УДК 338.45:69.003:005.334:005.591.1; JEL classification: D21; L74; M21; O22; C61
DOI: https://doi.org/10.36887/2415-8453-2026-3-73

Ратніков Дмитро Геннадійович,
кандидат економічних наук, докторант кафедри менеджменту в будівництві, спеціальність 051 (С1 Економіка), Київський національний університет будівництва і архітектури

Ratnikov Dmytro, PhD in Economics, Doctoral Candidate, specialty 051 (C1 Economics), Department of Management in Construction, Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine),
https://orcid.org/0009-0006-0024-5384

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНОГО ДЕВЕЛОПМЕНТУ ПІСЛЯ ДЕСТАБІЛІЗАЦІЙНИХ ВПЛИВІВ
ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF RECOVERY TRAJECTORIES OF THE ECONOMIC CAPACITY OF CONSTRUCTION DEVELOPMENT ENTERPRISES FOLLOWING DESTABILIZING IMPACTS

Ратніков Д. Г. Економіко-математичне моделювання траєкторій відновлення економічної спроможності підприємств будівельного девелопменту після дестабілізаційних впливів. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2026. Том 11. № 3. С. 416 – 420.

Ratnikov D. Economic and mathematical modeling of recovery trajectories of the economic capacity of construction development enterprises following destabilizing impacts. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. 2026. Volume 11. № 3. pp. 416 – 420.

У статті розвинуто методичний підхід до економіко-математичного моделювання траєкторій відновлення економічної спроможності підприємств будівельного девелопменту після дестабілізаційних впливів. Метою є формалізація не лише кінцевого рівня спроможності, а й економічної якості шляху від постшокового мінімуму до допустимої конфігурації. Методологія поєднує системний і процесний підходи, векторне нормування, порогову діагностику, нелінійну дискретну динаміку, сценарне моделювання та ризикову оптимізацію. Економічну спроможність представлено багатовимірним станом у фінансовій, ресурсній, операційній, портфельній, ринково-контрактній та стейкхолдерській координатах. Запропоновано нелінійну модель переходу станів, що враховує інерцію, управлінські інтервенції, трансмісію шоків і міжкомпонентні ефекти. Відновлення вважається завершеним після входу до некомпенсаторної області допустимих станів і збереження в ній протягом горизонту консолідації. Сформовано систему траєкторних інваріантів: глибину шоку, час стійкого відновлення, кумулятивний дефіцит, швидкість і прискорення, повноту та структурну відстань. На їх основі виокремлено швидку конвергентну, відкладену, ступінчасту, рецидивну, часткову та трансформаційну траєкторії. Для мультипроєктного середовища розроблено модель портфельної реконфігурації, що максимізує приріст спроможності з урахуванням вартості інтервенцій, ресурсних обмежень і CVaR. Ілюстративний сценарій показує, що стратегії з близькими кінцевими показниками можуть відрізнятися за кумулятивним дефіцитом та економічною ціною відновлення. Наукова новизна полягає в інтеграції нелінійної динаміки, часово стійкої області відновлення, траєкторних інваріантів і ризик-орієнтованої портфельної реконфігурації. Практична цінність полягає у зв'язуванні сигналу з лімітуючою координатою, каналом трансмісії та інтервенцією, що скорочує час, дефіцит і ризик. Подальші дослідження передбачають емпіричне оцінювання матриць взаємозв'язків, калібрування порогів і перевірку прогностичної здатності моделі.
Ключові слова: *економічна спроможність; траєкторія відновлення; будівельний девелопмент; мультипроєктне середовище; кумулятивний дефіцит; портфельна реконфігурація; CVaR; економічна діагностика.*

The article develops a framework for economic and mathematical modeling of recovery trajectories of construction development enterprises after destabilizing impacts. The purpose is to formalize not only terminal capacity but also the economic quality of the path from a post-shock minimum to an admissible configuration. The methodology combines systems and process approaches, threshold diagnostics, nonlinear dynamics, scenario modeling, and risk-oriented optimization. Economic capacity is represented as a multidimensional state of financial, resource, operational, portfolio, market-contractual, and stakeholder coordinates. A nonlinear transition model captures inertia, managerial interventions, shock transmission, and cross-component effects. Recovery is completed only after the enterprise enters a non-compensatory admissible domain and remains there during a consolidation horizon. The toolkit includes shock depth, sustainable recovery time, discounted cumulative deficit, recovery velocity and acceleration, completeness, and weighted structural distance. Their joint interpretation distinguishes rapid convergent, delayed, stepwise, recurrent, partial, and transformational trajectories. For a multiproject environment, portfolio reconfiguration is formulated as an optimization problem that maximizes the marginal increase in capacity while accounting for intervention costs, resource constraints, and CVaR of tail losses. An illustrative scenario shows that strategies with similar terminal indicators may differ in cumulative deficit and the economic cost of recovery. Scientific novelty lies in integrating nonlinear dynamics, a stable recovery domain, trajectory invariants, and risk-oriented portfolio reconfiguration. Practical value consists in linking the diagnostic signal to the limiting coordinate, transmission channel, and intervention that reduces recovery time, cumulative deficit, and tail risk. Further research should focus on the empirical estimation of interaction matrices, the calibration of critical thresholds, and the validation of predictive properties.
Keywords*: economic capacity; recovery trajectory; construction development; multiproject environment; cumulative deficit; portfolio reconfiguration; CVaR; economic diagnostics.*

