https://doi.org/10.66416/2522-1620.3.2026.53-65

РОМАНЕНКО О. В.

Математичний апарат багатоваріантного стратегічного вибору в умовах стохастичності ринкових процесів

Предметом дослідження *є сукупність математичних моделей, методів та інструментів багатоваріантного стратегічного вибору в умовах стохастичності ринкових процесів. Основна увага зосереджується на формалізації невизначеності, яка виникає внаслідок випадкових коливань попиту, цін, ресурсного забезпечення та поведінки економічних агентів. Дослідження охоплює механізми побудови альтернативних стратегічних сценаріїв, оцінювання їх ефективності та вибору оптимального рішення з урахуванням ризиків і ймовірнісних характеристик зовнішнього середовища. Важливим аспектом є аналіз взаємозв'язку між детермінованими та стохастичними компонентами моделей, що дозволяє відобразити реальну складність економічних процесів. Предмет включає також дослідження критеріїв оптимальності, таких як очікувана вигода, мінімізація ризику, забезпечення стійкості та адаптивності стратегій. Окрему увагу приділено методам багатокритеріального вибору, які дозволяють враховувати різноспрямовані цілі економічних систем. Таким чином, предмет дослідження охоплює теоретико–методичні засади побудови та застосування математичного апарату для підтримки стратегічних рішень у складних стохастичних умовах функціонування ринку.*

Метою статті *є розроблення та обґрунтування математичного апарату багатоваріантного стратегічного вибору, який забезпечує прийняття ефективних управлінських рішень в умовах стохастичності ринкових процесів. Досягнення мети передбачає формування підходів до моделювання невизначеності та побудови альтернативних сценаріїв розвитку економічних систем. Особлива увага приділяється інтеграції методів теорії ймовірностей, оптимізації та багатокритеріального аналізу для оцінювання стратегічних альтернатив.*

Методологія проведення роботи. *Методологічну основу дослідження становить системний підхід, який дозволяє розглядати стратегічний вибір як складну багаторівневу систему взаємопов'язаних елементів. Для формалізації стохастичності ринкових процесів застосовуються методи теорії ймовірностей та математичної статистики, що забезпечують опис випадкових змін параметрів економічного середовища. Ключове місце займають методи стохастичного програмування, які дозволяють формувати оптимальні рішення за умов невизначеності. Використання сценарного аналізу забезпечує побудову множини можливих варіантів розвитку подій, кожен з яких характеризується певною ймовірністю реалізації.*

Для оцінювання ефективності стратегій застосовуються методи багатокритеріальної оптимізації, що дозволяють враховувати одночасно економічні, фінансові та ризикові показники. Зокрема, використовуються критерії максимізації очікуваного ефекту, мінімізації дисперсії результатів та забезпечення стійкості системи. Додатково застосовуються методи імітаційного моделювання, які дозволяють відтворити поведінку системи в умовах випадкових змін параметрів та оцінити наслідки прийнятих рішень. Для обробки даних і формування прогнозів використовуються сучасні цифрові інструменти, включаючи методи машинного навчання та аналізу часових рядів. Таким чином, методологія поєднує класичні математичні підходи з сучасними цифровими технологіями, що забезпечує комплексне дослідження процесів стратегічного вибору в умовах невизначеності.

Результати роботи. *У результаті дослідження сформовано узагальнений математичний апарат багатоваріантного стратегічного вибору, який враховує стохастичну природу ринкових процесів. Запропоновано підхід до побудови множини альтернативних стратегій, кожна з яких оцінюється за системою критеріїв ефективності та ризику.Розроблено модель оцінювання стратегічних альтернатив на основі інтеграції ймовірнісних характеристик та багатокритеріального аналізу. Це дозволяє визначити не лише найбільш ефективну стратегію, але й оцінити її стійкість до змін зовнішнього середовища.*

Важливим результатом є обґрунтування використання сценарного підходу як інструменту формування адаптивних стратегій, здатних реагувати на зміни ринкових умов. Запропоновано алгоритм вибору оптимальної стратегії, який враховує як очікуваний результат, так і рівень ризику.

© РОМАНЕНКО О. В., 2026

Висновки. *Проведене дослідження підтверджує, що стохастичність ринкових процесів є ключовим фактором, який визначає необхідність удосконалення підходів до стратегічного вибору. Використання детермінованих моделей у сучасних умовах не забезпечує належного рівня обґрунтованості управлінських рішень, оскільки не враховує варіативність та невизначеність зовнішнього середовища. Запропонований математичний апарат багатоваріантного стратегічного вибору дозволяє перейти до більш гнучких і адаптивних моделей управління, які враховують ймовірнісні характеристики економічних процесів. Інтеграція методів стохастичного програмування, сценарного аналізу та багатокритеріальної оптимізації забезпечує комплексне оцінювання стратегічних альтернатив. Важливим результатом є формування підходу, який орієнтований не лише на досягнення максимального економічного ефекту, але й на забезпечення стійкості та адаптивності системи до змін. Це дозволяє мінімізувати ризики та підвищити ефективність функціонування економічних суб'єктів. Подальший розвиток досліджень у цьому напрямі пов'язаний із удосконаленням методів цифрового прогнозування, розширенням можливостей обробки великих даних та інтеграцією інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Це створює передумови для формування нових підходів до стратегічного управління в умовах цифрової економіки та високого рівня невизначеності.*

Ключові слова: *стохастичні процеси, стратегічний вибір, математичне моделювання, багатокритеріальна оптимізація, сценарний аналіз, управління ризиками, економічні системи, невизначеність, адаптивні стратегії.*

OLESIA ROMANENKO

Mathematical apparatus of multivariant strategic choice under stochastic market processes

The subject of the study *is a set of mathematical models, methods, and tools for multivariant strategic choice under conditions of stochastic market processes. The main focus is on the formalization of uncertainty arising from random fluctuations in demand, prices, resource provision, and the behavior of economic agents. The study covers mechanisms for constructing alternative strategic scenarios, evaluating their effectiveness, and selecting optimal decisions considering risks and probabilistic characteristics of the external environment. An important aspect is the analysis of the relationship between deterministic and stochastic components of models, which makes it possible to reflect the real complexity of economic processes. The subject also includes the study of optimality criteria such as expected benefit, risk minimization, and ensuring the stability and adaptability of strategies. Special attention is paid to multicriteria decision–making methods that allow consideration of diverse objectives of economic systems.*

Purpose of the article. *The purpose is to develop and substantiate a mathematical apparatus for multivariant strategic choice that ensures effective managerial decision–making under stochastic market conditions. Achieving this goal involves forming approaches to modeling uncertainty and constructing alternative scenarios for the development of economic systems, with a focus on integrating probability theory, optimization, and multicriteria analysis methods.*

Methodology of the study. *The methodological basis is a systems approach, which considers strategic choice as a complex, multilevel system of interconnected elements. Probability theory and mathematical statistics are used to formalize stochastic processes. Stochastic programming methods enable optimal decision–making under uncertainty, while scenario analysis provides a range of possible development alternatives. Multicriteria optimization methods are applied to evaluate strategies, incorporating economic, financial, and risk indicators. Additionally, simulation modeling is used to reproduce system behavior under random parameter changes and assess decision outcomes. Modern digital tools, including machine learning and time series analysis, are used for data processing and forecasting.*

Results of the study. *The study results in the development of a generalized mathematical apparatus for multivariant strategic choice that accounts for the stochastic nature of market processes. An approach for constructing a set of alternative strategies has been proposed, each evaluated according to effectiveness and risk criteria. A model for assessing strategic alternatives based on probabilistic characteristics and multicriteria analysis has been developed, enabling determination of*

both efficiency and resilience of strategies. The use of a scenario–based approach as a tool for forming adaptive strategies has been substantiated, along with an algorithm for selecting optimal strategies considering expected outcomes and risk levels.

Conclusions. *The study confirms that stochasticity of market processes is a key factor necessitating improvement of strategic decision–making approaches. Deterministic models are insufficient in modern conditions due to their inability to account for variability and uncertainty. The proposed mathematical apparatus enables the transition to flexible and adaptive management models that incorporate probabilistic characteristics. Integration of stochastic programming, scenario analysis, and multicriteria optimization ensures comprehensive evaluation of strategic alternatives. This approach enhances decision validity, reduces risks, and improves system stability. Further research should focus on advancing digital forecasting methods, expanding big data processing capabilities, and integrating intelligent decision support systems, which will contribute to the development of innovative strategic management approaches in a highly uncertain digital economy.*

Keywords: *stochastic processes, strategic choice, mathematical modeling, multicriteria optimization, scenario analysis, risk management, economic systems, uncertainty, adaptive strategies.*

Постановка проблеми. Сучасні ринкові процеси характеризуються високим рівнем невизначеності, динамічності та нелінійності, що суттєво ускладнює прийняття стратегічних управлінських рішень. Стохастичність економічного середовища проявляється у випадкових коливаннях попиту, цін, ресурсного забезпечення, інвестиційних потоків і поведінки економічних агентів. У таких умовах традиційні детерміновані підходи до стратегічного вибору втрачають ефективність, оскільки не здатні адекватно враховувати ризики та варіативність розвитку подій.

Проблема полягає у відсутності універсального математичного апарату, який дозволяє комплексно оцінювати альтернативні стратегії з урахуванням імовірнісних характеристик середовища, багатокритеріальності цілей та необхідності адаптації до змін. Існуючі методи часто орієнтовані або на оптимізацію окремих параметрів, або на аналіз обмеженої кількості сценаріїв, що не забезпечує повноти стратегічного бачення. Додатковою складністю є необхідність інтеграції різнорідних даних, що формуються в умовах цифровізації економіки, а також врахування взаємозв'язків між підсистемами, які можуть мати як детермінований, так і випадковий характер. У зв'язку з цим актуалізується потреба у розробленні підходів, що поєднують методи стохастичного моделювання, багатокритеріального аналізу та сценарного прогнозування.

Аналіз досліджень і публікацій проблеми. Питання стратегічного вибору в умовах невизначеності активно досліджується у межах економічної теорії, теорії управління та прикладної математики. Значний внесок у розвиток методології зроблено в рамках теорії ймовірностей і математичної статистики, які забезпечують інструменти для опису випадкових процесів і оцінювання ризиків. Вагомим напрямом є розвиток багатокритеріальної оптимізації, яка дозволяє враховувати множинність цілей економічних систем. У межах цього підходу розроблено різноманітні методи агрегування критеріїв, побудови компромісних рішень та визначення ефективних множин альтернатив. Разом з тим, проблема інтеграції багатокритеріального аналізу зі стохастичними моделями залишається недостатньо вирішеною. Окрему групу досліджень становлять роботи, присвячені сценарному аналізу та імітаційному моделюванню. Вони дозволяють відтворювати поведінку економічних систем у різних умовах та оцінювати наслідки управлінських рішень. Проте такі підходи часто мають описовий характер і потребують доповнення строгими математичними моделями. Сучасні дослідження також акцентують увагу на використанні цифрових технологій, зокрема машинного навчання та аналізу великих даних, для прогнозування ринкових процесів. Це відкриває нові можливості для підвищення точності моделей, однак потребує розроблення інтегрованих підходів, що поєднують класичні та інноваційні методи.

Виклад основного матеріалу. Формування стратегічних рішень у середовищі підвищеної невизначеності потребує використання математичного апарату, здатного інтегрувати багатоваріантність сценаріїв розвитку та стохастичний характер ключових ринкових параметрів. У таких умовах класичні детерміновані моделі втра-

чають ефективність, оскільки не забезпечують адекватного відображення коливань, ризикових збурень та структурної мінливості ринку. Тому у стратегічному менеджменті все ширше застосовуються інструменти стохастичного моделювання, теорії ймовірностей та оптимізаційного вибору в багатовимірних середовищах.

Багатоваріантний стратегічний вибір передбачає одночасний розгляд кількох альтернатив розвитку, кожну з яких характеризують своєрідні траєкторії очікуваних вигід, витрат, ризикових факторів і можливих відхилень фактичних результатів від прогнозних. Для цього формується множина сценаріїв, кожен із яких відображає різні конфігурації ринкових умов: від стійких трендів до турбулентних фаз із високою дисперсією показників. Методи Монте–Карло, марковські процеси, випадкові блочні моделі та апарат байєсівських оцінок дозволяють імітувати ці сценарії й обчислювати імовірнісні характеристики кожного альтернативного рішення.

Ключовим завданням є побудова математичної моделі, яка забезпечує зіставлення стратегічних альтернатив на основі інтегрального критерію,

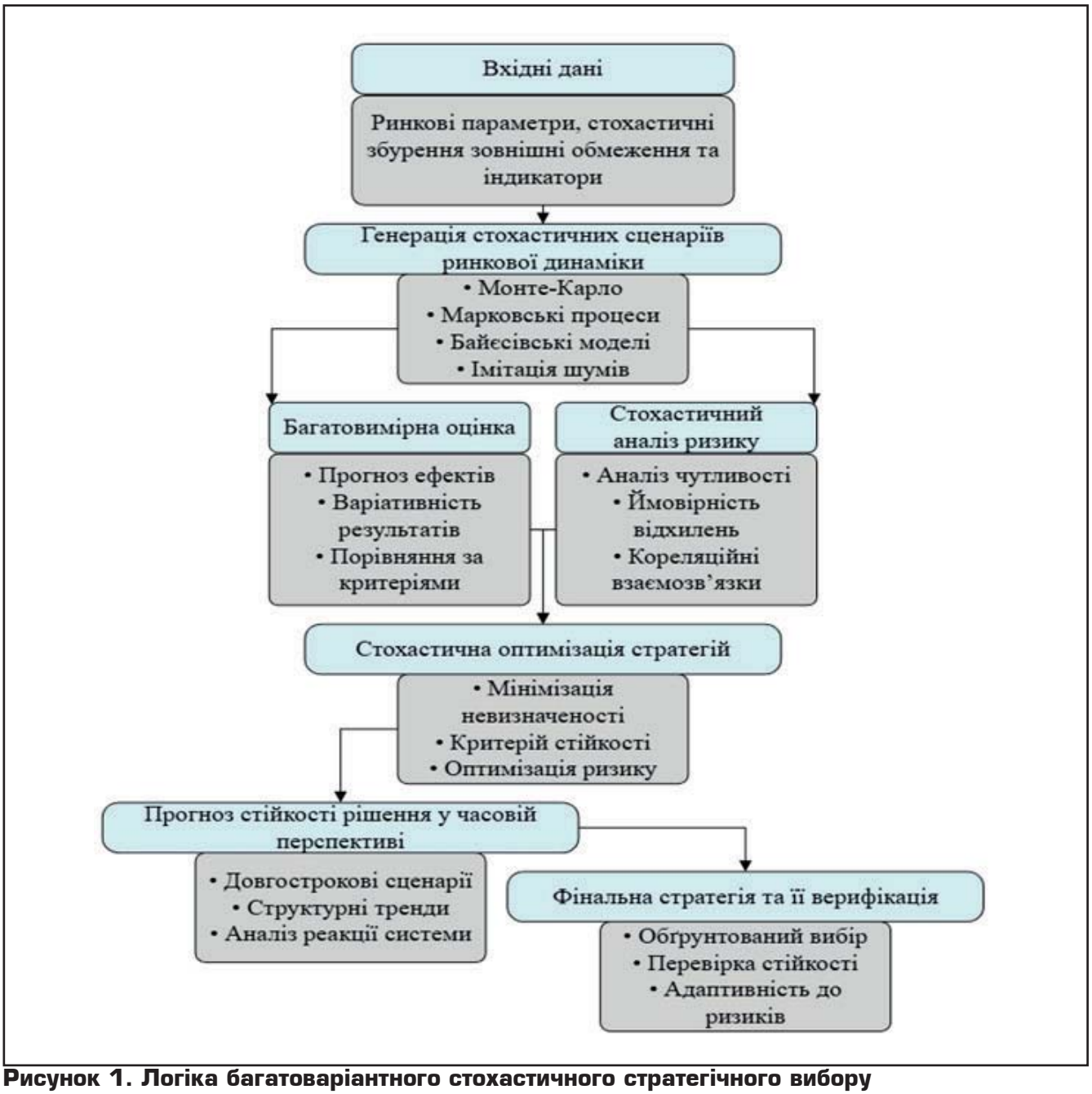

Рисунок 1. Логіка багатоваріантного стохастичного стратегічного вибору

Джерело: розроблено автором на основі [1]

що поєднує очікуваний результат, рівень стохастичного ризику та чутливість рішень до зовнішніх шоків. У моделі враховуються як структурні, так і випадкові залежності між параметрами ринку, зокрема коваріація між попитом, ціною, витратами ресурсів та часовими лагами реакції системи. Рисунок 1 дозволяє оптимізувати вибір, орієнтуючись не лише на середньозважений ефект, а й на стійкість стратегії до флуктуацій [1].

Розгортання багатоваріантної моделі забезпечує можливість не лише прогнозувати очікувані результати, а й оцінювати їхню стабільність за різних траєкторій розвитку ринку. Цінність такого підходу полягає у здатності захоплювати як короткострокові флуктуації, так і довгострокові структурні тенденції, що створюють асиметрію в розподілах можливих результатів. Математичний апарат, побудований на принципах стохастики, дозволяє зменшити інформаційні втрати та приймати стратегічні рішення з урахуванням повної множини ризикових сценаріїв, що значно підвищує адекватність стратегічного управління в сучасній економічній динаміці.

Проблематика аналізу впливу зміни стохастичних параметрів на ранжування стратегічних альтернатив належить до найбільш складних аспектів сучасної теорії прийняття рішень у невизначеності. У сучасних економічних системах усі ключові ринкові змінні – ціни, попит, витрати на ресурси, швидкість обороту капіталу, поведінкові реакції споживачів – описуються не детермінованими функціями, а випадковими процесами зі складними закономірностями. Це означає, що будь–яка стратегічна альтернатива повинна оцінюватися не як статична величина, а як функція ймовірнісних характеристик, що визначають її майбутній результат. Чим вищий рівень варіабельності ринку, тим більш суттєвим стає вплив стохастичних параметрів на рішення.

Зміна математичного сподівання, дисперсії, асиметрії, коваріацій та інших характеристик розподілу призводить до того, що одна і та сама стратегія може демонструвати різний рівень привабливості при різних параметрах моделі. Тому багатоваріантний стратегічний вибір неможливий без побудови моделей чутливості рангу стратегій до флуктуацій ринкових факторів. Успішне стратегічне управління передбачає не тільки визначення найкращого варіанту за номінальними умовами, але й розуміння того, як зміниться його позиція у разі зміни параметрів розподілу ринку.

У цьому контексті важливо враховувати, що ринкові процеси не є стаціонарними, а їх динаміка підкоряється нелінійним механізмам. Тому зміна стохастичних параметрів є не просто технічним аспектом аналізу, а фундаментальним фактором, що визначає надійність стратегічного рішення. Наприклад, для стратегії з високими очікуваними вигодами навіть незначне зростання дисперсії може радикально змінити її рангову позицію, перевівши її зі стану домінування в стан слабкої конкурентної переваги. Аналогічно, стратегія, яка здається помірно ефективною, може стати найкращим вибором, якщо її чутливість до стохастичних збурень є нижчою порівняно з іншими альтернативами [2].

Для дослідження впливу зміни стохастичних параметрів на ранжування використовують спеціальні математичні моделі, які відображають залежність результатів від випадкових величин. Базовим підходом є оцінка очікуваного результату стратегії:

$$E(R_i) = \int r \times f_i(r)\, dr, \quad (1)$$

де $f_i(r)$ – щільність розподілу результату стратегії i. Однак цього критерію вже недостатньо, бо він не враховує варіабельності. Тому застосовують розширені моделі, що включають дисперсію:

$$\sigma_i^2 = \int \big(r - E(R_i)\big)^2 f_i\,(r)\, dr, \quad (2)$$

У стратегічному аналізі часто порівнюють не абсолютні показники, а відносні, що дозволяє оцінити чутливість до ризику. Одним з таких критеріїв є коефіцієнт варіації:

$$CV_i = \frac{\sigma_i}{E(R_i)}, \quad (3)$$

Це значення безпосередньо показує, як зміна розкиду значень впливає на стабільність стратегії. При збільшенні дисперсії на 10–20 % відбувається зміна рангу стратегій, особливо якщо їхні очікувані результати мають близькі значення.

Цілком реальною є ситуація, коли стратегія з найвищим очікуваним результатом втрачає провідний ранг через підвищення нестабільності ринку. Такий ефект добре спостерігається у стохастичних моделях з елементами марковських залежностей, коли поточний стан ринку впливає на ймовірність реалізації кожного сценарію [3].

Для більш глибокого аналізу використовують моделі, де стратегічний результат є функцією множини випадкових факторів:

$$R_i = g(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (4)$$

де кожен X_j — випадкова величина зі своїм розподілом, а їх взаємозалежність описується матрицею коваріацій:

$$\sum = \begin{bmatrix} \sigma_i^2 & \sigma_{12} & \dots \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Зміна будь–якого параметра матриці Σ змінює результат стратегії. Наприклад, зростання коваріації між попитом і ціною може зменшити очікуваний ефект, оскільки підвищення ціни часто супроводжується зниженням попиту, і навпаки.

Для забезпечення більш глибокого розуміння того, як зміна параметрів стохастичного розподілу впливає на порівняльну привабливість стратегічних альтернатив, доцільно проілюструвати цей ефект на основі узагальнених модельних даних. Таблиця 1 не лише демонструє типову поведінку стратегій за змінних умов дисперсії, але й дозволяє простежити, наскільки суттєво рівень варіабельності ринку здатен трансформувати рангову структуру альтернатив [4].

Зміна математичного сподівання має лінійний вплив на ранжування, тоді як зміна дисперсії — нелінійний.

Це означає, що невелике зростання ризику може мати значно більший вплив на ранг, ніж еквівалентна зміна очікуваного значення. У складних економічних моделях ефект чутливості описують другою похідною очікуваного виграшу за параметром дисперсії:

$$\frac{\partial^2 E(R_i)}{\partial \sigma_i^2}, \quad (6)$$

Оскільки стратегічні функції рідко є лінійними, друга похідна зазвичай не дорівнює нулю, що підтверджує нелінійність впливу стохастичності.

Нехай маємо стратегію А з параметрами:

$E(R_A) = 120$,

$\sigma_A = 15$,

після зміни ринкових умов $\sigma'A = 22$.

Оцінюємо зміну коефіцієнту варіації:

$$CV_A = \frac{15}{120} = 0.125, \qquad CV_A' = \frac{22}{120} \approx 0.183.$$

Порівняння:

$$\Delta CV_A = 0.183 - 0.125 = 0.058.$$

Зростання коефіцієнта варіації на 46 % фактично означає, що стратегія А втрачає стійкість і може бути переведена на нижчий ранг у стратегічному наборі.

У деяких моделях застосовують інтегральну метрику ризику:

$$\Psi_i = E(R_i) - \lambda \times \sigma i, \quad (6)$$

де λ — коефіцієнт ризико–аверсії.

При збільшенні дисперсії стратегія з високим E(R) може стати менш привабливою навіть для низьких значень λ.

Суттєвим елементом аналізу є використання графічних методів, які дозволяють наочно демонструвати залежності між рівнем стохастичності та позицією стратегій у ранговій ієрархії. Графік чутливості стратегічних альтернатив до зміни дисперсії є одним із ключових інструментів для візуального аналізу, оскільки він дає змогу відобразити не лише монотонність або немонотонність впливу ризику, але й ефекти критичних точок, де змінюється домінуюча стратегія. У таких точках відбувається так звана інверсія стратегічної переваги, коли стратегія з вищим очікуваним значенням поступається тій, що має меншу дисперсію.

Для побудови таких графічних залежностей у стохастичних моделях зазвичай використовують симуляційні методи. Завдяки чисельним експериментам можливо оцінити, як зміна σ від 5 до 30 одиниць впливає на значення інтегрального критерію ефективності для кожної стратегії. Отримані результати часто демонструють нелінійний характер реагування, що особливо помітно у стратегій з високою базовою волатильністю. Для більш наочного представлення динаміки зміни стратегічних переваг за умов зростання стохастичної нестабільності доцільно представити рисунок 2 [5].

Для опису явища рангової інверсії використовують розширену форму інтегрального критерію:

$$\Psi_i(\sigma) = E(R_i) - \lambda \times \sigma_i(\sigma) - \beta \times Skew_i(\sigma), \quad (6)$$

де λ — параметр чутливості до ризику, β — коефіцієнт реакції на асиметрію розподілу.

Таблиця 1. Приклад впливу дисперсії на ранжування стратегічних альтернатив

Стратегія	$E(R_i)$	σ_i	CV_i	Ранг при низькій дисперсії	Ранг при високій дисперсії
A	120	15	0.125	1	2
B	110	10	0.091	2	1
C	105	25	0.238	3	3

Джерело: розроблено автором на основі [4]

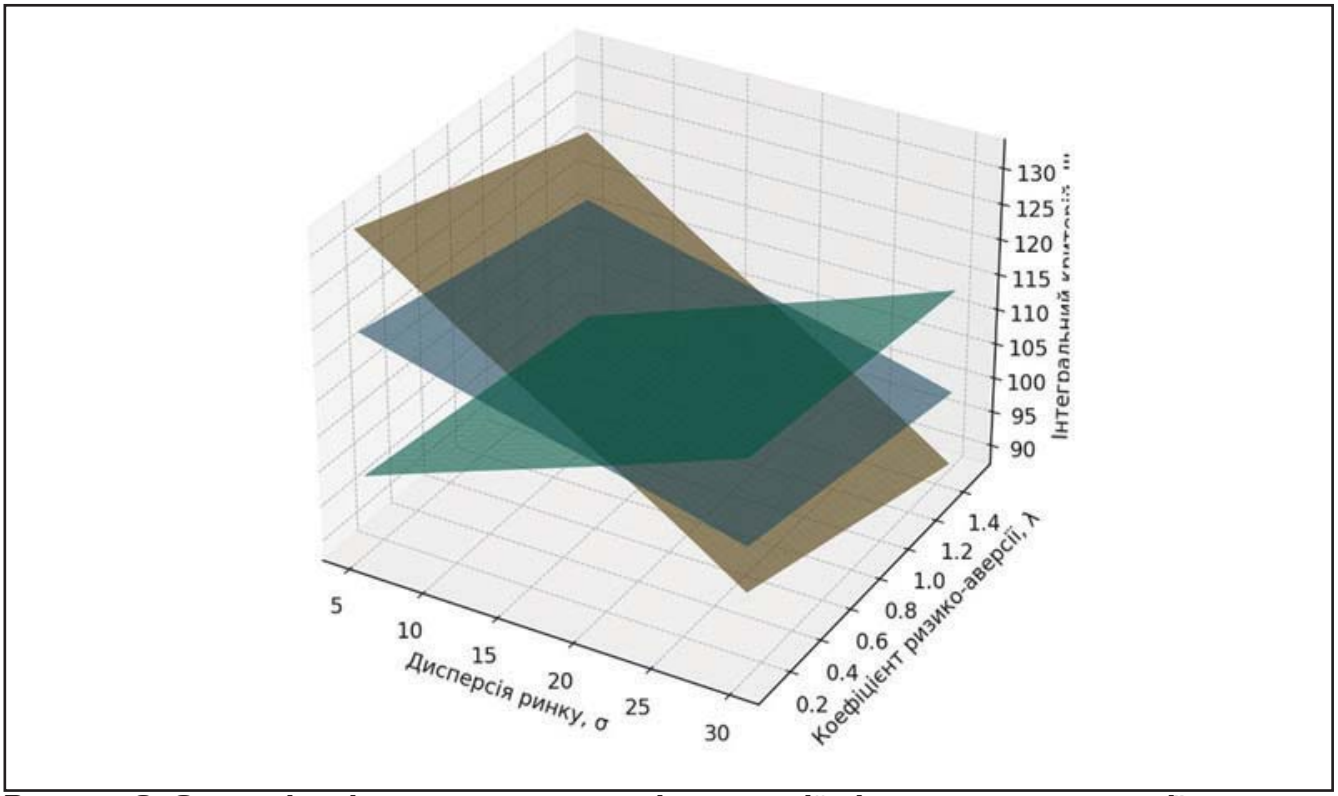

Рисунок 2. Залежність інтегрального критерію стратегій від зростання дисперсії ринку
Джерело: розроблено автором на основі [5]

Фактично це означає, що зростання дисперсії впливає на ранжування стратегій не лише через розширення можливого діапазону відхилень, а й через зміну їхньої асиметрії. Стратегії з позитивною асиметрією стають привабливішими при збільшенні невизначеності, оскільки вони мають більшу ймовірність екстремально вигідних реалізацій, навіть якщо середнє значення залишається незмінним.

Для стратегій A, B та C асиметрія оцінювалася за формулою:

$$Skew_i = \frac{E\left[\left(R_i - E(R_i)\right)^3\right]}{\sigma_i^3}, \quad (6)$$

Припустимо, що зміна дисперсії з 15 до 22 одиниць для стратегії A збільшує її асиметрію із 0.8 до 1.4. Підставляючи ці дані в інтегральний критерій при $\lambda = 0.5$ та $\beta = 0.2$:

$$\Psi_A = 120 - 0.5 \times 22 - 0.2 \times 1.4 \approx 108.32.$$

Раніше, при $\sigma = 15$:

$$\Psi'_A = 120 - 0.5 \times 15 - 0.2 \times 0.8 \approx 112.84.$$

Отже, втрата стратегічної позиції становить:

$$\Delta\Psi_A = 112.84 - 108.32 = 4.52.$$

що є критичною зміною у конкурентному середовищі стратегій.

Зростання дисперсії не тільки змінює ранги, але й впливає на топологію стратегічного простору. У моделях з нелінійними функціями корисності оптимальна стратегія може зміщуватися в напрямку більш стабільних альтернатив навіть тоді, коли їхній очікуваний результат значно нижчий.

У багатьох моделях застосовують функцію корисності типу CRRA:

$$U(R) = \frac{R^1 - \gamma}{1 - \gamma}, \quad (10)$$

де λ — коефіцієнт ризико–аверсії.

Після підстановки результатів симуляцій стратегій A, B та C при різних σ виявляється, що стратегія з нижчим очікуваним результатом може отримати найвищу очікувану корисність. Це і є математичною основою перемикання рангу [6].

З метою систематизації отриманих результатів та демонстрації того, як стохастичні параметри ринку трансформують перерозподіл стратегічних переваг, доцільно узагальнити ключові залежності у таблиці 2.

Проведений аналіз демонструє, що ранжування стратегічних альтернатив у стохастичній моделі є надзвичайно чутливим до параметрів розподілу. Зміна навіть одного параметра — дисперсії — може спричинити повне переосмислення оптимальної стратегії. Додавання асиметрії, коваріацій, параметра ризико–аверсії та інших елементів ще

більше ускладнює структуру стратегічного простору. Графічне моделювання показує, що існують критичні точки, де оптимальний вибір змінюється кардинально, а стохастичні ефекти переважають над детермінованими очікуваннями.

Оцінювання стійкості стратегічних альтернатив у середовищі, що характеризується високим рівнем стохастичної мінливості, вимагає застосування методів, здатних формувати не окрему реалізацію ринкового процесу, а цілу множину можливих траєкторій. Моделювання Монте–Карло є універсальним інструментом, який дозволяє відтворити поведінку складних економічних систем, коли їх аналітичний опис або неможливий, або призводить до надмірно спрощених рішень [7]. Використання цього методу у стратегічному менеджменті дозволяє отримати розширену картину ризиків: замість поодинокого значення очікуваного результату формується розподіл можливих підсумків, що дає змогу визначати не лише середні, але й екстремальні значення, частоту критичних відхилень та ймовірність реалізації найбільш небезпечних сценаріїв.

При застосуванні методу Монте–Карло ринкові параметри представлені у вигляді випадкових величин, розподіл яких визначається емпіричними даними, експертними припущеннями або теоретичними закономірностями. Ключовим моментом є можливість моделювання взаємозалежності між факторами — попитом, ціною, рівнем витрат, часовими лагами. Це дає змогу створити цілісний багатофакторний стохастичний простір, у межах якого стратегія оцінюється не як фіксований набір параметрів, а як функція багатьох випадкових процесів. Після проведення великої кількості симуляцій формується статистично значущий розподіл результатів, що дозволяє оцінити стійкість стратегії у широкому спектрі ринкових умов.

Особливістю методу Монте–Карло є здатність відображати не лише трендові зміни ринку, але й структурні збурення — різкі провали попиту, раптові стрибки цін, аномальні зміни витрат. У реальному ринковому середовищі такі події відіграють вирішальну роль, тому стратегія, яка може витримати широкий спектр відхилень, має значно більшу практичну цінність. Реальна стійкість не обмежується високим очікуваним значенням — вона визначається здатністю стратегії забезпечити прийнятний результат у більшості можливих сценаріїв. Саме множинне моделювання дозволяє виокремити стратегії з високою адаптивністю.

Для системної оцінки стійкості стратегічних альтернатив необхідно структурувати послідовність етапів стохастичного моделювання. Рисунок 3 відтворює логіку переходу від визначення випадкових параметрів до формування емпіричних розподілів результатів, які слугують основою для глибокого ризикового аналізу.

У загальному вигляді метод Монте–Карло для стратегічної альтернативи формулюється так:

$$R_i^{(k)} = g\left(X_1^{(k)}, X_1^{(k)}, \dots, X_n^{(k)}\right), \qquad k = 1,2,\dots,N, \quad (11)$$

де $R_i^{(k)}$ — результат стратегії і у k–му сценарії, $X_j^{(k)}$ — випадкові реалізації ринкових факторів.

Після виконання N симуляцій отримуємо оцінку:

$$E(R_i) \approx \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} R_i^{(k)}, \quad (12)$$

а також оцінку ризикових характеристик:

$$\sigma_i \approx \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{k=1}^{N}\left(R_i^{(k)} - E(R_i)\right)^2}, \quad (13)$$

Це дозволяє перейти від номінальної оцінки до емпіричного стохастичного профілю стратегії.

Після багаторазового прогону моделі Монте–Карло формується комплекс емпіричних показників, які відображають поведінку кожної стратегії в умовах стохастичної мінливості. Таблиця 3 узагальнює найважливіші метрики, що характеризують як очікувану ефективність, так і ризикові параметри, дозволяючи порівняти стратегії за рівнем стабільності, адаптивності та ймовірністю критичних відхилень.

Цінність методу Монте–Карло полягає у можливості формувати повні емпіричні розподіли ре–

Таблиця 2. Зміни рангу при різних параметрах ризику

Параметр ризику	Домінуюча стратегія	Чутливість рангу	Примітка
Низька дисперсія (σ<12)	A	Низька	A має найвищий E(R)
Середня дисперсія (σ≈15–20)	B	Висока	Відбувається інверсія між A та B
Висока дисперсія (σ>25)	C	Надвисока	Перевага стратегії з мінімальним ризиком

Джерело: розроблено автором на основі [6]

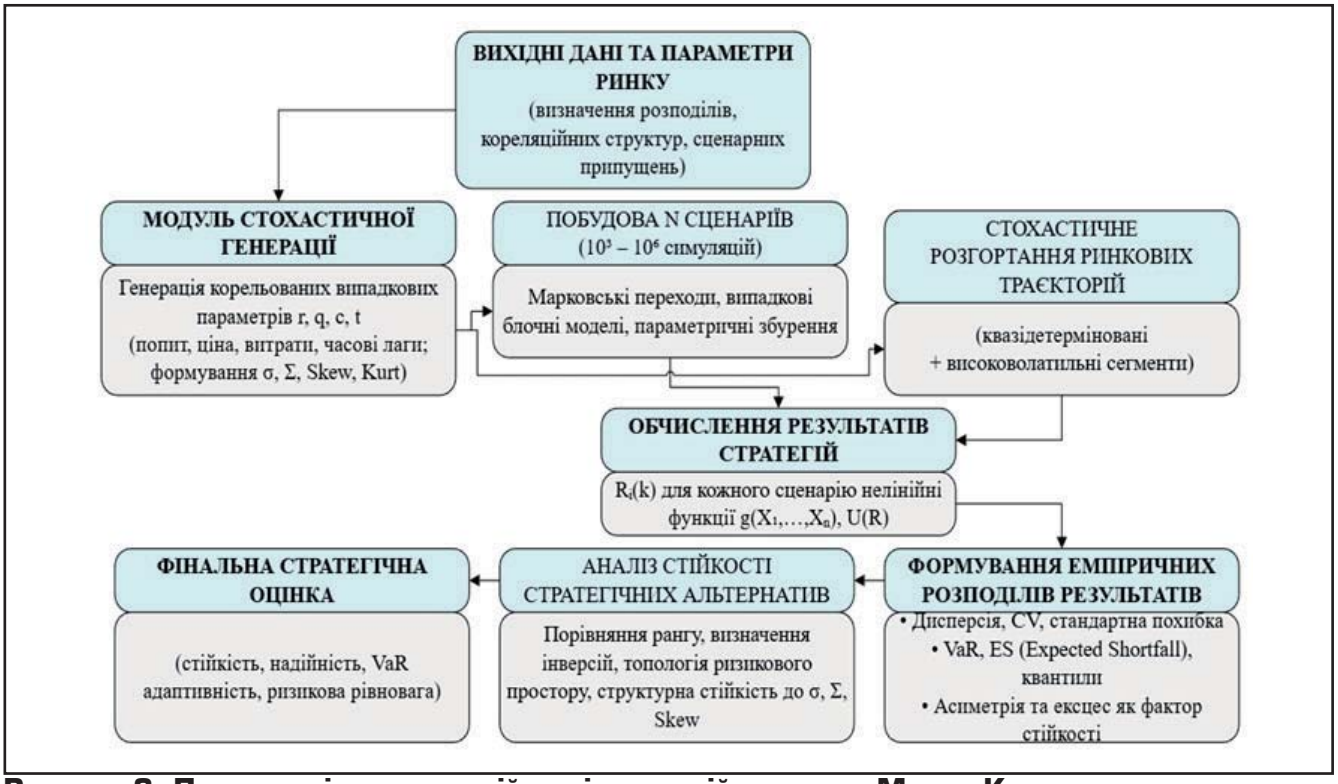

Рисунок 3. Процес оцінювання стійкості стратегій методом Монте–Карло

Джерело: розроблено автором на основі [7]

зультатів. Це особливо важливо для стратегічного вибору, оскільки навіть дві стратегії з однаковим математичним сподіванням можуть мати докорінно різні профілі ризику. Наприклад, стратегія А може демонструвати широкий діапазон значень — від надзвичайно високих до катастрофічно низьких. Натомість стратегія С, яка має нижчий середній результат, демонструє вузький спектр коливань, що робить її привабливою для інвесторів із високою ризико–аверсією [8].

Це дозволяє перейти до важливого концепту — стратегічної надійності, яка кількісно визначається як здатність стратегії уникати критичних відхилень. Одним із методів оцінювання надійності є аналіз хвостових характеристик розподілу, зокрема показників VaR та CVaR. Високий VaR означає, що навіть у найгірших умовах стратегія зберігає певний мінімальний ефект, що позитивно характеризує її стабільність.

Особливо цікавим є поєднання симуляцій з поведінковими функціями корисності, наприклад:

$$U(R) = ln(R), \quad \text{або} U(R) = R^{1-\gamma}, \qquad (14)$$

У цьому разі після симуляцій розраховується не тільки розподіл результатів, а й розподіл корисності:

$$E(U_i) \approx \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} U\left(R_i^{(k)}\right), \qquad (15)$$

Це дає змогу переорієнтувати стратегічний вибір з максимізації номінального ефекту на максимізацію відчутної ефективності з урахуванням ризику.

Монте–Карло дозволяє не просто сформувати стійкі та нестійкі стратегії, а й побачити тополо–

Таблиця 3. Характеристика стратегії після симуляцій Монте–Карло

Показник	Стратегія А	Стратегія В	Стратегія С
Кількість симуляцій (N)	10 000	10 000	10 000
$E(R_i)$	118	112	105
σ_i	26	14	9
Ймовірність збитковості (%)	18.4	9.7	3.1
VaR (5%)	67	82	90
CV	0.22	0.12	0.085
Інтерпретація	Нестійка	Середня	Найбільш стійка

Джерело: розроблено автором на основі [8]

гію стратегічного простору: області, де стратегія A домінує над B, сегменти, де B переважає над C, та критичні зони, де відбувається раптовий перехід домінування. Ці ефекти неможливо виявити у класичних статичних моделях.

Графічні методи, побудовані за результатами симуляцій, демонструють складну структуру ризикового ландшафту, де кожна стратегія займає свою область найкращого застосування.

Однією з важливих характеристик, яку дозволяє виявити метод Монте–Карло, є не лише очікуваний рівень прибутковості чи ризику, але й ступінь структурної стабільності стратегій під дією мікро– та макроекономічних шоків, що моделюються у процесі симуляцій. У складних ринкових системах багато параметрів змінюються не в ізольованому режимі, а утворюють корельовані каскади, де флуктуації однієї змінної спричиняють системні реакції в інших. Через це стійкість стратегії не може бути визначена на основі традиційних однофакторних методів, а потребує багатовимірного аналізу, що поєднує імітаційні сценарії, статистичні розподіли та ризикові метрики [9].

Модель Монте–Карло дозволяє змоделювати різноманітні типи структурних порушень: короткострокові цінові шоки, довготривалі зміни трендів попиту, нелінійні ефекти зростання собівартості, рецесійні зміщення тощо. Внаслідок цього формується багатовимірний розподіл результативності кожної стратегії, у якому проявляється характерна дисперсійна топологія: стратегія демонструє різну ступінь розкиду у різних областях параметричного простору. Виявлення таких структурних сегментів дозволяє приймати стратегічні рішення не інтуїтивно, а на основі об'єктивних ймовірнісних характеристик.

Для кращого розуміння цього процесу побудований рисунок 4, який демонструє частоту появи різних результатів стратегії після великої кількості симуляцій. Цей графік відображає не тільки середні значення, а насамперед реальний профіль стійкості, зосереджений у формі розподілу, що створює більш глибоке уявлення про поведінку стратегії в умовах невизначеності [10].

Для опису стійкості стратегії необхідно розрахувати ризикові та структурні показники на основі отриманого емпіричного розподілу. Серед таких показників доцільно обчислити:

1. Емпіричне математичне сподівання

$$E(R_B) \approx \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\left(R_B^{(k)}\right), \qquad (16)$$

При N = 10 000 симуляцій отримано:

$$E(R_B) = 112.37.$$

2. Емпірична дисперсія

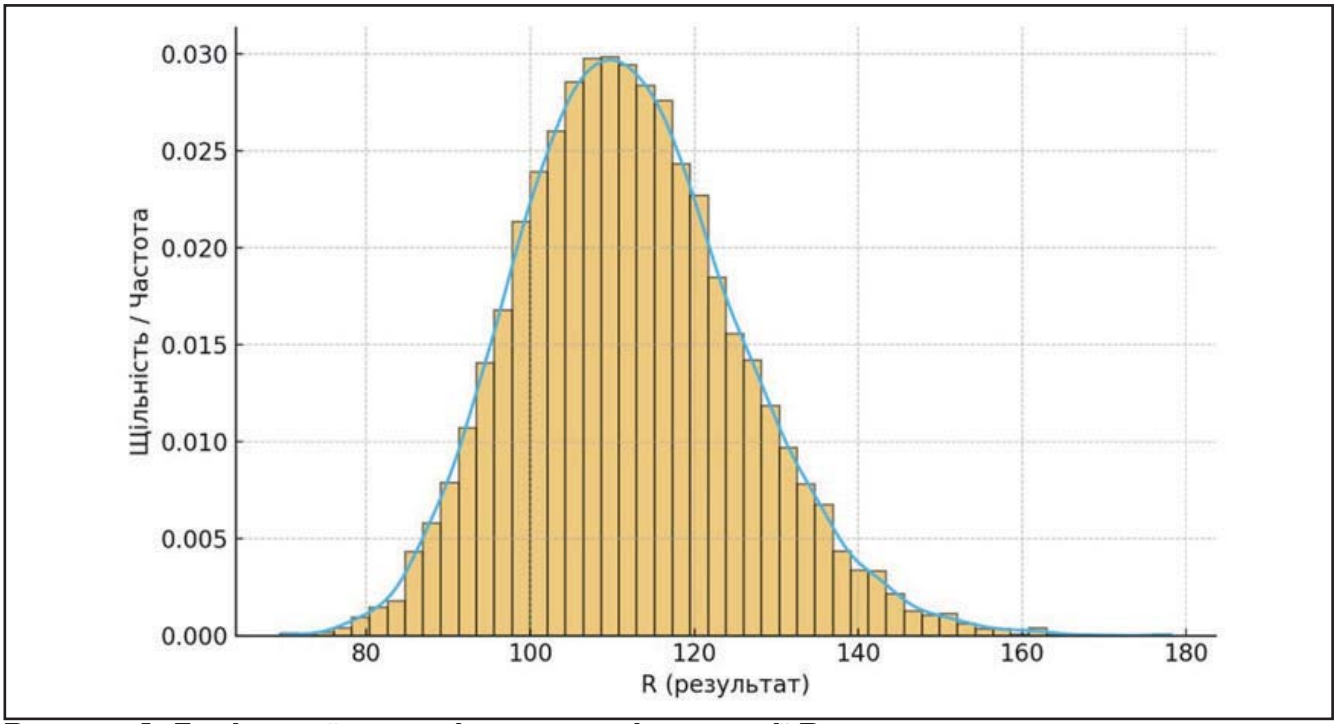

Рисунок 4. Емпіричний розподіл результатів стратегії B

Джерело: розроблено автором на основі [10]

Таблиця 4. Порівняння стійкості стратегій за результатами симуляцій Монте–Карло

Показник	Стратегія A	Стратегія B	Стратегія C
Емпіричне $E(R_i)$	117.2	112.4	105.6
Емпіричне σ_i	26.8	14.1	8.9
CV	0.23	0.126	0.084
Ймовірність провалу (%)	18.4	9.1	3.4
VaR (5%)	67	83	90
CVaR (5%)	59	78	88
Стійкість у хвостах	Низька	Середня	Висока

Джерело: розроблено автором на основі [11]

$$\sigma^2{}_B \approx \frac{1}{N-1}\sum_{k=1}^{N}\left(R_B^{(k)} - E(R_B)\right)^2, \quad (17)$$

Перерахунок дає:

$$\sigma_B \approx 14.12.$$

3. Коефіцієнт варіації

$$CV_B = \frac{\sigma_B}{E(R_B)} = \frac{14.12}{112.37} \approx 0.126.$$

4. 5% Value–at–Risk (*VaR*):

$$VaR_{0.05}(B) = R_{(0.05\times N)} \approx 83.$$

Ймовірність реалізації результату нижче критичного порогу

Наприклад, поріг може бути заданий як R = 90:

$$P(R_B < 90) = \frac{\text{кількість симуляцій, де } R_B^{(k)} < 90}{N}, \quad (18)$$

Розрахунок на основі симуляцій:

$$P(R_B < 90) = 0.091.$$

Цей показник дозволяє швидко оцінити експозицію стратегії до потенційно збиткових чи критичних подій.

Таблиця 4 демонструє, що стратегія С має найвищу структурну стійкість, незважаючи на найнижче середнє значення результату. Стратегія А демонструє високу волатильність і значний хвостовий ризик, що має критичне значення для інвесторів із низькою терпимістю до збитків. Стратегія В займає проміжне положення, демонструючи збалансовану ефективність та помірний ризик [11].

У реальних стратегічних моделях вибір рідко здійснюється на основі математичного сподівання. Частіше застосовуються функції корисності, які трансформують ризикові ефекти відповідно до поведінкових характеристик суб'єкта.

Висновок

Сформоване дослідження дозволило окреслити цілісне бачення того, як математичний апарат багатоваріантного стратегічного вибору функціонує в умовах стохастичності ринкових процесів та як він трансформує уявлення про природу стратегічної оптимальності. Розгляд взаємодії невизначеності, багатофакторності та нелінійності показав, що сучасна стратегічна модель не може ґрунтуватися на статичних чи спрощених припущеннях, адже ринкове середовище формує не окремі детерміновані траєкторії, а спектр можливих сценаріїв, що потребують комплексного імовірнісного аналізу. Використані концепції продемонстрували, що значення стратегічного вибору визначається не лише рівнем очікуваних вигод, а передусім стійкістю результатів, їх чутливістю до коливань та здатністю зберігати функціональність у широкому діапазоні ринкових режимів.

Поглиблене дослідження ролі стохастичних параметрів засвідчило, що зміна дисперсії, асиметрії, коваріацій та інших характеристик розподілу чинить істотний вплив на рангові позиції стратегій. У багатьох випадках саме зростання волатильності стає ключовим чинником інверсії переваг, коли стратегія з високим середнім результатом поступається більш стабільній альтернативі. Це продемонструвало, що невизначеність є не просто ризиковою обставиною, а структурним елементом стратегічної динаміки, який формує якісно інший простір рішень. Виявлена нелінійність реакції стратегій на коливання параметрів підтвердила, що стратегічний простір не є гладким або рівномірним: він має критичні точки, переломні зони та локальні регіони домінування, що зумовлюють складність прийняття оптимального рішення.

Багатократні стохастичні моделювання дали можливість поглиблено оцінити стійкість стратегій, виходячи з емпіричних розподілів їхніх результатів. Саме симуляційні методи забезпечили відтворення широкої множини можливих станів ринку, зокрема екстремальних, що рідко враховуються при традиційних детермінованих розрахунках. Завдяки цьому стало можливим кількісно оцінити не лише середні значення, але й хвосто–

ві ризики, ймовірності провалів, потенціал до надприбуткових реалізацій, стабільність у стресових сегментах та поведінку стратегій у зонах підвищеного ризику. Це дозволило розглядати стратегії як стохастичні об'єкти з комплексною внутрішньою структурою, а не як сукупність фіксованих параметрів. Загальна аналітична картина показала, що оптимальна стратегія формується на перетині ефективності та стійкості. Зростання невизначеності переорієнтовує вибір у бік рішень, що забезпечують більшу надійність, навіть якщо вони поступаються у рівні номінального результату.

Список використаних джерел:

1. Приходько, Д., Оксенчук, Р., Ананко, Ю., та Біденко, Д. (2024). Математичне та економічне моделювання етапів, бізнес–процесів та механізмів прийняття рішень щодо стратегічних змін у компаніях–зацікавлених сторонах будівельної галузі. Шляхи підвищення ефективності будівництва , 2 (53), 256–275. https://doi.org/10.32347/2707–501x.2024.53(2).256–275

2. Нужна С. А., Карімов Г. І., Карімов І. К., Строєва В. О. Аналіз ризику як інструмент оптимізації процесу прийняття рішень в системі економічної безпеки підприємства // Ефективна економіка. – 2025. – № 4. – 20 с. DOI: http://doi.org/10.32702/2307–2105.2025.4.64. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dspace.dsau.dp.ua/server/api/core/bitstreams/79894855–00ca–4971–acfa–d2b2fc97218a/content

3. Башмаков М. С. Логістичний менеджмент в рішенні задач регіонального розвитку закордонних транспортних систем // Наукові проблеми господарювання на макро–, мезо– та мікроекономічному рівнях. – 2023. – С. 150. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ust.edu.ua/wp–content/uploads/2025/07/dis_bashmakov–2025_compressed.pdf

4. Гожий О. П. Інформаційні технології динамічного планування та прийняття рішень на основі ймовірнісно–статистичних методів : дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Миколаїв : Чорноморський державний університет імені Петра Могили, 2016. – 345 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1657/gozhyyopdysertaciyanazdobuttyanaukovogostupennyadoktoratehnichnyhnauk.pdf

