Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292.

Ефективна економіка. 2026. № 1. ISSN 2307-2105

DOI: http://doi.org/10.32702/2307-2105.2026.1.41
УДК 658.51:330.341.1

М. О. Кравченко,
д. е. н., професор, професор кафедри менеджменту підприємств,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5405-0159
В. О. Салабай,
аспірант кафедри менеджменту підприємств,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6369-7381

ОПТИМІЗАЦІЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ОСНОВІ ПРОЦЕСНОГО ПІДХОДУ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

M. Kravchenko,
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor of the Department of Management of Enterprises,
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
V. Salabai,
Postgraduate student of the Department of Management of Enterprises,
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

BUSINESS PROCESS OPTIMIZATION FOR MACHINE-BUILDING ENTERPRISES BASED ON THE PROCESS APPROACH UNDER DIGITAL TRANSFORMATION

У статті досліджено теоретико-методичні та прикладні засади оптимізації бізнес-процесів машинобудівних підприємств у контексті цифрової трансформації на основі процесного підходу. Обґрунтовано актуальність дослідження з позицій зростання складності виробничих систем, обмеженості ресурсів і необхідності підвищення операційної та фінансової ефективності промислових підприємств. Розкрито еволюцію процесного підходу та визначено його роль як методологічної основи оптимізації бізнес-процесів у цифровому середовищі. Показано, що цифрова трансформація забезпечує вимірюваність бізнес-процесів, тоді як процесний підхід – їх структурованість, а оптимізація – керованість параметрів функціонування. Проаналізовано можливості застосування сучасних методологій моделювання бізнес-процесів, що використовуються для опису архітектури (англ. Unified Modeling Language, UML; Architecture of Integrated Information Systems, ARIS); функцій та інформації (англ. Integrated DEFinition, IDEF), та потоків бізнес-процесів (англ. Business Process Model and Notation (BPMN). Обґрунтовано доцільність використання BPMN як базової нотації для подальшої економіко-математичної формалізації. Запропоновано структурно-логічну модель інтеграції цифрової трансформації та оптимізації бізнес-процесів машинобудівних підприємств. Розроблено підхід до формалізації задачі оптимізації бізнес-процесів у вигляді моделі лінійного програмування з максимізацією прибутку з урахуванням ресурсних, виробничих, технологічних і ринкових обмежень. Показано, що запропонована модель дозволяє перейти від якісного процесного аналізу до кількісного обґрунтування управлінських рішень і може використовуватися як прикладний інструмент процесно-орієнтованого управління в умовах цифрової трансформації. Обґрунтовано, що інтеграція процесного управління й цифрових технологій створює передумови для формування гнучкої та керованої процесної архітектури підприємства. Визначено перспективи подальших досліджень у напрямі розроблення комплексних моделей оптимізації бізнес-процесів.

The article investigates the theoretical, methodological and applied foundations of business process optimization in machine-building enterprises in the context of digital transformation, with the process approach substantiated as a key management paradigm. The relevance of the research is justified by the increasing complexity of production systems, persistent resource constraints, heightened requirements for quality and delivery reliability, and the need to improve operational and financial performance of industrial firms. It is demonstrated that digital transformation ensures the measurability and transparency of processes through systematic data capture, information system integration, and the monitoring of critical parameters. Meanwhile, the process approach provides end-to-end structuring of enterprise activities, clarifies responsibilities, and links operations to performance indicators. The analysis covers modern business process modeling methodologies like UML (Unified Modeling Language) for architecture, ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) for overall structure, IDEF (Integrated DEFinition) for functions and information, and BPMN (Business Process Model and Notation) for detailed workflow visualization, highlighting their roles in defining system structure, processes, data, and interactions to improve efficiency, communication, and decision-making. Additionally, it emphasizes BPMN as the foundational notation for further economic and mathematical formalization, owing to its clarity in representing cross-functional flows, events, and decision points. A structural-logical model for integrating digital initiatives with business process optimization in machine-building enterprises is developed and justified. The optimization problem is formalized as a linear programming model with profit maximization, where decision variables represent process volumes and resource allocation, and the system of constraints reflects capacity limits, resource availability, technological requirements, production routings and market restrictions, including effective demand. It is argued that profit should be interpreted as an integral outcome of interconnected revenue- and cost-forming processes, enabling quantitative assessment of trade-offs at the enterprise level. The proposed model supports the transition from qualitative BPMN-based analysis to quantitative

substantiation of managerial decisions, enables scenario analysis and bottleneck identification, and can be applied as a decision-support tool for process-oriented management under digital transformation. Further research perspectives include developing comprehensive optimization models that account for uncertainty and refining digital maturity indicators used as model parameters and decision criteria.

***Ключові слова**: бізнес-процес, процесний підхід, оптимізація, цифрова трансформація, машинобудівне підприємство.*

***Keywords**: business process, process approach, optimization, digital transformation, machine-building enterprise.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Машинобудівні підприємства відіграють ключову роль у забезпеченні технологічного розвитку та структурної модернізації економіки, однак у сучасних умовах їх функціонування ускладнюється зростанням ресурсних обмежень, нестабільністю зовнішнього середовища та прискоренням технологічних змін, зумовлених цифровою трансформацією бізнесу. За таких умов традиційні функціональні підходи до управління дедалі меншою мірою відповідають вимогам підвищення ефективності, гнучкості та конкурентоспроможності машинобудівних підприємств.

Цифрова трансформація актуалізує потребу переходу до процесно-орієнтованого управління, у межах якого діяльність підприємства розглядається як сукупність взаємопов'язаних бізнес-процесів, спрямованих на створення доданої вартості. Процесний підхід забезпечує формалізацію управління, підвищення прозорості використання ресурсів і створює передумови для обґрунтованого прийняття управлінських рішень на основі даних.