Вступ

Будівельний девелопмент функціонує як мережа взаємозалежних проєктів, у якій дестабілізаційний вплив транслюється між фінансовим, ресурсним, операційним, контрактним і портфельним контурами. Дефіцит фінансування змінює інтенсивність робіт і розрахунків; логістичний розрив одночасно підвищує собівартість і тривалість циклу; безпекові й інституційні обмеження здатні синхронно зупиняти роботу кількох об'єктів. Спільні кредитні ліміти, управлінські команди, постачальники та технічні ресурси перетворюють локальне відхилення на каскадне, тому предметом відновлення є не окремий показник, а здатність підприємства знову підтримувати економічно допустиму конфігурацію взаємопов'язаних параметрів [1; 2]. Часовий вимір є принциповим: помірний, але тривалий дефіцит накопичує втрати, зменшує запас маневру й погіршує реалізованість портфеля. Тому оцінювання має враховувати масштаб шоку, тривалість перебування поза допустимою областю та можливість повторного погіршення.

Однаковий кінцевий рівень ліквідності або інтегрального індексу може бути результатом різних шляхів: швидкої конвергенції, тривалого дефіциту, ступінчастого відновлення, повторного провалу чи структурної реконфігурації. Статичне порівняння «до–після» не враховує економічної цінності часу, послідовності відновлення компонентів і ризику повторної втрати спроможності. Два сценарії з однаковим фінальним значенням можуть мати різну суму проміжних втрат, потребувати різного обсягу фінансування та створювати неоднаковий хвостовий ризик. Тому наукова проблема полягає у формалізації траєкторії як керованого переходу в обмеженому просторі станів та у визначенні параметрів, за якими можна відрізнити формальне повернення показника від стійкого або трансформаційного відновлення.

Українські дослідники сформували суттєвий методичний базис для аналізу стійкості, діагностики та трансформації будівельних

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons CC-BY 4.0

© Ратніков Дмитро Геннадійович, 2026

підприємств. О. Ревунов, Г. Рижакова, О. Малихіна та співавтори обґрунтовують формалізовану діагностику систем менеджменту [2]; О. Хоменко та співавтори — систему індикаторів трансформації операційних систем [3]; Р. Аксельрод і А. Шпаков – економіко-управлінські предиктори їх змін [4]. Інституційно орієнтована диверсифікація розглядається як механізм зменшення критичних залежностей [5], Integrated Project Delivery – як засіб узгодження учасників [6], цифрова екосистема – як інфраструктура інтеграції даних і управлінських взаємодій [7]. Дослідження інвайронментальної безпеки, інвестиційного забезпечення відбудови та FINTECH-рішень розширюють систему зовнішніх і фінансових детермінант [8–10]. Роботи Р. Трача та співавтори демонструють можливості мережевого, нечіткого та гібридного моделювання комунікацій, післявоєнного відновлення та стійкості ланцюгів постачання [11–13], а цифрові засоби адміністрування створюють інформаційну базу для динамічного моніторингу [14]. Узагальнення цих підходів показує, що наявний інструментарій достатньо повно описує окремі стани, ризики та канали взаємодії, але меншою мірою пояснює економічну якість переходу між ними. Недостатньо формалізовано стійкість входу до допустимої області, кумулятивну величину дефіциту, швидкість і прискорення відновлення, структурний зсув та вибір портфельних інтервенцій під впливом ресурсних обмежень. Саме поєднання цих характеристик дає змогу оцінювати відновлення не як одноразовий факт, а як керовану траєкторію з власною вартістю, ризиками та часовою структурою.

Формулювання цілей статті

Метою статті є розвиток методичного інструментарію для ідентифікації та управлінської інтерпретації траєкторій відновлення економічної спроможності підприємств будівельного девелопменту після дестабілізаційних впливів. Завдання дослідження полягають у формуванні нелінійної моделі динаміки стану з урахуванням шоків, управлінських інтервенцій і міжкомпонентних ефектів; визначенні некомпенсаторної області відновленої спроможності; побудові системи траєкторних інваріантів; типологізації траєкторій; формалізації портфельної реконфігурації як задачі оптимізації відновлення. Методологія поєднує системний і процесний підходи, векторне нормування, порогову діагностику, дискретну динаміку, сценарне моделювання та ризик-орієнтовану оптимізацію. Числовий приклад має ілюстративний характер і використовується для перевірки логіки взаємозв'язку між часом відновлення, кумулятивним дефіцитом і кінцевою конфігурацією.

