

УДК 330.4:519.2:519.7

DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.213.61-69>**Черноусова Ж.Т.**

кандидат фізико-математичних наук

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Chernousova Zhanna

PhD in Physical and Mathematical Sc.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

<https://orcid.org/0000-0003-0769-9048>

ЕКОНОМІЧНІ РІШЕННЯ ЯК ОБ'ЄКТ КОМБІНАТОРНОГО ТА ЙМОВІРІСНОГО АНАЛІЗУ

У статті обґрунтовано необхідність використання математичного апарату при аналізі економічних рішень в умовах невизначеності та множинності сценаріїв. Показано комбінаторну природу задач сценарного аналізу, що зумовлює експоненційне зростання кількості альтернатив і ускладнює їх порівняння.

Запропоновано підхід, у межах якого сценарії розглядаються як випадкові величини з відповідними розподілами результатів, що дозволяє враховувати структуру ризику, зокрема асиметрію розподілів і можливість екстремальних подій. Доведено обмеженість використання математичного сподівання та дисперсії як критеріїв оцінювання альтернатив.

На основі аналітичних прикладів показано можливість виникнення парадоксальних ефектів і пропуску ефективних рішень при обмеженому сценарному аналізі. Обґрунтовано необхідність формалізації множини сценаріїв як комбінаторного простору та використання ймовірнісного підходу до аналізу результатів.

Ключові слова: економічні рішення, комбінаторний простір, ймовірнісний аналіз, сценарний підхід, невизначеність, ризик, Парето-оптимальність.

ECONOMIC DECISIONS AS AN OBJECT OF COMBINATORIAL AND PROBABILISTIC ANALYSIS

The article substantiates the necessity of using a mathematical framework in the analysis of economic decisions under uncertainty caused by the variability of the external environment and the multiplicity of possible development scenarios. It is shown that scenario analysis problems have a combinatorial nature, manifested in the exponential growth of the number of alternatives depending on the number of influencing factors, which significantly complicates decision-making and limits the feasibility of exhaustive enumeration.

An approach is proposed in which economic scenarios are treated as random variables with corresponding outcome distributions, allowing one to account not only for expected values but also for the full structure of uncertainty, including distribution asymmetry, variability of outcomes, and the probability of extreme events. The limitations of using the expected value, standard deviation, and coefficient of variation as criteria for comparing alternatives are demonstrated, as these measures do not capture the complete risk structure and may lead to incorrect ranking.

Based on analytical examples, the possibility of paradoxical effects arising from simplified approaches to evaluating economic decisions is illustrated, including the omission of more efficient or more robust alternatives due to restricted scenario analysis and reduction of the alternative set. It is also shown that the application of Pareto optimality does not guarantee an adequate choice when the initial set of scenarios is incomplete and the results depend on underlying assumptions.

The study demonstrates that proper analysis of economic decisions requires the formalization of the scenario set as a combinatorial space of alternatives and the use of a probabilistic approach to describing outcomes. The obtained results contribute to the development of methodological approaches to economic decision-making and can be applied in risk analysis, forecasting, and the development of analytical models under uncertainty.

This highlights the need to formalize the complete set of alternatives in scenario-based analysis to avoid omitting economically significant solutions. The proposed approach provides a more adequate basis for comparing alternatives under uncertainty by accounting for the full structure of outcome distributions.

Keywords: economic decisions, combinatorial space, probabilistic analysis, scenario approach, uncertainty, risk, Pareto optimality.

JEL classification: C02, D81, C61, C63.

ISSN друкованої версії: 2224-6282

ISSN електронної версії: 2224-6290

© Черноусова Ж.Т., 2026

Постановка проблеми. Прийняття економічних рішень у сучасних умовах характеризується високим рівнем невизначеності, що зумовлюється варіативністю попиту, нестабільністю ринків та впливом зовнішніх факторів. У таких умовах класичні підходи до аналізу, що базуються на використанні детермінованих показників або їх середніх значень, виявляються недостатніми для адекватного опису економічних процесів.

Однією з характерних особливостей сучасної економічної аналітики є використання сценарного підходу, який дозволяє враховувати різні варіанти розвитку подій. Проте у практиці сценарії часто формуються обмеженим чином, що не відображає повної множини можливих альтернатив.

Метою статті є обґрунтування комбінаторної та ймовірнісної природи економічних рішень і демонстрація необхідності використання математичного апарату для їх аналізу. Робота присвячена розвитку підходів до аналізу економічних рішень в умовах невизначеності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематика прийняття економічних рішень в умовах невизначеності є центральною у сучасній економічній теорії та прикладній аналітиці. Базовим підходом до її розв'язання є теорія рішень, яка сформувалася у працях Дж. Фон Неймана та О. Моргенштерна і ґрунтується на використанні ймовірностей та математичного сподівання для формалізації раціонального вибору [1]. У межах цього підходу економічні альтернативи оцінюються за очікуваним результатом, що забезпечує аналітичну простоту, але обмежує можливості врахування складної структури невизначеності. Подальший розвиток цього підходу пов'язаний із урахуванням ризику через характеристики варіативності результатів. Зокрема, у межах підходу «дохід–ризик», запропонованого Г. Марковцем і розвинутого В. Шарпом, альтернативи описуються через математичне сподівання та дисперсію [2; 3]. Незважаючи на широке застосування цього підходу, подальші дослідження показали, що опис розподілу лише через перші моменти є недостатнім.

