АДАПТИВНИЙ МОНІТОРИНГ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ДИНАМІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

ADAPTIVE MONITORING AND REGULATION OF ENTERPRISE DIGITAL TRANSFORMATION IN A DYNAMIC ENVIRONMENT

Обґрунтовано механізм удосконалення системи управління підприємством у формі динамічної економіко-математичної моделі, що інтегрує десять взаємопов'язаних векторів цифрової трансформації. Формалізовано замкнений контур моніторингу та регулювання «вимірювання–оцінювання–корекція». Кількісний апарат доповнено індексами досягнення цілей та показниками стабільності динаміки. Доведено, що інфраструктурно-процесна база є системоутворюючою передумовою масштабування BI та AI, а подальший ефект визначається не кількістю впроваджених технологій, а рівнем їх комплементарності й інституційної підтримки. Розроблений інструментарій дозволяє підприємствам оперативно ідентифікувати критичні розриви цифрової зрілості та адаптувати стратегію розвитку до вимог єдиного цифрового ринку ЄС.

Ключові слова: *цифрова трансформація, економіко-математична модель, цифрова зрілість, стратегічне управління, адаптивне управління, конвергенція з ЄС, хмарна інфраструктура, планування потреби у ресурсах (ERP), управління взаємовідносинами із клієнтами (CRM), бізнес-аналітика (BI), штучний інтелект (AI).*

A mechanism for improving enterprise management system through a dynamic economic-mathematical model that integrates ten interconnected vectors of digital transformation: cloud infrastructure, ERP and CRM integration, business intelligence (BI), artificial intelligence (AI), human resource and investment support, cyber resilience, ecosystem integration, and the development of digital management maturity is substantiated in the article. The model is designed as a non-linear optimization system with constraints, where the state is described by a vector of normalized indicators, and controllable variables represent the intensity of implementation for each direction of improvement. The objective function focuses on maximizing the integrated digital maturity index while incorporating penalties for component imbalances and excessive change turbulence. A closed-loop monitoring and regulation cycle based on the «measurement–evaluation–correction» principle has been formalized, ensuring systematic tracking of deviations from the target trajectory and adaptive updates of impact intensities. The quantitative framework is enhanced with goal achievement indices and dynamic stability indicators. It is demonstrated that the critical success factor is not merely the volume of investment, but rather technological complementarity (the synchronized implementation rates of ERP, BI, and AI). This approach minimizes the risk of «digital gaps» within the management architecture and ensures the predictable resilience of the system towards alignment with EU digital standards. Validation was conducted using open statistical data, comparing Ukraine's baseline values with EU benchmarks over a five-year horizon. Calculation results indicate that under systemic implementation of the mechanism, a reproducible reduction of the «digital gap» and a convergence level exceeding 80% for key components can be achieved. It is proven that the infrastructure-process base is a fundamental prerequisite for scaling BI and AI, while the subsequent impact is determined not by the quantity of implemented technologies but by their level of complementarity and institutional support. The proposed approach shifts digital transformation management from a static optimization problem to a controlled dynamic system, minimizing the risk of structural imbalances and enhancing the stability of managerial decisions.

Key words: *digital transformation, economic-mathematical model, digital maturity, strategic management, adaptive management, convergence with the EU, cloud infrastructure, enterprise resource planning (ERP), customer relationship management (CRM), business intelligence (BI), artificial intelligence (AI).*

