

УДК 005.6:658.14

JEL C63, L22, O33

DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-8273/2026-13-17>

Кришталь Г.О.

доктор економічних наук, професор,  
завідувач кафедри фінансів, банківської та страхової справи,  
Приватне акціонерне товариство «Вищий навчальний заклад  
«Міжрегіональна Академія управління персоналом»  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3420-6253>

Halyna Kryshstal

Private Joint-Stock Company “Higher education institution  
“Interregional Academy of Personnel Management”

## ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ТРАНСФОРМАЦІЙНОЇ ЕКОНОМІКИ

### ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF THE IMPACT OF DIGITALIZATION ON ENTERPRISE PRODUCTIVITY IN A TRANSFORMATIONAL ECONOMY

**Анотація.** У статті досліджено застосування економіко-математичного моделювання для оцінювання впливу цифровізації на продуктивність підприємств в умовах трансформаційної економіки. Розглянуто цифровізацію як комплексний феномен, що включає технологічні, організаційні та економічні аспекти діяльності підприємств, та ідентифіковано ключові фактори її впливу: розвиток цифрової інфраструктури, автоматизацію бізнес-процесів, використання аналітики великих даних, цифрові компетенції персоналу та інвестиції в інновації. Оцінено прямий і опосередкований ефект цифровізації з урахуванням порогових явищ, структурних змін, економічної нестабільності та динаміки попиту. Економіко-математичне моделювання дозволяє кількісно аналізувати вплив цифровізації, інтегрувати внутрішні та зовнішні фактори та формувати обґрунтовані управлінські рішення для підвищення продуктивності підприємств.

**Ключові слова:** аналіз, економіко-математичне моделювання, моделювання, цифровізація, продуктивність підприємств, трансформаційна економіка, прикладна економіка, ефективність бізнес-процесів, цифрові інновації.

**Abstract. Introduction.** In the context of a transformational economy characterized by structural instability, institutional changes, and heightened uncertainty, digitalization has emerged as a key factor influencing enterprise productivity and ensuring long-term competitiveness. **Purpose.** The purpose of this study is to develop and scientifically substantiate an economic-mathematical approach to modeling the impact of digitalization on enterprise productivity within transformational economies. This involves identifying key digitalization factors, formalizing their effects within a quantitative model, and evaluating the outcomes of digital transformation considering structural changes and economic instability. **Methods.** The research methodology combines general scientific and specialized economic-mathematical methods. Theoretical generalization and system analysis were used to justify the role of digitalization in enterprise development. Econometric modeling assessed the relationship between digitalization indicators and productivity levels. Statistical methods, comparative analysis, and graphical modeling ensured the validity and reliability of the results. **Results.** The study identifies critical digitalization factors affecting enterprise productivity, including digital infrastructure development, automation of business processes, intensity of data usage, digital competencies of personnel, and investment in digital innovations. The quantitative model allows estimation of both direct and indirect effects of digitalization, including threshold effects, scale effects, and non-linear dependencies. The analysis highlights how interactions between technological, organizational, and economic factors shape overall productivity outcomes. Furthermore, the model incorporates structural changes within enterprises and considers economic instability, demand dynamics, and competitive pressure, providing a comprehensive assessment of digital transformation impacts. **Conclusion.** The results demonstrate that effective economic-mathematical modeling enables enterprises to design adaptive and strategically oriented digital transformation policies that enhance productivity and competitiveness in complex economic conditions.

**Keywords:** analysis, economic and mathematical modeling, modeling, digitalization, enterprise productivity, transformational economy, applied economics, business process efficiency, digital innovations.