Сучасні дослідження у сфері управління ризиками, зокрема у працях А. МакНіла, Р. Фрея та П. Ембрехтса, а також Дж. Халла, значно розширюють класичні підходи, зокрема за рахунок використання більш складних характеристик розподілу, таких як вартість під ризиком (Value-at-Risk, VaR) та умовна вартість під ризиком (Expected Shortfall, ES) [4; 5]. Ці інструменти дозволяють враховувати екстремальні значення та асиметрію розподілів, що є важливим для аналізу економічних рішень. Разом з тим, навіть розширення аналізу за рахунок додаткових показників не забезпечує повного опису невизначеності. Як показують сучасні дослідження, різні розподіли можуть мати однакові значення математичного сподівання та дисперсії, але суттєво відрізнятися за ризиком [4; 5]. Окремий напрям сучасних досліджень пов'язаний із розвитком підходу ергодичної економіки (ergodicity economics), представлений у роботах О. Петерса та А. Адаму, у межах якого піддається критиці використання математичного

сподівання як універсального критерію прийняття рішень. Зокрема, показано, що у неергодичних системах середні значення не відображають реальну динаміку економічних процесів [6]. Це означає, що рішення, оптимальні з точки зору математичного сподівання, можуть бути неефективними у динамічному середовищі. Крім того, у сучасній літературі, зокрема у роботах Н. Талеба, значна увага приділяється аналізу рідкісних, але впливових подій, які можуть суттєво змінювати результати економічних процесів [7]. Ігнорування таких подій призводить до систематичних помилок у прийнятті рішень. Паралельно з розвитком ймовірнісних підходів активно використовуються методи математичного моделювання та оптимізації, розроблені А. Шапіро, Д. Денчевою, А. Рущинським, а також Д. Берцимасом і Р. Фройндом, які дозволяють враховувати дискретну природу економічних рішень [8; 9]. У межах цих підходів розглядаються задачі вибору альтернатив за наявності ресурсних обмежень.

Водночас у практиці економічного аналізу широко застосовується сценарний підхід, який передбачає формування обмеженої кількості альтернативних варіантів розвитку подій. Проте, як показано у працях В. Вітлінського, у більшості випадків альтернативи формуються на основі експертних оцінок і не розглядаються як елементи формалізованого простору [10]. З позицій математичного аналізу сценарні задачі мають комбінаторну природу, що проявляється в експоненційному зростанні кількості альтернатив. При цьому традиційний підхід до відбору сценаріїв не гарантує повноти аналізу і може призводити до пропуску економічно значущих варіантів.

Таким чином, сучасні дослідження свідчать про необхідність переходу до комплексного підходу до аналізу економічних рішень, що поєднує ймовірнісний аналіз [11], урахування комбінаторної структури альтернатив та формалізацію сценарного простору. Водночас, незважаючи на значний розвиток відповідних підходів, залишається невирішеною проблема формалізації повної множини альтернатив у сценарному аналізі, що призводить до втрати економічно значущих варіантів і обмежує адекватність результатів оцінювання.

Мета статті – обґрунтування комбінаторної та ймовірнісної природи економічних рішень в умовах невизначеності та розвиток аналітичного підходу до їх дослідження на основі формалізації повної множини альтернатив у вигляді сценарного простору, переходу до розгляду розподілів результатів і виявлення обмежень традиційних методів сценарного та багатокритеріального аналізу.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети у дослідженні застосовано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів економічного аналізу. Так, порівняльно-аналітичний метод використано для зіставлення традиційних підходів до прийняття економічних рішень, що базуються на математичному сподіванні, стандартному відхиленні та коефіцієнті варіації, із сучасними підходами, які враховують повну структуру розподілу результатів, а також для узагальнення

наукових підходів до аналізу невизначеності та ризику. Системний підхід дозволив розглядати економічне рішення як складну багатофакторну систему, що формується під впливом множини взаємопов'язаних факторів і характеризується наявністю невизначеності, варіативності результатів та обмеженості ресурсів. Метод структурно-функціонального аналізу застосовано для дослідження ролі ймовірнісних характеристик у процесі прийняття рішень, зокрема для визначення обмеженості використання середніх значень, дисперсії та коефіцієнта варіації як критеріїв вибору альтернатив. Методи економіко-математичного моделювання використано для формалізації економічних рішень як задачі вибору між розподілами результатів, а також для побудови моделі сценарного аналізу як комбінаторного простору альтернатив, що описується множиною можливих конфігурацій факторів. Методи теорії ймовірностей застосовано для опису економічних результатів як випадкових величин, визначення їх характеристик (математичного сподівання, дисперсії, квантилів, ймовірності збитків) та обґрунтування необхідності врахування повної структури розподілу при прийнятті рішень. Методи комбінаторного аналізу використано для дослідження структури множини сценаріїв, оцінювання її потужності та обґрунтування експоненційного зростання кількості альтернатив залежно від кількості факторів. Метод Парето-аналізу застосовано для визначення множини ефективних альтернатив та дослідження обмежень цього підходу, зокрема залежності результатів від повноти початкової множини сценаріїв. Аналітичні розрахунки використано для побудови числових прикладів, що демонструють можливість виникнення парадоксальних ефектів при ігноруванні ймовірнісної структури результатів, а також для ілюстрації втрати ефективних рішень у разі спрощеного сценарного аналізу. Методи узагальнення та абстрагування

застосовано при формуванні теоретичних положень щодо комбінаторної та ймовірнісної природи економічних рішень. Табличний і розрахунковий методи використано для систематизації результатів дослідження, порівняння альтернатив за різними критеріями та ілюстрації впливу структури розподілу на процес прийняття економічних рішень.

