель цифрової зрілості операційного контуру створення нової продукції

Джерело: розроблено авторами на основі [13, с. 423; 14, с. 19].

Примітка:

workflow – робочий процес

RPA – Robotic Process Automation (роботизована автоматизація процесів)

Перехід між рівнями цифрової зрілості, наведеними на рис. 2, доцільно здійснювати лише після забезпечення стабільності процесів, даних і регламентів попереднього рівня. Застосування прогнозної аналітики, зокрема для виявлення дефектів і відхилень, не забезпечуватиме належної достовірності за умов непослідовного кодування причин, фрагментарної фіксації параметрів процесу та неуніфікованого відображення статусів невідповідностей. Тому на початковому етапі цифрової трансформації раціональним є формування мінімального наскрізного контуру для обраного сімейства продукції, який поєднує вимоги, специфікацію, технологічний маршрут, процедури контролю та фактичні результати виробництва.

Оцінювання впливу цифровізації доцільно здійснювати за ієрархічною системою показників, яка охоплює спроможність цифрового контуру, зміни у процесній поведінці та кінцеві результати NPД. Для забезпечення коректної інтерпретації зазначені показники мають аналізуватися у взаємозв'язку з відповідними управлінськими сигналами, пороговими значеннями та ризиками хибного трактування, систематизованими в табл. 3.

Практичне використання табл. 3 потребує цифрового паспорта проекту, у якому фіксуються базове значення, ціль, дата вимірювання, власник показника, джерело даних, формула, допустимий діапазон і правило реакції. Порівняння слід здійснювати в межах однорідних продуктивних сімейств або контрольованих пілотів; інакше покращення показника може бути наслідком відмінності в складності продуктів, а не цифрової трансформації.

В контексті проведення емпіричного дослідження щодо перевірки практичної придатності запропонованих положень використано дані за 2021–2025 рр. ряду вітчизняних підприємств: ПрАТ «ТерА», ПрАТ «Тернопільський молокозавод», ТОВ «Пивоварня «Опілля»», ТОВ «Кормотех» і ТОВ «Уніплит» Міжгалузева неоднорідність вибірки не дає підстав для причинної оцінки ефекту цифровізації, але дає змогу апробувати процедуру пріоритизації за єдиними операційними критеріями. Ваги критеріїв визначено ентропійним методом, який відображає їхню інформаційну корисність у конкретній вибірці, а нульові частки у виразі ($p_{ik} \ln p_i$) приймаються за нуль [17, с. 7].

Система контролю результативності цифровізації процесів розроблення нової продукції

Вимір	Показник і спосіб його розрахунку	Управлінський сигнал	Ризик хибної інтерпретації
Дані	Повнота цифрової специфікації = заповнені обов'язкові атрибути / загальна кількість обов'язкових атрибутів	Значення менше 95% – заборона переходу до наступного gate	Формальне заповнення без перевірки достовірності
Інтеграція	Частка критичних об'єктів із автоматичним обміном між PLM, ERP і MES	Зростання ручних перенесень свідчить про ризик затримок і помилок	Технічне поєднання систем без узгоджених довідників
Швидкість	Медіанна тривалість інженерної зміни; цикл створення прототипу	Контроль черг, погоджень, затримок і повторної роботи	Прискорення через неповне проведення випробувань
Якість	First-pass yield; дефекти після design freeze; вартість неналежної якості	Пізні дефекти свідчать про недостатність ранньої валідації	Зменшення реєстрації дефектів через низьку дисципліну
Експеримент	Частка віртуальних випробувань, підтверджених фізично	Оцінювання економії та довіри до цифрової моделі	Заміна обов'язкової фізичної валідації неперевіреною моделлю
Бізнес	Time-to-market; час до цільової маржі; частка доходу від нової продукції	Перевірка переходу операційного ефекту в економічну цінність	Ігнорування ринкової кон'юнктури та часового лагу
Стійкість	RTO/RPO; резервне копіювання; залежність від одного постачальника	Готовність підтримувати NPD в умовах збоїв	Оптимізація лише для середнього сценарію без резервів

Джерело: розроблено авторами з урахуванням процесного підходу [15, с. 177; 16, с. 48].

Примітка:

First-pass yield – коефіцієнт бездефектного виготовлення з першого разу (вихід продукції з першого разу)

Design freeze – заморожування дизайну (затвердження проєкту)

RTO/RPO – Recovery Time Objective / Recovery Point Objective (цільовий час відновлення / цільова точка відновлення)

Методологічно важливо враховувати, що ентропійна вага характеризує диференціацію даних, а не універсальну значущість критерію; надмірна дисперсія одного показника може посилити його вплив на TOPSIS-результат [18].

Для формування портфеля застосовано поєднання багатокритеріального ранжування та цілочислового програмування, що дає змогу врахувати бюджет, взаємозалежності та логічні обмеження [19]. Портфельний підхід відповідає логіці керованої трансформації Індустрії 4.0, за якої окремі ініціативи узгоджуються з бізнес-процесами та загальною цінністю програм цифровізації [20, с. 511].