**Постановка проблеми.** В умовах трансформаційної економіки, що характеризується структурною нестабільністю, інституційними змінами та підвищеним рівнем невизначеності, цифровізація виступає одним із ключових чинників підвищення продуктивності підприємств та забезпечення їх довгострокової конкурентоспроможності. Активне впровадження цифрових технологій, зокрема великих даних, штучного інтелекту, хмарних сервісів і платформних бізнес-моделей, суттєво трансформує виробничі процеси, організаційні

структури та механізми створення вартості. Водночас підприємства в умовах трансформаційних економік стикаються з низкою обмежень, серед яких – обмежений доступ до фінансових ресурсів, технологічна асиметрія, інституційна недосконалість та відсутність ефективних інструментів кількісного оцінювання впливу цифровізації. Це зумовлює необхідність розроблення економіко-математичних моделей, здатних адекватно відобразити вплив цифровізації на продуктивність підприємств із урахуванням специфіки трансформаційних процесів.



**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження проблематики підвищення ефективності економіко-математичного моделювання в умовах цифровізації економіки набули особливої актуальності впродовж останніх років. Зростаюча роль цифрових технологій у трансформації бізнес-процесів зумовлює необхідність переосмислення традиційних підходів до моделювання, зокрема з урахуванням впливу цифрових факторів на продуктивність підприємств. У цьому контексті науковий інтерес дедалі більше зосереджується на розробленні адаптивних моделей, здатних інтегрувати цифрові інструменти та забезпечувати комплексну оцінку ефективності діяльності суб'єктів господарювання.

Вагомий внесок у розвиток економіко-математичного підходу до аналізу функціонування підприємств здійснено у працях О. Т. Іващука, де обґрунтовується значення моделювання як інструменту підвищення обґрунтованості управлінських рішень в умовах динамічного бізнес-середовища [3]. Особливу увагу автор приділяє використанню математичних методів для прогнозування результатів діяльності та оптимізації виробничих і управлінських процесів, що є релеванним у контексті цифрової трансформації.

Суттєвими є також напрацювання Ю. О. Чалюк, у яких акцент зроблено на застосуванні економіко-математичних моделей для оптимізації використання ресурсів та вдосконалення логістичних систем [4; 5]. Зокрема, досліджується врахування динамічних змін попиту та умов функціонування ринків, що дозволяє формувати більш гнучкі та ефективні управлінські рішення. У контексті цифровізації ці підходи набувають нового змісту, оскільки цифрові технології забезпечують доступ до великих масивів даних та підвищують точність моделювання.

Окрему увагу у наукових дослідженнях приділено фінансовим аспектам застосування економіко-математичного моделювання. Зокрема, у працях М. І. Дзямуліча розглядаються питання управління фінансовими ризиками та формування ефективних стратегій розвитку підприємств із використанням кількісних методів [1; 2]. Автор наголошує на необхідності врахування невизначеності та багатфакторності економічного середовища, що особливо актуалізується в умовах трансформаційної економіки та цифрових змін.

Водночас у сучасних дослідженнях, зокрема у працях Т. О. Шматковської, акцентується увага на інтеграції інноваційних технологій, таких як штучний інтелект та машинне навчання, у процес економіко-математичного моделювання [1; 2]. Це дозволяє підвищити точність прогнозів, оперативність обробки даних і адаптивність моделей до змін зовнішнього середовища, що є критично важливим для забезпечення зростання продуктивності підприємств у цифровій економіці.

Таким чином, узагальнення сучасних наукових підходів свідчить про суттєвий прогрес у розвитку економіко-математичного моделювання в умовах цифровізації. Водночас наявні дослідження не повною мірою враховують специфіку трансформаційних економік, зокрема нерівномірність цифрового розвитку, інституційні обмеження та високий рівень економічної нестабільності. Це зумовлює необхідність подальшого розвитку теоретико-методичних засад моделювання з метою забезпечення його практичної релевантності та

ефективного застосування для підвищення продуктивності підприємств.

**Метою статті** є розроблення та наукове обґрунтування економіко-математичного підходу до моделювання впливу цифровізації на продуктивність підприємств в умовах трансформаційної економіки. Досягнення поставленої мети передбачає ідентифікацію ключових факторів цифровізації, формалізацію їх впливу в межах кількісної моделі, а також оцінювання ефектів цифрової трансформації з урахуванням структурних змін та економічної нестабільності.