Виклад основних результатів дослідження. У класичній теорії прийняття рішень відомі парадокси, які демонструють обмеженість використання математичного сподівання як єдиного критерію вибору. Однак більшість таких досліджень мають теоретичний або поведінковий характер. У прикладній економічній аналітиці подібні ефекти часто залишаються поза увагою, що може призводити до систематичних помилок у прийнятті рішень. На відміну від класичних парадоксів теорії рішень, у роботі наведено приклади, які безпосередньо відображають типові ситуації економічної практики.

Використання спрощених детермінованих оцінок у процесі прийняття економічних рішень може призводити до суттєвих викривлень результатів. У ряді випадків це означає втрату важливої інформації про структуру невизначеності, внаслідок чого разом із другорядними аспектами відсікаються й принципово значущі характеристики економічних результатів.

У класичних підходах економічні альтернативи порівнюються на основі одного числового показника, зокрема математичного сподівання. Однак у реальних умовах результат економічного рішення є випадковою величиною.

Формально кожному сценарію ставиться у відповідність розподіл: $S \rightarrow F_S(x)$.

Таким чином, задача прийняття рішення набуває вигляду:

$$S^* = \arg \max_{S \in \text{Saadm}} \Phi(F_S),$$

де:

Φ – функціонал вибору.

Отже, економічне рішення є вибором не між числами, а між розподілами результатів. Вплив ігнорування розподілів результатів на обґрунтованість економічних рішень доцільно проілюструвати на

$$S_1: \quad E = \begin{cases} 300, & 0,4; \\ -200, & 0,6. \end{cases}$$

Перший варіант інтуїтивно сприймається як більш привабливий, оскільки передбачає можливість отримання значного прибутку, що може зумовлювати його вибір. Математичний аналіз показує: $E[S_1] = 0,4 \cdot 300 + 0,6 \cdot (-200) = 0$, $E[S_2] = 50$, при цьому ймовірність отримання збитків у першому випадку становить $P(S_1 < 0) = 0,6$.

Отже, варіант, який інтуїтивно здається більш

$$S_1: \quad E = \begin{cases} 200, & 0,5; \\ 0, & 0,5. \end{cases}$$

наступних прикладах.

Приклад 1. Ігнорування ризику збитків.

Розглянемо два варіанти інвестицій:

$$S_2: \quad E = 50 \text{ (гарантовано).}$$

вигідним, фактично поступається альтернативі за очікуваним результатом та характеризується значно вищим рівнем ризику, що підтверджує необхідність врахування ймовірнісної структури результатів при прийнятті економічних рішень.

Приклад 2. Пастка середнього значення.

Розглянемо два варіанти:

$$S_2: \quad E = 100 \text{ (гарантовано).}$$

Середні значення для обох альтернатив збігаються і становлять

$$E[S_1]=E[S_2]=100,$$

що може створювати уявлення про їх еквівалентність. Однак така інтерпретація є поверхневою. Перший варіант характеризується наявністю суттєвого ризику отримання нульового результату, тоді як другий забезпечує стабільний дохід без варіативності.

Таким чином, рівність математичних сподівань не означає рівноцінності альтернатив, оскільки вони

$$S_1: E=\begin{cases} 110, & 0,9; \\ -1000, & 0,1. \end{cases}$$

Інтуїтивно перший варіант може сприйматися як більш привабливий, оскільки у переважній більшості випадків (із ймовірністю 0,9) забезпечує позитивний

$$E[S_1]=0,9 \cdot 110 + 0,1 \cdot (-1000) = -1,$$

що є суттєво гіршим за гарантований результат другого варіанта.

Таким чином, рідкісні, але значні за величиною негативні події здатні кардинально змінювати оцінку ефективності альтернатив. Ігнорування повної структури розподілу результатів у таких випадках призводить до хибних висновків та втрати ключової інформації, необхідної для прийняття обґрунтованих економічних рішень.

Приклад 4. «Парадокс стабільного ризику».

Розглянемо два сценарії:

$$E[S_1]=0,95 \cdot 100 + 0,05 \cdot (-2000) = -5,$$

що є гіршим за гарантований результат другого варіанта.

Таким чином, навіть незначна ймовірність значних втрат може суттєво впливати на загальну оцінку альтернативи та повністю змінювати прийняте рішення. Цей приклад ілюструє, що «майже завжди сприятливий» сценарій не обов'язково є ефективним, а ігнорування

$$S_1: E=\{100, 1\}.$$

Інтуїтивно другий варіант може сприйматися як покращення, оскільки передбачає можливість отримання більшого доходу. Така логіка базується на уявленні,

$$E[S_2]=0,9 \cdot 150 + 0,1 \cdot (-500) = 85,$$

що є нижчим за гарантований результат першого варіанта.

