

DOI: 10.32347/2076-815x.2026.91.406-417

УДК: 338.24:658.15:330.46

к.т.н., доцент **Козак А.А.**,

kozak.aa@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3192-1430,

Київський національний університет будівництва і архітектури

АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИМИ ПРОЦЕСАМИ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ДИНАМІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА З УРАХУВАННЯМ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

Адаптивне управління інвестиційними процесами підприємства розглядається як необхідна відповідь на зростання динамічності та стохастичної невизначеності зовнішнього економічного середовища. За умов нестабільності фінансових параметрів, мінливості ринкової кон'юнктури та посилення ризикових впливів традиційні статичні підходи до прийняття інвестиційних рішень втрачають ефективність і не забезпечують належної керованості процесів. У цьому контексті інвестиційна діяльність підприємства інтерпретується як керована динамічна система, функціонування якої визначається взаємодією нормованих показників результативності, часових параметрів реалізації та рівня ризику.

Запропоновано формалізований підхід до опису стану інвестиційних процесів на основі векторної моделі, що створює можливість кількісного аналізу наслідків управлінських рішень у часовому вимірі. Методика нормування показників та їх агрегування з використанням вагових коефіцієнтів дозволяє сформулювати інтегральний показник результативності, придатний для порівняння альтернативних управлінських стратегій. Обґрунтовано, що вихідний стан інвестиційної системи часто характеризується дисбалансами між окремими параметрами, які знижують загальний рівень ефективності та потребують цілеспрямованих адаптивних коригувань.

Ключові слова: адаптивне управління; інвестиційні процеси; динамічне середовище; сценарно-стохастичне моделювання; інтегральний показник; багатокритеріальне оцінювання; інвестиційний ризик; управлінські рішення.

Постановка проблеми: Функціонування інвестиційних процесів підприємств у сучасних умовах характеризується високим рівнем динамічності зовнішнього середовища, що проявляється у зміні економічної кон'юнктури, нестабільності фінансових ринків, зростанні ризиків та посиленні невизначеності управлінських рішень. За таких умов використання традиційних статичних моделей управління інвестиціями не забезпечує належної гнучкості

та своєчасності реакції на зовнішні збурення. Це призводить до зниження результативності інвестиційної діяльності, зростання варіативності показників та втрати керованості процесів у середньо- та довгостроковій перспективі.

Існуючі підходи до оцінювання ефективності інвестиційних рішень, як правило, орієнтовані на окремі фінансові показники або агреговані критерії, що не враховують динамічну зміну параметрів системи та їх взаємозалежність у часі. Водночас ризик-орієнтовані аспекти часто розглядаються ізольовано від інтегральної оцінки результативності, що ускладнює формування збалансованих управлінських рішень.

Метою статті є розвиток науково-методичних засад адаптивного управління інвестиційними процесами підприємства в умовах динамічного середовища на основі інтеграції динамічного, сценарно-стохастичного та багатокритеріального підходів до оцінювання результативності управлінських рішень. Досягнення поставленої мети передбачає формалізацію інвестиційної діяльності у вигляді керованої динамічної системи, визначення вектора ключових параметрів її стану та розроблення методики нормування й агрегування показників у інтегральній критерій результативності. У межах дослідження мета конкретизується через необхідність обґрунтування сценарної структури зовнішнього середовища, моделювання стохастичних збурень та аналіз їх впливу на динаміку інвестиційних процесів. Окремим завданням є поєднання інтегрального оцінювання з ризик-орієнтованими показниками, що дозволяє забезпечити збалансовану оцінку ефективності та стійкості управлінських рішень. Реалізація мети спрямована на створення кількісно обґрунтованого інструментарію підтримки прийняття інвестиційних рішень в умовах невизначеності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій: Проблематика управління інвестиційними процесами в умовах невизначеності широко представлена у наукових дослідженнях, присвячених теорії інвестицій, динамічному програмуванню та аналізу ризиків. Значна частина робіт орієнтована на формування оптимальних інвестиційних стратегій з урахуванням часової вартості ресурсів і компромісу між доходністю та ризиком. У межах цих підходів інвестиційні рішення часто розглядаються як разові або квазістатичні, що обмежує можливості адаптації до змін середовища.