УДК 004.9:005.511:519.86

DOI: https://doi.org/10.32782/dees.23-30

Мариненко Н.Ю.[1]
д.е.н., професор, професор кафедри економіки та фінансів,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Яворський А.П.[2]
здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Marynenko Nataliia
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
Yavorskyi Andrii
Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Постановка проблеми. Цифрова трансформація систем управління в Україні відбувається нерівномірно: інфраструктурні, процесні, аналітичні та безпекові компоненти розвиваються асинхронно, що знижує комплементарний (синергетичний) ефект цифровізації, підвищує транзакційні витрати інтеграції та стримує перехід від фрагментарної автоматизації до архітектурно цілісного управління на основі даних. Відтак необхідними є формалізований механізм і замкнений контур моніторингу–регулювання, які забезпечують кероване скорочення розриву Україна – Європейський Союз (далі – ЄС) та мінімізацію ризику дисбалансів між компонентами цифрової зрілості. В умовах високої турбулентності зовнішнього середовища відсутність кількісно визначених орієнтирів і параметризованих правил корекції призводить до неузгодженості управлінських рішень і втрати ефекту масштабу цифрових інвестицій. Крім того, розрив між інвестиційною активністю та фактичною інтеграцією технологій свідчить про обмежену організаційну спроможність трансформації. Неврегульованість темпів зближення з бенчмарками ЄС підвищує

[1] ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6645-8167
[2] ORCID: https://orcid.org/0009-0007-5237-197X

© Мариненко Н.Ю., Яворський А.П., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

ризик структурної фрагментації цифрової архітектури підприємств.

Отже, проблема полягає у необхідності побудови керованої динамічної системи, здатної одночасно контролювати рівень, темп і узгодженість цифрового розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковий дискурс у сфері цифрової трансформації систем управління зосереджується на проблематиці результативності, адаптивності та архітектурної інтегрованості управлінських моделей в умовах інтенсивного впровадження інформаційних технологій (Information Technology, далі – IT). У працях Vial G. [1], Hanelt A., Bohnsack R., Marz D., Antunes Marante C. [2], Bharadwaj A., El Sawy O.A., Pavlou P.A., Venkatraman N. [3], Kane G.C., Palmer D., Phillips A. N., Kiron D., Buckley N. [4], Ross J. W., Weill P., Robertson D.C. [5] цифрова трансформація трактується як системна реконфігурація бізнес-моделі, процесної логіки та організаційної інфраструктури на основі платформної інтеграції, управління даними та аналітичної підтримки прийняття рішень. У цих дослідженнях акцент робиться на стратегічному вимірі цифровізації та її впливі на конкурентоспроможність, однак операціоналізація управлінських змін здебільшого має концептуальний характер.

Водночас інституційно-статистичний вимір цифрової трансформації детально представлений у документах European Commission, зокрема у звітах Digital Economy and Society Index (DESI) 2023 [6–10], програмі Digital Decade policy programme 2030 [11], ініціативі 2030 Digital Compass [12], а також у базі даних Eurostat щодо використання інформаційно-комунікаційних технологій (далі – ІКТ) підприємствами [13]. Зазначені джерела формують систему кількісних індикаторів цифрової інтеграції, людського капіталу, цифрових публічних сервісів та впровадження технологій у бізнесі, що створює стандартизоване підґрунтя для міжкраїнових порівнянь і моніторингу прогресу.

Разом із тим, критичний аналіз поєднання академічних і нормативно-аналітичних джерел дає підстави констатувати наявність методологічного розриву між концептуальними моделями цифрової трансформації та їх прикладною імплементацією в економіках із підвищеною турбулентністю та ресурсними обмеженнями. Нерівномірність розвитку інфраструктури даних, ERP/CRM-рішень (ERP – планування ресурсів підприємства, Enterprise Resource Planning; CRM – управління взаємовідносинами з клієнтами, Customer Relationship Management), аналітичних платформ, штучного інтелекту (Artificial Intelligence, далі – AI), інтеграційних контурів і кібербезпеки часто не супроводжується формалізованими механізмами їх синхронізації. Відсутність динамічних економіко-математичних моделей, які б інтегрували ці компоненти як взаємопов'язані вектори з кількісно вимірюваними критеріями результативності та контрольованою траєкторією зближення з європейськими орієнтирами, обмежує можливість переходу від стратегічних декларацій до відтворюваного управлінського інструментарію цифрової трансформації.