Таким чином, додавання альтернатив із потенційно вищими виграшами, але пов'язаних із ризиком значних втрат, може погіршувати загальну ефективність рішення. Даний приклад демонструє, що збільшення кількості можливостей не обов'язково означає покращення результату, а ігнорування структури розподілу

$$S_1: E=\begin{cases} 120, & 0,5; \\ 80, & 0,5. \end{cases}$$

принципово відрізняються за структурою ризику. Ігнорування розподілу результатів у цьому випадку призводить до втрати ключової інформації, необхідної для обґрунтованого прийняття економічних рішень.

Приклад 3. Неправильна оцінка «стабільності».

Розглянемо:

$$S_2: E=80 \text{ (гарантовано).}$$

результат. Проте математичний аналіз свідчить про протилежне:

S_1 (стабільний, але з ризиком катастрофи):

$$E=\begin{cases} 100, & 0,95; \\ -2000, & 0,05. \end{cases}$$

S_2 (помірний, безпечний): $E=80$.

Інтуїтивно перший варіант може оцінюватися як більш привабливий, оскільки з високою ймовірністю (0,95) забезпечує позитивний результат. Така оцінка формує уявлення про його «стабільність» і доцільність вибору. Однак математичний аналіз демонструє іншу картину:

розподілу результатів призводить до хибної оцінки ризику. Суть даного парадоксу полягає в тому, що мала ймовірність катастрофічних втрат здатна нівелювати переваги високої ймовірності позитивного результату.

Приклад 5. «Парадокс вигідного розширення».

Розглянемо два варіанти:

$$S_2: E=\begin{cases} 150, & 0,9; \\ -500, & 0,1. \end{cases}$$

що розширення можливостей автоматично підвищує ефективність альтернативи. Однак математичний аналіз свідчить про протилежне:

призводить до некоректної оцінки альтернатив. Суть парадоксу полягає в тому, що розширення множини результатів може супроводжуватися зростанням ризику, який нівелює потенційні вигоди.

Приклад 6. «Парадокс домінування без домінування».

Розглянемо два варіанти:

$$S_2: E=\begin{cases} 200, & 0,2; \\ 60, & 0,8. \end{cases}$$

Інтуїтивно другий варіант може сприйматися як більш привабливий, оскільки передбачає можливість отримання значно вищого результату. Така оцінка ґрунтується на фокусуванні на максимальних значеннях, без урахування їхньої ймовірності.

Проте математичний аналіз показує: $E[S_1]=100$, $E[S_2]=88$,

що свідчить про перевагу першого варіанта за очікуваним результатом.

Таким чином, варіант, який інтуїтивно сприймається як «більш вигідний», фактично поступається

$$S_1: E = \begin{cases} 0, & 0,5; \\ 200, & 0,5. \end{cases}$$

Середні значення для обох альтернатив збігаються: $E[S_1]=100$, $E[S_2]=100$.

$$\text{Var}(S_1) = 0,5 \cdot (0-100)^2 + 0,5 \cdot (200-100)^2 = 0,5 \cdot 10000 + 0,5 \cdot 10000 = 5000 + 5000 = 10000,$$

$$\text{Var}(S_2) = 0,125 \cdot (-100-100)^2 + 0,75 \cdot (100-100)^2 + 0,125 \cdot (300-100)^2 = 0,125 \cdot 40000 + 0,75 \cdot 0 + 0,125 \cdot 40000 = 5000 + 0 + 5000 = 10000,$$

відповідно, коефіцієнт варіації для обох сценаріїв дорівнює:

$$CV = \sqrt{10000}/100 = 1.$$

На перший погляд, такі результати можуть свідчити про еквівалентність альтернатив за рівнем ефективності та ризику. Проте більш детальний аналіз показує принципові відмінності: ймовірність отримання збитків для першого сценарію відсутня $P(S_1 < 0) = 0$, тоді як для другого вона становить $P(S_2 < 0) = 0,125$.

Отже, незважаючи на однакові значення математичного сподівання, дисперсії та коефіцієнта варіації, сценарії суттєво відрізняються за структурою розподілу результатів. Зокрема, стандартне відхилення та коефіцієнт варіації не відображають асиметрію розподілу, наявність «важких хвостів» і ризик рідкісних, але значних втрат. Тобто навіть у випадку врахування стандартного відхилення та коефіцієнта варіації економічні альтернативи можуть залишатися нерозрізненими, незважаючи на принципові відмінності у структурі розподілу результатів.

Таким чином, характеристики другого порядку не є достатніми для повноцінного опису ризику економічних рішень. Навіть розширення аналізу за рахунок дисперсії не усуває проблеми втрати інформації, що підтверджує необхідність переходу до повного ймовірнісного опису економічних результатів.

Наведені приклади демонструють, що відмова від ймовірнісного опису економічних результатів призводить до низки суттєвих викривлень у процесі прийняття рішень. Зокрема, це проявляється в ігноруванні ризику значних втрат; некоректному порівнянні альтернатив, що виникає внаслідок використання узагальнених показників без урахування ймовірнісної структури результатів, у результаті чого альтернативи з принципово різними характеристиками ризику можуть розглядатися як еквівалентні або неправильно ранжуватися; втраті інформації про варіативність результатів, що проявляється у згортанні розподілу до окремих числових характеристик, які не відображають повний

альтернативі при врахуванні ймовірнісної структури результатів. Даний приклад демонструє, що орієнтація лише на потенційно високі значення без урахування їхньої ймовірності може призводити до некоректних висновків. Суть парадоксу полягає в тому, що наявність більш високих можливих вигащів не гарантує домінування альтернативи у формальному сенсі.