Водночас у практиці управління машинобудівними підприємствами застосування процесного підходу часто обмежується описовим

моделюванням бізнес-процесів без їх кількісної оцінки та економічного обґрунтування. Інтеграція процесного управління з цифровими інструментами та формалізованими економіко-математичними методами оптимізації залишається фрагментарною, що не дозволяє повною мірою реалізувати потенціал цифрової трансформації та досягти стійкого економічного ефекту.

У зв'язку з цим постає наукова проблема формування комплексного підходу до оптимізації бізнес-процесів машинобудівних підприємств у контексті цифрової трансформації, який поєднує процесний підхід, цифрові технології та формалізовані методи оптимізації. Розв'язання цієї проблеми є необхідною умовою переходу від описового аналізу діяльності підприємства до кількісно обґрунтованого управління бізнес-процесами з метою підвищення результативності та керованості їх функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних наукових праць свідчить, що проблематика оптимізації бізнес-процесів промислових, зокрема машинобудівних, підприємств у цифровому середовищі розвивається в межах трьох основних напрямів: процесного управління (англ. *Business Process Management*, *BPM*), цифрової трансформації та економіко-математичних методів оптимізації. Водночас у більшості досліджень ці напрями розглядаються відокремлено, що обмежує їх прикладну цінність для виробничих підприємств. У межах BPM-підходу такі автори, як Тейшейра А., Феррейра Ж., Рамос А. обґрунтовують доцільність формалізованого опису бізнес-процесів як основи підвищення прозорості та керованості діяльності підприємства із використанням показників результативності. Водночас оптимізація має організаційний характер і не подається як формалізована процедура вибору рішень за виробничо-ресурсних обмежень [1].

Дослідження Батта Дж., присвячені цифровій трансформації та Індустрії підкреслюють роль цифрових технологій у підвищенні вимірюваності й адаптивності виробничих систем. Проте в них недостатньо

розкрито питання використання цифрових даних для формалізованого вибору оптимальних режимів виконання бізнес-процесів [2].

Окремий напрям становлять роботи з оцінювання якості бізнес-процесів. Так, Степура Т. пропонує систему критеріїв і методи експертного оцінювання процесів в умовах діджиталізації. Такі підходи є важливими для діагностики стану процесів, однак не дозволяють безпосередньо визначити оптимальний варіант їх функціонування з позицій економічної ефективності [3].

У працях, орієнтованих на економіко-математичні методи Клебанової Т. [4], та Траченка Л. [5], оптимізація розглядається як інструмент кількісного обґрунтування управлінських рішень. Водночас бізнес-процеси в таких моделях не завжди подані як структурована система в логіці BPM, що ускладнює практичну інтеграцію результатів оптимізації в управління підприємством.

Отже, наявні дослідження формують окремі складові методології оптимізації бізнес-процесів, проте недостатньо поєднують процесний підхід, цифрову трансформацію та формалізовані оптимізаційні моделі в єдиний механізм, адаптований до специфіки машинобудівних підприємств. Це зумовлює доцільність розробки інтегрованого підходу, у якому BPM забезпечує структурований опис процесів, цифрова трансформація – їх вимірюваність, а лінійне програмування в рамках оптимізації – вибір найефективніших режимів їх реалізації з урахуванням виробничих і ресурсних обмежень.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є теоретико-методичне обґрунтування та розроблення підходу до оптимізації бізнес-процесів машинобудівних підприємств у контексті цифрової трансформації на основі процесного підходу з використанням формалізованих методів оптимізації. Для досягнення мети визначено такі завдання:

– узагальнити підходи до управління бізнес-процесами та оптимізації бізнес-процесів в умовах цифрової трансформації, обґрунтувати логіку їх інтеграції для машинобудівних підприємств;

– обґрунтувати методичну основу моделювання бізнес-процесів для задач оптимізації та запропонувати структурно-логічну модель інтеграції процесного управління, цифрових технологій і методів оптимізації;

– формалізувати задачу оптимізації бізнес-процесів на основі моделі лінійного програмування з урахуванням ресурсних і виробничих обмежень та обґрунтувати можливості практичного застосування запропонованого підходу для підвищення ефективності й керованості діяльності підприємств в умовах цифрової трансформації.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сучасних умовах розвитку промисловості машинобудівні підприємства функціонують у складному та динамічному середовищі, що характеризується високою ресурсомісткістю виробництва, зростанням конкуренції, технологічною складністю продукції та обмеженістю фінансових і матеріальних ресурсів. За таких умов підвищення ефективності діяльності підприємств дедалі більше залежить не лише від впровадження нових технологій, а й від здатності системно управляти внутрішніми процесами та ухвалювати обґрунтовані управлінські рішення.

Одним із ключових об’єктів управління в діяльності машинобудівного підприємства виступають бізнес-процеси, які відображають логіку створення цінності – від залучення ресурсів до отримання кінцевого результату у вигляді готової продукції та фінансового результату. Саме бізнес-процеси акумулюють у собі витрати, формують доходи та визначають рівень операційної й економічної ефективності підприємства. Відтак будь-які управлінські зміни, спрямовані на підвищення результативності діяльності, мають здійснюватися насамперед на процесному рівні.

У цьому контексті процесний підхід (англ. *Business Process Management, BPM*) виступає методологічною основою управління діяльністю

підприємства. Його застосування дозволяє ідентифікувати ключові бізнес-процеси, визначити їх межі, встановити взаємозв'язки між процесами різних рівнів (основними, допоміжними, управлінськими та процесами розвитку), а також закріпити ролі учасників процесів і показники їх результативності. На відміну від функціонального підходу, процесний підхід орієнтований не на окремі підрозділи, а на кінцевий результат, що є особливо важливим для машинобудівних підприємств із складною виробничо-управлінською структурою.