Виклад основного матеріалу дослідження

Економічну спроможність визначено як фактичну здатність підприємства підтримувати в заданому часовому інтервалі таку конфігурацію фінансових, ресурсних, операційних, портфельних, ринково-контрактних і стейкхолдерських параметрів, за якої виконуються зобов'язання, відтворюється грошовий потік і зберігається реалізовність портфеля без критичного виснаження резервів. На відміну від потенціалу, спроможність характеризує не наявність ресурсів, а їх результативне перетворення за наявності обмежень. Це дає змогу відмежувати накопичений ресурсний запас від здатності системи використовувати його для підтримання проєктної програми в умовах шоку.

Траєкторія відновлення – це впорядкована послідовність станів від постшокового відхилення до стійкого входу в область економічно допустимих конфігурацій із подальшою консолідацією або трансформаційною перебудовою. Важливо, що відновлення не обов'язково означає повернення до довоєнної чи докризової структури: за змін у вартості капіталу, постачальників, технологіях або портфелі економічно раціональною може бути нова конфігурація, яка забезпечує виконання критичних обмежень з іншими пропорціями компонентів.

Стан підприємства визначається шістьма нормованими координатами: фінансовою, ресурсною, операційною, портфельною, ринково-контрактною та стейкхолдерською. Нормування забезпечує порівнюваність різнорідних параметрів і дозволяє задавати для кожного з них критичні та цільові межі. Для відображення того, що динаміка формується не лише інерцією, а й взаємодією компонентів, вектором шоків та керуючим впливом, пропонується нелінійна модель стану (1):

$$\mathrm{z}_{t+1} = \Pi_{[0,1]^m}\big(\mathrm{A}\mathrm{z}_t + \mathrm{B}\mathrm{u}_t - \mathrm{C}\mathrm{s}_t + \mathrm{G}(\mathrm{z}_t \otimes \mathrm{z}_t)\big),$$
$$\mathrm{z}_t = (F_t, R_t, O_t, P_t, M_t, S_t)^\top \qquad (1)$$

де A — матриця інерційних і міжкомпонентних зв'язків; B — матриця чутливості до інтервенцій; C — матриця трансмісії дестабілізаційних впливів; G — оператор нелінійних взаємодій; П — проєкція нормованого стану на допустимий інтервал. Така конструкція дозволяє відобразити каскадний ефект, коли, наприклад, фінансовий дефіцит через ресурсний канал знижує безперервність операцій і реалізовуваність кількох проєктів.

Навігаційний індекс економічної спроможності визначається зваженим геометричним агрегуванням (2):

$$I_t^{EC} = \prod_{k=1}^{m} z_{k,t}^{w_k}, \qquad \sum_{k=1}^{m} w_k = 1 \qquad (2)$$

Проте завершення відновлення встановлюється не за середнім значенням, а за входом до некомпенсаторної області допустимих станів із часовою умовою консолідації (3):

$$\Omega^{rec} = \left\{\mathrm{z}_t \;\middle|\; I_t^{EC} \geq I^{crit},\ z_{k,t} \geq z_k^{crit}\ \forall k,\ \mathbf{z}_{t+\nu} \in \Omega^{rec}\ \forall \nu = 0, \dots, h\right\} \qquad (3)$$

Крім того, необхідно враховувати, що високий результат одного блоку не компенсує критичного дефіциту іншого, а короткочасне перетинання порогу не вважається відновленням. Інтервал h задає мінімальний горизонт, протягом якого підприємство має залишатися в Ωrec. Така умова усуває хибнопозитивний висновок, коли разове покращення інтегрального індексу не ліквідує причину нестійкості.

Траєкторну якість пропонується описувати системою взаємодоповнювальних інваріантів (табл. 1). Глибина шоку та час стійкого відновлення визначаються (4):

$$D_s = 1 - \frac{\min\limits_{t\in[t_s,t_m]} I_t^{EC}}{I_{t_s^-}^{EC}}, \qquad \tau_R = \inf\{t \geq t_s : \mathrm{z}_{t+\nu} \in \Omega^{rec}\ \forall \nu = 0, \dots, h\} - t_s \qquad (4)$$

Економічну ціну перебування поза цільовою конфігурацією відображає дисконтований кумулятивний дефіцит (5):

$$G_R(\delta) = \sum_{t=t_s}^{T} \delta^{t-t_s} \sum_{k=1}^{m} \omega_k \max\{0,\ z_k^{ref} - z_{k,t}\}\Delta t \tag{5}$$

На відміну від площі між двома інтегральними кривими, G^R враховує дефіцит кожної координати та не допускає його маскування компенсацією. Тому однаковий інтегральний рівень за різної структури відхилень може давати різний кумулятивний дефіцит. Динамічну форму шляху характеризують швидкість і прискорення (6), а результат — коефіцієнт повноти та зважена структурна відстань (7).

$$V_t^R = \frac{I_t^{EC} - I_{t-1}^{EC}}{\Delta t}, \qquad A_t^R = \frac{I_t^{EC} - 2I_{t-1}^{EC} + I_{t-2}^{EC}}{(\Delta t)^2} \tag{6}$$

$$K_R = \frac{I_T^{EC}}{I_0^{EC}}, \qquad H_R = \sqrt{(z_T - z_0)^{\top} W (z_T - z_0)} \tag{7}$$

Спільна інтерпретація показників відокремлює просте повернення до попереднього рівня від трансформаційного відновлення. Якщо $K^R \geq 1$, усі пороги виконані, а $H^R > 0$ виникає внаслідок посилення слабких координат, структурний зсув є ознакою оновленої, а не деформованої спроможності. Водночас велике H^R не є самостійно позитивним результатом: воно потребує перевірки того, чи нова конфігурація зменшує критичні дефіцити та забезпечує стійке перебування в Ω_{rec}. Тому траєкторні інваріанти мають аналізуватися сукупно, а не як незалежні рейтингові показники.

Таблиця 1. Діагностичні інваріанти траєкторії

Показник	Що вимірює	Управлінська інтерпретація
D_s	амплітуда постшокового падіння	потреба в резерві абсорбції
τ^R	час до стійкого входу в Ω_{rec}	швидкість усунення критичних обмежень
G^R	дисконтована глибина і тривалість компонентного дефіциту	економічна ціна запізнення відновлення
V^R, A^R	темп і зміна темпу відновлення	виявлення плато, прискорення та рецидиву
K^R	повнота відновлення інтегрального рівня	часткове, повне або надвідновлення
H^R	структурна відстань між початковою і кінцевою конфігураціями	масштаб реконфігурації

Джерело: розроблено автором.

За знаками V^R і A^R, тривалістю τ^R, величиною G^R та співвідношенням K^R і H^R запропоновано шість базових траєкторій (табл. 2). Їхній тип є основою для вибору інтервенцій: відкладена траєкторія потребує усунення блокуючої координати, ступінчаста — синхронізації ресурсів, рецидивна — ліквідації вторинного каналу шоку, а часткова — структурнішого перегляду моделі діяльності.

Таблиця 2. Типологія траєкторій відновлення

Тип	Формальна ознака	Пріоритет управління
Швидка конвергентна	τ^R малий; $V^R > 0$; G^R низький	закріплення резервів і стандартів
Відкладена	тривале $V^R \approx 0$, потім $V^R > 0$	усунення блокуючого обмеження
Ступінчаста	чергування $V^R > 0$ і $V^R \approx 0$	синхронізація ресурсів та проєктів
Рецидивна	V^R змінює знак після первинного покращення	ліквідація вторинних каналів шоку
Часткова	$K^R < 1$ за завершеного горизонту	реструктуризація моделі діяльності
Трансформаційна	$K^R \geq 1$; пороги виконані; $H^R > 0$	консолідація нової конфігурації

Джерело: розроблено автором.

У мультипроєктному середовищі траєкторія підприємства залежить від того, які проєкти отримують дефіцитний капітал і ресурси. Рівномірне скорочення фінансування часто консервує надмірний обсяг незавершеного виробництва, розтягує строки та збільшує кумулятивний дефіцит. Натомість селективна підтримка проєктів з високою готовністю, значущістю для грошового потоку або системним впливом на спільні ресурси може швидше відновити критичні координати. Тому реконфігурацію портфеля пропонується формалізувати як максимізацію приросту економічної спроможності з одночасним штрафуванням хвостового ризику втрат і вартості інтервенцій (8):

$$\max_{\mathbf{x}\in[0,1]^n} \quad \Delta I_{t+1}^{EC}(\mathbf{x}) - \lambda \mathrm{CVaR}_\alpha[L(\mathbf{x})] - \mu C^{int}(\mathrm{x}),$$
$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^{n} x_i r_{ij} \leq R_j^{avail}\ \forall j, \qquad \sum_{i=1}^{n} x_i f_i \leq F^{avail}. \tag{8}$$

де x_i — інтенсивність підтримки i-го проєкту; r_{ij} — потреба проєкту в j-му дефіцитному ресурсі; f_i — фінансова потреба; R_j^{avail} і F^{avail} — доступні ліміти; CVaRα — очікуваний хвостовий збиток. Модель змінює логіку ранжування: пріоритет отримує не обов'язково проєкт з максимальним NPV, а той, чия підтримка дає найбільший маржинальний внесок у відновлення всієї системи з урахуванням зв'язаності, стадії готовності та ризику. Такий підхід розвиває положення про інтегровану реалізацію, цифрову координацію та мережеву якість взаємодій [6; 7; 11].