Профіль потреби сформовано за п'ятьма індикаторами витратної орієнтації і визначається за формулами (1)–(9):

$$b_{1i} = 100 \cdot \left(1 - \frac{I_{i,2025}}{D_{i,2025}} \right); \quad (1)$$

$$b_{2i} = 100 \cdot \frac{C_{i,2025}}{S_{i,2025}}; \quad (2)$$

$$b_{3i} = 1000 \cdot \frac{L_{i,2025}}{S_{i,2025}}; \quad (3)$$

$$b_{4i} = 1000 \cdot \frac{\sigma(S_{i,2021:2025})}{\bar{S}_i}; \quad (4)$$

$$b_{5i} = D_{i,2025}; \quad (5)$$

де b_1 – частка розробок, яка не дійшла до впровадження, %;

b_2 – відношення інноваційних витрат до реалізації інноваційної продукції, %;

b_3 – чисельність працівників інноваційного контуру на 1 млн грн реалізації;

b_4 – коефіцієнт варіації інноваційної реалізації;

b_5 – кількість розробок, яка використовується як непрямий показник організаційного навантаження на процедури погодження, внесення та узгодження змін у документації, а також міжфункціональну координацію, од.;

I – кількість упроваджених інновацій, од.;

D – кількість розроблених інновацій, од.;

C – витрати на інновації, тис. грн;
 S – обсяг реалізації інноваційної продукції, тис. грн;
 L – чисельність працівників, зайнятих в інноваційних процесах, осіб.

Нормування та ентропійне визначення ваг виконано за формулами (6)–(9):

$$z_{ik} = \frac{(b_{ik} - \min_i b_{ik})}{(\max_i b_{ik} - \min_i b_{ik})}; \quad (6)$$

$$p_{ik} = \frac{z_{ik}}{\sum_i z_{ik}}; \quad (7)$$

$$e_k = -\left(\frac{1}{\ln m}\right) \sum_i p_{ik} \cdot \ln p_{ik}; \quad (8)$$

$$w_k = \frac{(1 - e_k)}{\sum_k (1 - e_k)}, \quad (9)$$

де z_{ik} – нормоване значення i -го індикатора для i -го підприємства;

b_{ik} – фактичне значення k -го індикатора на i -му підприємстві;

$\min_i b_{ik}$ та $\max_i b_{ik}$ – відповідно мінімальне та максимальне значення k -го індикатора у досліджуваній сукупності;

b_{ik} – частка нормованого значення k -го індикатора для i -го підприємства у загальній сумі значень цього індикатора;

e_k – ентропія k -го індикатора, яке характеризує однорідність його розподілу у вибірці;

$1 - e_k$ – ступінь інформаційної диференціації показника;

w_k – нормована ентропійна вага k -го індикатора;

m – кількість підприємств у вибірці;

$i = 1, \dots, m$ – номер підприємства;

$k = 1, \dots, 5$ – номер індикатора.

Метод TOPSIS інтерпретовано як показник близькості до профілю найбільшої потреби у втручанні, а не як індекс абсолютної цифрової зрілості. Відстані до позитивної (D_i^+) та негативної (D_i^-) ідеальних точок і коефіцієнт близькості (C_i) визначають за формулами [21, с. 262]:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_k (v_{ik} - v_k^+)^2}; \quad (10)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_k (v_{ik} - v_k^-)^2}; \quad (11)$$

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, \quad (12)$$

де $v_{ik} = w_k z_{ik}$ – зважене нормоване значення k -го індикатора для i -го підприємства;

v_k^+ та v_k^- – відповідно позитивне (максимальне) та негативне (мінімальне) ідеальні значення k -го індикатора;

D_i^+ і D_i^- – евклідові відстані i -го підприємства до позитивної та негативної ідеальних точок;

C_i – коефіцієнт відносної близькості підприємства до профілю максимальної потреби у цифровому втручанні, $0 \leq C_i \leq 1$.

Зaproпонований розрахунковий контур охоплює послідовні етапи збирання й підготовки даних, діагностування потреби в цифровому втручанні за п'ятьма індикаторами, визначення їхньої вагомості ентропійним методом, ранжування підприємств за допомогою TOPSIS, формування оптимального портфеля технологій засобами MILP (Mixed-Integer Linear Programming, змішане цілочисельне лінійне програмування), проведення gate-контролю та подальше уточнення моделі за результатами пілотної апробації.

Важливою умовою його функціонування є наявність зворотного зв'язку, відповідно до якого після впровадження цифрових рішень актуалізуються вихідні дані, матриця технологічного впливу, відносні витрати та система ресурсних обмежень.

Послідовність реалізації зазначених процедур і трансформації результатів розрахунків у відповідні управлінські рішення відображено на рис. 3.

Рис. 3 відображає не одноразовий розрахунок, а контур навчання, відповідно, результати пілотної апробації повинні оновлювати вихідні дані, матрицю технологічного впливу, відносні вартості та ресурсні обмеження. Розраховані значення індикаторів і ваг наведено в табл. 4.

Оскільки досліджувані підприємства належать до різних галузей і відрізняються технологічною структурою, тривалістю циклу NPD, капіталомісткістю та організацією інноваційної діяльності, єдиний ентропійний профіль не слід трактувати як абсолютну міжгалузеву шкалу цифрової зрілості або причинний ефект цифровізації. Його застосування має порівняльно-діагностичний характер, оскільки у межах сформованої вибірки він дає змогу виявити відносну інтенсивність процесних «вузьких місць» і визначити черговість цифрового втручання за уніфікованими операційними критеріями.