Приклад 7. Обмеженість характеристик другого порядку.

Розглянемо два сценарії:

$$S_2: E = \begin{cases} -100, & 0,125; \\ 100, & 0,75; \\ 300, & 0,125. \end{cases}$$

Дисперсії також є однаковими:

спектр можливих значень, їх ймовірностей, а також структуру ризику, включаючи асиметрію та рідкісні, але значущі події; помилковому виборі економічних рішень, що проявляється у відборі альтернатив, які є гіршими за очікуваним результатом або характеризуються вищим рівнем ризику внаслідок використання спрощених критеріїв оцінювання.

У цьому контексті використання лише середніх значень або інтуїтивних оцінок означає спрощення моделі, яке супроводжується втратою суттєвих характеристик економічної системи, зокрема асиметрії розподілів, наявності рідкісних подій та структури ризику. У результаті інтуїтивні оцінки можуть призводити до систематичних помилок, коли альтернативи з потенційно вищими вигащами або «майже гарантованими» результатами виявляються менш ефективними через наявність малої ймовірності, але значних втрат. Економічні «парадокси» такого типу виникають не через суперечність логіки, а внаслідок ігнорування ймовірнісної структури результатів.

Обґрунтування економічних рішень на основі сценарного підходу та його обмежень.

У практиці економічного аналізу невизначеність часто враховується шляхом формування альтернативних сценаріїв розвитку подій. Як правило, сценарії задаються у вигляді окремих варіантів (оптимістичного, песимістичного, базового), що дозволяє врахувати різні можливі стани середовища. Однак такий підхід має обмеження, пов'язані з відсутністю формалізації структури множини сценаріїв.

Нехай економічна система характеризується набором факторів

x_1, x_2, \dots, x_n , кожен з яких може приймати скінченну кількість значень. Тоді сценарій визначається як комбінація значень цих факторів: $S = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Множина всіх можливих сценаріїв має потужність:

$$|S| = \prod_{i=1}^n k_i,$$

де k_i – кількість можливих станів i -го фактора.

У випадку бінарних альтернатив: $|S|=2^n$. Це означає, що навіть при відносно невеликій кількості факторів кількість можливих сценаріїв зростає експоненційно. У більшості прикладних досліджень використовується обмежена кількість сценаріїв, що формуються експертно. Як правило, розглядаються 3–5 варіантів, що не відображає повної множини можливих конфігурацій.

Такий підхід має низку недоліків: ігнорується значна частина можливих сценаріїв; не враховується комбінаторна структура альтернатив; можливі «критичні» сценарії залишаються поза аналізом; результати

значною мірою залежать від суб'єктивного вибору сценаріїв. Таким чином, скорочення множини сценаріїв без формальних критеріїв може призводити до втрати важливої інформації. Для подолання зазначених обмежень доцільно розглядати сценарії як елементи ймовірного простору.

Нехай кожному сценарію S відповідає ймовірність $P(S)$, тоді економічний результат можна подати як випадкову величину: $E=E(S)$.

Це дозволяє перейти від аналізу окремих сценаріїв до аналізу розподілу результатів. З огляду на експоненційну складність, повний перебір сценаріїв у більшості випадків є неможливим. Тому виникає задача редуцції простору:

$$S \rightarrow S_{adm} \rightarrow S^*,$$

де:

S_{adm} – допустимі сценарії (з урахуванням обмежень);

S^* – ефективні сценарії.

Редукція може здійснюватися на основі: ресурсних обмежень ($C(S) \leq B$), критеріїв ефективності; ймовірнісних характеристик (наприклад, обмеження на ризик). Таким чином, сценарний підхід у загальному випадку є не просто способом опису альтернатив, а інструментом формування комбінаторного простору економічних рішень. Його ефективне застосування потребує формалізації структури сценаріїв та використання математичних методів для їх аналізу.

У цьому сенсі сценарний аналіз без використання математичного апарату є неповним, оскільки не дозволяє оцінити повноту множини альтернатив, врахувати їхню структуру, обґрунтовано здійснити відбір рішень. Сценарії в економічному аналізі повинні розглядатися не як окремі варіанти, а як елементи формалізованого комбінаторного простору.

Приклад 8. Втрата оптимального сценарію через експертний відбір

Розглянемо задачу формування маркетингової стратегії підприємства, де рішення залежить від трьох факторів (табл.1):

x_1 – рівень рекламних витрат (0 – низький, 1 – високий),

x_2 – рівень цін (0 – низький, 1 – високий),

x_3 – обсяг виробництва (0 – обмежений, 1 –

розширений).

Повна множина сценаріїв: $S = \{0, 1\}^3 \Rightarrow |S|=8$.