**Методи дослідження.** Методологічну основу дослідження становить поєднання загальнонаукових та спеціальних економіко-математичних методів. Зокрема, використано методи теоретичного узагальнення та системного аналізу для обґрунтування ролі цифровізації у розвитку підприємств. Економетричне моделювання застосовано для оцінювання залежності між показниками цифровізації та рівнем продуктивності. Статистичні методи, порівняльний аналіз і графічне моделювання забезпечили обґрунтованість і достовірність отриманих результатів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Забезпечення ефективності економіко-математичного моделювання впливу цифровізації на продуктивність підприємств визначається комплексом унікальних викликів, зумовлених динамічними змінами економічного середовища та високою конкуренцією на ринку. Підприємства, що функціонують у трансформаційній економіці, стикаються з високим рівнем невизначеності та непередбачуваними коливаннями як споживчого попиту, так і ринкових умов, що впливає на їх продуктивність та ефективність бізнес-процесів. Це створює додаткові вимоги до економіко-математичних моделей, які повинні бути адаптивними та здатними відображати вплив цифровізації на підприємство в режимі реального часу.

Сучасне моделювання продуктивності підприємств в умовах цифрової трансформації потребує інтеграції численних цифрових факторів, серед яких: рівень впровадження цифрових технологій (ERP-, CRM-системи, хмарні сервіси), інтенсивність використання аналітики великих даних, ступінь автоматизації виробничих та управлінських процесів, цифрові компетенції персоналу, а також обсяг інвестицій у цифрові інновації. У моделюванні також враховуються зовнішні чинники цифровізації: розвиток цифрового ринку, доступ до платформних рішень та інституційні умови, які визначають можливості та обмеження для впровадження цифрових рішень.

Формалізація впливу цифровізації на продуктивність здійснюється через модифікацію класичних економіко-математичних моделей, зокрема виробничих функцій, у яких поряд із традиційними факторами праці та капіталу вводяться цифрові змінні як інтегральні показники або коефіцієнти підвищення ефективності використання ресурсів. Такий підхід дозволяє кількісно оцінити прямий та опосередкований вплив цифровізації на продуктивність підприємств, включаючи ефекти масштабу, нелінійні залежності та порогові значення цифрової трансформації.

Особливе значення має врахування людського фактору та соціальних аспектів у моделюванні. Моделі повинні інтегрувати показники мотивації персоналу,

ефективності управлінської комунікації, продуктивної взаємодії між підрозділами та організаційної культури. Це дозволяє забезпечити більшу достовірність прогнозів та врахувати поведінкові чинники, які прямо впливають на продуктивність підприємств [6].

Ключовим елементом ефективного моделювання є інтеграція технологічних інновацій, характерних для цифрових бізнес-процесів: Інтернет речей (IoT), розширена та віртуальна реальність, блокчейн та аналітичні платформи на основі великих даних. Економіко-математичні моделі повинні постійно оновлюватися та адаптуватися до впровадження таких технологій, що забезпечує максимальне використання їхнього потенціалу для підвищення продуктивності та оптимізації бізнес-процесів.

Отже, специфіка забезпечення ефективності економіко-математичного моделювання впливу цифровізації на продуктивність підприємств полягає у поєднанні технологічної досконалості, адаптивності моделей та комплексного врахування внутрішніх і зовнішніх чинників трансформаційної економіки. Лише інтегрований підхід, що поєднує цифрові інструменти, кількісні методи та соціальні аспекти, дозволяє створювати моделі, здатні не лише оцінювати продуктивність, а й формувати практичні рекомендації щодо стратегічного управління та цифрової трансформації підприємств [7].