Результати проведених розрахунків свідчать про суттєву диференціацію джерел потреби у цифровізації на досліджуваних підприємствах. Зокрема, для ПрАТ «ТерА» характерним є поєднання значних втрат інноваційного портфеля (на рівні 42,86%) та найвищої у вибірці трудомісткості, яка становить 1,525 працівника на 1 млн грн реалізації інноваційної продукції. За таких умов пріоритетним напрямом цифрового втручання має бути не розширення кількості генерованих ідей, а скоро-

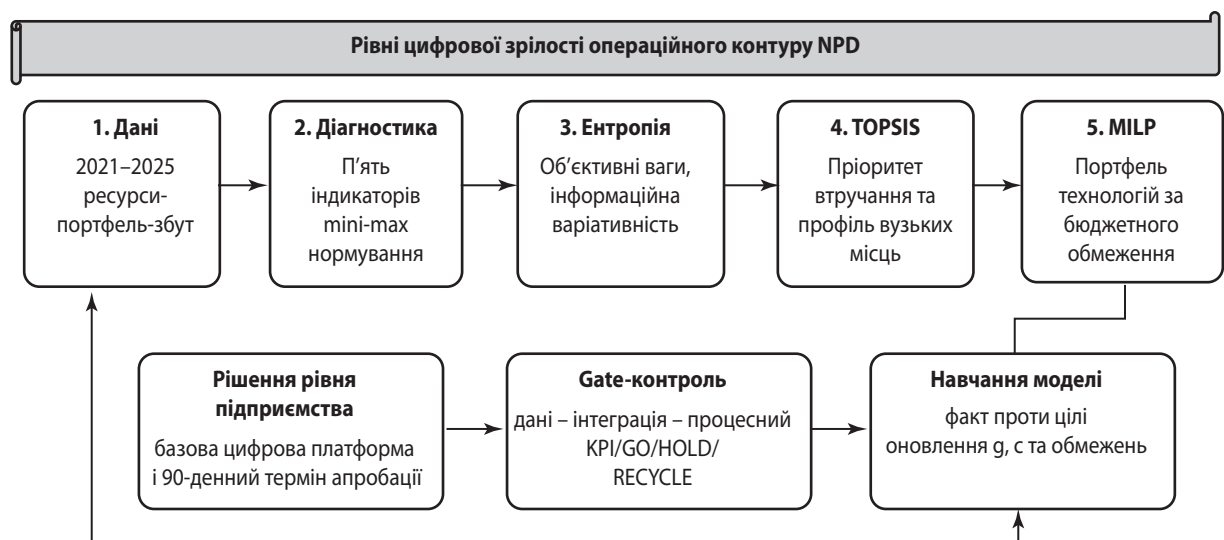


Рис. 3. Розрахунковий контур вибору цифрових технологій для процесу розроблення нової продукції

Джерело: розроблено авторами на основі [17–20].

Примітка: позначення g у схемі використано для узагальненого представлення параметрів матриці технологічного впливу (у подальшій формалізації моделі їй відповідає q_{jk}), які характеризують силу впливу j -го технологічного пакета на k -те процесне «вузьке місце»; c – вектор відносних ресурсних витрат c_j на впровадження цифрових пакетів.

Таблиця 4

Початкові індикатори потреби у цифровій інтеграції та їх ентропійні ваги

Підприємство	b_1 , %	b_2 , %	b_3 , осіб / 1 млн грн	b_4 , %	b_5 , од.
ПрАТ «ТерА»	42,86	51,67	1,525	40,45	7
ПрАТ «Тернопільський молокозавод»	30,00	58,17	0,872	38,33	30
ТОВ «Пивоварня «Опілля»»	27,27	57,44	0,477	51,99	11
ТОВ «Кормотех»	36,84	58,08	0,360	40,45	19
ТОВ «Уніплит»	59,26	66,02	0,332	42,05	27
Ентропійна вага w^k	0,202	0,125	0,289	0,231	0,152

Джерело: розраховано авторами за емпіричними матеріалами підприємств, сформованими на основі даних внутрішнього управлінського обліку та статистичної звітності щодо інноваційної діяльності за 2021–2025 рр.; відкриту фінансову звітність підприємств використано для контрольної верифікації вартісних показників.

Примітка: b_1 – втрати між розробленням і впровадженням; b_2 – витратомісткість; b_3 – трудомісткість; b_4 – волатильність реалізації; b_5 – кількість розробок.

чення дубльованих операцій, формалізація конфігурації продукту та перенесення процедур переробки у цифрове середовище.

На ПрАТ «Тернопільський молокозавод» виявлено найбільший портфель – 30 розробок за рівнем витратомісткості 58,17%. Це зумовлює необхідність інтеграції лабораторних, виробничих даних та параметрів якості в єдиний інформаційний контур.

Для ТОВ «Пивоварня «Опілля» визначальним чинником є найвищий серед досліджених підприємств коефіцієнт варіації інноваційної реалізації – 51,99%, зумовлюючи при цьому доцільність зміщення акценту від складних інженерних

платформ до цифрових інструментів VoC, сегментації, моніторингу каналів збуту та оперативного використання зворотного зв'язку. ТОВ «Кормотех» характеризується порівняно низькою трудомісткістю на рівні 0,36 працівника на 1 млн грн інноваційної реалізації та відносно збалансованим профілем без виражених критичних відхилень, тому для нього доцільним є локальне цифрове втручання, спрямоване на підвищення простежуваності портфеля без істотної перебудови наявної R&D-конфігурації.

Натомість ТОВ «Уніплит» демонструє максимальні втрати портфеля на рівні 59,26% і найвищу витратомісткість – 66,02% за 27 розробок, засвід-

чуючи значну потребу в удосконаленні управління технічними вимогами, змінами конфігурацій та цифровій перевірці виробничої здійсненності нової продукції.

З урахуванням отриманих ваг нормалізовані профілі перетворено у коефіцієнти близькості TOPSIS. Результати ранжування та їх управлінську інтерпретацію подано в табл. 5.