Прибуток у наведеному прикладі вимірюється в умовних грошових одиницях і відображає інтегральний економічний результат реалізації відповідної стратегії. Таке представлення дозволяє абстрагуватися від конкретних масштабів діяльності та зосередитися на порівняльному аналізі альтернатив. Ризик у даному прикладі інтерпретується як узагальнена міра невизначеності результату, що може бути пов'язана з варіативністю прибутку, ймовірністю відхилення від очікуваного значення або потенційними втратами. У прикладі він задається у вигляді індексу ризику, що відображає зростання невизначеності при переході до більш агресивних стратегій.

Значення прибутку та ризику в моделі ґрунтуються на сценарному підході до оцінювання результатів, відповідно до якого очікуваний результат визначається як зважена сума можливих наслідків та їх ймовірностей. Водночас узгодженість ранжування прибутків і ризиків забезпечується фундаментальним принципом економічної теорії, згідно з яким зростання потенційного прибутку супроводжується підвищенням рівня ризику [10]. Значення прибутку для всіх сценаріїв відображає узгоджену економічну логіку впливу окремих факторів та їх комбінацій на фінансовий результат (табл. 1).

Таблиця 1

Оцінки економічних сценаріїв у просторі «прибуток–ризик»

Сценарій (S_i)	Прибуток (P)	Ризик (R)
(0, 0, 0)	50	10
(0, 0, 1)	70	20
(0, 1, 0)	60	15
(0, 1, 1)	90	40
(1, 0, 0)	80	25
(1, 0, 1)	120	50
(1, 1, 0)	100	30
(1, 1, 1)	150	80

Джерело: складено автором

Найнижчий рівень прибутку відповідає сценарію (0, 0, 0) ($P=50$), що характеризується мінімальними витратами на рекламу, низьким рівнем цін і обмеженим обсягом виробництва. У цьому випадку підприємство не використовує інструменти стимулювання попиту або розширення діяльності, що зумовлює низький, але відносно стабільний результат.

Підвищення одного з факторів призводить до зростання прибутку, однак інтенсивність цього зростання залежить від характеру впливу відповідного чинника. Зокрема, у сценарії (0, 1, 0) ($P=60$) збільшення прибутку пояснюється підвищенням рівня цін, що покращує маржинальність, але не супроводжується розширенням попиту. У варіанті (0, 0, 1) ($P=70$) розширення виробництва створює потенціал для збільшення обсягу реалізації, однак за відсутності активного стимулювання попиту цей ефект реалізується лише частково. Найбільш відчутне зростання серед одиничних змін спостерігається у сценарії (1, 0, 0) ($P=80$), де активізація рекламної діяльності сприяє розширенню попиту і збільшенню обсягів продажів, що у моделі інтерпретується як більш сильний фактор впливу на прибуток.

Комбінації двох факторів формують наступний рівень прибутковості за рахунок їх взаємодії. Так, у сценарії (0, 1, 1) ($P=90$) поєднання підвищення ціни та розширення виробництва дозволяє одночасно збільшити маржинальність і обсяг продажів. У варіанті (1, 1, 0) ($P=100$) додатковий ефект досягається за рахунок поєднання реклами та цінової політики, що стимулює попит і підвищує дохідність одиниці продукції. Найбільш ефективною серед двофакторних комбінацій є стратегія (1, 0, 1) ($P=120$), де поєднання реклами та розширення виробництва забезпечує суттєве зростання обсягів реалізації, що переважає ефект від підвищення цін.

Максимальний рівень прибутку досягається у сценарії (1, 1, 1) ($P=150$), який передбачає одночасну активізацію всіх факторів. У цьому випадку реалізується повний ефект від поєднання зростання попиту, збільшення обсягів виробництва та підвищення маржинальності, що забезпечує найвищий потенційний фінансовий результат.

Значення ризику для всіх сценаріїв відображає зростання невизначеності та потенційних втрат у міру посилення управлінського впливу та ускладнення стратегії. Найнижчий рівень ризику відповідає сценарію (0, 0, 0) ($R=10$), який передбачає мінімальну активність за всіма напрямками та, відповідно, найменшу невизначеність результату. Підвищення одного з факторів призводить до зростання ризику, однак ступінь цього зростання залежить від характеру впливу відповідного чинника. Зокрема, у сценарії (0, 1, 0) ($R=15$) підвищення ціни пов'язане з ризиком скорочення попиту, але не супроводжується значними додатковими витратами. У варіанті (0, 0, 1) ($R=20$) розширення виробництва підвищує ризик через можливі проблеми зі збутом та

накопичення запасів. Найбільш суттєве зростання ризику серед одиничних змін спостерігається у сценарії (1, 0, 0) ($R=25$), де активізація рекламної діяльності пов'язана з невизначеністю ефективності витрат і можливими перевитратами.

Комбінації двох факторів призводять до подальшого зростання ризику за рахунок їх взаємодії. У сценарії (0, 1, 1) ($R=40$) поєднання підвищення ціни та розширення виробництва створює ризик одночасного зниження попиту та перевиробництва. У варіанті (1, 1, 0) ($R=30$) поєднання реклами та цінової політики підвищує невизначеність реакції ринку. Найбільш ризиковою серед двофакторних комбінацій є стратегія (1, 0, 1) ($R=50$), де одночасне збільшення рекламних витрат і розширення виробництва супроводжується значною невизначеністю як попиту, так і ефективності витрат.