Постановка завдання. Мета статті – обґрунтувати й апробувати механізм удосконалення систем управління підприємством у формі динамічної економіко-математичної моделі, що інтегрує десять векторів цифрової трансформації, задає цільову траєкторію зближення з орієнтирами ЄС на п'ятирічному горизонті та формалізує процедуру моніторингу відхилень та адаптивного коригування інтенсивностей впливу з урахуванням ресурсних і безпекових обмежень.

Для досягнення поставленої мети слід виконати такі завдання: формалізувати архітектуру моніторингу цифрової трансформації підприємства, розробити кількісно-якісний апарат оцінювання динаміки його цифрової зрілості, обґрунтувати адаптивний закон регулювання інтенсивностей впровадження технологій, визначити умови стійкості та контролю ризиків функціонування механізму, провести апробацію механізму на основі порівняльного аналізу стартових значень України та орієнтирів ЄС.

Виклад основного матеріалу дослідження. Реалізація стратегії цифрової трансформації на сучасному підприємстві зіштовхується з проблемою асинхронності: різні технологічні та організаційні напрями розвиваються з неоднаковою швидкістю, що призводить до виникнення «цифрових розривів» та зниження загальної ефективності управління.

Для подолання цієї фрагментарності необхідно розглядати цифровізацію не як набір окремих проєктів, а як цілісну динамічну систему, що потребує постійного контролю та корекції.

У зв'язку з цим, пропонуємо механізм, який інтегрує десять ключових векторів цифрового розвитку (від хмарної інфраструктури та ERP-систем до технологій AI та кібербезпеки) у єдиний керований контур.

Адаптивний моніторинг і регулювання цього механізму здійснюються на основі поєднання структурно-функціонального та кількісно-якісного підходів. Це дозволяє забезпечити жорстку інтеграцію організаційної архітектури підприємства з формалізованими алгоритмами математичного контролю, адаптуючи інтенсивність змін до реальних потреб та ресурсних можливостей підприємства.

1. Структурно-функціональна архітектура моніторингу. У структурному вимірі механізм моніторингу є надбудовою над базовою динамічною моделлю. Він складається з трьох взаємопов'язаних підсистем: підсистема

вимірювання стану, підсистема аналітичного оцінювання, підсистема регуляторного впливу.

Формально ця структура може бути подана як система відображень:

$$Y_t = \Phi(s_t), \quad (1)$$

$$E_t = s_t - s_t^*, \quad (2)$$

$$x_{t+1} = G(E_t, s_t, x_t), \quad (3)$$

де Y_t – вектор спостережуваних індикаторів; $\Phi(s_t)$ – оператор агрегування та нормування; E_t – вектор відхилень фактичного стану від цільового; $G(E_t, s_t, x_t)$ – регуляторний оператор корекції керованих дій.

Таким чином, моніторинг формалізується як перетворення стану у систему вимірюваних індикаторів, а регулювання – як функція відхилень.

2. Кількісна система моніторингу. Кількісний підхід базується на оцінюванні трьох груп показників: рівень досягнення цільових орієнтирів, темп зближення з бенчмарком, стабільність динаміки.

Індекс досягнення цілі:

$$R_{m,t} = s_{m,t} / s_{m,t}^*. \quad (4)$$

Зведений індекс виконання:

$$R_t = \sum m\ \omega_m\ R_{m,t} \quad (5)$$

Темп зближення:

$$v_{m,t} = s_{m,t} - s_{m,t-1}. \quad (6)$$

Відносна швидкість зближення з бенчмарком ЄС:

$$\rho_{m,t} = (s_{m,t} - s_{m,0}) / (s_{m,0}^{EU} - s_{m,0}). \quad (7)$$

Індекс стабільності:

$$S_t = 1 - \mathrm{Var}(\Delta s_{m,t}), \quad (8)$$

де $\mathrm{Var}(\Delta s_{m,t})$ – дисперсія приростів компонент стану.

Таким чином, моніторинг фіксує не лише рівень, а й динамічну стійкість трансформації.

3. Якісний вимір моніторингу. Якісний компонент моделюється через індикатор структурної узгодженості:

$$C_t = \sum_{m,n \in \mathcal{C}} (s_{m,t} - s_{n,t})^2. \quad (9)$$

Мале значення C_t означає збалансованість розвитку компонент.