Таблиця 5

Ранжування підприємств за пріоритетом цифрового втручання методом TOPSIS

Підприємство	D ⁺	D ⁻	C _i	Ранг	Управлінська інтерпретація
ПрАТ «ТерА»	0,296	0,308	0,509	1	Високий: цифрове усунення втрат і повторної роботи
ПрАТ «Тернопільський молокозавод»	0,343	0,209	0,379	4	Селективний: інтеграція портфеля, якості й виробництва
ТОВ «Пивоварня «Опілля»»	0,356	0,241	0,403	3	Селективний: стабілізація ринкового зворотного зв'язку
ТОВ «Кормотех»	0,385	0,120	0,238	5	Локальний: не порушувати результативну конфігурацію
ТОВ «Уніплит»	0,335	0,279	0,455	2	Високий: вимоги, конфігурації та віртуальна перевірка

Джерело: розраховано авторами.

Примітка: Чим більше значення коефіцієнта C_i, тим більша близькість до профілю максимальної потреби у втручанні; показник не вимірює абсолютну цифрову зрілість.

Результати TOPSIS-ранжування визначають черговість проведення цифрової діагностики, однак не дають змоги безпосередньо встановити склад і ресурсну місткість технологічного портфеля.

Для переходу від оцінювання пріоритетності до обґрунтування інвестиційного рішення сформовано п'ять функціональних пакетів цифрових технологій:

T1 – PDM/PLM, керування вимогами, конфігураціями та інженерними змінами;

T2 – інтеграція ERP/MES/QMS для синхронізації ресурсів, виробничого виконання та контролю якості;

T3 – CAD/CAE, цифрове моделювання і цифровий двійник;

T4 – CRM, VoC та ринкова аналітика;

T5 – workflow/RPA, уніфіковані довідники й правила забезпечення якості даних.

Відносна вартість зазначених пакетів становить відповідно 30, 35, 40, 25 і 20 балів та характеризує не ціну окремої ліцензії, а сукупну складність впровадження, яка охоплює інтеграцію систем, очищення даних, навчання персоналу й перебудову бізнес-процесів. Умовні ресурсні бали сформовано методом кросфункціонального експертного бального оцінювання, при цьому кожен із пакетів оцінювали за п'ятьма складовими складності впровадження – інтеграційною складністю, обсягом підготовки й очищення даних, потребою в інфраструктурних змінах, масштабом навчання персоналу та глибиною перебудови бізнес-

процесів – за шкалою від 0 (мінімальна складність) до 10 (максимальна складність) балів за кожною складовою.

Експертна матриця q_{kj} , значення якої перебувають у межах [0;1], відображає силу впливу технологічного пакета j на відповідне вузьке місце k , а її параметри мають затверджуватися кросфункціональною групою та уточнюватися за результатами пілотного впровадження.

Показник a_{ij} агрегує лише ту частину потенційного технологічного ефекту, яка відповідає фактичному профілю потреб конкретного підприємства. На цій основі бінарна модель спрямована на максимізацію сукупного рівня покриття виявлених вузьких місць за заданого ресурсного обмеження B .

Для забезпечення практичної доцільності рішення до моделі введено низку обмежень, а саме: можливість одночасного вибору не більше трьох технологічних пакетів; обов'язкове включення щонайменше однієї базової технології T1, T2 або T5; а також залежність пакета T3 від наявності PDM/PLM або від інтеграції ERP/MES/QMS. Таке обмеження унеможливує впровадження цифрового двійника без належної інформаційної та процесної основи й відповідає загальній логіці завдань бінарної цілочислової оптимізації [22, с. 148–149].

$$a_{ij} = \sum_k w_k \cdot z_{ik} \cdot q_{kj}; \quad (13)$$

$$\max \sum_j a_{ij} \cdot x_{ij}, \quad (14)$$

за умов:

$$\sum_j c_j \cdot x_{ij} \leq B; \sum_j x_{ij} \leq 3; x_{i3} \leq x_{i1} + x_{i2}; \quad (15)$$

$$x_{i1} + x_{i2} + x_{i5} \geq 1; x_{ij} \in \{0,1\},$$

де a_{ij} – інтегральна оцінка доцільності включення j -го пакета цифрових технологій до портфеля i -го підприємства;

w_k – ентропійна вага k -го критерію, який характеризує його інформаційну значущість у диференціації підприємств;

z_{ik} – нормоване значення k -го критерію потреби у цифровій інтеграції для i -го підприємства;

q_{kj} – коефіцієнт відповідності j -го технологічного пакета проблемній зоні, яку відображає k -й критерій; чим вищим є значення q_{kj} , тим сильніше відповідна технологія впливає на усунення визначеної проблеми;

x_{ij} – бінарна змінна вибору j -го технологічного пакета для i -го підприємства;

c_j – ресурсна вартість упровадження j -го пакета цифрових технологій, виражена у вартісних або умовних ресурсних балах;

B – граничний обсяг ресурсів, доступний для формування цифрового портфеля підприємства;

$\sum_j a_{ij} \cdot x_{ij}$ – сукупний очікуваний ефект від упровадження обраного набору цифрових технологій на i -му підприємстві;

$\sum_j c_j \cdot x_{ij} \leq B$ – бюджетне обмеження, відповідно до якого сумарна ресурсна вартість обраних технологій не може перевищувати доступний бюджет;

$\sum_j x_{ij} \leq 3$ – обмеження максимальної кількості технологічних пакетів у портфелі, що передбачає вибір не більше трьох пакетів;

$x_{i3} \leq x_{i1} + x_{i2}$ – технологічне обмеження залежності, за якого пакет ТЗ може бути обраний лише за умови одночасного вибору щонайменше одного з пакетів Т1 або Т2;

$x_{i1} + x_{i2} + x_{i5} \geq 1$ – обмеження обов'язкової наявності у портфелі щонайменше однієї базової цифрової технології;

$x_{ij} \in \{0,1\}$ – умова бінарності змінних вибору.