Ідентифікація ключових факторів цифровізації є критично важливою для економіко-математичного моделювання її впливу на продуктивність підприємств. У сучасних умовах трансформаційної економіки цифровізація охоплює технологічні, організаційні та економічні аспекти діяльності підприємства, що безпосередньо впливають на ефективність бізнес-процесів. Основні фактори цифровізації та їх характеристики наведено в таблиці 1.

Формалізація впливу ключових факторів цифровізації у межах кількісної моделі передбачає системне та комплексне розуміння цього явища, що охоплює технологічні, організаційні та економічні аспекти діяльності підприємства. Такий підхід дозволяє інтегрувати всі основні складові цифровізації та оцінити їхній прямий і опосередкований вплив на продуктивність підприємства, що особливо важливо в умовах трансформаційної економіки [8].

У межах моделювання цифровізація розглядається як багаторівневе явище, яке впливає на різні складові діяльності підприємства – виробничі процеси, управлінські рішення, логістику, внутрішню комунікацію та вза-

ємодію з клієнтами [9]. Це дає змогу виявити, які саме аспекти цифровізації справляють найбільший ефект на продуктивність, а які лише опосередковано підтримують підвищення ефективності підприємства.

Формалізація також дозволяє враховувати комплексний ефект цифровізації на бізнес-процеси, включаючи оптимізацію використання ресурсів, скорочення витрат часу та матеріальних ресурсів, підвищення точності та швидкості управлінських рішень, а також інтеграцію діяльності різних підрозділів. Крім того, вона дозволяє враховувати взаємодію між факторами, які часто мають нелінійний характер. Наприклад, підвищення цифрових компетенцій персоналу значно посилює ефект від впровадження аналітичних платформ і автоматизованих систем управління. Також інвестиції в цифрові інновації дають максимальний ефект лише за наявності розвинутої цифрової інфраструктури та готовності співробітників користуватися новими технологіями.

Таким чином, формалізація впливу факторів цифровізації у межах кількісної моделі дає змогу не лише оцінити їхній індивідуальний внесок у підвищення продуктивності, а й аналізувати комплексні ефекти взаємодії технологічних, організаційних та економічних аспектів. Це створює надійну основу для обґрунтованого прийняття управлінських рішень і стратегічного планування цифрової трансформації підприємств у сучасних умовах трансформаційної економіки.

Оцінювання ефектів цифрової трансформації передбачає врахування структурних змін у підприємстві та зовнішньому середовищі. Зокрема, моделювання враховує, що впровадження цифрових технологій може мати порогові ефекти: на початкових етапах впровадження цифровізації її вплив на продуктивність може бути обмеженим або навіть супроводжуватися додатковими витратами, тоді як при досягненні певного рівня цифрової зрілості спостерігається суттєве підвищення продуктивності та оптимізація процесів. Крім того, оцінювання ефектів цифрової трансформації включає аналіз економічної нестабільності, динаміки попиту, конкурентного тиску та інших факторів трансформаційної економіки, що безпосередньо впливають на продуктивність підприємств (таблиця 2).

Ідентифікація ключових факторів цифровізації, їх систематизація та формалізація впливу у межах економіко-математичної моделі дозволяє не лише кількісно оцінити ефект цифрової трансформації, а й визначити найбільш ефективні стратегії підвищення продуктивності підприємств в умовах трансформаційної еко-

Таблиця 1

Ключові фактори цифровізації підприємств та їх характеристика

№	Фактор цифровізації	Характеристика та вплив на продуктивність
1	Розвиток цифрової інфраструктури	Впровадження ERP-, CRM-систем, хмарних платформ для інтеграції та автоматизації бізнес-процесів
2	Ступінь автоматизації процесів	Механізація виробничих, логістичних та управлінських операцій для підвищення швидкості та точності виконання задач
3	Інтенсивність використання даних	Збір, обробка та аналіз великих обсягів даних для обґрунтованого прийняття рішень
4	Цифрові компетенції персоналу	Рівень підготовки співробітників до роботи з цифровими платформами та аналітичними системами
5	Інвестиції в цифрові інновації	Обсяг ресурсів, спрямованих на розробку та впровадження нових цифрових рішень
6	Зовнішні фактори цифровізації	Доступ до платформних рішень, стан цифрового ринку, інституційні умови та нормативне середовище