Окремий напрям досліджень присвячено адаптивному управлінню та теорії керування динамічними системами, де акцент робиться на використанні зворотного зв'язку та коригуванні управлінських впливів у часі. Такі підходи створюють методичну основу для моделювання інвестиційних процесів як динамічних систем, проте в багатьох випадках не враховують багатокритеріальний характер оцінювання результативності управління. У

сучасних публікаціях дедалі більшої уваги набуває сценарно-стохастичне моделювання, яке дозволяє формалізувати невизначеність зовнішнього середовища та оцінювати поведінку системи за різних режимів функціонування.

Виклад основної інформації: Сучасні інвестиційні процеси підприємств функціонують в умовах високої динамічності зовнішнього середовища, що зумовлює необхідність переходу від статичних підходів управління до адаптивних систем, здатних оперативно реагувати на зміни економічних, фінансових та організаційних параметрів. У цьому контексті адаптивне управління розглядається як цілеспрямований процес формування, реалізації та коригування управлінських рішень на основі безперервного аналізу стану інвестиційної системи та зовнішніх впливів.

Для формалізації такого підходу доцільно представити інвестиційні процеси підприємства у вигляді керованої динамічної системи, стан якої змінюється під впливом управлінських рішень та зовнішніх збурень [1]. Узагальнену концептуальну модель адаптивного управління інвестиційними процесами наведено на рисунку 1.



Рис. 1. Концептуальна модель адаптивної системи управління інвестиційними процесами підприємства (розроблено автором на основі [1])

На рисунку відображено взаємозв'язок між вхідними управлінськими впливами, внутрішніми параметрами інвестиційної системи, зовнішнім середовищем та контуром зворотного зв'язку, що забезпечує адаптацію управлінських рішень у часі. Така структура дозволяє перейти від якісного опису інвестиційної діяльності до її кількісного аналізу.

Стан інвестиційних процесів підприємства в момент часу t доцільно описувати вектором показників:

$$X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\} \quad (1)$$

де $x_i(t)$ — нормовані значення ключових параметрів інвестиційної діяльності (обсяг інвестицій, рентабельність, строк окупності, рівень ризику тощо) [2].

З метою забезпечення порівнянності подальших розрахунків показники підлягають нормуванню за формулою:

$$z_i(t) = x_i(t) - x_i^{\min} x_i^{\max} - x_i^{\min}, \quad (2)$$

де $z_i(t)$ — нормоване значення i -го показника; x_i^{\min} , x_i^{\max} — мінімально та максимально допустимі значення показника.

На основі нормованих даних виконується первинний розрахунок інтегрального показника результативності інвестиційних процесів у вихідному стані:

$$I_0 = \sum_{i=1}^n w_i z_i(0), \quad (3)$$

де w_i — вагові коефіцієнти значущості показників, що визначаються експертним або аналітичним шляхом.

Результати початкових розрахунків доцільно візуалізувати у вигляді графічного подання, що дозволяє ідентифікувати слабкі та сильні сторони інвестиційної діяльності підприємства. Відповідну візуалізацію наведено на рисунку 2 [3].

Ускладнення динамічної моделі адаптивного управління інвестиційними процесами підприємства зумовлене необхідністю врахування ризикових впливів та стохастичної природи зовнішнього середовища [3].

У реальних умовах інвестиційна діяльність функціонує за різних сценаріїв економічної кон'юнктури, які відрізняються рівнем стабільності, доступністю фінансових ресурсів і ступенем невизначеності. Тому доцільним є перехід від детермінованої динамічної моделі до сценарно-стохастичної постановки задачі [11].

З урахуванням зазначеного динаміку стану інвестиційних процесів підприємства можна описати рівнянням:

$$X(t+1) = A_{s(t)} X(t) + B_{s(t)} U(t) + \varepsilon_{s(t)}(t), \quad (4)$$

де $X(t)$ — вектор стану інвестиційних процесів; $s(t)$ — сценарний стан зовнішнього середовища; $A_{s(t)}$ і $B_{s(t)}$ — сценарно-залежні матриці системи та

управління; $\varepsilon_{s(t)}(t)$ — стохастичні збурення, що відображають ризики та випадкові коливання параметрів середовища.