Після формалізації цільової функції та системи ресурсних і логічних обмежень розв'язано оптимізаційну модель за трьома сценаріями ресурсного забезпечення. Сформовані за результатами розрахунків оптимальні комбінації цифрових технологій та відповідні рівні покриття потреб підприємств у цифровому втручанні представлено в табл. 6.

При базовому ресурсному обмеженні $B = 70$ для ПрАТ «ТерА», ПрАТ «Тернопільський молокозавод» і ТОВ «Уніплит» оптимальним визначено пакет Т1+Т3, однак його практичне наповнення відрізняється залежно від профілю підприємства.

Для ПрАТ «ТерА» пріоритетом є керування версіями рецептур, упаковки, специфікацій і gate-рішень із одночасним скороченням повторних лабораторно-виробничих ітерацій; для ПрАТ «Тернопільський молокозавод» – забезпечення простежуваності вимог безпечності та якості, підтримка масштабування рецептур і планування випробувань; для ТОВ «Уніплит» – управління технічними вимогами В2В-клієнтів, конфігураціями матеріалів і попередня цифрова перевірка технологічних параметрів.

Таблиця 6

Оптимальні пакети цифрових технологій при сценаріях ресурсного обмеження

Підприємство	B = 50	B = 70 (базовий)	Покриття B70, %	B = 90	Покриття B90, %
ПрАТ «ТерА»	T1+T5 (50 б.)	T1+T3 (70 б.)	46,4	T1+T3+T5 (90 б.)	70,7
ПрАТ «Тернопільський молокозавод»	T1+T5 (50 б.)	T1+T3 (70 б.)	47,5	T1+T3+T5 (90 б.)	71,4
ТОВ «Пивоварня «Опілля»»	T4+T5 (45 б.)	T4+T5 (45 б.)	54,3	T2+T4+T5 (80 б.)	69,7
ТОВ «Кормотех»	T1+T5 (50 б.)	T1+T5 (50 б.)	44,7	T1+T3+T5 (90 б.)	67,1
ТОВ «Уніплит»	T1+T5 (50 б.)	T1+T3 (70 б.)	45,3	T1+T3+T5 (90 б.)	67,6

Джерело: розраховано авторами з урахуванням [19; 20, с. 511].

Примітка: Т1 – PDM/PLM; Т2 – ERP/MES/QMS; Т3 – CAD/CAE і цифровий двійник (digital twin); Т4 – CRM/VoC; Т5 – workflow/RPA та управління даними (data governance).

Для ТОВ «Пивоварня «Опілля» модель формує пакет T4+T5 вартістю 45 балів, що зумовлено високою волатильністю збуту та вищою результативністю CRM/VoC-аналітики і швидких workflow порівняно з дорогими інженерними платформами. Для ТОВ «Кормотех» оптимальним є пакет T1+T5, спрямований на посилення керування портфелем, адаптацію до вимог зовнішніх ринків і впорядкування процедур затвердження рецептур. За сценарію B = 50 складні рішення T3 замінюються базовим пакетом T5 із незначним зниженням цільової функції, тоді як за B = 90 додавання T5 підвищує рівень покриття потреби до 67,1–71,4%.

Упровадження сформованих пакетів доцільно здійснювати у форматі 90-денного часового лагу апробації, охоплюючи при цьому фіксацію базового процесу і даних, визначення інтеграційних інтерфейсів, апробацію на одній продуктивній платформі та підсумкове gate-рішення GO (продовжити реалізацію), HOLD (тимчасово призупинити), RECYCLE (повернути на доопрацювання) або KILL (припинити реалізацію).

Масштабування цифрового рішення можливе лише за наявності стабільного джерела даних, підтвердженого усунення «вузьких місць» у процесі, відсутності критичного погіршення якості або кібербезпеки та позитивного бізнес-кейсу з урахуванням сукупної вартості володіння. Організаційне супроводження доцільно покласти на компактний Digital NPD Office, у межах якого власник продуктового процесу, архітектор даних, фінансовий контролер і представники R&D, виробництва, якості, маркетингу та ІТ спільно оцінюють результати апробації й коригують параметри моделі [23, с. 65].

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дало змогу обґрунтувати, що цифровізація процесів проектування та розроблення нової продукції є не просто сукупністю точкових ІТ-рішень, а системною перебудовою процесів формування, передавання й використання даних, міжфункціональної взаємодії та правил прийняття управлінських рішень. Її вплив реалізується через інформаційний, когнітивний, координаційний, експериментальний і контрольний механізми, результативність яких залежить від узгодженого застосування технологічних класів і зрілості базової цифрової інфраструктури. Запропонована архітектура наскрізного цифрового контуру забезпечує спадкоємність вимог від ринкового сигналу до серійного запуску й післяпродажного зворотного зв'язку, а п'ятирівнева модель зрілості визначає

послідовність переходу від оцифрування та автоматизації до інтеграції, передбачення й адаптивності.