Практичний цикл управління має послідовність «сигнал → лімітуюча координата → канал трансмісії → портфельна інтервенція → повторна оцінка». Спочатку встановлюється координата, що вивела систему з Ω_{rec}; далі — проєкти та зв'язки, через які поширюється дефіцит; потім альтернативи порівнюються за зміною τ^R, G^R і CVaR. Відсутність позитивного зламу V^R або стійке $A^R \leq 0$ після інтервенції є ознакою того, що рішення не усуває першопричину. Важливим є повторний розрахунок усієї траєкторії, оскільки захід, спрямований на фінансову координату, може змінити ресурсні або портфельні обмеження, а отже — і оптимальну черговість наступних дій.

Ілюстративний сценарій (табл. 3) побудовано для ваг 0,25; 0,15; 0,20; 0,15; 0,15; 0,10 відповідно для F, R, O, P, M, S.

Таблиця 3. Ілюстративна динаміка активного сценарію

Період	I^{Ec}_t	Стан	Інтерпретація
t0	0,911	референтний	докризова конфігурація
t1	0,546	мінімум	каскадний дефіцит
t2	0,638	відновлення	позитивний VR, але поза Ωrec
t3	0,729	відновлення	зберігається критична координата
t4	0,812	нестійкий вхід	інтегральний поріг досягнуто, частковий ще ні
t5	0,884	стійке відновлення	усі пороги виконані
t6	0,946	трансформаційний стан	K^R=1,038

Джерело: розраховано автором.

До впливу інтегральний індекс становив 0,911, у точці мінімуму — 0,546; критичний інтегральний рівень прийнято на рівні 0,80, частковий поріг — 0,75. Активний сценарій включає реструктуризацію короткострокових виплат, концентрацію ресурсів на системно значущих проєктах, диверсифікацію постачання та синхронізацію календарно-фінансових даних. Значення мають модельний характер і призначені для демонстрації того, як одночасне врахування порогів, швидкості відновлення та накопиченого дефіциту змінює оцінку ефективності управлінської стратегії.

За сценарію D_s=0,401 стійкий вхід до Ωrec відбувається у t5. Кумулятивний дефіцит відносно I0 для активного шляху становить 0,946 індекс-періоду проти 1,470 у пасивному сценарії, тобто скорочується приблизно на 35,6 %. Кінцевий K^R=1,038. Отже, методика фіксує не лише факт надвідновлення, а й економічний виграш від скорочення часу та глибини дефіциту. До t4 інтегральний поріг уже досягнуто, однак часткове обмеження ще порушене, тому завершення відновлення на цьому етапі було б передчасним. У реальному застосуванні пороги, ваги та матриці A–G мають калібруватися на основі корпоративних даних, кредитних ковенантів, ресурсних нормативів і статистики портфеля.

Висновки та перспективи подальших розвідок

Розвинуто методичне трактування відновлення економічної спроможності підприємства будівельного девелопменту як стійкого переходу нелінійної мультипроєктної системи між обмеженими станами. Наукова новизна полягає у поєднанні: 1) нелінійної моделі стану, яка відображає інерцію, міжкомпонентні зв'язки, шоки та управлінські інтервенції; 2) некомпенсаторної області Ωrec із часовою умовою консолідації; 3) системи траєкторних інваріантів D_s, τ^R, G^R, V^R, A^R, K^R, H^R; 4) ризик-орієнтованої моделі портфельної реконфігурації. Запропонована архітектура дозволяє відрізняти швидке, відкладене, ступінчасте, рецидивне, часткове та трансформаційне відновлення й оцінювати не лише кінцевий стан, а й економічну вартість шляху до нього. Принципово важливим результатом є розмежування формального перетину інтегрального порогу та стійкого відновлення, для якого необхідне одночасне виконання часткових обмежень упродовж консолідаційного горизонту.

Практична цінність підходу полягає в можливості інтегрувати траєкторні показники в управлінську аналітику девелопера, пов'язати діагностичний сигнал із конкретним каналом трансмісії та оцінювати проєктні інтервенції за їх маржинальним внеском у скорочення τ^R, G^R і хвостового ризику. Це створює основу для селективного розподілу дефіцитних фінансових і ресурсних лімітів замість пропорційного скорочення всього портфеля.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на емпіричне оцінювання матриць взаємозв'язків, калібрування порогів Ω_{rec}, визначення тривалості горизонту консолідації та тестування прогнозної здатності моделі на панельних даних підприємств будівельного девелопменту.

Література

1. Фесун А., Кончаківський О., Степанюк Р., Рижакова Г., Федорова Я. Концептуально-аналітичні особливості забезпечення бізнес-стійкості підприємств у мультипроєктному середовищі будівельного девелопменту. *Будівельне виробництво.* 2024. № 77. С. 58–66. DOI: https://doi.org/10.36750/2524-2555.77.58-66.
2. Ревунов О., Рижакова Г., Малихіна О., Предун К., Приходько Д., Орленко І. Аналітичні інструменти діагностики систем менеджменту якості підприємств-стейкхолдерів будівельних проєктів. *Управління розвитком складних систем.* 2021. № 45. С. 161–169. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.45.161-169.
3. Хоменко О., Рижакова Г., Малихіна О., Петренко Г., Степанюк Р. Цільові пріоритети та формалізовані індикатори трансформації операційних систем стейкхолдерів у сфері будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2023. № 56. С. 173–180. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.173-180.
4. Аксельрод Р. Б., Шпаков А. В., Рижакова Г. М. Економіко-управлінські предиктори трансформації операційних систем будівельного девелопменту в умовах цифровізації економіки. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2021. № 12 (247). С. 113–121. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.6090221.
5. Кучеренко О., Рижакова Г., Чуприна Х., Шпакова Г., Кіщак Н., Веремєєв С. Науково-прикладні компоненти формування стратегії інституційно-орієнтованої диверсифікації діяльності будівельних підприємств. *Управління розвитком складних систем.* 2021. № 47. С. 109–118. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.47.109-118.
6. Рижакова Г., Кіщак Н., Хоменко О., Ротов О., Ніколаєва М., Веремєєва Т. Сучасний вектор оновлення будівельного девелопменту в контексті стратагем Integrated Project Delivery. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 49. С. 113–123. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.113-123.
7. Кричевська Ю., Рижакова Г., Шпаков А., Поколенко В., Приходько Д. Цифрова екосистема в будівельному девелопменті: концептуально-теоретичні аспекти трансформації та управлінські імперативи. *Управління розвитком складних систем*. 2024. № 60. С. 174–182. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.174-182.
8. Рижакова Г., Ніколайко Д., Легков В., Кривущенко С. Інституційно-організаційні та економічні детермінанти формування політики інвайронментальної безпеки в будівельній галузі. *Будівельне виробництво.* 2025. № 81. С. 39–50. DOI: https://doi.org/10.36750/2524-2555.81.39-50.
9. Сичов О., Фесун А., Рижакова Г., Чуприна Ю., Рубцова С., Дубина Н. Інвестиційне забезпечення цифрового будівництва в умовах післявоєнної відбудови України. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*. 2025. № 5(64). С. 384–396. DOI: https://doi.org/10.55643/fcaptp.5.64.2025.4867.
10. Ратніков Д., Фесун А., Рижакова Г., Хоменко О. FINTECH-рішення в координатах цифрової економіки: нові параметри економічної безпеки та стратегічні вектори розвитку підприємств. *Просторовий розвиток.* 2026. № 16. С. 591–601. DOI: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2026.16.591-601.
11. Trach R., Khomenko O., Trach Y., Kulikov O., Druzhynin M., Kishchak N., Ryzhakova G., Petrenko H., Prykhodko D., Obodianska O. Application of Fuzzy Logic and SNA Tools to Assessment of Communication Quality between Construction Project Participants. Sustainability. 2023. Vol. 15, No. 7. Art. 5653. DOI: https://doi.org/10.3390/su15075653.
12. Trach R., Chupryna I., Tormosov R., Leshchynsky V., Trach Y., Ryzhakova G., Ratnikov D., Onofriichuk O. Decision Support Framework for Post-War Infrastructure Revitalization Using a Hybrid Fuzzy–Simulation–ANN Model. *Applied Sciences.* 2026. Vol. 16, No. 9. Art. 4364. DOI: https://doi.org/10.3390/app16094364.
13. Trach R., Chupryna I., Tormosov R., Druzhynin M., Trach Y., Ryzhakova G., Ratnikov D. An Integrated Fuzzy Logic and Network Analysis Approach to Assessing Supply Chain Stability in Prefabricated Construction. *Sustainability*. 2026. Vol. 18, No. 3. Art. 1380. DOI: https://doi.org/10.3390/su18031380.
14. Хоменко О., Петренко Г., Рижакова Г., Петруха Н., Чуприна Ю., Малихіна О., Кушнір О. Сучасні інструменти та програмні продукти адміністрування будівельними організаціями в умовах трансформації операційних систем менеджменту. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 52. С. 113–125. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.113-125.
15. Гуцалюк О. М. Проблеми використання управлінських технологій промисловими підприємствами України. *Пріоритети розвитку підприємств у XXI столітті*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Кіровоград: КОД, 2011. Ч. І. С. 145-146.
16. Гуцалюк О. М. Методичний підхід до оцінювання технологічної зрілості підприємства. *Бізнес-інформ*. 2012. № 11. С. 200-204.
17. Гуцалюк О. М., Коцюрба О.Ю. Теоретичні підходи до визначення сутності фінансового забезпечення діяльності підприємств ЖКГ. *Бізнес Інформ*. 2015. № 3. С. 141-149.

18. Салига К. С., Гуцалюк О.М., Небаба Н.О. Формування інвестиційної привабливості та забезпечення економічної ефективності корпоративного інтеграційного об'єднання. *Ефективна економіка*. 2018. № 4. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7217
19. Бондар Ю. А., Єрошкін К. А. Теоретичні аспекти управління фінансовою діяльністю підприємства. *Причорноморські наукові студії.* 2020. Вип. 55. С. 83-87. https://doi.org/10.32843/bses.55-13.

References

1. Fesun, A., Konchakivskyi, O., Stepaniuk, R., Ryzhakova, H. and Fedorova, Ya. (2024) Kontseptualno-analitychni osoblyvosti zabezpechennia biznes-stiikosti pidpryiemstv u multyproiektnomu seredovyshchi budivelnoho developmentu [Conceptual and analytical features of ensuring business resilience of enterprises in a multi-project environment of construction development], *Budivelne vyrobnytstvo*, no. 77, pp. 58–66. https://doi.org/10.36750/2524-2555.77.58-66.
2. Revunov, O., Ryzhakova, H., Malykhina, O., Predun, K., Prykhodko, D. and Orlenko, I. (2021) Analitychni instrumenty diahnostyky system menedzhmentu yakosti pidpryiemstv-steikkholderiv budivelnykh proiektiv [Analytical tools for diagnosing quality management systems of stakeholder enterprises of construction projects], *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, no. 45, pp. 161–169. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.45.161-169.
3. Khomenko, O., Ryzhakova, H., Malykhina, O., Petrenko, H. and Stepaniuk, R. (2023) Tsilovi priorytety ta formalizovani indykatory transformatsii operatsiinykh system steikkholderiv budivnytstva [Target priorities and formalized indicators of transformation of construction stakeholders' operating systems], *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, no. 56, pp. 173–180. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.173-180.
4. Akselrod, R. B., Shpakov, A. V. and Ryzhakova, H. M. (2021) Ekonomiko-upravlinski predyktory transformatsii operatsiinykh system budivelnoho developmentu v umovakh tsyfrovizatsii ekonomiky [Economic and managerial predictors of the transformation of operational systems of construction development in the conditions of digitalization of the economy], *Formuvannia rynkovykh vidnosyn v Ukraini*, no. 12 (247), pp. 113–121. https://doi.org/10.5281/zenodo.6090221.
5. Kucherenko, O., Ryzhakova, H., Chupryna, Kh., Shpakova, H., Kishchak, N. and Veremieiev, S. (2021) Naukovo-prykladni komponenty formuvannia stratehii instytutsiino-oriientovanoi dyversyfikatsii diialnosti budivelnykh pidpryiemstv [Scientific and applied components of developing a strategy for institution-oriented diversification of construction enterprises' activities], *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, no. 47, pp. 109–118. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2021.47.109-118.
6. Ryzhakova, H., Kishchak, N., Khomenko, O., Rotov, O., Nikolaieva, M. and Veremieieva, T. (2022) Suchasnyi vektor onovlennia budivelnoho developmentu v konteksti stratahem Integrated Project Delivery [Modern vector of updating construction development in the context of Integrated Project Delivery stratagems], *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, no. 49, pp. 113–123. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.113-123.
7. Krychevska, Yu., Ryzhakova, H., Shpakov, A., Pokolenko, V. and Prykhodko, D. (2024) Tsyfrova ekosystema v budivelnomu developmenti: kontseptualno-teoretychni aspekty transformatsii ta upravlinski imperatyvy [Digital ecosystem in construction development: Conceptual and theoretical aspects of transformation and managerial imperatives], *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, no. 60, pp. 174–182. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.174-182.
8. Ryzhakova, H., Nikolayko, D., Lehkov, V. and Kryvushchenko, S. (2025) Instytutsiino-orhanizatsiini ta ekonomichni determinanty formuvannia polityky invaironmentalnoi bezpeky v budivelnii haluzi [Institutional-organizational and economic determinants of forming environmental safety policy in the construction industry], *Budivelne vyrobnytstvo*, no. 81, pp. 39–50. https://doi.org/10.36750/2524-2555.81.39-50.
9. Sychov, O., Fesun, A., Ryzhakova, H., Chupryna, Yu., Rubtsova, S. and Dubyna, N. (2025) Investytsiine zabezpechennia tsyfrovoho budivnytstva v umovakh pisliavoiennoi vidbudovy Ukrainy [Investment provision of digital construction in the context of post-war reconstruction of Ukraine], *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, no. 5 (64), pp. 384–396. https://doi.org/10.55643/fcaptp.5.64.2025.4867.
10. Ratnikov, D., Fesun, A., Ryzhakova, H. and Khomenko, O. (2026) FINTECH-rishennia v koordynatakh tsyfrovoi ekonomiky: novi parametry ekonomichnoi bezpeky ta stratehichni vektory rozvytku pidpryiemstv [FINTECH solutions in the coordinates of the digital economy: New parameters of economic security and strategic vectors of enterprise development], *Prostorovyi rozvytok*, no. 16, pp. 591–601. https://doi.org/10.32347/2786-7269.2026.16.591-601.
11. Trach, R., Khomenko, O., Trach, Y., Kulikov, O., Druzhynin, M., Kishchak, N., Ryzhakova, G., Petrenko, H., Prykhodko, D. and Obodianska, O. (2023) Application of Fuzzy Logic and SNA Tools to Assessment of Communication Quality between Construction Project Participants, *Sustainability*, vol. 15, no. 7, art. 5653. https://doi.org/10.3390/su15075653.
12. Trach, R., Chupryna, I., Tormosov, R., Leshchynsky, V., Trach, Y., Ryzhakova, G., Ratnikov, D. and Onofriichuk, O. (2026) Decision Support Framework for Post-War Infrastructure Revitalization Using a Hybrid Fuzzy–Simulation–ANN Model, *Applied Sciences*, vol. 16, no. 9, art. 4364. https://doi.org/10.3390/app16094364.
13. Trach, R., Chupryna, I., Tormosov, R., Druzhynin, M., Trach, Y., Ryzhakova, G. and Ratnikov, D. (2026) An Integrated Fuzzy Logic and Network Analysis Approach to Assessing Supply Chain Stability in Prefabricated Construction, *Sustainability*, vol. 18, no. 3, art. 1380. https://doi.org/10.3390/su18031380.
14. Khomenko, O., Petrenko, H., Ryzhakova, H., Petrukha, N., Chupryna, Yu., Malykhina, O. and Kushnir, O. (2022) Suchasni instrumenty ta prohramni produkty administruvannia budivelnymy orhanizatsiiamy v umovakh transformatsii operatsiinykh system menedzhmentu [Modern tools and software products of building organization administration in conditions of transformation of management operational systems], *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, no. 52, pp. 113–125. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.113-125.
15. Hutsaliuk, O. M. (2011) Problemy vykorystannia upravlinskykh tekhnolohii promyslovymy pidpryiemstvamy Ukrainy [Problems of using management technologies by industrial enterprises of Ukraine], in *Priorytety rozvytku pidpryiemstv u XXI stolitti: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* [Priorities of enterprise development in the 21st century: Materials of the International scientific and practical conference]. Kirovohrad: KOD, part 1, pp. 145–146.
16. Hutsaliuk, O. M. (2012) Metodychnyi pidkhid do otsiniuvannia tekhnolohichnoi zrilosti pidpryiemstva [Methodological approach to assessing the technological maturity of the enterprise], *Biznes Inform*, no. 11, pp. 200–204.
17. Hutsaliuk, O. M. and Kotsiurba, O. Yu. (2015) Teoretychni pidkhody do vyznachennia sutnosti finansovoho zabezpechennia diialnosti pidpryiemstv ZhKH [Theoretical approaches to determining the essence of financial support for housing and communal services enterprises], *Biznes Inform*, no. 3, pp. 141–149.
18. Salyha, K. S., Hutsaliuk, O. M. and Nebaba, N. O. (2018) Formuvannia investytsiinoi pryvablyvosti ta zabezpechennia ekonomichnoi efektyvnosti korporatyvnoho intehratsiinoho ob'iednannia [Formation of investment attractiveness and ensuring economic efficiency of a corporate integration association], *Efektyvna ekonomika*, no. 4. Available at: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7217.
19. Bondar, Yu. A. and Yeroshkin, K. A. (2020) Teoretychni aspekty upravlinnia finansovoiu diialnistiu pidpryiemstva [Theoretical aspects of managing financial activities of the enterprise], *Prychornomorski naukovi studii*, no. 55, pp. 83–87. https://doi.org/10.32843/bses.55-13.

Стаття надійшла до редакції / Received 28.07.2026 **Прийнята до друку / Accepted 09.08.2026**
Опубліковано/ Published 04.09.2026