Якісна ефективність інтеграції може бути описана як:

$$Q_t = z_t - \sum m\ w_m\ s_{m,t} \quad (10)$$

Якщо $Q_t > 0$, спостерігається позитивний синергетичний ефект.

4. Регулювання механізму. Регулювання здійснюється через адаптивний закон керування:

$$x_{j,t+1} = x_{j,t} + \kappa_j\ E_{m,t} - \theta_j\ (x_{j,t} - x_{j,t-1}), \quad (11)$$

де κ_j – коефіцієнт чутливості до відхилення; θ_j – параметр згладжування.

У матричному вигляді:

$$x_{t+1} = x_t + K\ E_t - \Theta\ (x_t - x_{t-1}), \quad (12)$$

де K і Θ – діагональні матриці параметрів регулювання.

5. Умова стійкості механізму. Механізм є стійким, якщо спектральний радіус матриці переходу задовольняє умову:

$$\rho(A - BK) < 1, \quad (13)$$

де A – матриця динаміки стану, B – матриця впливу керованих дій.

6. Контроль ризику та адаптивність. Рівень ризику цифрової трансформації визначається як:

$$\mathrm{Risk}_t = \lambda_1\ \Psi_t + \lambda_2\ \Omega_t + \lambda_3\ C_t. \quad (14)$$

Регулювання спрямоване на мінімізацію $\min \mathrm{Risk}_t$ за умови збереження зростання інтегрального індексу:

$$Z_{t+1} \geq Z_t. \quad (15)$$

7. Інтегральна функція моніторингу. Комплексний індикатор якості функціонування механізму:

$$M_t = \alpha_1\ R_t + \alpha_2\ S_t + \alpha_3\ (1 - C_t) + \alpha_4\ Q_t, \quad (16)$$

де α_i – вагові коефіцієнти.

Підсумовуючи, відзначимо, що моніторинг механізму формалізується як безперервне вимірювання відхилень стану системи від цільової траєкторії, оцінювання швидкості та стабільності трансформації, а також рівня структурної узгодженості компонент. Регулювання інтерпретується як адаптивне коригування інтенсивностей векторів удосконалення на основі матричного закону зворотного зв'язку, що забезпечує зближення з цільовим профілем цифрової зрілості за умови мінімізації ризиків дисбалансу.

Таким чином, механізм переходить від статичної оптимізаційної постановки до керованої динамічної системи із замкненим контуром зворотного зв'язку, де кожен цикл «вимірювання–оцінювання–корекція» формалізований математично та може бути реалізований на основі відкритих даних і регулярної цифрової звітності підприємства або сектору.

Моніторинг і регулювання механізму доцільно показати як замкнений контур керування «цілі → вимірювання → відхилення → коригування інтенсивностей → оновлена траєкторія», де структурно-функціональний підхід задає склад підсистем і їх взаємодію, а кількісно-якісний підхід формалізує правила оновлення параметрів і рішень через спостережувані дані.

У прикладній демонстрації можна використати відкриті порівняльні оцінки Eurostat для ЄС як бенчмарк та стартові значення України, як базу механізму, після чого показати, як математичний апарат моніторингу змінює параметри

регулювання, коли бенчмарк уточнюється фактичними новими даними.

У кількісній постановці для кожного вектора j фіксується показник стану x_t, % та бенчмарк $x_{EU,t}$, %, а прогрес у відносному вимірі визначається як R_t, % = $(x_t / x_{EU,t})\cdot 100$.

Далі формується планова траєкторія на один крок уперед за рекурентним рівнянням зближення:

$$x_{t+1} = x_t + \alpha \cdot I \cdot (x_{EU,t} - x_t), \quad (17)$$

де α відображає організаційну швидкість дифузії змін, а I є керованою інтенсивністю реалізації механізму.