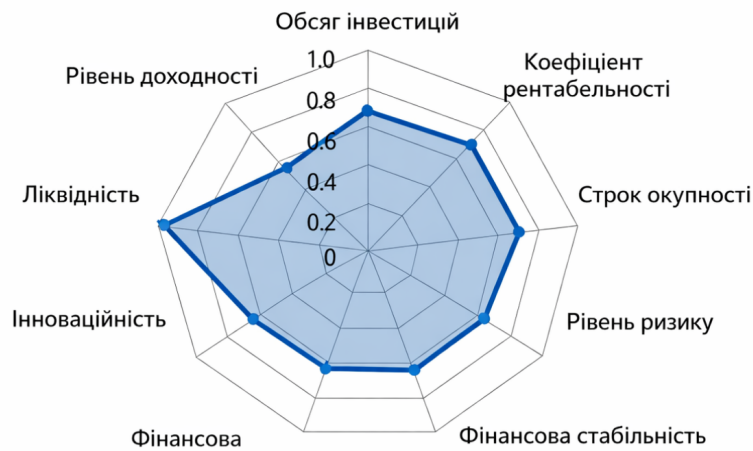


Рис. 2. Профіль вихідного стану інвестиційних процесів підприємства за системою нормованих показників (розроблено автором на основі [3])

Для формалізації мінливості зовнішніх умов вводиться множина сценаріїв $s \in \{1,2,3\}$, які інтерпретуються як сприятливий, базовий та кризовий режими функціонування економіки. Ймовірнісні переходи між сценаріями описуються марковською матрицею переходів:

$$P = \begin{bmatrix} 0,70 & 0,25 & 0,05 \\ 0,15 & 0,70 & 0,15 \\ 0,05 & 0,30 & 0,65 \end{bmatrix}$$

Графічну інтерпретацію сценарної структури середовища та імовірнісних переходів між її станами доцільно подати на рисунку 3.



Рис. 3. Сценарна модель зовнішнього середовища з імовірнісними переходами між станами (розроблено автором на основі [4])

Матриці внутрішніх взаємозв'язків інвестиційних показників залежать від сценарію та відображають зміну характеру взаємодії між рентабельністю, строком окупності та ризиком:

$$A1 = \begin{bmatrix} 0,78 & 0,08 & 0,00 \\ 0,08 & 0,84 & 0,08 \\ 0,00 & 0,08 & 0,75 \end{bmatrix}, A2 = \begin{bmatrix} 0,70 & 0,10 & 0,00 \\ 0,10 & 0,80 & 0,10 \\ 0,00 & 0,10 & 0,70 \end{bmatrix}, A3 = \begin{bmatrix} 0,62 & 0,12 & 0,06 \\ 0,12 & 0,72 & 0,16 \\ 0,08 & 0,18 & 0,62 \end{bmatrix}$$

У кризовому сценарії з'являються додаткові перехресні впливи, що відображає посилення взаємозалежності між показниками в умовах нестабільності [12].

Стохастичні збурення моделюються як випадкові вектори з нульовим математичним сподіванням і сценарно-залежними коваріаційними матрицями:

$$\varepsilon_s(t) \sim N(0, \Sigma_s), \quad (5)$$

де $\Sigma 1 = \text{diag}(0,010^2, 0,012^2, 0,010^2)$, $\Sigma 2 = \text{diag}(0,020^2, 0,020^2, 0,020^2)$,
 $\Sigma 3 = \text{diag}(0,035^2, 0,040^2, 0,045^2)$

Для числової ілюстрації розглянемо умовне підприємство з вектором початкового стану:

$$X(0) = \begin{bmatrix} 0,45 \\ 0,60 \\ 0,50 \end{bmatrix}$$

Вектор управлінських рішень приймемо сталим на першому кроці адаптації:

$$U(0) = \begin{bmatrix} 0,20 \\ -0,10 \\ -0,15 \end{bmatrix}$$

а матрицю впливу управління:

$$B = \begin{bmatrix} 0,4 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 \end{bmatrix}$$

У сприятливому сценарії з реалізацією стохастичних збурень

$$\varepsilon_1(0) = \begin{bmatrix} 0,006 \\ -0,004 \\ 0,003 \end{bmatrix}$$

отримуємо:

$$X_1(1) = \begin{bmatrix} 0,483 \\ 0,548 \\ 0,430 \end{bmatrix}$$

У базовому сценарії при:

$$\varepsilon_2(0) = \begin{bmatrix} -0,012 \\ 0,010 \\ -0,005 \end{bmatrix},$$

маємо:

$$X_2(1) = \begin{bmatrix} 0,448 \\ 0,560 \\ 0,425 \end{bmatrix}.$$

У кризовому сценарії збурення

$$\varepsilon_3(0) = \begin{bmatrix} -0,030 \\ 0,028 \\ 0,040 \end{bmatrix}.$$

приводять до стану:

$$X_3(1) = \begin{bmatrix} 0,381 \\ 0,605 \\ 0,528 \end{bmatrix}.$$

Графічне зіставлення сценарних траєкторій показників та порогових значень ризику доцільно подати на рисунку 4 [6].

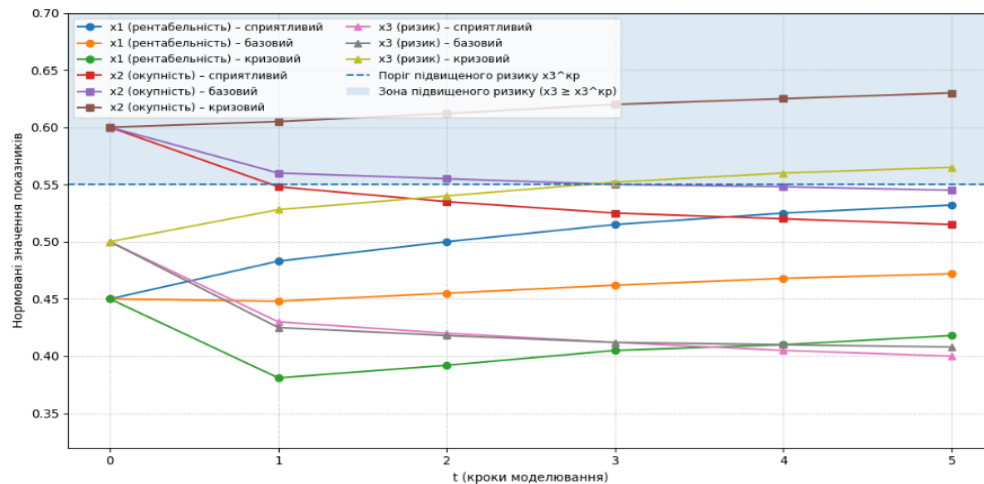


Рис. 4. Сценарні траєкторії зміни інвестиційних показників та зона підвищеного ризику (розроблено автором на основі [6])

З цією метою використовуються дисперсія інтегрального показника, імовірність перевищення критичних порогів та ризик-орієнтовані метрики типу Value-at-Risk [7]:

$$\text{Var}[I(t)], P(x_3(t) \geq x_3^{\text{кр}}), \text{VaRa}(I), \quad (6)$$

Розподіл інтегрального показника результативності, отриманий за результатами сценарно-стохастичного моделювання, доцільно відобразити на рисунку 5.

Система ключових показників формується за трьома базовими напрямками: економічна результативність інвестицій, часові параметри реалізації та рівень інвестиційного ризику.

Відповідно вектор оцінювання в момент часу t подається у вигляді [13]:

$$Z(t) = \{z_1(t), z_2(t), z_3(t)\} \quad (7)$$

де $z_1(t)$ характеризує нормовану рентабельність інвестицій, $z_2(t)$ — нормований строк окупності з інверсним економічним змістом, $z_3(t)$ — нормований рівень ризику. Нормування показників здійснюється за універсальними залежностями, що забезпечують їх приведення до безрозмірної шкали інтервалу $[0;1]$.

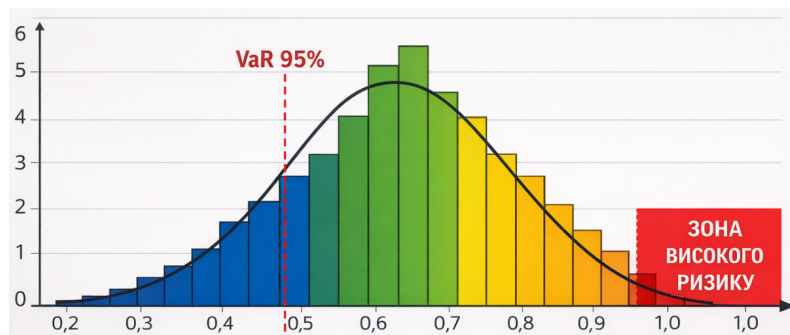


Рис. 5. Розподіл інтегрального показника результативності інвестиційних процесів за сценарно-стохастичного моделювання (розроблено автором на основі [7])

Для агрегування показників у єдиний критерій використовується вагова згортка:

$$I(t) = \sum_{i=1}^3 w_i z_i(t), \quad \sum_{i=1}^3 w_i = 1, \quad (8)$$

У числовому прикладі приймається, що пріоритет результативності інвестицій становить $w_1=0,4$, а часові та ризикові обмеження мають рівнозначний вплив $w_2=w_3=0,3$. На основі результатів сценарно-стохастичного моделювання інтегральний показник результативності для сприятливого сценарію дорівнює $I_1=0,529$, для базового — $I_2=0,511$, а для кризового — $I_3=0,413$. Отримані значення свідчать про суттєве зниження ефективності управлінських рішень у міру погіршення зовнішніх умов.

Разом із тим орієнтація виключно на середнє значення інтегрального показника не дозволяє адекватно оцінити ризиковість управлінських рішень [8]. З цієї причини доцільно застосувати ризик-орієнтований критерій, який поєднує очікувану результативність та її варіативність:

$$J = E[\Pi] - \lambda \sqrt{\text{Var}[\Pi]}, \quad (9)$$

де λ є параметром схильності до ризику. За зростання λ управлінська стратегія стає більш консервативною, орієнтованою на зниження ймовірності небажаних відхилень, навіть за рахунок втрати частини потенційної результативності [10].

Підсумковий ефект адаптивного управління доцільно оцінювати шляхом порівняння базового стану інвестиційних процесів із фінальним станом, досягнутим після послідовних ітерацій управлінських рішень з урахуванням зворотного зв'язку та ризикових коригувань. Для цього використовується інтегральний показник результативності:

$$\Delta I = I_{fin} - I_0, \quad (10)$$

де I_0 — значення інтегрального показника у вихідному стані системи, I_{fin} — значення після впровадження адаптивного управління.

На основі попередніх розрахунків вихідний стан інвестиційних процесів характеризувався значенням $I_0=0,47$. За результатами адаптивного управління в умовах базового сценарію інтегральний показник зріс до $I_{fin}=0,5$, що відповідає відносному приросту результативності [9]:

$$\delta_I = \frac{I_{fin} - I_0}{I_0} \times 100\% \approx 8,5\%.$$

Для узагальненої інтерпретації отриманих результатів доцільно представити логіку формування управлінського ефекту у вигляді причинно-наслідкової схеми, наведеної на рисунку 6.



Рис. 6. Формування підсумкового управлінського ефекту адаптивної системи управління інвестиційними процесами підприємства (розроблено автором на основі [9])

Висновки

Результати проведеного дослідження підтверджують доцільність застосування адаптивного підходу до управління інвестиційними процесами підприємства в умовах динамічного та стохастичного невизначеного зовнішнього середовища. Інтерпретація інвестиційної діяльності як керованої динамічної системи дозволяє перейти від фрагментарного аналізу окремих показників до комплексного кількісного оцінювання ефектів управлінських рішень в часовому вимірі. Запропонована векторна модель стану інвестиційних процесів створює методичну основу для формалізації взаємозв'язків між результативністю, часовими параметрами реалізації та рівнем ризику.

Обґрунтована методика нормування та агрегування показників у інтегральний критерій результативності забезпечує порівняльність альтернативних управлінських стратегій і підвищує об'єктивність прийняття рішень. Сценарно-стохастичне моделювання дозволило врахувати мінливість зовнішнього середовища та продемонструвати чутливість інвестиційних процесів до різних режимів економічної динаміки. Отримані числові результати підтверджують, що погіршення сценарних умов супроводжується зниженням середнього рівня інтегральної результативності та зростанням варіативності показників.

Література

1. Blank I.A. Investment Management: Theory and Practice. — Kyiv: Nika-Center, 2016. - 640 p.
2. Keeney R.L., Raiffa H. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. — Cambridge: Cambridge University Press, 1993. - 569 p.
3. Bellman R. Adaptive Control Processes: A Guided Tour. — Princeton: Princeton University Press, 1961. - 255 p.
4. Bertsekas D.P. Dynamic Programming and Optimal Control. Vol. 1. — 4th ed. — Belmont: Athena Scientific, 2017. - 512 p.
5. Sterman J.D. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. — Boston: McGraw-Hill, 2000. - 982 p.
6. Saltelli A., Ratto M., Andres T. et al. Global Sensitivity Analysis: The Primer. — Chichester: John Wiley & Sons, 2008. - 304 p.
7. Hillier F.S., Lieberman G. J. Introduction to Operations Research. — 10th ed. — New York: McGraw-Hill Education, 2015. - 1060 p.
8. Howard R.A., Abbas A.E. Foundations of Decision Analysis. — Boston: Pearson, 2015. - 800 p.
9. Dixit A.K., Pindyck R.S. Investment under Uncertainty. — Princeton: Princeton University Press, 1994. - 468 p.
10. Хоменко, О., Петренко, Г., Рижакова, Г., Петруха, Н., Чуприна, Ю., Малихіна, О. & Кушнір, О. (2022). Сучасні інструменти та програмні продукти smart адміністрування будівельними організаціями в умовах трансформації операційних систем менеджменту. Управління розвитком складних систем, (52), 113–125.
11. Markowitz H. Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments. — New Haven: Yale University Press, 1959. - 344 p.