Максимальний рівень ризику відповідає сценарію (1, 1, 1) ($R=80$), який передбачає одночасну активізацію всіх факторів і, відповідно, найвищий рівень невизначеності результату. У цьому випадку потенційні вигоди супроводжуються значними ризиками, пов'язаними як із витратами, так і з нестабільністю попиту.

У межах традиційного сценарного підходу для аналізу зазвичай обирається обмежена кількість репрезентативних варіантів. Зокрема, сценарій (0, 0, 0) інтерпретується як песимістичний, оскільки відповідає мінімальним витратам і, відповідно, мініальному очікуваному результату. Сценарій (1, 1, 1) розглядається як оптимістичний, оскільки передбачає максимальні значення всіх факторів і потенційно найвищий прибуток. Сценарій (0, 1, 0) у межах традиційного підходу може обиратися як базовий, оскільки передбачає помірний рівень управлінського впливу та не пов'язаний із максимізацією витрат за всіма напрямками. Водночас такий вибір є умовним, оскільки інші комбінації з частковим підвищенням окремих факторів, зокрема (1, 0, 0), (0, 0, 1), а також варіанти з підвищенням двох факторів (1, 1, 0), (1, 0, 1), (0, 1, 1), також можуть розглядатися як «проміжні» або відносно збалансовані.

Це свідчить про те, що формування базового сценарію має суб'єктивний характер і не є однозначно визначеним, оскільки не існує єдиного критерію, який дозволяв би однозначно віднести певну комбінацію факторів до «середнього» рівня. Таким чином, навіть на етапі вибору «базового» сценарію відбувається неформалізоване скорочення множини альтернатив, що може призводити до втрати економічно значущих варіантів.

Парето-оптимальність у задачах сценарного аналізу. У задачах багатокритеріального вибору важливим інструментом є поняття Парето-оптимальності. Сценарій S_i вважається домінованим, якщо існує інший сценарій S_j , для якого $E(S_j) \geq E(S_i)$, $R(S_j) \leq R(S_i)$, причому хоча б одна нерівність є строгою. Множина Парето-ефективних рішень визначається як

$$S^* = \{S \in S_{adm} : S - \text{недомінований}\}.$$

Парето-аналіз має принципове обмеження: він дозволяє відібрати ефективні рішення лише в межах заданої множини сценаріїв. Якщо множина сценаріїв сформована неповно, то навіть ідеальний Парето-аналіз не гарантує виявлення оптимальних рішень.

Проблема прийняття економічних рішень полягає не лише у виборі найкращого сценарію, але й у формуванні множини альтернатив, серед яких цей вибір здійснюється.

Розглянемо множину сценаріїв, що оцінюються за двома критеріями: ефект E (максимізується) та ризик R (мінімізується). Парето-аналіз дозволяє виділити альтернативи, які не домінуються за жодним із критеріїв, зокрема варіанти з мінімальним ризиком, максимальним ефектом та компромісні рішення. Водночас у разі попереднього обмеження множини сценаріїв до «типових» альтернатив частина Парето-ефективних варіантів може залишитися поза аналізом, у тому числі такі, що домінують окремі розглянуті рішення. $(1,1,0)$ із параметрами $E=100$, $R=30$. Другий варіант є Парето-переважним, оскільки забезпечує вищий рівень ефекту за одночасно нижчого рівня ризику. У разі його виключення з аналізу сценарій $(0, 1, 1)$ помилково може бути віднесений до Парето-ефективних альтернатив, незважаючи на наявність домінуючого рішення. Це ілюструє, що неповнота початкової множини сценаріїв призводить до спотворення результатів Парето-аналізу та включення до ефективної множини варіантів, які фактично не є оптимальними.

Висновки. Отримані результати свідчать, що економічні рішення мають комбінаторну природу, а їх результати – ймовірнісний характер, що зумовлює експоненційне зростання множини альтернатив і ускладнює процес їх повного аналізу. Показано, що використання лише середніх значень, а також розширення аналізу за

рахунок дисперсійних характеристик не забезпечує адекватного відображення структури ризику, зокрема асиметрії розподілів і наявності екстремальних подій.

У роботі обґрунтовано доцільність переходу від оцінювання окремих числових характеристик до аналізу розподілів результатів, що дозволяє враховувати повну структуру невизначеності. Розроблено підхід до дослідження економічних рішень на основі побудови сценарного простору альтернатив, який поєднує комбінаторний та ймовірнісний аналіз.

Показано, що традиційний сценарний підхід, заснований на відборі обмеженої кількості «типових» варіантів, є неповним і може призводити до пропуску економічно значущих альтернатив. Встановлено, що результати Парето-аналізу істотно залежать від повноти початкової множини сценаріїв, що обмежує його застосування у випадку неформалізованого формування альтернатив.

Таким чином, економічні рішення доцільно розглядати як вибір між розподілами результатів у межах комбінаторного простору альтернатив. Використання математичного апарату, зокрема методів теорії ймовірностей, є необхідною умовою коректного аналізу та обґрунтування рішень в умовах невизначеності.

Декларація про використання ШІ. У процесі підготовки рукопису використовувалися інструменти штучного інтелекту (зокрема ChatGPT, версія 5.2) виключно для технічної підтримки оформлення матеріалу, мовного редагування та уточнення окремих формулювань, а також для навігації у відкритих інформаційних джерелах. Отримані в дослідженні результати, виконані розрахунки та сформульовані висновки є результатом самостійної роботи автора. Автор несе повну відповідальність за зміст, науковість, точність та цілісність контенту.

