УДК 005.8:330.322:004.9

Ковнір О. О.
amper2000@ukr.net, ORCID ID: 0009-0003-2181-7239
здобувач третього (освітньо-наукового) рівня,
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

АДАПТИВНЕ ЦИФРОВЕ УПРАВЛІННЯ ТРАЄКТОРІЄЮ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ ПІДПРИЄМСТВА

Анотація. *У статті розроблено методичний інструментарій адаптивного цифрового управління траєкторією реалізації інвестиційних проєктів підприємства, орієнтований на раннє виявлення критичних змін та економічне обґрунтування коригувальних рішень. Запропоновано авторську розробку Digital Project State-Space Model (DPSSM), яка відображає динаміку бюджетних, календарних, ресурсних, результативних і фінансових параметрів проєкту як взаємопов'язану систему змінних стану. Для прогнозування несприятливого розвитку траєкторії сформовано показник Project Trajectory Failure Probability (PTFP) із використанням дискретної hazard-функції та матриці нелінійних взаємодій факторів. Розрахунки для дванадцяти інвестиційних проєктів показали істотну диференціацію ймовірності критичного переходу залежно від конфігурації накопичених відхилень в межах поточного інвестиційного проекту. Для переведення прогнозованих порушень у вартісні показники розроблено Investment Project Loss Propagation Model (IPLPM). Модель враховує первинні та вторинні втрати, недоотримані грошові потоки, простої, каскадне поширення відхилень і часову вартість коштів. Встановлено, що для окремих проєктів каскадна складова формує понад дві третини сукупних економічних втрат. Для вибору управлінської реакції сформовано оптимізаційну модель, яка поєднує витрати втручання, залишкові втрати, ресурсні обмеження та CVaR. Авторський показник Optimal Digital Intervention Point (ODIP) визначає момент застосування коригувальної дії за мінімумом приведеної очікуваної вартості. Для кінцевого оцінювання результату запропоновано Risk-Adjusted Adaptive Digital Management Value (RADMV), що враховує економічний ефект переходу від траєкторії AS-IS до TO-BE та скорочення хвостового ризику. Розроблений інструментарій формує послідовний цифровий цикл управління: оцінювання стану, прогнозування критичного переходу, монетизація каскадних втрат, оптимізація управлінської реакції та рекурсивне коригування проєктної траєкторії в межах ведення інвестиційбої діяльності підприємством.*

Ключові слова: інвестиційний проєкт, цифрове управління, проєктна траєкторія, каскадні втрати, оптимізація управлінських рішень, ризик-скоригована вартість.

Kovnir Oleg
amper2000@ukr.net, ORCID ID: 0009-0003-2181-7239
Postgraduate, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

ADAPTIVE DIGITAL MANAGEMENT OF ENTERPRISE INVESTMENT PROJECT IMPLEMENTATION TRAJECTORIES

Abstract. *The article develops a methodological framework for adaptive digital management of enterprise investment project implementation trajectories, focused on the early detection of critical changes and the economic substantiation of corrective decisions. An original Digital Project State-Space Model (DPSSM) is proposed, which represents the dynamics of project budget, schedule, resource, performance, and financial parameters as an interconnected system of state variables. To*

© Ковнір О. О., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

forecast adverse trajectory developments, the Project Trajectory Failure Probability (PTFP) indicator is introduced using a discrete hazard function and a matrix of nonlinear factor interactions. Calculations for twelve investment projects revealed substantial differentiation in the probability of transition to a critical state depending on the configuration of accumulated deviations within a current investment project. The Investment Project Loss Propagation Model (IPLPM) is developed to convert forecasted deviations into monetary estimates. The model incorporates primary and secondary losses, foregone cash flows, downtime costs, cascading propagation of deviations, and the time value of money. The results indicate that, for individual projects, the cascading component accounts for more than two-thirds of total economic losses. An optimization model integrating intervention costs, residual losses, resource constraints, and CVaR is constructed to support the selection of managerial responses. The original Optimal Digital Intervention Point (ODIP) indicator determines the economically justified timing of corrective action by minimizing the present expected cost. For the final assessment, the Risk-Adjusted Adaptive Digital Management Value (RADMV) is proposed, incorporating both the economic effect of transition from the AS-IS trajectory to the TO-BE trajectory and the reduction in tail risk. The developed methodological framework establishes a consistent digital management cycle comprising state assessment, critical-transition forecasting, monetization of cascading losses, optimization of managerial responses, and recursive adjustment of project trajectories throughout the enterprise's investment activities.

Keywords: investment project, digital management, project trajectory, cascading losses, managerial decision optimization, risk-adjusted value.