12. Г.М. Рижакова, Ю.А. Чуприна. Формування будівельного кластеру у форматі державних інвестиційних цільових програм // Збірник наукових праць «Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин». – Вип. 40. – К.: КНУБА, 2019. – с. 19-24. <http://ways.knuba.edu.ua/issue/view/11913>
13. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. - New York: McGraw-Hill, 1980. - 287 p.

PhD in Technical Science **Kozak Andrii**,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

ADAPTIVE MANAGEMENT OF ENTERPRISE INVESTMENT PROCESSES IN A DYNAMIC ENVIRONMENT WITH CONSIDERATION OF MULTI- CRITERIA ASSESSMENT OF MANAGEMENT DECISION EFFECTIVENESS

Adaptive management of enterprise investment processes is considered a necessary response to the increasing dynamism and stochastic uncertainty of the external economic environment. Under conditions of financial instability, volatile market conditions, and intensified risk factors, traditional static approaches to investment decision-making lose their effectiveness and fail to ensure an adequate level of process controllability. In this context, the investment activity of an enterprise is interpreted as a controlled dynamic system whose functioning is determined by the interaction of normalized performance indicators, implementation time parameters, and risk levels.

A formalized approach to describing the state of investment processes based on a vector model is proposed, enabling quantitative analysis of the consequences of managerial decisions over time. The methodology for indicator normalization and their aggregation using weighting coefficients makes it possible to construct an integral performance indicator suitable for comparing alternative management strategies. It is substantiated that the initial state of the investment system is often characterized by imbalances among individual parameters, which reduce overall efficiency and require targeted adaptive adjustments.

Keywords: adaptive management; investment processes; dynamic environment; scenario-stochastic modeling; integral indicator; multi-criteria assessment; investment risk; management decisions.

REFERENCES

1. Blank, I.A. Investment Management: Theory and Practice. Kyiv: Nika-Center, 2016, 640 p. {in English}

2. Keeney, R.L., & Raiffa, H. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993, 569 p. {in English}
3. Bellman, R. *Adaptive Control Processes: A Guided Tour*. Princeton: Princeton University Press, 1961, 255 p. {in English}
4. Bertsekas, D.P. *Dynamic Programming and Optimal Control*. Vol. 1, 4th ed. Belmont: Athena Scientific, 2017, 512 p. {in English}
5. Stermann, J.D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: McGraw-Hill, 2000, 982 p. {in English}
6. Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., et al. *Global Sensitivity Analysis: The Primer*. Chichester: John Wiley & Sons, 2008, 304 p. {in English}
7. Hillier, F.S., & Lieberman, G.J. *Introduction to Operations Research*. 10th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015, 1060 p. {in English}
8. Howard, R.A., & Abbas, A. E. *Foundations of Decision Analysis*. Boston: Pearson, 2015, 800 p. {in English}
9. Dixit, A.K., & Pindyck, R. S. *Investment under Uncertainty*. Princeton: Princeton University Press, 1994, 468 p. {in English}
10. Khomenko, O., Petrenko, H., Ryzhakova, H., Petrukha, N., Chupryna, Yu., & Malykhina, O., Kushnir, O. *Modern Tools and Software Products for Smart Administration of Construction Organizations under the Transformation of Management Operational Systems. Management of Development of Complex Systems*, 2022, No. 52, pp. 113–125. {in Ukrainian}
11. Markowitz, H. *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments*. New Haven: Yale University Press, 1959, 344 p. {in English}
12. Ryzhakova, H.M., & Chupryna, Yu. A. *Formation of a Construction Cluster in the Format of State Investment Target Programs*. Proceedings “Ways to Increase the Efficiency of Construction under the Formation of Market Relations”, Issue 40. Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture, 2019, pp. 19–24. Available at: <http://ways.knuba.edu.ua/issue/view/11913> {in Ukrainian}
13. Saaty, T.J. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980, 287 p. {in English}