Основний методичний результат дослідження полягає у поєднанні ентропійного визначення ваг, TOPSIS-ранжування та бінарної цілочислової оптимізації, що дає змогу відокремити етап цифрової діагностики від вибору конкретного технологічного портфеля. Апробація на матеріалах досліджуваних підприємств підтвердила істотну неоднорідність джерел потреби у цифровізації: для одних суб'єктів домінують втрати інноваційного портфеля та висока трудомісткість, для інших – волатильність реалізації, масштаб портфеля або витратомісткість. TOPSIS-оцінювання визначило найвищу черговість цифрового втручання для ПрАТ «ТерА» і ТОВ «Уніплит». Водночас портфельна оптимізація засвідчила, що навіть за однакового ресурсного ліміту зміст цифрових пакетів має якісно адаптуватися до галузевої специфіки. Для підприємств із проблемами версійності, конфігурацій і повторних ітерацій пріоритетними є рішення PDM/PLM у поєднанні з інженерним моделюванням (CAD/CAE), тоді як за домінування нестабільності ринкового зворотного зв'язку більшу результативність демонструють інструменти CRM/VoC та автоматизовані workflow-системи.

Практична реалізація запропонованого підходу має здійснюватися у формі 90-денного апробаційного циклу із зафіксованим базовим станом, цільовими процесними KPI, стабільним джерелом даних і формалізованою процедурою ухвалення gate-рішень. Масштабування цифрового рішення є обґрунтованим лише за умови підтвердженого усунення процесного «вузького місця», відсутності критичного погіршення якості й кібербезпеки та наявності позитивного бізнес-кейсу з урахуванням сукупної вартості володіння.

Отже, науково обґрунтована цифровізація NPD повинна виходити не з прагнення максимально розширити ІТ-ландшафт, а з дотримання послідовності: «вузьке місце – технологічний пакет – апробація – вимірюваний ефект – масштабування».

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Вишневський В. П., Гаркушенко О. М., Князєв С. І., Липницький Д. В., Чекина В. Д. Цифровізація економіки України: трансформаційний потенціал : монографія / за ред. В. П. Вишневського та С. І. Князєва. Київ : Академперіодика, 2020. 188 с.

2. Marion T. J., Fixson S. K. The transformation of the innovation process: how digital tools are changing work, collaboration, and organizations in new product development. *Journal of Product Innovation Management*. 2021. Vol. 38. No. 1. P. 192–215. DOI: 10.1111/jpim.12547
3. Саврас І. З., Фединець Н. І. Цифровізація та інноваційний розвиток підприємства: тенденції, проблеми та перспективи. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Економічні науки*. 2023. № 74. С. 108–114. DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1205-2023-74-14>
4. Verganti R., Vendraminelli L., Iansiti M. Innovation and design in the age of artificial intelligence. *Journal of Product Innovation Management*. 2020. Vol. 37. No. 3. P. 212–227. DOI: 10.1111/jpim.12523
5. Македон В. В., Байлова О. О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки*. 2023. Вип. 47. С. 16–26. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3>
6. Tao F., Sui F., Liu A., Qi Q., Zhang M., Song B., Guo Z., Lu S. C.-Y., Nee A. Y. C. Digital twin-driven product design framework. *International Journal of Production Research*. 2019. Vol. 57. No. 12. P. 3935–3953. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229>
7. Шапуров О. О. Промислові інновації: інтернет речей, блокчейн, цифровий двійник. *Трансформаційна економіка*. 2023. № 5 (05). С. 115–121. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-8141/2023-5-20>
8. Мехович С. А., Потапов Ф. В., Тюфанов Г. Л. Вплив процесів діджиталізації на конструкторську діяльність виробничих підприємств. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2024. № 12 (203). С. 69–91. DOI: <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2024.12.06>
9. Кондрашев П. В., Лесик Д. А. Системи керування життєвим циклом виробу : практикум. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. 128 с.
10. Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn W. Digital twin in manufacturing: a categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*. 2018. Vol. 51. No. 11. P. 1016–1022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
11. Кравченко М. О., Салабай В. О. Роль цифрових трансформацій бізнес-процесів підприємств. *Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. 2023. № 26. С. 75–88. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.26.2023.286988>
12. Потапов Ф. В. Діджиталізація конструкторської діяльності в екосистемній моделі організації праці конструктора. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2026. № 3 (218). С. 138–151. DOI: <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2026.03.10>
13. Савицька О. М., Салабай В. О. Цифрові трансформації в умовах розвитку Індустрії 4.0. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*. 2021. Vol. 3. No. 38. P. 420–426. DOI: <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v3i38.237472>
14. Frank A. G., Dalenogare L. S., Ayala N. F. Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*. 2019. Vol. 210. P. 15–26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
15. Прохорова В. В., Янчак Ю. О., Щербина Є. В. Інструменти цифрової економіки в контексті підвищення ефективності бізнес-процесів. *Бізнес Інформ*. 2024. № 3. С. 174–182. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-3-174-182>
16. Івченко Є. А., Хімченко А. О. Цифрова трансформація систем управління бізнес-процесами на українських підприємствах. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2024. № 6 (286). С. 45–50. DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-286-6-45-50>
17. Qu W., Li J., Song W., Li X., Zhao Y., Dong H., Wang Y., Zhao Q., Qi Y. Entropy-weight-method-based integrated models for short-term intersection traffic flow prediction. *Entropy*. 2022. Vol. 24 (7). Article 849. DOI: <https://doi.org/10.3390/e24070849>
18. Chen P. Effects of the entropy weight on TOPSIS. *Expert Systems with Applications*. 2021. Vol. 168. Article 114186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114186>
19. Tavana M., Khosrojerdi G., Mina H., Rahman A. A new dynamic two-stage mathematical programming model under uncertainty for project evaluation and selection. *Computers & Industrial Engineering*. 2020. Vol. 149. Article 106795. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106795>
20. Richard S., Pellerin R., Bellemare J., Perrier N. A business process and portfolio management approach for Industry 4.0 transformation. *Business Process Management Journal*. 2021. Vol. 27. No. 2. P. 505–528. DOI: <https://doi.org/10.1108/BPMJ-05-2020-0216>
21. Юрченко Ю. М., Волкова Н. П. Методика прийняття рішень задач багатокритеріального вибору за допомогою вдосконалення методу TOPSIS. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2024. Т. 14. № 3. С. 259–267. DOI: <https://doi.org/10.15276/imms.v14.no3.259>
22. Nabati M. M., Ashrafi M. Modeling projects interdependencies to measure their synergic impacts on a project portfolio. *Journal of Project Management*. 2021. No. 6. P. 143–156. DOI: <https://doi.org/10.5267/j.jpm.2021.2.003>
23. Саврас І. З., Фединець Н. І. Трансформація підприємства через цифрові інновації: сучасні виклики

та перспективи. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Економічні науки*. 2024. № 78. С. 62–69.

DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1205-2024-78-09>

REFERENCES

- Chen P. (2021). Effects of the entropy weight on TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 168, Article 114186. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114186>
- Frank A. G., Dalenogare L. S. & Ayala N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Ivchenko Ye. A. & Khimchenko A. O. (2024). Tsyfrova transformatsiia system upravlinnia biznes-protsesamy na ukraïnskykh pidpriemstvakh [Digital transformation of business process management systems at Ukrainian enterprises]. *Visnyk Skhidnoukraiïnskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 6 (286), 45–50. <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-286-6-45-50>
- Kondrashev P. V. & Lesyk D. A. (2026). *Systemy keruvannia zhyttievym tsyklom vyrobu: praktykum* [Product lifecycle management systems: workshop]. KPI im. Ihoria Sikorskoho.
- Kravchenko M. O. & Salabai V. O. (2023). Rol tsyfrovyykh transformatsii biznes-protsesiv pidpriemstv [The role of digital transformations of business processes of enterprises]. *Ekonomichnyi visnyk NTUU «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»*, 26, 75–88. <https://doi.org/10.20535/2307-5651.26.2023.286988>
- Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J. & Sihn W. (2018). Digital twin in manufacturing: a categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 11(51), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- Makedon V. V. & Bailova O. O. (2023). Planuvannia i orhanizatsiia vprovadzhennia tsyfrovyykh tekhnolohii v diïalnist promyslovykh pidpriemstv [Planning and organization of the introduction of digital technologies into the activities of industrial enterprises]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Serii: Ekonomichni nauky*, 47, 16–26. <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3>
- Marion T. J. & Fixson S. K. (2021). The transformation of the innovation process: how digital tools are changing work, collaboration, and organizations in new product development. *Journal of Product Innovation Management*, 1(38), 192–215. <https://doi.org/10.1111/jpim.12547>
- Mekhovych S. A., Potapov F. V. & Tiufanov H. L. (2024). Vplyv protsesiv didzhitalizatsii na konstruktorsku diïalnist vyrobnychyykh pidpriemstv [The impact of digitalization processes on the design activity of manufacturing enterprises]. *Enerhozberezhennia. Enerhetyka. Enerhoaudyt*, 12 (203), 69–91. <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2024.12.06>
- Nabati M. M. & Ashrafi M. (2021). Modeling projects interdependencies to measure their synergic impacts on a project portfolio. *Journal of Project Management*, 6, 143–156. <https://doi.org/10.5267/j.jpm.2021.2.003>
- Potapov F. V. (2026). Didzhitalizatsiia konstruktorskoï diïalnosti v ekosystemnii modeli orhanizatsii pratsi konstruktora [Digitalization of design activity in the ecosystem model of the designer's labor organization]. *Enerhozberezhennia. Enerhetyka. Enerhoaudyt*, 3 (218), 138–151. <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2026.03.10>
- Prokhorova V. V., Yanchak Yu. O. & Shcherbyna Ye. V. (2024). Instrumenty tsyfrovoy ekonomiky v konteksti pidvyshchennia efektyvnosti biznes-protsesiv [Digital economy tools in the context of increasing the efficiency of business processes]. *Biznes Inform*, 3, 174–182. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-3-174-182>
- Qu W., Li J., Song W., Li X., Zhao Y., Dong H., Wang Y., Zhao Q. & Qi Y. (2022). Entropy-weight-method-based integrated models for short-term intersection traffic flow prediction. *Entropy*, 7(24), Article 849. <https://doi.org/10.3390/e24070849>
- Richard S., Pellerin R., Bellemare J. & Perrier N. (2021). A business process and portfolio management approach for Industry 4.0 transformation. *Business Process Management Journal*, 2(27), 505–528. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-05-2020-0216>
- Savras I. Z. & Fedynets N. I. (2023). Tsyfrovizatsiia ta inovatsiinyi rozvytok pidpriemstva: tendentsii, problemy ta perspektyvy [Digitalization and innovative development of the enterprise: trends, problems and prospects]. *Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu. Ekonomichni nauky*, 74, 108–114. <https://doi.org/10.32782/2522-1205-2023-74-14>
- Savras I. Z. & Fedynets N. I. (2024). Transformatsiia pidpriemstva cherez tsyfrovi innovatsii: suchasni vyklyky ta perspektyvy [Transformation of the enterprise through digital innovations: current challenges and prospects]. *Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu. Ekonomichni nauky*, 78, 62–69. <https://doi.org/10.32782/2522-1205-2024-78-09>
- Savytska O. M. & Salabai V. O. (2021). Tsyfrovi transformatsii v umovakh rozvytku Industrii 4.0 [Digital transformations in the conditions of Industry 4.0 development]. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 38(3), 420–426. <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v3i38.237472>
- Shapurov O. O. (2023). Promyslovi innovatsii: internet rechei, blokchein, tsyfrovi dviinyk [Industrial innovations: internet of things, blockchain, digital twin]. *Transformatsiina ekonomika*, 5 (05), 115–121. <https://doi.org/10.32782/2786-8141/2023-5-20>