JEL Classification: C61, G31, M15, O22
DOI: https://doi.org/10.32782/2522-1256-2026-50-9

Постановка проблеми. Цифровізація процесів управління інвестиційними проєктами підприємства суттєво підвищує швидкість отримання інформації, однак не усуває повністю ризикованості несвоєчасного ухвалення управлінських рішень. Відхилення за показниками вартості, дотримання термінів, ресурсного забезпечення та грошових потоків зазвичай виникають поступово, маючи здатність поширюватися між пов'язаними етапами робіт. Традиційні методи контролю переважно фіксують уже реалізовані негативні наслідки, не приділяючи належної уваги динаміці зміни проєктної траєкторії. Зазначена ситуація зумовлює потребу в розробці цифрового механізму для прогнозування критичних переходів, оцінювання каскадних економічних втрат та обґрунтування оптимального моменту коригувального втручання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій праці С. Стоїк, О. Веріт та В. Мацуки [7] розкрито ключові напрями діджиталізації проєктного управління та її безпосередній зв'язок з інвестиційними процесами. Автори акцентують увагу на трансформації управлінських процедур під впливом цифрових технологій. Водночас у зазначеному дослідженні недостатньо висвітлено механізм адаптивного коригування траєкторії реалізації окремого інвестиційного проєкту. У роботі Ю. Микитюка та І. Труша [6] запропоновано підходи до розвитку корпоративного управління портфелем інноваційно-інвестиційних проєктів. Б. Актюрк та П. Ірлайиджи Чакмак [8] досліджують особливості використання цифрових двійників для вдосконалення проєктного менеджменту. Авторський підхід орієнтований переважно на цифрове відтворення параметрів проєкту, однак він не охоплює економічну оцінку оптимального моменту коригувального втручання. С. Кудиба та А. Д. Круз [9] пов'язують підсумкову результативність проєктів із якістю аналітичної підтримки процесів ухвалення управлінських рішень. Разом із тим невирішеним залишається питання кількісного прогнозування переходу проєкту до критичного стану.

Ю. Лі та співавтори [11] систематизують напрями практичного застосування штучного інтелекту в проєктному менеджменті. Водночас економічна оцінка каскадного поширення проєктних відхилень потребує подальшого методологічного розвитку. Р. Курніаван та ін. [10] аналізують вплив цифрового лідерства на ефективність гнучкого проєктного менеджменту. Однак динамічна оптимізація коригувальних рішень залишається поза предметом їхнього наукового пошуку. О. Бєлєнкова,

О. Галунка та О. Мацапура [2] формалізують інструментарій трансформації систем управління учасниками інвестиційних проєктів. Натомість розвитку потребує розрахункова модель вибору оптимальної цифрової управлінської реакції. Т. Занг [14] розкриває значний потенціал блокчейн-технологій для забезпечення цифрового контролю проєктних операцій. Утім, сама по собі технологічна прозорість не визначає економічно доцільний момент для коригувального втручання. Окреслена сукупність обмежень обґрунтовує доцільність дослідження адаптивного цифрового управління траєкторією інвестиційного проєкту з прогнозуванням критичних переходів, каскадних втрат і оптимального моменту коригування.

Постановка завдання. Мета статті – розробка адаптивного цифрового механізму управління траєкторією реалізації інвестиційних проєктів підприємства.

Виклад основного матеріалу дослідження. Практична проблема цифрового управління виникає задовго до фактичного перевищення бюджету або остаточного порушення календарного плану. Проєкт поступово накопичує локальні відхилення, частина яких взаємно посилюється протягом наступних операційних циклів [5, с. 58]. Тому фіксація вже сформованого відхилення має обмежену управлінську цінність. Потрібно оцінювати напрям зміни проєктної траєкторії. Для цього пропонується вводити інструментарій Digital Project State-Space Model (DPSSM), яка описує інвестиційний проєкт як динамічну систему зі змінним внутрішнім станом. Цифровий контур отримує фактичні дані щодо вартості, строків, ресурсів, результатів, грошових потоків та критичних операцій [1]. Вектор стану формується через вираз:

$$\mathbf{x}_{i,t+1} = \mathbf{A}_{i,t}\mathbf{x}_{i,t} + \mathbf{B}_{i,t}\mathbf{u}_{i,t} + \mathbf{G}_{i,t}\mathbf{z}_{i,t} + \boldsymbol{\varepsilon}_{i,t} \qquad (1)$$

де:

$c_{i,t}$ – нормоване накопичене бюджетне відхилення i-го проєкту в періоді t;

$\tau_{i,t}$ – нормоване відхилення від календарного графіка;

$r_{i,t}$ – дефіцит критичних ресурсів;

$q_{i,t}$ – відхилення фактичного результату від цільового;

$f_{i,t}$ – прогнозний дефіцит грошового потоку;

$s_{i,t}$ – нестабільність виконання операцій критичного шляху;

i – номер інвестиційного проєкту;

t – контрольний період.

Перехід проєкту між двома послідовними станами визначаємо не лише накопиченими відхиленнями. До рівняння вводяться управлінські рішення та зовнішні збурення. Поточний стан стає одночасно результатом попередньої траєкторії та початковою умовою наступного циклу:

$$\mathbf{x}_{i,t+1} = \mathbf{A}_{i,t}\mathbf{x}_{i,t} + \mathbf{B}_{i,t}\mathbf{u}_{i,t} + \mathbf{G}_{i,t}\mathbf{z}_{i,t} + \boldsymbol{\varepsilon}_{i,t} \qquad (2)$$

де:

$A_{i,t}$ – матриця внутрішньої передачі проєктних відхилень;

$B_{i,t}$ – матриця реакції стану на управлінські дії;

$u_{i,t}$ – вектор цифрових коригувальних рішень;

$G_{i,t}$ – матриця чутливості до зовнішніх збурень;

$z_{i,t}$ – вектор зовнішніх факторів;

$\varepsilon_{i,t}$ – вектор неврахованих випадкових збурень.

Фактичні цифрові дані не тотожні внутрішньому стану проєкту. Наприклад, зафіксоване відставання робіт ще не показує майбутню затримку введення активу. Тому спостережувані параметри та оцінений стан розмежовуються:

$$\mathbf{y}_{i,t} = \mathbf{H}_{i,t}\mathbf{x}_{i,t} + \boldsymbol{v}_{i,t} \qquad (3)$$

де:

$y_{i,t}$ – вектор цифрових спостережень;

$H_{i,t}$ – матриця зв'язку спостережень із внутрішнім станом;

$v_{i,t}$ – похибка цифрового вимірювання.

Розрахункову апробацію проведено для дванадцяти інвестиційних проєктів із різними бюджетами та календарними параметрами. Початковий зріз сформовано на контрольній точці, де вже накопичена достатня цифрова історія (табл. 1).

Параметри IP-03 та IP-11 вже формують несприятливу комбінацію відхилень. Тут одночасно зростають ресурсний дефіцит, cash-flow gap та порушення критичного шляху. У IP-10 картина інша, бо фактична вартість перевищує освоєний обсяг незначно, а календарне відхилення становить два дні. Поточне відхилення ще не визначає критичність стану. Два проєкти з однаковою затримкою можуть мати різну ймовірність подальшого зриву через структуру ресурсних і фінансових обмежень [3]. Тому наступний розрахунковий блок оцінює майбутній перехід до критичного стану. Для цього запропоновано показник

Таблиця 1

Цифрова матриця контрольованих станів інвестиційних проєктів підприємства

№ з/п	Проєкт	PV, млн грн.	EV, млн грн.	AC, млн грн.	ΔT, днів	Дефіцит ресурсів, %	Cash-flow gap, млн грн.	Risk exposure, млн грн.	Відхилення критичного шляху, %
1	IP-01	18,4	17,2	19,1	8	4,8	1,3	2,7	5,2
2	IP-02	25,7	24,9	26,2	5	3,1	0,9	2,2	3,7
3	IP-03	14,6	12,8	15,9	17	8,7	2,4	3,8	11,6
4	IP-04	31,2	30,7	31,8	4	2,6	0,7	2,1	3,0
5	IP-05	21,9	20,1	23,0	13	6,9	1,8	3,2	8,9
6	IP-06	38,5	38,1	38,9	3	2,1	0,5	1,8	2,4
7	IP-07	17,8	16,2	18,7	11	6,2	1,6	2,9	7,4
8	IP-08	29,4	28,7	30,1	6	3,7	1,0	2,4	4,2
9	IP-09	23,6	22,5	24,4	9	5,3	1,4	2,8	6,1
10	IP-10	42,8	42,5	43,1	2	1,8	0,4	1,6	1,9
11	IP-11	27,3	25,2	28,8	15	7,5	2,1	3,5	10,2
12	IP-12	34,1	33,0	35,0	7	4,4	1,2	2,6	5,1

Джерело: розроблено автором

Project Trajectory Failure Probability (PTFP). Його значення визначається через дискретну hazard-функцію з нелінійними взаємодіями факторів:

$$h_{i,t} = 1 - \exp\{-\exp[\alpha_t + \beta^T \hat{\mathbf{x}}_{i,t} + \gamma^T \Delta\hat{\mathbf{x}}_{i,t} + \hat{\mathbf{x}}^T_{i,t} \boldsymbol{\Omega}\, \hat{\mathbf{x}}_{i,t}]\} \quad (4)$$

де:

$h_{i,t}$ – умовна ймовірність переходу до критичного стану;

α_t – базова інтенсивність переходу для періоду t;

β – вектор параметрів поточного стану;

γ – вектор параметрів швидкості зміни стану;

$\Delta\hat{x}_{i,t}$ – приріст параметрів стану;

$\boldsymbol{\Omega}$ – матриця нелінійних і перехресних ефектів.

Матриця Ω фіксує ситуації, коли спільна дія двох відхилень перевищує суму їх ізольованих ефектів. Наприклад, затримка критичного шляху за достатнього фінансування може залишатися контрольованою [12, с. 35]. Прогноз на декілька контрольних періодів формується через накопичену ймовірність:

$$PTFP_{i,t}^{(h)} = 1 - \prod_{k=1}^{h} \left(1 - \hat{h}_{i,t+k}\right) \quad (5)$$

де:

$PTFP_{i,t}^{(h)}$ – ймовірність критичного переходу протягом горизонту h;

h – горизонт прогнозування;

$h\hat{}_{i,t+k}$ – прогнозна умовна ймовірність у майбутньому періоді.

Результати для горизонтів один, три та шість контрольних періодів наведено в табл. 2.

IP-03 має PTFP 0,64 вже на трьохперіодному горизонті. Для IP-06 аналогічне значення становить лише 0,14. Різниця виникає не через один показник, а через конфігурацію стану та швидкість накопичення відхилень. Економічний поріг π_i^* визначається мінімізацією функції втрат:

$$\pi_i^* = \arg\min_{\pi \in (0,1)} \left[C_i^{FP} P_i(FP|\pi) + C_i^{FN} P_i(FN|\pi) + \sum_{k=1}^{h} \frac{C_{i,k}^{D} P_i(D_k|\pi)}{(1+r_i)^k} \right] \quad (6)$$

де:

C_i^{FP} – вартість помилкового позитивного сигналу;

C_i^{FN} – вартість пропущеного критичного переходу;

$C_{i,k}^{D}$ – втрати від затримки втручання на k періодів;

$P_i(FP|\pi)$ – ймовірність помилкового сигналу;

$P_i(FN|\pi)$ – ймовірність пропущеного сигналу;

$P_i(Dk|\pi)$ – ймовірність затримки управлінської реакції;

r_i – ставка дисконтування.

В цій інтерпретації цифровий сигнал отримує економічний зміст. Його поріг залежить від ціни управлінської помилки, а не від довільно прийнятої шкали. Виявлення критичної траєкторії ще не показує економічну ціну бездіяль-

Таблиця 2

Прогнозні параметри цифрового попередження про критичну зміну проєктної траєкторії

№ з/п	Проєкт	*PTFP t+1*	*PTFP t+3*	*PTFP t+6*	*π**	*t warn*	Горизонт попередження, періодів	Втрати без втручання, млн грн.
1	IP-01	0,16	0,31	0,48	0,46	6	3	4,2
2	IP-02	0,11	0,22	0,35	0,44	8	2	3,1
3	IP-03	0,38	0,64	0,82	0,43	4	5	8,7
4	IP-04	0,08	0,17	0,28	0,47	10	2	2,4
5	IP-05	0,29	0,51	0,71	0,45	5	4	6,5
6	IP-06	0,06	0,14	0,23	0,49	11	2	2,0
7	IP-07	0,24	0,44	0,63	0,44	6	4	5,7
8	IP-08	0,12	0,25	0,39	0,46	8	3	3,4
9	IP-09	0,20	0,38	0,57	0,45	7	3	4,9
10	IP-10	0,05	0,11	0,19	0,50	12	2	1,6
11	IP-11	0,34	0,59	0,79	0,42	4	5	7,9
12	IP-12	0,15	0,29	0,46	0,46	7	3	4,0

Джерело: розроблено автором

ності. Первинне відхилення часто передається між взаємопов'язаними роботами [4]. Цей ефект досить буде помітний для операцій критичного шляху. Запропонована Investment Project Loss Propagation Model (IPLPM) відокремлює прямі втрати від каскадних. Для одного контрольного періоду повний вектор втрат визначається через системний мультиплікатор:

$$\mathbf{L}_{i,t} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{i,t})^{-1}\,\mathbf{d}_{i,t} = [\mathbf{I} + \mathbf{A}_{i,t} + \mathbf{A}^2_{i,t} + ...]\,\mathbf{d}_{i,t} \quad (7)$$

де:

$L_{i,t}$ – вектор повних економічних втрат;

I – одинична матриця;

$A_{i,t}$ – матриця передачі відхилень між роботами;

$d_{i,t}$ – вектор первинних втрат;

$A_{i,tk}$ – каскад k-го порядку.

Але статичний мультиплікатор недостатній. Втрати різних періодів мають різну приведену вартість, а затримка введення активу створює окремий потік недоотриманих надходжень:

$$L_i^{TOT} = \sum_{\tau=t}^{T} \frac{\mathbf{v}_{i,\tau}^{T}\left[\sum_{k=0}^{K}\mathbf{A}_{i,\tau}^{k}\mathbf{d}_{i,\tau}\right] + \Delta CF_{i,\tau} + C_{i,\tau}^{idle}}{(1+r_i)^{\tau-t}} \quad (8)$$

де:

L_i^{TOT} – приведені повні втрати проєкту;

$v_{i,\tau}$ – вектор вартісних коефіцієнтів;

K – максимальний порядок каскадного поширення;

$\Delta CF_{i,\tau}$ – недоотриманий грошовий потік;

$C_{i,\tau}^{idle}$ – вартість простоїв;

T – кінцевий період проєкту.

Розрахункова структура втрат демонструє помітну різницю між первинною проблемою та її кінцевою економічною ціною (табл. 3).

Для IP-03 первинні втрати становлять 2,64 млн грн., тоді як повні досягають 8,70 млн грн. Майже 70 % економічного результату формується вже після первинного відхилення. Після визначення прогнозних втрат цифровий контур переходить до вибору коригувальної дії. Однаковий сигнал PTFP не передбачає однакової реакції.

Для кожної проблемної траєкторії формується множина $U_i=\{u_1,...,u_m\}$. До неї включаються прискорення критичних робіт, ресурсне підсилення, заміна постачальника, бюджетний перерозподіл, резервування ресурсів та перебудова календарної мережі [10, с. 770]. Цільова функція враховує середні втрати та несприятливий хвіст їх розподілу:

$$\min_{\mathbf{u}_i} J_i = E\left[L_i^{TOT}(\mathbf{u}_i) + C_i^{INT}(\mathbf{u}_i)\right] + \\ + \lambda_i CVaR_\alpha\left[L_i^{TOT}(\mathbf{u}_i)\right] + \eta_i T_i^{delay}(\mathbf{u}_i) \quad (9)$$

за обмежень:

$$\sum_{j=1}^{m} c_{ij}u_{ij} \le B_i^{corr},\ \ \sum_{j=1}^{m} r_{ij}u_{ij} \le R_i^{avail},\ u_{ij} \in \{0,1\} \quad (10)$$