5. Хоменко , О. , Петренко , Г. , Рижакова , Г. , Петруха , Н. , Чуприна , Ю. , Малихіна , О. , & Кушнір , О. (2022). Сучасні інструменти та програмні продукти адміністрування будівельними організаціями в умовах трансформації операційних систем менеджменту. Управління розвитком складних систем, (52), 113–125. https://doi.org/10.32347/2412–9933.2022.52.113–125

6. Дебела І. М. Стохастична модель оптимізації управління ризиками // Інфраструктура ринку. – 2021. – Вип. 54. – С. 267–270. – Причорноморський науково–дослідний інститут економіки та інновацій. – Видавничий дім «Гельветика». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://surl.li/byfqoz

7. Копішинська О. П., Уткін Ю. В., Карташова О. Г. Застосування методу Монте–Карло для підтримки прийняття рішень щодо розподілу інвестицій // Актуальні проблеми економіки. – 2017. – № 5(191). – С. 199–207. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dspace.pdau.edu.ua/server/api/core/bitstreams/41a91a6e–5857–40c1–8234–62905f408c36/content

8. Iu. Chupryna, V. Pokolenko, M. Horbach, O. Bolebrukh, D. Hrabchak. – Model of strategic analysis of formation and administration of investment activity of stockholder construction company. Scientific Journal of Astana IT University, Volume 3, September 2020, pp 51–62 DOI: 10.37943/AITU.2020.19.30.005

9. Кобзєва К.В. Розробка аналітичного інструментарію управління логістичними затратами підприємства / К.В. Кобзєва // [Електронний ресурс]. – URL: http://manved.at.ua/publ/rozrobka_analitichnogo_instrumentariju_upra linnja_logistichni mi_zatratami_pidpriemstva/2–1–0–21.

10. Кабанець І.А. Визначення основних логістичних підходів до управління інноваційними процесами. [Електронний ресурс URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2539

11. Огінський Є. В., Антонюк Д. С. Метод Монте–Карло у моделюванні процесів управління персональними фінансами // Матеріали наукової конференції. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2024. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://conf.ztu.edu.ua/wp–content/uploads/2024/01/28.pdf

References:

1. Prykhod'ko, D., Oksenchuk, R., Ananko, Yu., ta Bidenko, D. (2024). Matematychne ta ekonomichne modelyuvannya etapiv, biznes–protsesiv ta mekhanizmiv pryynyattya rishen' shchodo stratehichnykh zmin u kompaniyakh–zatsikavlenykh storonakh budivel'noyi haluzi. Shlyakhy pidvyshchennya efektyvnosti budivnytstva , 2 (53), 256–275. https://doi.org/10.32347/2707–501x.2024.53(2).256–275

2. Nuzhna S. A., Karimov H. I., Karimov I. K., Stroyeva V. O. Analiz ryzyku yak instrument optymizatsiyi protsesu pryyn–

yattya rishen' v systemi ekonomichnoyi bezpeky pidpryyemstva // Efektyvna ekonomika. – 2025. – № 4. – 20 s. DOI: http://doi.org/10.32702/2307–2105.2025.4.64. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: https://dspace.dsau.dp.ua/server/api/core/bitstreams/79894855–00ca–4971–acfa–d2b2fc97218a/content

3. Bashmakov M. S. Lohistychnyy menedzhment v rishenni zadach rehional'noho rozvytku zakordonnykh transportnykh system // Naukovi problemy hospodaryuvannya na makro–, mezo– ta mikroekonomichnomu rivnyakh. – 2023. – S. 150. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: https://ust.edu.ua/wp–content/uploads/2025/07/dis_bashmakov–2025_compressed.pdf

4. Hozhyy O. P. Informatsiyni tekhnolohiyi dynamichnoho planuvannya ta pryynyattya rishen' na osnovi ymovirnisno–statystychnykh metodiv : dysertatsiya na zdobuttya naukovoho stupenya doktora tekhnichnykh nauk za spetsial'nistyu 05.13.06 «Informatsiyni tekhnolohiyi». – Mykolayiv : Chornomors'kyy derzhavnyy universytet imeni Petra Mohyly, 2016. – 345 s. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1657/gozhyyopdysertaciyanazdobutty–anaukovogostupennyadoktoratehnichnyhnauk.pdf

5. Khomenko , O. , Petrenko , H. , Ryzhakova , H. , Petrukha , N. , Chupryna , Yu. , Malykhina , O. , & Kushnir , O. (2022). Suchasni instrumenty ta prohramni produkty administruvannya budivel'nymy orhanizatsiyamy v umovakh transformatsiyi operatsiynykh system menedzhmentu. Upravlinnya rozvytkom skladnykh system, (52), 113–125. https://doi.org/10.32347/2412–9933.2022.52.113–125

6. Debela I. M. Stokhastychna model' optymizatsiyi upravlinnya ryzykamy // Infrastruktura rynku. – 2021. – Vyp. 54. – S. 267–270. – Prychornomors'kyy naukovo–doslidnyy instytut ekonomiky ta innovatsiy. – Vydavnychyy dim «Hel'vetyka». [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: https://surl.li/byfqoz

7. Kopishyns'ka O. P., Utkin Yu. V., Kartashova O. H. Zastosuvannya metodu Monte–Karlo dlya pidtrymky pryynyattya rishen' shchodo rozpodilu investytsiy // Aktual'ni problemy ekonomiky. – 2017. – № 5 (191). – S. 199–207. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: https://dspace.pdau.edu.ua/server/api/core/bitstreams/41a91a6e–5857–40c1–8234–62905f408c36/content

8. Iu. Chupryna, V. Pokolenko, M. Horbach, O. Bolebrukh, D. Hrabchak. – Model of strategic analysis of formation and administration of investment activity of stockholder construction company. Scientific Journal of Astana IT University, Volume 3, September 2020, pp 51–62 DOI: 10.37943/AITU.2020.19.30.005

9. Kobzyeva K.V. Rozrobka analitychnoho instrumentariyu upravlinnya lohistychnymy zatratamy pidpryyemstva / K.V. Kobzyeva // [Elektronnyy resurs]. – URL: http://manved.at.ua/publ/rozrobka_analitichnogo_instrumentariju_upra linnja_logistichni mi_zatratami_pidpriemstva/2–1–0–21.

10. Kabanets' I.A. Vyznachennya osnovnykh lohistychnykh pidkhodiv do upravlinnya innovatsiynymy protsesamy. [Elektronnyy resurs URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2539

11. Ohins'kyy Ye. V., Antonyuk D. S. Metod Monte–Karlo u modelyuvanni protsesiv upravlinnya personal'nymy finansamy // Materialy naukovoyi konferentsiyi. – Zhytomyr : Derzhavnyy universytet «Zhytomyrs'ka politekhnika», 2024. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: https://conf.ztu.edu.ua/wp–content/uploads/2024/01/28.pdf

Дані про автора

Романенко Олеся Валеріївна,

к. е. н., доцент Київського національного університету будівництва і архітектури

ORSID:https://orcid.org/0000–0001–5684–6791

e–mail: romanenko.ov@knuba.edu.ua

Data about the author

Olesia Romanenko,

Doctor of Philosophy in Economics, Associate Professor at Kyiv National University of Construction and Architecture

e–mail: romanenko.ov@knuba.edu.ua

Надходження статті до редакції 05.03.2026

Прийнято до друку 17.03.2026

Опубліковано 30.03.2026