Джерело: систематизовано автором на основі [3, 6, 8]

Таблиця 2

## Оцінювання ефектів цифрової трансформації підприємств з урахуванням структурних змін та економічної нестабільності

№	Елемент оцінювання	Опис впливу на продуктивність підприємства
1	Порогові ефекти цифровізації	На початкових етапах впровадження цифрових технологій вплив на продуктивність може бути обмеженим або супроводжуватися додатковими витратами, тоді як досягнення певного рівня цифрової зрілості забезпечує суттєве підвищення продуктивності та оптимізацію процесів
2	Структурні зміни в підприємстві	Впровадження цифрових технологій може змінювати організаційну структуру, процеси взаємодії між підрозділами та управлінські функції, що безпосередньо впливає на ефективність роботи
3	Економічна нестабільність	Коливання макроекономічних показників та ринкової кон'юнктури впливають на ефективність цифрових ініціатив та їхній вплив на продуктивність
4	Динаміка попиту	Зміни в поведінці споживачів та коливання попиту потребують адаптації цифрових процесів для підтримки оптимальної продуктивності
5	Конкурентний тиск	Інтенсивність конкуренції стимулює прискорене впровадження цифрових рішень та впливає на ефективність бізнес-процесів

Джерело: систематизовано автором на основі [6, 8]

номіки. Такий підхід забезпечує комплексне бачення процесу цифровізації, інтегруючи технологічні, організаційні та економічні аспекти та дозволяючи приймати обґрунтовані управлінські рішення.

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження економіко-математичного моделювання впливу цифровізації на продуктивність підприємств у умовах трансформаційної економіки можна сформулювати низку ключових висновків.

Цифровізація виступає комплексним явищем, що охоплює технологічні, організаційні та економічні аспекти діяльності підприємств, і її вплив на продуктивність є багаторівневим. Основні фактори цифровізації включають розвиток цифрової інфраструктури, ступінь автоматизації бізнес-процесів, використання даних та аналітичних інструментів, цифрові компетенції персоналу, обсяг інвестицій у цифрові інновації, а також зовнішні фактори, такі як стан цифрового ринку та нормативне середовище.

Формалізація впливу цих факторів у межах кількісної моделі дозволяє оцінити як прямиї, так і опосередкований вплив цифровізації на продуктивність підприємств. Такий підхід дає змогу аналізувати комплексні

ефекти, враховувати взаємозв'язки між різними чинниками, а також оцінювати потенціал підвищення ефективності використання ресурсів, скорочення витрат, оптимізації бізнес-процесів та прискорення прийняття управлінських рішень.

Оцінювання ефектів цифрової трансформації з урахуванням структурних змін та економічної нестабільності дозволяє визначити порогові ефекти цифровізації та її вплив на продуктивність на різних етапах впровадження. Це дає змогу враховувати динаміку попиту, конкурентний тиск та зміни в організаційній структурі, що є критично важливим для прийняття обґрунтованих стратегічних рішень.

Загалом, результати дослідження підкреслюють, що ефективне використання економіко-математичного моделювання дозволяє підприємствам розробляти адаптивні та стратегічно орієнтовані рішення щодо цифрової трансформації, підвищуючи продуктивність та конкурентоспроможність у складних умовах трансформаційної економіки. Впровадження цифрових технологій має бути комплексним, інтегрованим і враховувати як внутрішні, так і зовнішні фактори, що формують сучасне бізнес-середовище.