де:

J_i – цільова функція адаптивного управління;

C_i^{INT} – витрати управлінського втручання;

$CVaR_\alpha$ – умовні очікувані втрати у хвості розподілу;

Таблиця 3

Декомпозиція каскадних економічних втрат за цифровими траєкторіями інвестиційних проєктів

№ з/п	Проєкт	Первинні втрати, млн грн.	Вторинні втрати, млн грн.	Втрати cash flow, млн грн.	Простої, млн грн.	Системний мультиплікатор	$L^{тот}$, млн грн.	Каскадна частка, %
1	IP-01	1,52	0,81	1,34	0,53	1,53	4,20	63,8
2	IP-02	1,31	0,52	0,91	0,36	1,39	3,10	57,7
3	IP-03	2,64	2,01	2,93	1,12	1,76	8,70	69,7
4	IP-04	1,12	0,37	0,64	0,27	1,31	2,40	53,3
5	IP-05	2,18	1,37	2,11	0,84	1,63	6,50	66,5
6	IP-06	0,98	0,28	0,53	0,21	1,29	2,00	51,0
7	IP-07	1,96	1,13	1,87	0,74	1,58	5,70	65,6
8	IP-08	1,39	0,59	1,01	0,41	1,42	3,40	59,1
9	IP-09	1,71	0,91	1,68	0,60	1,53	4,90	65,1
10	IP-10	0,81	0,19	0,44	0,16	1,23	1,60	49,4
11	IP-11	2,51	1,79	2,61	0,99	1,71	7,90	68,2
12	IP-12	1,48	0,74	1,29	0,49	1,50	4,00	63,0

Джерело: розроблено автором

λ_i – коефіцієнт ризикової чутливості;
η_i – вартісна оцінка календарної затримки;
B_i^{corr} – доступний коригувальний бюджет;
R_i^{avail} – доступний ресурс;
u_{ij} – бінарна змінна вибору рішення.

Числові параметри альтернатив для одного критичного проєкту наведено в таблиці 4.

Найбільше скорочення втрат забезпечує комбінація трьох дій, але вона потребує 2,71 млн грн. Варіант 3+6 формує менший абсолютний ефект, зате потребує на 0,95 млн грн. менше ресурсів. Навіть правильно обрана дія втрачає частину ефекту при несвоєчасному застосуванні. Раннє втру-

Таблиця 4

Розрахункова матриця цифрових альтернатив коригування критичної траєкторії проєкту IP-03

№ з/п	Управлінська дія	Витрати, млн грн.	ΔT, днів	Скорочення втрат, млн грн.	*P* (успіх)	*CVaR*, млн грн.	Ресурсне навантаження, %	Чистий ефект, млн грн.
1	Прискорення критичних робіт	1,15	11	3,12	0,78	4,31	12,4	1,97
2	Додаткові трудові ресурси	0,84	8	2,21	0,74	4,86	16,8	1,37
3	Заміна постачальника	1,32	14	3,65	0,81	3,92	7,3	2,33
4	Перерозподіл бюджету	0,46	5	1,43	0,69	5,31	4,2	0,97
5	Резервування обладнання	0,73	7	1,96	0,76	4,72	6,5	1,23
6	Перебудова календарної мережі	0,58	9	2,34	0,79	4,40	5,1	1,76
7	Прискорена логістика	0,67	6	1,88	0,75	4,79	3,9	1,21
8	Паралелізація робіт	1,08	12	3,08	0,77	4,18	14,6	2,00
9	Додатковий фінансовий резерв	0,52	4	1,31	0,68	5,46	2,7	0,79
10	Цифрова перебудова контролю	0,61	6	1,79	0,82	4,51	3,2	1,18
11	Комбінація 3+6	1,76	19	5,24	0,86	2,91	11,8	3,48
12	Комбінація 1+3+6	2,71	26	6,83	0,91	1,84	23,6	4,12

Джерело: розроблено автором

чання витрачає ресурси до підтвердження несприятливої траєкторії. Запізнілe рішення стикається з уже накопиченим каскадом [13]. Для визначення моменту реакції запропоновано Optimal Digital Intervention Point (ODIP). У кожній контрольній точці розраховується приведена вартість втручання, залишкових втрат та ризику:

$$V_i(\tau) = E\left[C_i^{INT}(\tau) + L_i^{RES}(\tau) + L_i^{OPP}(\tau)\right] + \lambda_i CVaR_\alpha\left[L_i(\tau)\right] \quad (11)$$

де:

$V_i(\tau)$ – сукупна очікувана вартість рішення в момент τ;

L_i^{RES} – залишкові втрати після втручання;

L_i^{OPP} – втрачений результат через момент втручання;

τ – альтернативна контрольна точка.

Оптимальний момент визначається:

$$ODIP_i = \arg\min_{\tau\in[t,T]} V_i(\tau) \quad (12)$$

Але проблема в тому, що після втручання стан знову змінюється. Через це одноразова оптимізація швидко застаріває. Рішення потребує рекурсивного перерахунку після надходження нових цифрових даних. Для цього використовується рівняння адаптивної вартості:

$$V_t(\mathbf{x}_t) = \min_{\mathbf{u}_t\in\mathcal{U}_t}\left\{C_t(\mathbf{x}_t,\mathbf{u}_t) + \delta E_t\left[V_{t+1}\left(\mathbf{A}_t\mathbf{x}_t + \mathbf{B}_t\mathbf{u}_t + \mathbf{G}_t\zeta_{t+1}\right)\right]\right\} \quad (13)$$

де:

$V_t(x_t)$ – мінімальна очікувана майбутня вартість;

U_t – допустима множина управлінських дій;

C_t – поточні витрати рішення та відхилення;

δ – коефіцієнт міжчасового приведення;

ξ_{t+1} – випадковий майбутній шок.