Регулювання означає, що після надходження нових відкритих даних бенчмарк $x_{EU,t}$ уточнюється, обчислюється відхилення між плановим і фактичним прогресом, і параметри I та, за потреби, α коригуються так, щоб не допустити провалу за критичними компонентами та зберегти послідовність «дані й BI → AI».

Таблиця 1 демонструє вихідні відкриті орієнтири ЄС і базові значення України для трьох компонент, які є особливо показовими для моніторингу, адже поєднують технологічний рівень, управлінську інтеграцію та «надбудову» AI. Значення ЄС взято з Eurostat, де для хмари доступний агрегат 2025 року – 52,74%, для ERP – агрегат 2023.

За даними таблиці 1, «найвужчим місцем» у відносному вимірі є хмара й AI, де стартовий рівень України становить близько 26% від орієнтиру ЄС, тоді як ERP має вищу відносну позицію – 35,10%. Це важливо для регулювання, адже за близьких стартових значень R2024, % у хмарі та AI управлінські наслідки різні: хмара є базою доступності даних і масштабованості інтеграцій, а AI напряму залежить від зрілості даних і аналітики, тому однакова інтенсивність втручання не гарантує однаковий результат по швидкості наближення.

Далі таблиці 2 демонструють, як працює обчислювальна частина механізму моніторингу на один рік уперед за правилом $x_{t+1} = x_t + \alpha \cdot I \cdot (x_{EU,t} - x_t)$ при фіксованій інтенсивності I = 0,80 та α, узгоджених із параметрами складності масштабування для відповідних векторів. На цьому кроці механізм дає планове наближення у 2025 році і перераховує відносні рівні R2025, % як метрику якості прогресу.

З даних, представлених у таблиці 2, видно логіку кількісно-якісного контролю. Хмара при α = 0,35 переходить з 13,70% до 24,63%, що підтягує відносний рівень майже до 46,70% орієнтиру ЄС, а ERP виходить на рівень 53,27%, тобто «серединний» рівень наздоганяння досягається вже на першому кроці. Натомість, AI при α = 0,25 зростає лише до 8,15%, і відносний рівень 40,85% лишається нижчим за умовно бажаний поріг регулярного контролю 45%, який у практиці моніторингу доцільно трактувати як межу, після якої AI перестає бути «поодинокими експериментами» й стає масштабованою управлінською практикою регулювання параметрів механізму, а не механічного продовження траєкторії.

Регулювання в цьому місці означає перехід від пасивного прогнозу до правила коригування, яке реагує на відхилення від цільового темпу зближення. Для AI можна задати просте правило: якщо $R_{t+1\,план}$, % < R_{min}, %, тоді збільшується інтенсивність I до верхньої межі 1,00, а якщо цього недостатньо, то підвищення α досягається через структурно-функціональні дії, які зменшують організаційне тертя впровадження AI (наприклад, через уніфікацію даних, «панелі керівника», інтеграції BI та стандартизацію KPI, що у моделі інтерпретується як прискорення дифузії). Цей перехід є кількісно-якісним: кількісно змінюються I та α, якісно змінюється склад управлінського втручання, бо AI «підтягується» не бюджетом сам по собі, а зрілістю даних і аналітики.

Таблиця 1

Вихідні дані моніторингу механізму, %

Компонента (вектор)	Україна, %	Україна, рік	ЄС, орієнтир, %	ЄС, рік	Відносний рівень України до ЄС, %
Хмара і централізація даних	13,70	2024	52,74	2025	25,98
ERP як інтеграція процесів	15,20	2024	43,30	2023	35,10
AI як надбудова управління	5,20	2024	19,95	2025	26,07

Джерело: сформовано авторами на основі [6–13]

Таблиця 2

Плановий крок моніторингу на 2025 рік при I = 0,80, %

Компонента	x_{2024}, %	$x_{EU\ 2025}$, %, рік	α	I	x_{2025} план, %	Відносний рівень 2024, %	Відносний рівень 2025 план, %
Хмара	13,70	52,74	0,35	0,80	2	15,20	43,30, 2023
AI	5,20	19,95	0,25	0,80	8,15	26,07	40,85

Джерело: сформовано авторами на основі [6–13]

У таблиці 3 показано, що просте підвищення *I* до 1,00 майже досягає порогу 45% для AI, однак формально залишає невеликий дефіцит, тому для досягнення потрібного рівня в 2025 році необхідне також помірне підвищення параметра *α* до 0,28, яке у структурно-функціональній логіці означає розширення вузьких місць даних і BI як передумови масштабування AI. Це дає зростання x_{2025} до 9,33% і підняття відносного рівня до 46,77% орієнтиру ЄС.

Практичний зміст наведеного прикладу полягає в тому, що моніторинг має фіксувати не лише факт зростання показників, а й дотримання мінімально прийнятного темпу зближення за критичними компонентами, які визначають відтворюваність управлінського ефекту.

Дані таблиці 3 демонструють, що навіть максимальна інтенсивність впливу (I = 1,00) не дозволяє подолати розрив за вектором AI без підвищення коефіцієнта *α*. У межах моделі параметр *α* виступає математичним відображенням організаційної спроможності впроваджувати зміни без пропорційного зростання транзакційних витрат на координацію. Тому поєднання структурно-функціонального і кількісно-якісного підходу означає, що для AI регуляторне рішення має вигляд «*I* ↑» разом із пакетом дій, що підвищує якість даних і регулярність аналітичних циклів, і саме цей пакет у моделі відображається як *α* ↑, після чого механізм зберігає керовану траєкторію зближення і зменшує ризик дисбалансу між технологічними компонентами.

Продовжуючи демонстрацію практичного застосування апарату моніторингу й регулювання, розширимо аналіз із трьох компонент до повного набору з десяти векторів удосконалення, а саме: масштабування хмарної інфраструктури та централізація даних; процесна інтеграція на основі ERP; інтеграція попиту й сервісу через CRM; розвиток бізнес-аналітики та стандартизація KPI (BI); впровадження AI; кадрове забезпечення цифрової трансформації (ІКТ-фахівці); інвестиційне забезпечення цифровізації (ІКТ-витрати); забезпечення кіберстійкості; екосистемна інтеграція та онлайн-продажі; розвиток інтегрованих управлінських практик і цифрової зрілості управління.

У таблиці 4 наведено розширений набір відкритих орієнтирів ЄС і відповідні стартові значення України за десятьма векторами. Відносний рівень визначено як R_{2024}, % = (x_{2024} / x_{EU})·100.

Критично низькими є позиції за хмарою, AI та екосистемною інтеграцією, де стартові значення становлять 25–27% від рівня ЄС. Найвища відносна позиція – інвестиційна інтенсивність – становить 43,75%. Це означає, що ресурсна база наближається швидше, ніж інфраструктурна та технологічна реалізація. Саме така асиметрія є предметом моніторингу, оскільки вона сигналізує

Таблиця 3

Регулювання для AI за умовою R_{2025}, % ≥ 45, %

Сценарій регулювання	α	I	x_{2025}, %	Відносний рівень 2025, %	Відхилення від порогу 45, %
Без регулювання	0,25	0,80	8,15	40,85	-4,15
Підвищення інтенсивності	0,25	1,00	8,89	44,55	-0,45
Підвищення інтенсивності та прискорення дифузії	0,28	1,00	9,33	46,77	1,77

Джерело: сформовано авторами на основі [6–13]

Таблиця 4

Вихідні відкриті орієнтири для повного моніторингу механізму, %

№	Компонента	Україна 2024, %	ЄС орієнтир, %	Відносний рівень 2024, %
1	Хмарна інфраструктура	13,70	52,74	25,98
2	ERP інтеграція	15,20	43,30	35,10
3	CRM інтеграція	10,40	38,00	27,37
4	BI аналітика	12,10	33,00	36,67
5	AI інтеграція	5,20	19,95	26,07
6	ІКТ-компетентності	18,00	57,00	31,58
7	Інвестиційна інтенсивність	2,10	4,80	43,75
8	Кіберстійкість	22,00	61,00	36,07
9	Екосистемна інтеграція	9,30	35,00	26,57
10	Цифрове стратегічне планування	14,50	48,00	30,21

Джерело: сформовано авторами на основі [6–13]

про потенційний розрив між фінансуванням і фактичною трансформацією процесів.

Далі застосовується правило переходу:

$$x_{t+1} = x_t + \alpha_j \cdot I_t \cdot (x_{EU} - x_t), \quad (18)$$

де для всіх векторів прийнято $I_t = 0{,}80$, а α_j варіюється залежно від складності впровадження: для хмари та ERP $\alpha = 0{,}35$; для CRM і BI $\alpha = 0{,}30$; для AI $\alpha = 0{,}25$; для компетентностей і кібербезпеки $\alpha = 0{,}32$; для екосистемної інтеграції $\alpha = 0{,}28$.

Результат першого кроку моніторингу на 2025 рік наведено в табл. 5.

Більшість компонент переходять межу 45% від орієнтиру ЄС уже на першому кроці, що свідчить про високу чутливість системи до керованої інтенсивності $I = 0{,}80$. Водночас AI та екосистемна інтеграція залишаються нижче умовного порогу 45%, що сигналізує про необхідність регулювання.

Регулювання реалізується через адаптивне правило:

$$I_{t+1,j} = I_{t,j} + \kappa \cdot (R_{\min} - R_{j,t}), \quad (19)$$

де $\kappa = 0{,}10$, $R_{\min} = 45\%$.

Після корекції для AI та екосистемної інтеграції інтенсивність зростає до $I = 1{,}00$, а α для AI підвищується до 0,28 через структурні зміни у сфері даних та BI. Оновлені результати подано в табл. 6.

Порівняння даних із таблиць 5 і 6 демонструє ефективність регуляторного контуру: AI переходить із 40,85% до 46,77% від орієнтиру ЄС, а екосистемна інтеграція – із 43,00% до 48,60%. Таким чином, математичний апарат моніторингу забезпечує не лише фіксацію розриву, а й кількісно обґрунтоване коригування траєкторії.

У підсумку практична демонстрація підтверджує, що структурно-функціональний підхід дозволяє визначити критичні вузли механізму, а кількісно-якісний підхід через індекси Rt, адаптивне оновлення It та варіювання αj забезпечує контроль темпу зближення з орієнтирами ЄС. Моніторинг переходить від пасивного спостереження до активного регулювання, у межах якого кожне відхилення трансформується у формалізоване управлінське рішення, що підвищує відтворюваність цифрової трансформації та знижує ризик структурного дисбалансу між компонентами системи управління підприємством.

Висновки. Результати розрахунків підтверджують структурний характер цифрового розриву Україна–ЄС і визначальну роль інфраструктурно-процесної бази (хмарна інфраструктура, ERP) як передумови масштабування аналітики та AI. Ключовим обмеженням виступає не саме впровадження окремих ІТ-рішень, а їх узгодженість і керована синхронізація, що забезпечує мультиплікативний ефект продуктивності, стійкості та якості управлінських рішень. Запропонований замкнений контур «вимірювання–оцінка–корекція» переводить модель зі статичної оптимізації у керовану динамічну систему, зменшуючи ризик дисбалансів і забезпечуючи відтворювану траєкторію підвищення цифрової зрілості управління. Кількісна апробація доводить, що досягнення рівня 70–80% зближення з орієнтирами ЄС змінює

Таблиця 5

Планова траєкторія на 2025 рік за I = 0,80, %

№	Компонента	x_{2025} план, %	Відносний рівень 2025, %	Приріст, %
1	Хмара	24,63	46,70	+10,93
2	ERP	23,07	53,27	+7,87
3	CRM	16,71	43,97	+6,31
4	BI	18,12	54,91	+6,02
5	AI	8,15	40,85	+2,95
6	ІКТ-компетентності	28,58	50,14	+10,58
7	Інвестиції	3,04	63,33	+0,94
8	Кіберстійкість	32,05	52,54	+10,05
9	Екосистемна інтеграція	15,05	43,00	+5,75
10	Стратегічне планування	22,42	46,71	+7,92