- Tao F., Sui F., Liu A., Qi Q., Zhang M., Song B., Guo Z., C.-Y. Lu S. & Nee A.Y.C. (2019). Digital twin-driven product design framework. *International Journal of Production Research*, 12(57), 3935–3953. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229>
- Tavana M., Khosrojerdi G., Mina H. & Rahman A. (2020). A new dynamic two-stage mathematical programming model under uncertainty for project evaluation and selection. *Computers & Industrial Engineering*, 149, Article 106795. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106795>
- Verganti R., Vendraminelli L. & Iansiti M. (2020). Innovation and design in the age of artificial intelligence. *Journal of Product Innovation Management*, 3(37), 212–227. <https://doi.org/10.1111/jpim.12523>
- Vyshnevskiy V. P., Harkushenko O. M., Kniaziev S. I., Lypnytskyi D. V. & Chekina V. D. (2020). *Tsyfrovizatsiia ekonomiky Ukrainy: transformatsiyni potentsial: monohrafiia* [Digitalization of the economy of

Ukraine: transformational potential: monograph]. Akadempriodyka.

- Yurchenko Yu. M. & Volkova N. P. (2024). Metodyka pryiniattia rishen zadach bahatokryterialnoho vyboru za dopomohoiu vdoskonalennia metodu TOPSIS [Decision-making methodology for multi-criteria choice problems using the improvement of the TOPSIS method]. *Informatyka ta matematychni metody v modeliuvanni*, 3(14), 259–267. <https://doi.org/10.15276/imms.v14.no3.259>

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.
Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.
Інструменти ШІ у підготовці цієї роботи не використовувалися.

Стаття надійшла до редакції / Received: 20.07.2026
Статтю прийнято до публікації / Accepted: 08.08.2026
Оприлюднено / Published: 08.10.2026

УДК 658.012.2:005.21
JEL: D21; D81; L21; M10
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-8-572-580>

МЕХАНІЗМ СТРАТЕГУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА

© 2026 ЧЕРНИШЕНКО А. Г.

УДК 658.012.2:005.21
JEL: D21; D81; L21; M10

Чернишенко А. Г. Механізм стратегування економічної поведінки підприємства в умовах нестабільного середовища

У статті розроблено механізм стратегування економічної поведінки підприємства в умовах нестабільного середовища, що забезпечує інтеграцію стратегічної діагностики, оцінювання поведінково-стратегічної адаптивності, формування стратегічних альтернатив, стратегічного позиціонування, а також вибору, реалізації та коригування управлінських рішень у межах безперервного адаптивного циклу. Обґрунтовано, що сучасні умови функціонування підприємств характеризуються високим рівнем економічної, технологічної, інституційної та безпекової невизначеності, що потребує впровадження нових підходів до стратегічного управління, здатних забезпечити своєчасну адаптацію до змін зовнішнього середовища та підтримання довгострокової конкурентоспроможності. Запропонований механізм базується на використанні збалансованої системи показників як аналітичної основи стратегування, що дозволяє трансформувати стратегічні цілі в систему ключових показників ефективності за фінансовою, клієнтською, процесною перспективами та перспективою розвитку й потенціалу. Визначено логічну послідовність шести взаємопов'язаних етапів механізму: стратегічної діагностики, формування стратегічних альтернатив, вибору стратегії економічної поведінки, її реалізації, оцінювання результатів і стратегічної адаптації. Особливу увагу приділено формуванню системи базових стратегічних альтернатив (адаптивної, проактивної, інноваційної, захисної, антикризової та комбінованої), вибір яких здійснюється з урахуванням рівня поведінково-стратегічної адаптивності, стратегічного потенціалу, ресурсного забезпечення та впливу факторів нестабільного середовища. Запропоновано карту стратегічного позиціонування економічної поведінки підприємства, яка дає змогу визначити стратегічний стан підприємства та обґрунтувати напрями його подальшого розвитку залежно від рівня адаптивності та реалізації стратегічного потенціалу. Практична цінність запропонованого механізму полягає у підвищенні обґрунтованості стратегічних рішень, своєчасному виявленні стратегічних відхилень, ефективнішому використанні ресурсного потенціалу, забезпеченні стратегічної стійкості, адаптивності та довгострокової конкурентоспроможності підприємств в умовах нестабільного середовища.

Ключові слова: стратегування; економічна поведінка; підприємства; управління; середовище; поведінково-стратегічна адаптивність; збалансована система показників; стратегічні альтернативи; позиціонування; конкурентоспроможність; стійкість; стратегія.

Рис.: 2. **Бібл.:** 14.

Чернишенко Антон Геннадійович – аспірант кафедри фінансових технологій та бізнесу, Державний університет «Київський авіаційний інститут» (просп. Любомира Гузара, 1, Київ, 03058, Україна)
E-mail: gennadievich01011987@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1822-9642>