Для IP-03 мінімум сукупної очікуваної вартості формується в шостому контрольному періоді (табл. 5).

На шостому періоді *V(t)* досягає 4,39 млн грн. Раніше втручання коштує дорожче через недостатньо підтверджений ризик. Після шостого періоду швидко зростають залишкові втрати. Тому для цієї траєкторії ODIP=6. Фінальний етап зіставляє траєкторію без коригування з траєкторією після оптимального втручання. AS-IS тут означає продовження виявленої динаміки за відсутності нового управлінського рішення. TO-BE формується після застосування оптимального пакета дій у точці ODIP. Різницю між двома траєкторіями вимірюємо через Adaptive Digital Management Value (ADMV):

$$ADMV_i = \sum_{t=ODIP_i}^{T} \frac{L_{i,t}^{AS-IS} - L_{i,t}^{TO-BE} - C_{i,t}^{INT}}{(1+r_i)^{t-ODIP_i}} \quad (14)$$

де:

$ADMV_i$ – збережена економічна вартість завдяки адаптивному управлінню;

$L_{i,t}^{AS-IS}$ – втрати без коригування;

$L_{i,t}^{TO-BE}$ – залишкові втрати після коригування;

$C_{i,t}^{INT}$ – витрати адаптивного втручання.

Однак два рішення з однаковим ADMV можуть формувати різні хвостові ризики. Тому, або якщо бути більш точним, фінальну оцінку потрібно скоригувати на зміну *CVaR*:

Таблиця 5

Визначення оптимального моменту цифрового втручання в траєкторію проєкту IP-03

№ з/п	Період *t*	*PTFP*	Втрати без втручання, млн грн.	Вартість втручання, млн грн.	Залишкові втрати, млн грн.	*CVaR*, млн грн.	*V(t)*, млн грн.	Δ*NPV*, млн грн.
1	2	0,24	3,10	3,42	0,84	1,43	5,12	1,26
2	3	0,31	3,68	3,19	0,92	1,56	4,91	1,74
3	4	0,38	4,31	2,96	1,03	1,69	4,68	2,23
4	5	0,47	5,02	2,79	1,17	1,82	4,51	2,71
5	6	0,56	5,84	2,71	1,31	1,84	4,39	3,13
6	7	0,64	6,61	2,68	1,58	2,07	4,57	3,04
7	8	0,71	7,22	2,65	1,91	2,39	4,91	2,73
8	9	0,77	7,74	2,62	2,28	2,76	5,33	2,31
9	10	0,82	8,17	2,58	2,71	3,12	5,79	1,86
10	11	0,86	8,49	2,55	3,16	3,47	6,28	1,39
11	12	0,89	8,70	2,52	3,58	3,81	6,71	0,96

Джерело: розроблено автором

Таблиця 6

Ризик-скоригована економічна цінність перебудови траєкторій інвестиційних проєктів

№ з/п	Проєкт	*Loss AS-IS*, млн грн.	ODIP	Витрати втручання, млн грн.	*Loss TO-BE*, млн грн.	Δ*CVaR*, млн грн.	Скорочення строку, днів	Δ*NPV*, млн грн.	*RADMV*, млн грн.
1	IP-01	4,20	6	1,42	1,37	1,12	9	2,16	1,73
2	IP-02	3,10	8	1,08	1,14	0,83	6	1,54	1,18
3	IP-03	8,70	6	2,71	1,31	3,27	26	5,12	5,41
4	IP-04	2,40	10	0,86	0,93	0,61	5	1,17	0,91
5	IP-05	6,50	6	2,08	1,46	2,38	18	3,86	3,72
6	IP-06	2,00	11	0,72	0,81	0,48	4	0,94	0,72
7	IP-07	5,70	7	1,84	1,39	1,97	15	3,21	3,09
8	IP-08	3,40	8	1,16	1,18	0,91	7	1,72	1,36
9	IP-09	4,90	7	1,57	1,33	1,54	12	2,63	2,35
10	IP-10	1,60	12	0,58	0,69	0,37	3	0,71	0,53
11	IP-11	7,90	5	2,43	1,42	2,91	23	4,68	4,79
12	IP-12	4,00	7	1,35	1,26	1,08	9	2,04	1,67

Джерело: розроблено автором

$$RADMV_i = ADMV_i + \\ + \psi_i \left(CVaR_{\alpha,i}^{AS-IS} - CVaR_{\alpha,i}^{TO-BE} \right) \qquad (15)$$

де:

$RADMV_i$ – ризик-скоригована цінність адаптивного цифрового управління;

ψ_i – грошова оцінка одиниці скорочення хвостового ризику;

$CVaR_{\alpha,i}^{AS-IS}$ – хвостовий ризик початкової траєкторії;

$CVaR_{\alpha,i}^{TO-BE}$ – хвостовий ризик скоригованої траєкторії.

Підсумкові розрахунки для дванадцяти проєктів наведено в таблиці 6.

Найбільший RADMV сформовано для IP-03, де поєднання раннього сигналу, високих каскадних втрат та оптимального втручання створює 5,41 млн грн. ризик-скоригованої вартості. Для IP-10 відповідний результат становить лише 0,53 млн грн. Його низьке значення пов'язане зі стабільною вихідною траєкторією та малою вартістю потенційного відхилення. Дані спочатку коригують оцінку внутрішнього стану через DPSSM. Далі PTFP прогнозує критичний перехід, а IPLPM переводить майбутнє відхилення у приведені економічні втрати. Після цього оптимізаційний модуль обирає пакет коригувальних дій і визначає ODIP.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Розроблено адаптивну модель цифрового управління траєкторією реалізації інвестиційного проєкту, яка поєднує процедури рекурсивного оцінювання стану, прогнозування критичних переходів та кількісне визначення каскадних економічних втрат. Запропонований показник PTFP характеризує ймовірність переходу проєкту до критичного стану на визначеному часовому горизонті. Водночас розроблена модель IPLPM враховує механізми передачі первинних відхилень між взаємопов'язаними роботами, втрати грошових потоків, вимушені простої та чинник часової вартості коштів.

Запропоновано оптимізаційний механізм вибору коригувальних управлінських дій з урахуванням їхньої сукупної вартості, наявних ресурсних обмежень, залишкових втрат і значення показника CVaR. Сформований показник ODIP визначає економічно обґрунтований момент цифрового втручання у проєктну траєкторію. Для підсумкового оцінювання результату введено показник RADMV, який вимірює ризик-скориговану економічну цінність переходу від початкової траєкторії AS-IS до адаптивної конфігурації пари TO-BE.

ЛІТЕРАТУРА

1. Білоусова О. С. Інструментарій оцінки інвестиційної привабливості інноваційних проектів розвитку стратегічних видів промислової діяльності. *Економіка та суспільство.* 2023. № 57. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-57-2

2. Бєлєнкова О., Галунка О., Мацапура О. Цільові пріоритети та формалізований інстру-

ментарій трансформації системи управління інноваційним розвитком учасників інвестиційних проєктів та програм. *Економіка та суспільство.* 2025. № 71. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-71-130

3. Добровольський А. Пріоритизація інвестиційних проєктів відбудови соціальної інфраструктури України в умовах фінансових обмежень. *Економіка та суспільство.* 2026. № 84. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-84-7

4. Комчатних О., Сербенюк Д. Специфіка формування та реалізації радикальних і інкрементних інноваційних проєктів. *Економіка та суспільство.* 2026. № 83. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-83-138.

5. Македон В.В, Михайленко О.Г. Управління внутрішніми інвестиційними проектами в регіональному промисловому кластері підприємств. *Підприємництво та інновації.* 2022. (25). С. 56–63. DOI: https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9

6. Микитюк Ю., Труш І. Розвиток корпоративної системи управління портфелем інноваційно-інвестиційних проєктів. *Економічний аналіз.* 2024. Т. 34. № 4. С. 411–420. DOI: https://doi.org/10.35774/econa2024.04.411

7. Стоїк С., Веріт О., Мацука В. Діджиталізація управління проєктами і вплив на світову економіку та інвестиції. *Вчені записки.* 2025. № 39 (2). DOI: https://doi.org/10.33111/vz_kneu.39.25.02.04.026.032

8. Aktürk B., Irlayıcı Çakmak P. Digital twins for enhanced construction project management. *Smart and Sustainable Built Environment.* 2025. Vol. 14. No 7. pp. 2176–2200. DOI: https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2024-0082

9. Kudyba S., Cruz A. D. Understanding project success involving analytic-based decision support in the digital era: a focus on IC and agile project management. *Journal of Intellectual Capital.* 2023. Vol. 24. No 6. pp. 1429–1446. DOI: https://doi.org/10.1108/JIC-03-2022-0054**.**

10.Kurniawan R., Budiastuti D., Hamsal M., Kosasih W. The Analysis of Digital Leadership, Organizational Influence and PM Method to Agile PM Effectiveness: An Indonesian Context. *Procedia Computer Science.* 2025. Vol. 263. pp. 767–774. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.07.092

11.Li Y. et al. Impact of artificial intelligence on project management (PM): Multi-expert perspectives on advancing knowledge and driving innovation toward PM2030. *Journal of Innovation & Knowledge.* 2025. Vol. 10. No 5. Art. 100772. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jik.2025.100772

12.Makedon V., Koptilyi D. Digital transformation and artificial intelligence as factors in the economic recovery of enterprises following armed conflicts. *Economics, Entrepreneurship, Management.* 2025. Vol. 12. No. 1. p. 33–48. https://doi.org/10.56318/eem2025.01.033

13.Makedon V., Myachin V., Aloshyna T., Cherniavska I., Karavan N. Improving the Readiness of Enterprises to Develop Sustainable Innovation Strategies through Fuzzy Logic Models. *Economic Studies (Ikonomicheski Izsledvania).* 2025. Vol. 34. № 5. P. 165–179. URL: https://archive.econ-studies.iki.bas.bg/2025/2025_05/2025_05_09.pdf (дата звернення: 22.09.2026)