Водночас у сучасних умовах реалізація процесного підходу тісно пов'язана з цифровою трансформацією підприємств. Впровадження цифрових інструментів та технологій Індустрії 4.0-5.0 змінює спосіб виконання бізнес-процесів, підвищує їх прозорість і керованість, а також забезпечує доступ до значних масивів даних щодо витрат, тривалості операцій, завантаженості ресурсів і результативності процесів. Проте слід зазначити, що цифрова трансформація сама по собі не гарантує підвищення ефективності діяльності підприємства. За відсутності чітко структурованих та описаних бізнес-процесів цифрові рішення часто лише автоматизують наявні неефективні практики, що може призводити до зростання витрат без відповідного економічного ефекту.

За таких умов цифрову трансформацію доцільно розглядати не як самостійну мету розвитку підприємства, а як інструмент підвищення ефективності його діяльності, результативність якого безпосередньо залежить від рівня впорядкованості та формалізації бізнес-процесів. Лише за наявності чітко описаних, структурованих і взаємоузгоджених бізнес-процесів цифрові технології здатні забезпечити не просто автоматизацію операцій, а сформувати основу для комплексної трансформації підприємства. У цьому контексті цифрова трансформація набуває практичного змісту лише в комплексі з оптимізацією бізнес-процесів, оскільки саме оптимізація дозволяє кількісно оцінити альтернативні варіанти виконання процесів, врахувати ресурсні обмеження та обґрунтувати вибір найбільш ефективних управлінських рішень [6].

Таким чином, у межах інтегрованої системи управління чітко простежується розподіл функціональних ролей між ключовими елементами. Цифрова трансформація забезпечує вимірюваність бізнес-процесів, формуючи інформаційну базу для оцінювання їх параметрів і результатів. Процесний підхід забезпечує структурованість діяльності, дозволяючи представити підприємство як систему взаємопов'язаних процесів із визначеними межами, ролями та показниками. Оптимізація, у свою чергу, забезпечує керованість бізнес-процесів, оскільки на основі формалізованих моделей дозволяє обґрунтовано змінювати параметри процесів з метою досягнення заданих цілей ефективності.

Узагальнюючи, оптимізація бізнес-процесів у поєднанні з процесним підходом і цифровою трансформацією формує цілісну управлінську логіку, в межах якої цифрові технології виконують роль середовища збору та обробки даних, BPM – методологічної основи структуризації діяльності, а оптимізація – ключового механізму реалізації економічно ефективних управлінських рішень. Саме така інтеграція забезпечує перехід від фрагментарної цифровізації до системної цифрової трансформації підприємства (Рис. 1).

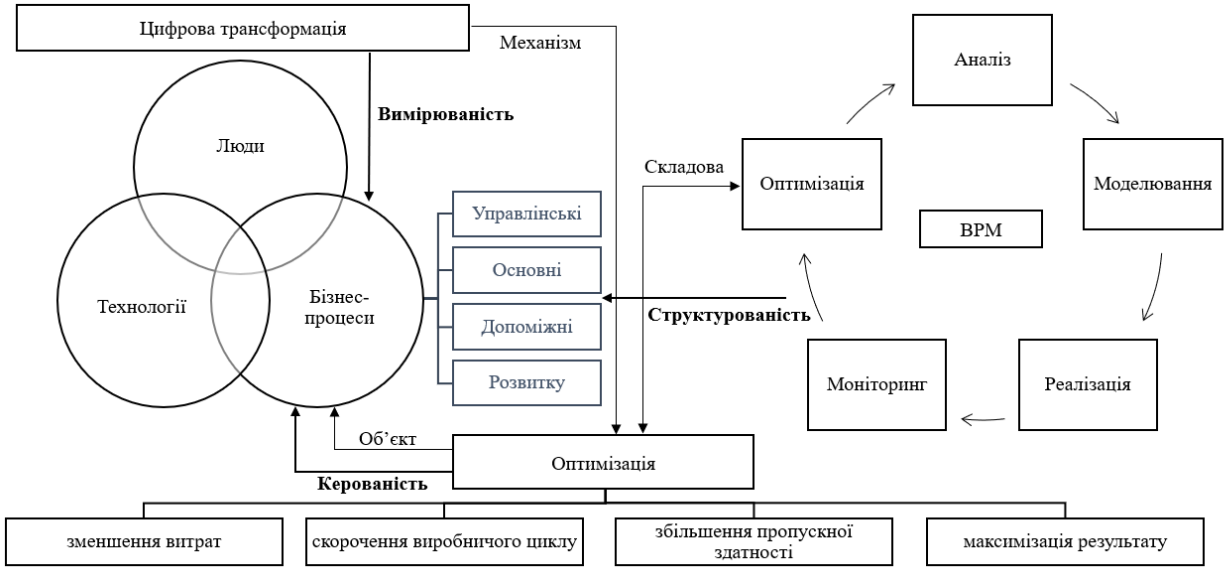

Рис. 1 Структурно-логічна модель інтеграції цифрової трансформації та оптимізації бізнес-процесів

Складено автором

Наведена на рисунку концептуальна модель засвідчує, що ефективна реалізація оптимізації бізнес-процесів у межах цифрової трансформації можлива лише за умови їх чіткої формалізації та структурованого подання, що забезпечується процесним підходом. Саме вибір адекватної методології процесного моделювання визначає рівень формалізації бізнес-процесів, можливості їх аналізу й кількісної інтерпретації, а також створює інформаційну основу для обґрунтованого прийняття управлінських рішень і застосування економіко-математичних методів оптимізації в дослідженні бізнес-процесів машинобудівних підприємств у контексті цифрової трансформації [7].

Відповідно, вибір методології процесного моделювання набуває принципового значення: саме він визначає глибину формалізації бізнес-процесів, можливості їх подальшого аналізу та кількісної інтерпретації, а також якість інформаційної бази для обґрунтованого прийняття управлінських рішень і застосування економіко-математичних методів оптимізації в дослідженні бізнес-процесів машинобудівних підприємств у контексті цифрової трансформації.

У науковій і прикладній практиці управління підприємствами найбільш поширеними є методології UML, ARIS, IDEF (IDEF0, IDEF3) та BPMN, які відрізняються за своїм призначенням, рівнем абстракції та сферою застосування. Їх використання зумовлене необхідністю відображення різних аспектів діяльності підприємства – від архітектури інформаційних систем до логіки виконання бізнес-процесів та їх взаємозв’язку з ресурсами [7; 9].

Методологія UML (англ. *Unified Modeling Language*) історично сформувалася як стандарт для об’єктно-орієнтованого моделювання програмних та інформаційних систем. У контексті управління підприємством UML доцільно використовувати для формалізації цифрових компонентів бізнес-процесів, опису взаємодії між інформаційними системами та підтримки цифрової трансформації. Водночас UML має обмежені можливості щодо відображення економічної логіки процесів та не

орієнтований безпосередньо на аналіз ефективності діяльності, що знижує його прикладну цінність у задачах оптимізації бізнес-процесів.

Методологія ARIS (англ. *Architecture of Integrated Information Systems*) базується на архітектурному підході до управління підприємством і передбачає комплексне моделювання бізнес-процесів у взаємозв'язку зі стратегією, організаційною структурою, ресурсами та інформаційними системами. ARIS дозволяє здійснювати системний аналіз діяльності підприємства та є ефективним інструментом для реалізації масштабних програм організаційних і цифрових змін. Разом із тим складність методології та висока трудомісткість її впровадження обмежують використання ARIS у прикладних дослідженнях, орієнтованих на формалізовану оптимізацію окремих бізнес-процесів.

Методологія IDEF (англ. *Integrated Definition for Function Modeling*) належить до класу функціонально-орієнтованих підходів і широко застосовується для структуризації діяльності підприємства, декомпозиції функцій та аналізу логіки виконання процесів. IDEF0 дозволяє чітко визначити входи, виходи, механізми та управління процесами, тоді як IDEF3 орієнтована на опис сценаріїв їх виконання. Дані методології є доцільними на початкових етапах аналізу бізнес-процесів, однак обмежена наочність і слабка орієнтація на динаміку процесів ускладнюють їх використання для подальшої оптимізації в цифровому середовищі.

Найбільш прикладною та орієнтованою на оптимізацію бізнес-процесів є методологія BPMN (англ. *Business Process Model and Notation*). Вона забезпечує формалізований і водночас інтуїтивно зрозумілий опис бізнес-процесів у вигляді послідовності подій, операцій і точок прийняття рішень, що дозволяє не лише візуалізувати діяльність підприємства, а й здійснювати кількісну оцінку параметрів процесів. BPMN є стандартом, який активно використовується в цифрових системах управління бізнес-процесами та створює методичну основу для подальшої економіко-математичної формалізації [11].

З урахуванням зазначеного доцільно здійснити порівняльний аналіз основних методологій моделювання бізнес-процесів, що дозволяє визначити їх роль і можливості в контексті оптимізації діяльності підприємства (табл. 1).

Проведений аналіз свідчить, що жодна з розглянутих методологій не є універсальною, однак їх прикладна цінність суттєво відрізняється залежно від завдань дослідження. Для оптимізації бізнес-процесів машинобудівних підприємств у контексті цифрової трансформації критичним є не лише опис процесів, а й можливість їх кількісної інтерпретації та подальшої формалізації в межах економіко-математичних моделей.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика методологій моделювання бізнес-процесів

Методологія	*Основне призначення*	*Рівень деталізації*	*Ключові переваги*	*Обмеження*	*Доцільність застосування*
UML	Моделювання структури та поведінки інформаційних і програмних систем	Середній-високий	Універсальність, підтримка об'єктно-орієнтованого підходу, зручність для опису IT-архітектури	Слабо орієнтована на бізнес-логіку та управлінські процеси	Аналіз і проєктування інформаційних систем, підтримка цифрової трансформації
BPMN	Візуалізація та аналіз бізнес-процесів	Високий (операційний рівень)	Зрозумілість, стандартизація, підтримка наскрізних бізнес-процесів, можливість автоматизації	Не описує стратегічні цілі та ресурси напряму	Оптимізація бізнес-процесів, цифровізація процесів
ARIS	Архітектурне моделювання діяльності підприємства	Високий (стратегічний + процесний)	Системність, інтеграція процесів, ресурсів, IT та організаційної структури	Висока складність і трудомісткість впровадження	Комплексна трансформація підприємств, стратегічне управління
IDEF	Функціональний аналіз і декомпозиція процесів	Середній	Чітка логіка входів, виходів, механізмів та управління	Менш наочна, обмежена динаміка	Аналіз і структуризація процесів, підготовка до оптимізації

Сформовано автором на основі [8; 9]

У цьому контексті методологія BPMN має суттєві переваги, оскільки забезпечує необхідний рівень деталізації, стандартизації та інтеграції з цифровими системами управління. Саме BPMN створює логічний і

методичний перехід від візуального моделювання бізнес-процесів до побудови оптимізаційних моделей. Тому в межах даного дослідження BPMN розглядається як базова методологія моделювання бізнес-процесів, тоді як UML, ARIS та IDEF виконують допоміжну роль на різних етапах аналізу та цифрової трансформації підприємства.

На рисунку нижче наведено приклад BPMN-моделі наскрізного бізнес-процесу промислового підприємства, який ілюструє практичну реалізацію зазначених методологічних положень (рис. 2).

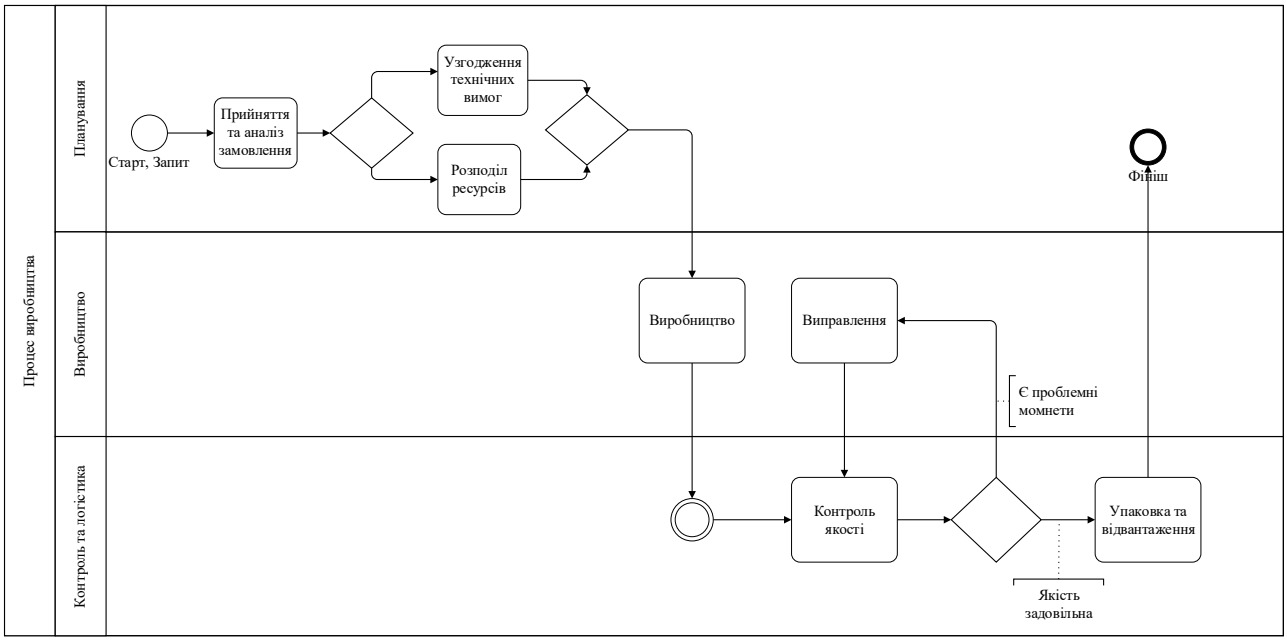

Рис. 2. BPMN-модель наскрізного бізнес-процесу промислового підприємства

Сформовано автором самостійно на основі [10]

Подана BPMN-модель відображає послідовність ключових етапів реалізації бізнес-процесу – від ініціації замовлення та планування ресурсів до виконання виробничих операцій, контролю якості й завершення процесу. Використання пулів і доріжок дозволяє чітко розмежувати відповідальність між учасниками процесу, а застосування подій і шлюзів – зафіксувати альтернативні сценарії та точки прийняття управлінських рішень [10].

Узагальнюючи викладене, слід зазначити, що застосування процесного підходу та використання нотації BPMN забезпечує формалізований опис

наскрізних бізнес-процесів підприємства, їх структурування, виявлення взаємозв’язків між операціями та ідентифікацію ключових точок прийняття управлінських рішень. Процесне моделювання саме по собі не визначає найефективніші варіанти виконання процесів за ресурсних обмежень, що є типовим для машинобудівних підприємств. Тому процесний підхід доцільно доповнювати формалізованими методами оптимізації, які переводять опис процесів у кількісне обґрунтування рішень і узгоджують економічні результати з ресурсними та технологічними обмеженнями.

Логічним продовженням такого підходу є формалізація задачі у вигляді моделі лінійного програмування, яка дозволяє перейти від опису процесів до розрахунку оптимальних управлінських рішень на основі чітко заданої цільової функції та системи обмежень. Вибір саме цього підходу зумовлений необхідністю кількісного узгодження економічних результатів діяльності підприємства з наявними ресурсними, виробничими та ринковими обмеженнями, що визначають реальні умови функціонування бізнес-процесів у цифровому середовищі [13].

На основі логіки бізнес-процесу, відображеного вище (див. рис. 2) оптимізаційна модель набуває процесно-орієнтованого вигляду, де основний акцент зроблено не на визначенні обсягів випуску окремих видів продукції, а на кількісному описі інтенсивності виконання укрупнених процесних блоків – тобто на тому, скільки замовлень або операцій підприємство здатне опрацювати протягом року на кожній відповідній стадії процесу [12].

На відміну від класичних моделей оптимізації, орієнтованих на продукт запропонована модель є орієнтованою на процеси: вона безпосередньо пов’язує економічний результат із пропускною спроможністю та узгодженістю ключових процесів, їх часовими/ресурсними параметрами, а також «вузькими місцями» між етапами. Такий підхід є більш адаптивним для машинобудівних підприємств, де управлінське рішення полягає насамперед у налаштуванні параметрів процесів (інтенсивностей,

регламентів, ресурсного забезпечення), а не лише у виборі продуктового портфеля.

Розглянемо детальніше: x_1, x_2, x_3 – інтенсивності виконання трьох укрупнених бізнес-процесів у вимірі кількості замовлень за рік: x_1 – прийом замовлення та підготовка виробництва; x_2 – виробництво / складання; x_3 – контроль якості та відвантаження.

В даному контексті та постановці задачі, змінна x_3 інтерпретується як вихід процесної системи, оскільки саме виконання процесів контролю якості й відвантаження забезпечує формування виручки та операційного результату підприємства.

Метою оптимізації є максимізація операційного результату (прибутку), який формується на виході процесної системи:

$$\max P = mx_3 \tag{1}$$

де P – операційний результат за період; m – маржинальний (операційний) прибуток на 1 замовлення (грн).

Параметр m визначається за наступною формулою:

$$m = p \cdot ROS \tag{2}$$

де p – ціна одиниці продукції; ROS – рентабельність продажів.

В свою чергу p визначається як:

$$p = \frac{CPU}{1 - ROS} \tag{3}$$

де CPU – собівартість продукції (грн).

Економічно це означає, що зростання ROS або зниження CPU підвищує маржинальний ефект від збільшення вихідного потоку x_3 і, відповідно, підсилює стимул до підвищення результативності процесної системи.

Під час побудови та застосування моделі принципово важливо враховувати систему обмежень, оскільки саме вона відображає реальні умови функціонування підприємства. Без обмежень оптимізація дає лише формально «найкраще» рішення, яке може бути недосяжним на практиці

через дефіцит ресурсів, технологічні вимоги, невідповідність пропускної спроможності окремих етапів або обмеження попиту.

Натомість включення обмежень дозволяє узгодити інтенсивності виконання процесів між собою, врахувати вплив якості та браку на вихідний потік, а також забезпечити, щоб отримане рішення було не абстрактним максимумом, а реально вимірюваним і економічно обґрунтованим:

1) Потокова узгодженість процесів. Інтенсивності процесів повинні бути узгоджені в межах наскрізного потоку створення цінності:

$$x_2 \leq x_1 \tag{4}$$

Обмеження (4) відображає, що обсяг виробництва не може перевищувати обсяг прийнятих і підготовлених замовлень.

2) Якість та вихід продукції (вплив браку). Вихідний потік x_3 залежить від рівня якості продукції:

$$x_3 \leq (1 - DR) \cdot x_2 \tag{5}$$

де DR – рівень браку (частка).

3) Обмеження попиту. Обсяг прийнятих замовлень обмежується попитом:

$$x_1 \leq D \tag{6}$$

де D – попит (замовлень на рік), який залежить від здатності підприємства забезпечувати надійність і гнучкість обслуговування клієнтів.

4) Обмеження трудових ресурсів (ресурсоємність процесів). Сумарна трудомісткість виконання процесів не повинна перевищувати фонд робочого часу:

$$t_1 x_1 + t_2 x_2 + t_3 x_3 \leq T \tag{7}$$

де t_1, t_2, t_3 – трудомісткість процесів (нормо-годин на одне замовлення);

T – фонд робочого часу (нормо-годин на рік).

5) Обмеження виробничої потужності (обладнання). Виробничий процес обмежено доступною потужністю:

$$ux_2 \leq Cap \tag{8}$$

де u – машиномісткість виробництва (машино-годин на одне замовлення);
Cap – виробнича потужність (машино-годин на рік).

6) Невід'ємність змінних:

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0 \tag{9}$$

Таким чином узагальнена модель матиме вигляд:

$$\begin{cases} \max P = mx_3 \\ x_2 \leq x_1 \\ x_3 \leq (1 - DR)x_2 \\ x_1 \leq D \\ t_1x_1 + t_2x_2 + t_3x_3 \leq T \\ ux_2 \leq Cap \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0 \end{cases} \tag{10}$$

Побудована модель лінійного програмування задає множину допустимих рішень через систему лінійних обмежень, які відображають узгодженість інтенсивностей процесів. У геометричній інтерпретації кожне з таких обмежень задає площину (або напівпростір) у просторі змінних x_1, x_2, x_3, а область допустимих рішень формується як їх спільна частина, тобто як перетин усіх напівпросторів.

Графічне розв'язання (рис 3.) ілюструє, що максимум цільової функції досягається не всередині області, а, як правило, на її межі у вершині багатогранника допустимих рішень. Відповідно оптимальний розв'язок інтерпретується як точка перетину (активних) площин обмежень і саме вони визначають гранично можливі значення інтенсивностей процесів.

Сформована система обмежень оптимізаційної моделі має універсальний характер і може коригуватися залежно від специфіки досліджуваного бізнес-процесу, типу виробництва та управлінських завдань підприємства. Набір і структура обмежень не є фіксованими, а визначаються особливостями технологічних операцій, ресурсного забезпечення, організації

виробничих потоків, фінансових умов та ринкових вимог. Залежно від цілей аналізу до моделі можуть включатися або, навпаки, виключатися окремі групи обмежень (виробничі, ресурсні, часові, матеріальні, фінансові), що дозволяє адаптувати оптимізаційну задачу до конкретних умов функціонування бізнес-процесів.

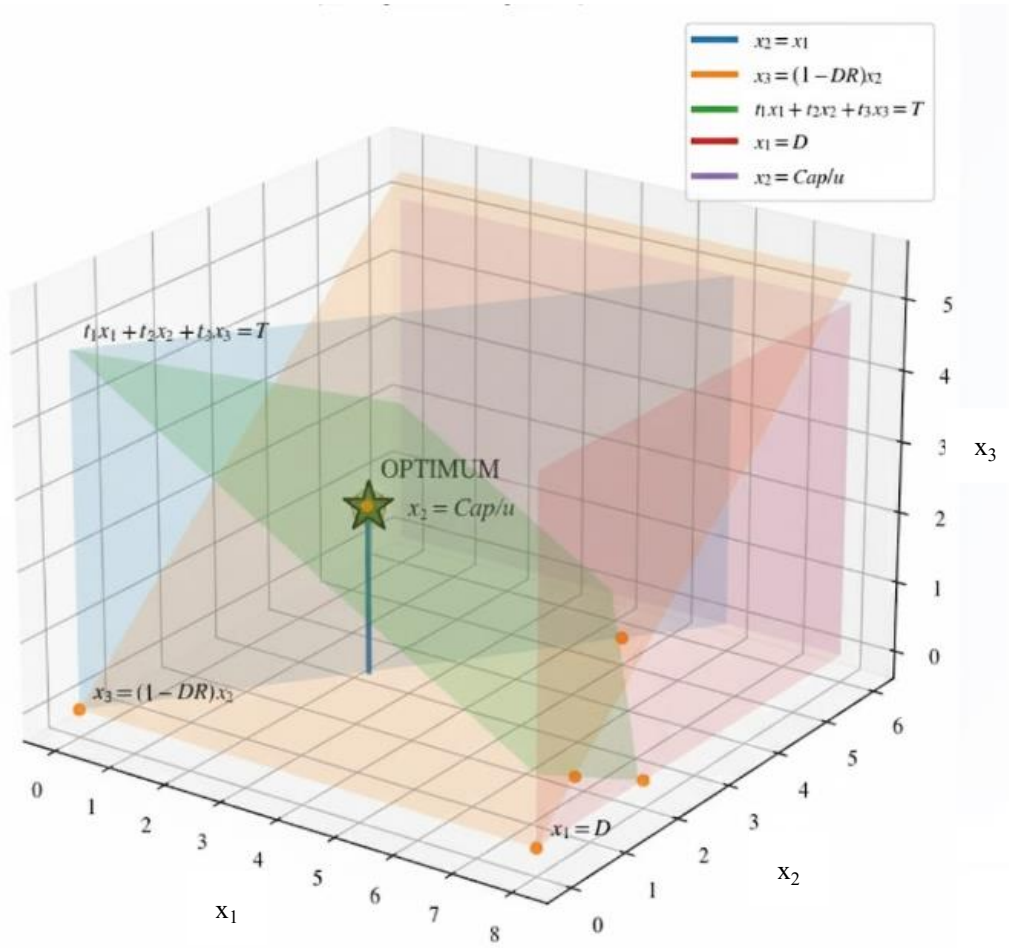

Рис. 3. Графічна інтерпретація допустимої області та оптимального розв'язку задачі лінійного програмування (3D-візуалізація)

Побудовано автором на основі власних досліджень

Такий підхід забезпечує гнучкість математичної моделі та можливість її використання як інструменту підтримки управлінських рішень у різних практичних ситуаціях. Коригування системи обмежень дає змогу моделювати альтернативні сценарії виконання бізнес-процесів, оцінювати вплив зміни ресурсних лімітів або організаційних параметрів на фінансовий результат та визначати напрями підвищення ефективності діяльності підприємства.

Узагальнюючи, слід зазначити, що запропонована модель лінійного програмування може бути використана на практиці як прикладний інструмент процесно-орієнтованого управління, інтегрований із цифровими системами планування та обліку. Її застосування дозволяє перейти від інтуїтивного прийняття рішень до кількісно обґрунтованого вибору оптимальних варіантів реалізації бізнес-процесів, що забезпечує підвищення економічної результативності та керованості діяльності підприємства в умовах цифрової трансформації.

Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Узагальнюючи результати проведеного дослідження, можна дійти висновку, що в умовах цифрової трансформації традиційні методи управління бізнес-процесами машинобудівних підприємств потребують якісного переосмислення. Підвищення результативності машинобудівних підприємств у цифровому середовищі має розглядатися передусім на рівні бізнес-процесів, оскільки саме вони визначають логіку створення цінності, структуру витрат і формування операційного результату. У цьому контексті процесний підхід забезпечує структуризацію діяльності підприємства як системи взаємопов’язаних процесів, узгодження їх меж і відповідальностей, а також орієнтацію управління на кінцевий результат, а не на функціональну відокремленість підрозділів.

Разом із тим цифрова трансформація набуває практичної цінності лише за наявності формалізованих і взаємоузгоджених процесів. Цифрові інструменти підвищують прозорість та вимірюваність виконання робіт, формують інформаційну базу щодо витрат, тривалості операцій, завантаження ресурсів і параметрів результативності, однак без належної процесної організації можуть спричиняти лише автоматизацію наявних неефективних практик без відповідного економічного ефекту. Відтак, цифрові зміни мають реалізовуватися в інтеграції з процесним управлінням і цілеспрямованим удосконаленням процесів.

Ключовим механізмом переходу від якісного опису процесів до обґрунтованого вибору управлінських рішень виступає оптимізація, що дозволяє кількісно оцінювати альтернативні варіанти виконання процесів з урахуванням ресурсних, виробничих і ринкових обмежень. Для забезпечення такого переходу доцільним є використання BPMN як нотації, яка поєднує наочність відображення логіки процесу з можливістю подальшої формалізації та параметризації. У процесно-орієнтованій постановці змінні оптимізаційної моделі інтерпретуються як інтенсивності виконання укрупнених процесних блоків (кількість замовлень / операцій за період) на ключових етапах потоку створення цінності, що забезпечує фокус управління на пропускній спроможності, узгодженості та якості процесної системи.

Отже, інтеграція BPM, цифрової трансформації та оптимізаційного моделювання формує цілісну управлінську логіку, що забезпечує перехід від фрагментарної цифровізації до системної цифрової трансформації: цифрові технології виконують функцію середовища збору й обробки даних, процесний підхід – основу структуризації діяльності, а оптимізація – інструмент керованої зміни параметрів процесів і вибору економічно ефективних рішень в умовах обмеженості ресурсів та мінливості ринкових вимог.

Література

1. Teixeira A. R., Ferreira J. V., Ramos A. L. Optimization of business processes through BPM methodology: A case study on data analysis and performance improvement. *Information*. 2024. Vol. 15(11). DOI: 10.3390/info15110724.

2. Butt J. A conceptual framework to support digital transformation in manufacturing using an integrated business process management approach. *Designs*. 2020. Vol. 4(3). DOI: 10.3390/designs4030017.

3. Степура Т. М., Шаєганрад Е. П. Оцінювання якості бізнес-процесів технологічних компаній в умовах цифровізації економіки. *Проблеми економіки*. 2025. Вип. 7. С. 293-309. DOI: 10.32983/2222-4459-2025-7-293-309.

4. Клебанова Т. С., Баликов О. Г. Загальна система оптимізації стратегічних бізнес-процесів сервісної ІТ-компанії. *Проблеми економіки*. 2018. Вип. 4. С. 351-359. DOI: 10.32983/2222-0712-2018-4-351-359.

5. Траченко Л. А., Лазоренко Л. В., Масленніков Є. І., Грінченко Ю. Л., Арсаван А. В., Коваль В. В. Оптимізаційне моделювання бізнес-процесів підприємств інжинірингових послуг у національній економіці. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2021. Вип. 4. С. 165-171. DOI: 10.33271/nvngu/2021-4/165.

6. Bazan P., Estevez E. Industry 4.0 and business process management: State of the art and new challenges. *Business Process Management Journal*. 2022. Vol. 28(1). Pp. 62-80. DOI: 10.1108/BPMJ-04-2020-0163.

7. Полінкевич О. М. Механізми адаптації бізнес-процесів промислових підприємств до нової економіки: монографія. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2014. 448 с. ISBN 978-617-672-052-2.

8. Шульга О. А. Методичні підходи до аналізу бізнес-процесів підприємства. *Економіка та суспільство*. 2025. Вип. 79. DOI: 10.32782/2524-0072/2025-79-148.

9. Ткачук В. О., Обіход С. В., Похільченко К. Л., Мікрюкова А. О., Дем'янчук К. О. Особливості використання методів і платформ графічного моделювання бізнес-процесів підприємств в умовах цифровізації. *Економіка, управління та адміністрування*. 2024. Вип. 3(109). С. 9-16. DOI: 10.26642/jen-2024-3(109)-9-16.

10. Lodhi A., Köppen V., Saake G., Turowski K. Streamlining processes for digitalization. *Information Systems: Proceedings of the 11th IADIS International Conference Information Systems (IS Conf 2018)* (Lisbon, Portugal, April, 14-16, 2018). Lisbon: IADIS Press, 2018. Pp. 95-104. URL: https://wwwiti.cs.uni-magdeburg.de/iti_db/publikationen/ps/auto/LodhiKST18.pdf.

11. Oliveira G., Ferreira A. Business process modeling: A webibliominig perspective of architecture frameworks. *Independent Journal of Management & Production*. 2019. Vol. 10(3). Pp. 1159-1183. DOI: 10.14807/ijmp.v10i3.886.

12. Georgiadis G. P., Elekidis A. P., Georgiadis M. C. Optimization-based scheduling for the process industries: From theory to real-life industrial applications. *Processes*. 2019. Vol. 7(7). DOI: 10.3390/pr7070438.

13. Reyes J., Mula J., Díaz-Madroñero M. Quantitative insights into the integrated push and pull production problem for lean supply chain planning 4.0. *International Journal of Production Research*. 2024. Vol. 62(17). Pp. 6251-6275. DOI: 10.1080/00207543. 2024.2312205.

References

1. Teixeira, A.R. Ferreira, J.V. and Ramos, A.L. (2024), "Optimization of business processes through BPM methodology: A case study on data analysis and performance improvement", Information, vol. 15(11). https://doi.org/ 10.1108/bpmj-06-2023-0419.

2. Butt, J. (2020), "A conceptual framework to support digital transformation in manufacturing using an integrated business process management approach", Designs, vol. 4(3). https://doi.org/10.3390/designs4030017.

3. Stepura, T.M. and Shaiehanrad, E.P. (2025), "Quality assessment of business processes of technological companies in the conditions of digitalization of the economy", Problemy Ekonomiky, vol. 7, pp. 293-309. https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-7-293-309.

4. Klebanova, T.S. and Balykov, O.H. (2018), "A general system for optimizing strategic business processes of an IT services company", Problems of Economy, vol. 4, pp. 351-359. https://doi.org/10.32983/2222-0712-2018-4-351-359.

5. Trachenko, L.A. Lazorenko, L.V. Maslennikov, Ye.I. Hrinchenko, Yu.L. Arsawan, A.W. and Koval, V.V. (2021), "Optimization modeling of business processes of engineering service enterprises in the national economy", Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, vol. 4, pp. 165-171. https://doi.org/10.33271/ nvngu/2021-4/165.

6. Bazan, P. and Estevez, E. (2022), "Industry 4.0 and business process management: State of the art and new challenges", Business Process Management Journal, vol. 28(1), pp. 62-80. https://doi.org/10.1108/BPMJ-04-2020-0163.

7. Polinkevych, O.M. (2014), Mekhanizmy adaptatsii biznes-protsesiv promyslovykh pidpryiemstv do novoi ekonomiky [Mechanisms of adaptation of business processes of industrial enterprises to the new economy]. RVV Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine.

8. Shulha, O.A. (2025), "Methodological approaches to the analysis of business processes of an enterprise", Ekonomika ta suspilstvo, vol. 79. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-79-148.

9. Tkachuk, V.O. Obikhod, S.V. Pokhilchenko, K.L. Mikriukova, A.O. and Dem'ianchuk, K.O. (2024), "Features of using methods and platforms for graphical modeling of business processes of enterprises in the context of digitalization", Ekonomika, upravlinnia ta administruvannia, vol. 3(109), pp. 9-16. https://doi.org/10.26642/jen-2024-3(109)-9-16.

10. Lodhi, A. Köppen, V. Saake, G. and Turowski, K. (2018), "Streamlining processes for digitalization", Information Systems: Proceedings of the 11th IADIS International Conference Information Systems, pp. 95-104, available at: https://wwwiti.cs.uni-magdeburg.de/iti_db/publikationen/ps/auto/LodhiKST18.pdf (Accessed 25 Dec 2025).

11. Oliveira, G. and Ferreira, A. (2019), "Business process modeling: A webibliominig perspective of architecture frameworks", Independent Journal of Management & Production, vol. 10(3), pp. 1159-1183. https://doi.org/10.14807/ijmp.v10i3.886.

12. Georgiadis, G.P. Elekidis, A.P. and Georgiadis, M.C. (2019), "Optimization-based scheduling for the process industries: From theory to real-life industrial applications", Processes, vol. 7(7), no. 438. https://doi.org/10.3390/pr7070438.

13. Reyes, J. Mula, J. and Díaz-Madroñero, M. (2024), "Quantitative insights into the integrated push and pull production problem for lean supply chain planning 4.0", International Journal of Production Research, vol. 62(17), pp. 6251-6275. https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2312205.

Стаття надійшла до редакції 14.01.2026 р.