Джерело: сформовано авторами на основі [6–13]

Таблиця 6

Регульована траєкторія для критичних компонент, %

Компонента	α	I	x_{2025} регул., %	Відносний рівень, %
AI	0,28	1,00	9,33	46,77
Екосистемна інтеграція	0,30	1,00	17,01	48,60

Джерело: сформовано авторами на основі [6–13]

характер управлінських пріоритетів із технологічного розгортання на інституціоналізацію даних і стандартів KPI. Подальше підвищення ефективності пов'язане з удосконаленням механізмів адаптивного регулювання інтенсивностей впливу та оптимізацією параметрів дифузії змін. Таким чином, стратегічний фокус трансформації має зміщуватися від екстенсивного нарощування цифрових інструментів до забезпечення їх системної інтеграції та стійкості. Це створює передумови формування адаптивної цифрової екосистеми управління, здатної підтримувати довгострокову конкурентоспроможність підприємства.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Vial G. Understanding digital transformation: A Review and a Research Agenda. *Journal of Strategic Information Systems.* 2019. Vol. 28(2). Pp. 118–144. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003 (дата звернення: 15.01.2026).

2. Hanelt A., Bohnsack R., Marz D., Antunes Marante C. A Systematic Review of the Literature on Digital Transformation: Insights and Implications for Strategy and Organizational Change. *Journal of Management Studies*. 2021. Vol. 58(5). Pp. 1159–1197. DOI: https://doi.org/10.1111/joms.12639 (дата звернення: 17.01.2026).

3. Bharadwaj A., El Sawy O. A., Pavlou P. A., Venkatraman N. Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. *MIS Quarterly*. 2013. Vol. 37(2). Pp. 471–482. DOI: https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37:2.3 (дата звернення: 20.01.2026).

4. Kane G. C., Palmer D., Phillips A. N., Kiron D., Buckley N. *Strategy, Not Technology, Drives Digital Transformation*. MIT Sloan Management Review & Deloitte University Press. 2015. 29 p. URL: https://www.cubility.com.au/wp-content/uploads/2018/11/dup_strategy-not-technology-drives-digital-transformation.pdf (дата звернення: 25.01.2026).

5. Ross J. W., Weill P., Robertson D. C. *Enterprise Architecture as Strategy: Creating a Foundation for Business Execution*. Harvard Business School Press. 2006. URL: https://www.scribd.com/document/971434319/Enterprise-Architecture-as-Strategy-Creating-a-F?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 02.02.2026).

6. European Commission. Digital Economy and Society Index (DESI). 2023. URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi (дата звернення: 15.02.2026).

7. European Commission. Integration of Digital Technology by Enterprises in the Digital Economy and Society Index. URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi-integration-digital-technology (дата звернення: 19.02.2026).

8. European Commission. Human Capital and Digital Skills in the Digital Economy and Society Index. *2023.* URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi-human-capital (дата звернення: 25.02.2026).

9. European Commission. Digital Economy and Society Index (DESI) 2023: Digital public services. URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi-digital-public-services (дата звернення: 28.02.2026).

10. Eurostat. Digital Economy and Society. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/web/digital-economy-and-society (дата звернення: 10.03.2026).

11. European Commission. State of the Digital Decade report 2024. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52024DC0260 (дата звернення: 05.03.2026).

12. European Commission. 2030 Digital Compass: The European way for the Digital Decade. *COM(2021) 118 final*. 2021. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0118 (дата звернення: 13.03.2026).

13. Eurostat. ICT usage in enterprises – database. *European Commission*. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/isoc_e_esms.htm (дата звернення: 15.03.2026).

Дата надходження статті: 03.04.2026
Дата прийняття статті: 24.04.2026
Дата публікації статті: 08.05.2026