14.Zang T. Blockchain Technology-based Construction Project Management System: A Case from Xiong'an Construction Funds Management Blockchain System. *Advances in Economics, Management and Political Sciences.* 2023. Vol. 3. pp. 1–7. DOI: https://doi.org/10.54254/2754-1169/3/2022723

REFERENCES

1. Bilousova O. S. (2023) Instrumentarii otsinky investytsiinoi pryvablyvosti innovatsiinykh proektiv rozvytku stratehichnykh vydiv promyslovoi diialnosti [Tools for assessing the investment attractiveness of innovative projects for the development of strategic types of industrial activity]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*, no. 57. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-57-2 (in Ukrainian)

2. Bielienkova O., Halunka O., Matsapura O. (2025) Tsilovi priorytety ta formalizovanyi instrumentarii transformatsii systemy upravlinnia innovatsiinym rozvytkom uchasnykiv investytsiinykh proiektiv ta prohram [Target priorities and formalized tools for transforming the innovation development management system of participants in investment projects and programs]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*, no. 71. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-71-130 (in Ukrainian)

3. Dobrovolskyi A. (2026) Priorytyzatsiia investytsiinykh proiektiv vidbudovy sotsialnoi infrastruktury Ukrainy v umovakh finansovykh obmezhen [Prioritization of investment projects for the reconstruction of Ukraine's social infrastructure under financial constraints*]. Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society,* no. 84. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-84-7 (in Ukrainian)

4. Komchatnykh O., Serbeniuk D. (2026) Spetsyfika formuvannia ta realizatsii radykalnykh i inkrementnykh innovatsiinykh proiektiv [Specific features of the formation and implementation of radical and incremental innovation projects]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society,* no. 83. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-83-138 (in Ukrainian)

5. Makedon V. V., Mykhailenko O. H. (2022) Upravlinnia vnutrishnimy investytsiinymy proektamy v rehionalnomu promyslovomu klasteri pidpryiemstv [Management of internal investment projects in a regional industrial cluster of enterprises]. *Pidpryiemnytstvo ta innovatsii – Entrepreneurship and Innovation*, no. 25, pp. 56–63. DOI: https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9 (in Ukrainian)

6. Mykytiuk Yu., Trush I. (2024) Rozvytok korporatyvnoi systemy upravlinnia portfelem innovatsiino-investytsiinykh proiektiv [Development of a corporate system for managing a portfolio of innovation and investment projects]. *Ekonomichnyi analiz – Economic Analysis,* vol. 34, no. 4, pp. 411–420. DOI: https://doi.org/10.35774/econa2024.04.411 (in Ukrainian)

7. Stoik S., Verit O., Matsuka V. (2025) Didzhytalizatsiia upravlinnia proiektamy i vplyv na svitovu ekonomiku ta investytsii [Digitalization of project management and its impact on the global economy and investment]. *Vcheni zapysky – Scientific Notes,* no. 39 (2). DOI: https://doi.org/10.33111/vz_kneu.39.25.02.04.026.032 (in Ukrainian)

8. Aktürk B., Irlayıcı Çakmak P. (2025) Digital twins for enhanced construction project management. *Smart and Sustainable Built Environment,* vol. 14, no. 7, pp. 2176–2200. DOI: https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2024-0082

9. Kudyba S., Cruz A. D. (2023) Understanding project success involving analytic-based decision support in the digital era: a focus on IC and agile project management. *Journal of Intellectual Capital,* vol. 24, no. 6, pp. 1429–1446. DOI: https://doi.org/10.1108/JIC-03-2022-0054

10. Kurniawan R., Budiastuti D., Hamsal M., Kosasih W. (2025) The Analysis of Digital Leadership, Organizational Influence and PM Method to Agile PM Effectiveness: An Indonesian Context. *Procedia Computer Science*, vol. 263, pp. 767–774. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.07.092

11. Li Y. et al. (2025) Impact of artificial intelligence on project management (PM): Multi-expert perspectives on advancing knowledge and driving innovation toward PM2030. *Journal of Innovation & Knowledge,* vol. 10, no. 5, art. 100772. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jik.2025.100772

12. Makedon V., Koptilyi D. (2025) Digital transformation and artificial intelligence as factors in the economic recovery of enterprises following armed conflicts. *Economics, Entrepreneurship, Management*, vol. 12, no. 1, pp. 33–48. DOI: https://doi.org/10.56318/eem2025.01.033

13. Makedon V., Myachin V., Aloshyna T., Cherniavska I., Karavan N. (2025) Improving the Readiness of Enterprises to Develop Sustainable Innovation Strategies through Fuzzy Logic Models. *Economic Studies (Ikonomicheski Izsledvania),* vol. 34, no. 5, pp. 165–179. Available at: https://archive.econ-studies.iki.bas.bg/2025/2025_05/2025_05_09.pdf

14. Zang T. (2023) Blockchain Technology-based Construction Project Management System: A Case from Xiong'an Construction Funds Management Blockchain System. *Advances in Economics, Management and Political Sciences,* vol. 3, pp. 1–7. DOI: https://doi.org/10.54254/2754-1169/3/2022723

Дата надходження статті: 20.09.2026
Дата прийняття статті: 16.10.2026
Дата публікації статті: 09.11.2026