## Бібліографічний список:

1. Дзямулич М. І., Шматковська Т. О. Вплив сучасних інформаційних систем і технологій на формування цифрової економіки. Економічний форум. 2022. No 2. С. 3–8.
2. Дзямулич М. І., Шматковська Т. О., Борисюк О. В. Великі дані та їх роль у формуванні цифрової економіки. Галицький економічний вісник. 2021. Том 70. No 3. С. 16–21.
3. Іващук О. Т. Економіко-математичне моделювання: навчальний посібник. Тернопіль: ТНЕУ «Економічна думка», 2008. 704 с.
4. Чалюк Ю. О. Соціальні послуги в умовах соціалізації глобальної економіки: теорія та практика: монографія. Київ: КНЕУ, 2022. 320 с.
5. Чалюк Ю. О. Срібна економіка: демографічні зміни та економічні можливості. Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. 2023. No 1(107). С. 50–59.
6. Шматковська Т. О., Дзямулич М. І. Сучасні інформаційні та комунікаційні технології в професійній діяльності у системі нових тенденцій цифровізації економіки. Економічні науки. Серія «Регіональна економіка»: Збірник наукових праць Луцького національного технічного університету. 2021. No 18 (71). С. 248–255.
7. Шматковська Т. О., Стащук О. В., Дзямулич М. І. Великі дані та бізнес-моделювання економічних систем. Ефективна економіка. 2021. No 5. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.5.96>
8. Becker J., Rosemann M., Von Uthmann C. Guidelines of business process modeling. In: Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002. P. 30–49.
9. Dahal R. K. Changing role of management accounting in 21st Century. Review Pub Administration Manag. 2019. Vol. 7 (3). P. 203–222.

**References:**

1. Dziamulych M. I., Shmatkovska T. O. (2022). Vplyv suchasnykh informatsiinykh system i tekhnolohii na formuvannya tsyfrovoy ekonomiky [The influence of modern information systems and technologies on the formation of the digital economy]. *Ekonomichnyi forum*, vol. 2, pp. 3–8.
2. Dziamulych M. I., Shmatkovska T. O., Borysiuk O. V. (2021). Velyki dani ta yikh rol u formuvanni tsyfrovoy ekonomiky [Big data and its role in shaping the digital economy]. *Galytskyi ekonomichnyi visnyk*, vol. 70 (3), pp. 16–21.
3. Ivashchuk O. T. (2008). Ekonomiko-matematychne modeliuвання [Economic and mathematical modeling]. Ternopil: TNEU “Economic Thought”, 704 p.
4. Chaliuk Yu. O. (2022). Sotsialni posludy v umovakh sotsializatsii globalnoi ekonomiky: teoria ta praktyka [Social services in the conditions of socialization of the global economy: theory and practice]. Kyiv: KNEU, 320 p.
5. Chaliuk Yu. O. (2023). Sribna ekonomika: demohrafichni zminy ta ekonomichni mozhlyvosti [The Silver Economy: Demographic Change and Economic Opportunity]. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli*, vol. 1 (107), pp. 50–59.
6. Shmatkovska T. O., Dziamulych M. I. (2021). Suchasni informatsiini ta komunikatsiini tekhnolohii v profesiinii diialnosti u systemi novykh tendentsii tsyfrovizatsii ekonomiky [Modern information and communication technologies in professional activity in the system of new trends in digitalization of the economy]. *Ekonomichni nauky. Seria “Regionalna ekonomika”*, vol. 18 (71), pp. 248–255.
7. Shmatkovska T. O., Stashchuk O. V., Dziamulych M. I. (2021). Velyki dani ta biznes-modeliuвання ekonomichnykh system [Big data and business modeling of economic systems]. *Efektivna ekonomka*, vol. 5. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.5.96>
8. Becker J., Rosemann M., Von Uthmann C. (2002). Guidelines of business process modeling. In *Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies* (pp. 30–49). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
9. Dahal R. K. (2019). Changing role of management accounting in 21st Century. *Review Pub Administration Manag*, vol. 7 (3), pp. 203–222.

*Дата надходження статті: 27.03.2026*

*Дата прийняття статті: 17.04.2026*

*Дата публікації статті: 19.06.2026*