Список використаних джерел:

1. Von Neumann J., Morgenstern O. Theory of Games and Economic Behavior. Princeton : Princeton University Press. 1953. 641 p. URL: <https://ia802900.us.archive.org/15/items/in.ernet.dli.2015.215284/2015.215284.Theory-Of.pdf>
2. Markowitz H. Portfolio Selection. Journal of Finance. 1952. Vol. 7(1). Pp. 77–91. URL: <https://finance.martinswell.com/capm/Markowitz1952.pdf>
3. Sharpe W. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. Journal of Finance. 1964. Pp. 425–442. URL: <https://finance.martinswell.com/capm/Sharpe1964.pdf>
4. McNeil A., Frey R., Embrechts P. Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques and Tools. Princeton : Princeton University Press, 2015. 699 p. URL: <https://press.princeton.edu/books/hardcover/9780691166278/quantitative-risk-management>
5. Hull J. Risk Management and Financial Institutions. 5th ed. Hoboken: Wiley. 2023. 832 p. URL: https://books.google.com.ua/books/about/Risk_Management_and_Financial_Institutio.html?id=1J1QDwAAQBAJ&redir_esc=y
6. Peters O., Adamou A. The ergodicity problem in economics. Nature Physics. 2019. Vol. 17. Pp. 1216–1222. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41567-019-0732-0>
7. Taleb N. N. Skin in the Game : Hidden Asymmetries in Daily Life. New York : Random House. 2018. 318 p. URL: <https://philosophiatopics.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/10/skin-in-the-game-nassim-nicholas-taleb.pdf>
8. Shapiro A., Dentcheva D., Ruszczyński A. Lectures on Stochastic Programming. Philadelphia : SIAM, MPS. 2009. 436 p. URL: <https://bpb-us-e1.wpmucdn.com/sites.gatech.edu/dist/4/1470/files/2021/03/SPbook.pdf>
9. Bertsimas D., Freund R. Data, Models, and Decisions : The Fundamentals of Management Science. Belmont, Massachusetts: Dynamic Ideas. 2004. 530 p.
10. Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І. Ризикологія в економіці та підприємстві : монографія. Київ: КНЕУ, 2004. 480 с.
11. Огірко О. І., Галайко Н. В. Теорія ймовірностей і математична статистика : навч. посіб. Львів :

ЛьвДУВС, 2017. 292 с. URL: <https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/629/1/теорія%20ймовірностей%20підручник.pdf>

References:

1. Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1953) *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton : Princeton University Press. <https://ia802900.us.archive.org/15/items/in.ernet.dli.2015.215284/2015.215284.Theory-Of.pdf> [in English].
2. Markowitz, H. (1952) Portfolio Selection. *Journal of Finance*, 7(1), 77–91. <https://finance.martinsewell.com/capm/Markowitz1952.pdf> [in English].
3. Sharpe, W. (1964) Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. *Journal of Finance*, 425–442. <https://finance.martinsewell.com/capm/Sharpe1964.pdf> [in English].
4. McNeil, A., Frey, R., & Embrechts, P. (2015) *Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques and Tools*. Princeton : Princeton University Press. <https://press.princeton.edu/books/hardcover/9780691166278/quantitative-risk-management> [in English].
5. Hull, J. (2023) *Risk Management and Financial Institutions* (5th ed.). Hoboken : Wiley. https://books.google.com.ua/books/about/Risk_Management_and_Financial_Institutio.html?id=1J1QDwAAQBAJ [in English].
6. Peters, O., & Adamou, A. (2019) The ergodicity problem in economics. *Nature Physics*, (17), 1216–1222. <https://doi.org/10.1038/s41567-019-0732-0> [in English].
7. Taleb, N. N. (2018) *Skin in the Game : Hidden Asymmetries in Daily Life*. New York : Random House. <https://philosophiatopics.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/10/skin-in-the-game-nassim-nicholas-taleb.pdf> [in English].
8. Shapiro, A., Dentcheva, D., & Ruszczyński, A. (2009) *Lectures on Stochastic Programming*. Philadelphia: SIAM, MPS. <https://bpb-us-e1.wpmucdn.com/sites.gatech.edu/dist/4/1470/files/2021/03/SPbook.pdf> [in English].
9. Bertsimas, D., & Freund, R. (2004) *Data, Models, and Decisions: The Fundamentals of Management Science*. Belmont, MA: Dynamic Ideas. [in English]
10. Vitlinskyi, V. V., & Velykoivanenko, H. I. (2004) *Ryzykolohiia v ekonomitsi ta pidpriemnytstvi: monohrafiia [Riskology in economics and entrepreneurship: monograph]*. Kyiv : KNEU. [in Ukrainian].
11. Ohirko, O. I., & Halaiko, N. V. (2017) *Teoriia ymovirnostei i matematychna statystyka [Probability theory and mathematical statistics] : navchalnyi posibnyk* Lviv : Lviv State Univ. of Internal Affairs. <https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/629/1/теорія%20ймовірностей%20підручник.pdf> [in Ukrainian].

Дата надходження статті: 20.04.2026 р.

Дата прийняття статті до друку: 11.05.2026 р.

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.06.2026 р.

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY.