

Остапець Антон Олександрович

*аспірант кафедри фінансового аналізу та аудиту
Державного торговельно-економічного університету*

Ostapets Anton

*Postgraduate Student at the Department of Financial Analysis and Audit
State University of Trade and Economics*

ORCID: 0000-0001-7048-6112

DOI: 10.25313/2520-2294-2025-8-11328

МЕТОДИКИ КІЛЬКІСНОГО АНАЛІЗУ РИЗИКІВ ПІДПРИЄМСТВ ГАЛУЗІ ІТ

METHODS OF QUANTITATIVE RISK ANALYSIS FOR IT INDUSTRY ENTERPRISES

Анотація. Вступ. В умовах стрімкого технологічного прогресу, розвитку штучного інтелекту та динамічних змін зовнішнього середовища, сучасні підприємства галузі інформаційних технологій в Україні стикаються з широким спектром потенційних загроз. Ці ризики, що охоплюють кіберзагрози, нестабільність ринку в зв'язку з зовнішніми політичними обставинами, та операційні виклики викликані вище зазначеними обставинами, вимагають систематизованого підходу до управління. В загальній системі управління ризиками етап аналізу ризиків є ключовим елементом, що забезпечує стійкість та безперервність бізнес-процесів. Згідно до процесу управління ризиками відповідно до міжнародного стандарту ISO 31000, аналіз ризиків слідує за їх ідентифікацією і спрямований на прогнозування можливих наслідків їх реалізації, а також на розробку ефективних стратегій мінімізації негативного впливу.

Дана стаття присвячена дослідженню та компаративному аналізу методик кількісного аналізу ризиків, які можуть бути застосовані в ІТ-галузі. Основна мета роботи – визначення особливостей цих методик та оцінка їх ефективності з метою обрання оптимальних інструментів для конкретних умов підприємства.

Мета. Метою даного дослідження є аналіз і узагальнення сучасних методик кількісного аналізу ризиків, що можуть бути застосовані ІТ-підприємствами у процесі управління ризиками. Дослідження спрямоване на визначення характеристик кожної з методик, проведення порівняльного аналізу та вибір оптимальних рішень для конкретних підприємств галузі.

Результати роботи представляють собою обґрунтовані рекомендації щодо вибору найефективніших методик кількісного аналізу ризиків, які можуть бути інтегровані в загальну стратегію управління ризиками ІТ-підприємства.

Матеріали і методи. Для проведення дослідження були використані наступні матеріали: 1) кращі практики провідних вітчизняних та міжнародних організацій у сфері інформаційних технологій та ризик-менеджменту; 2) наукові праці вітчизняних та зарубіжних авторів, присвячені дослідженню в галузі управління ризиками; 3) попередні публікації авторів даної статті, що стосуються предмету дослідження.

В процесі здійснення дослідження було використано наступні наукові методи: теоретичного узагальнення та групування (для надання характеристики методик кількісного аналізу ризиків та визначення їх особливостей); формалізації, аналізу та синтезу (для порівняння методик кількісного аналізу ризиків за певними визначеними критеріями та обрання оптимальних з них); логічного узагальнення результатів (формулювання висновків).

Результати. У цій статті було проаналізовано методики кількісного аналізу ризиків, їхні характеристики та особливості застосування. На основі проведеного дослідження надано рекомендації щодо вибору конкретних методик для процесу аналізу ризиків залежно від специфіки діяльності та масштабів компанії. Застосування обраних методик формує надійну основу для подальших процесів контролю ризиків, оскільки надає можливість ідентифікувати та пріоритизувати ризики, що потребують першочергової уваги.

Перспективи. У рамках подальших наукових досліджень передбачається зосередження на розробці та впровадженні комплексних, інтегрованих методологій, які поєднуюватимуть методи якісного та кількісного аналізу ризиків. Особлива увага приділятиметься впровадженню штучного інтелекту з метою автоматизації та підвищення ефективності розрахунків, які традиційно виконуються вручну, зокрема в таких методиках, як метод Монте-Карло, аналіз «витрати-вигоди» (Cost-benefit analysis), дерева рішень, аналіз очікуваної грошової вартості та аналіз дисперсії й стандартного відхилення.

Крім того, значним напрямом досліджень є адаптація та модифікація існуючих методик ризик-менеджменту до специфічних викликів сучасності, таких як кіберзагрози, регуляторні зміни та динамічний технологічний розвиток. Оцінка ефективності цих адаптованих підходів в умовах практичного застосування дасть змогу сформулювати оптимальні стратегії управління ризиками, що підвищить конкурентоспроможність ІТ-компаній.

Ключові слова: ризик, фінансовий аналіз, стратегічний аналіз, кількісний аналіз ризиків, метод Монте-Карло, аналіз «витрати-вигоди» (Cost-benefit analysis), метод дерева рішень, аналіз очікуваної грошової вартості та аналіз дисперсії й стандартного відхилення, управління ризиками.

Summary. Introduction. Under the conditions of rapid technological progress, the development of artificial intelligence, and dynamic changes in the external environment, modern IT companies in Ukraine are facing a wide range of potential threats. These risks, which include cyber threats, market instability due to external political circumstances, and operational challenges caused by the aforementioned circumstances, require a systematic management approach. Within the overall risk management system, the risk analysis phase is a key element that ensures the stability and continuity of business processes. According to the risk management process outlined in the international standard ISO 31000, risk analysis follows risk identification and is aimed at forecasting the potential consequences of risks materializing, as well as developing effective strategies to minimize their negative impact.

This article is dedicated to the study and comparative analysis of quantitative risk analysis methods that can be applied in the IT industry. The main goal of the work is to determine the features of these methods and to assess their effectiveness in order to select optimal tools for specific company conditions.

Purpose. The goal of this research is to analyze and summarize modern quantitative risk analysis methods that can be applied by IT companies during risk management process. The study aims to determine the characteristics of each method, conduct a comparative analysis, and select optimal solutions for specific companies in the industry. The results of this work are well-founded recommendations on choosing the most effective methods of quantitative risk analysis, which can be integrated into an IT company's overall risk management strategy.

Materials and methods. For this study, the following materials were utilized: 1) Best practices from leading domestic and international organizations in the fields of information technology and risk management; 2) Scientific works by both domestic and foreign authors focused on risk management research; 3) Prior publications by the authors of this article related to the subject of the research.

The following scientific methods were employed during the research: theoretical generalization and grouping (to characterize quantitative risk analysis methods and define their specific features); formalization, analysis, and synthesis (to compare quantitative risk analysis methods based on predetermined criteria and select the most optimal ones); logical generalization of results (to formulate conclusions).

Results. This paper presents an analysis of quantitative risk analysis methodologies, their characteristics, and their specific applications. Based on the findings of this study, recommendations are provided for the selection of particular methodologies for the risk analysis process, contingent upon the company's operational specifics and scale.

The implementation of the chosen methodologies establishes a robust foundation for subsequent risk control processes, as it enables the identification and prioritization of risks that require primary attention.

Discussion. Within future scientific research, the focus will be on developing and implementing integrated methodologies that combine both qualitative and quantitative risk analysis methods. Special attention will be given to incorporating artificial intelligence to automate and improve the efficiency of calculations traditionally performed manually. This includes techniques such as: Monte Carlo method, Cost-benefit analysis, Decision trees, Expected Monetary Value analysis, Variance and standard deviation analysis.

Additionally, a significant area of research is the adaptation and modification of existing risk management methodologies to address specific contemporary challenges, such as cyber threats, regulatory changes, and rapid technological development. Evaluating the effectiveness of these adapted approaches in practice will allow for the formulation of optimal risk management strategies, thereby enhancing the competitiveness of IT companies.

Key words: risk, financial analysis, strategic analysis, quantitative risk analysis, Monte Carlo method, cost-benefit analysis, decision tree method, expected monetary value (EMV) analysis, variance and standard deviation analysis, risk management.

Постановка проблеми. В умовах стрімкого технологічного прогресу, розвитку штучного інтелекту та динамічних змін зовнішнього середовища, сучасні підприємства галузі інформаційних технологій в Україні стикаються з широким спектром потенційних загроз. Ці ризики, що охоплюють кіберзагрози, нестабільність ринку в зв'язку з зовнішніми політичними обставинами, та операційні виклики викликані вище зазначеними обставинами, вимагають систематизованого підходу до управління.

В загальній системі управління ризиками етап аналізу ризиків є ключовим елементом, що забезпечує стійкість та безперервність бізнес-процесів. Згідно до процесу управління ризиками відповідно до міжнародного стандарту ISO 31000, аналіз ризиків слідує за їх ідентифікацією і спрямований на прогнозування можливих наслідків їх реалізації, а також на розробку ефективних стратегій мінімізації негативного впливу.

Дана стаття присвячена дослідженню та компаративному аналізу методик кількісного аналізу

ризиків, які можуть бути застосовані в ІТ-галузі. Основна мета роботи — визначення особливостей цих методик та оцінка їх ефективності з метою обрання оптимальних інструментів для конкретних умов підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Значний внесок у дослідження кількісних методик аналізу ризиків, кращих практик та обмежень даного виду аналізу внесли італійські вчені М. Готті (M. Gotti) та Л. Карлуччіо (L. Carluccio) [1]. Методологічним принципам оцінки ризиків приділено увагу у роботі К. Тарасової [2]. К. Шурда [3] в своїх дослідженнях акцентує увагу на порівнянні і оцінці різниці між якісними і кількісними підходами до аналізу ризиків. За останні роки значного розповсюдження набули праці науковців, які займаються дослідження можливостей навчання та використання штучного інтелекту для здійснення кількісного аналізу ризиків. Німецький вчений Маріус Хоферт (M. Hofert) [4] в своїх дослідженнях проводить оцінку можливості використання ChatGPT для проведення кількісного аналізу ризиків. Представники наукової спільноти Н. Палтринієрі (N. Paltrinieri), Н. Комфорт (N. Comfort) та Л. Ренієрс (L. Reniers) [5] досліджують можливості машинного навчання для подальшого використанні штучного інтелекту в процесах аналізу ризиків. Також набули розповсюдження наукові дослідження в сфері комбінування підходів до кількісного аналізу ризиків. Так, наприклад, польські вчені К. Валеджик (K. Wal dzik) та Я. Мандзюк (J. Mańdziuk) [6] в своїх роботах поєднують методи Монте-Карло та дерева рішень для планування проектів з урахуванням ризику. Харківські вчені А. Стрелкіна, А. Тетський та В. Красильщикова [7] також досліджують можливість поєднання різних методик кількісного аналізу в управлінні ризиками ІТ-проектів.

Мета статті. Дослідження зосереджується на вивченні методик кількісного аналізу ризиків, що можуть застосовуватися підприємствами галузі ІТ. Завдяки виконаному на базі запропонованих автором критеріїв компаративному аналізу методик сформульовано рекомендації щодо вибору оптимальних з них в залежності від специфіки діяльності певної компанії та її масштабу. Завдяки отриманим рекомендаціям підприємства галузі зможуть спростити й пришвидшити процес кількісної оцінки ризиків та визначити ті з них, що варто пріоритизувати і, можливо, впровадити в засоби штучного інтелекту в подальшому.

Матеріали і методи. Для проведення дослідження були використані наступні матеріали: 1) кращі практики провідних вітчизняних та міжнародних організацій у сфері інформаційних технологій та ризик-менеджменту; 2) наукові праці вітчизняних та зарубіжних авторів, присвячені дослідженню в галузі управління ризиками; 3) попередні публікації авторів даної статті, що стосуються предмету дослідження.

В процесі здійснення дослідження було використано наступні наукові методи: теоретичного узагальнення та групування (для надання характеристики методик кількісного аналізу ризиків та визначення їх особливостей); формалізації, аналізу та синтезу (для порівняння методик кількісного аналізу ризиків за певними визначеними критеріями та обрання оптимальних з них); логічного узагальнення результатів (формулювання висновків).

Виклад основного матеріалу. Для підприємств ІТ-галузі України, що функціонують у дуже динамічному та швидкозмінному середовищі, особливо враховуючи перешкоди останніх п'яти років, проблема аналізу потенційних ризиків набуває особливої актуальності. Здебільшого українські ІТ-компанії орієнтовані на ринки глобального Заходу, тому й в сфері управління ризиками використовують загальноприйняті міжнародні стандарти, такі як ISO 31000. Відповідно до цього міжнародного стандарту, аналіз ризиків є одним із ключових етапів процесу оцінювання ризиків та здійснюється після ідентифікації можливих загроз. У стандарті цей процес трактується як отримання достатнього обсягу інформації для прийняття рішень щодо подальших управлінських дій або організації моніторингу ризиків. Аналіз ризиків дає змогу виявити джерела їх виникнення, фактори впливу, а також визначити можливі взаємозв'язки між деякими з них. Він здійснюється у взаємозв'язку з іншими етапами управління ризиками — ідентифікацією, оцінюванням та обробкою.

Процес аналізу ризиків передбачає кілька послідовних стадій:

- 1) дослідження контексту (об'єкта аналізу, зовнішнього та внутрішнього середовища організації, визначення критеріїв та допустимого рівня ризиків);
- 2) ідентифікацію ризиків (виявлення потенційних загроз, їх джерел, подій та ситуацій, що можуть зумовити реалізацію ризику);
- 3) аналіз імовірності виникнення ризикових подій (визначення ймовірності їх настання на основі статистичних даних, експертних оцінок чи моделей);
- 4) аналіз можливих наслідків ризиків (оцінювання фінансових, правових, операційних і репутаційних втрат у разі реалізації події);
- 5) визначення рівня ризику (оцінювання його значущості як поєднання ймовірності та наслідків, із застосуванням матриць ризиків чи інших інструментів для пріоритизації);
- 6) дослідження взаємозв'язків між ризиками (аналіз ймовірності виникнення вторинних ризиків унаслідок реалізації первинного).

Як було зазначено в минулих публікаціях автора, в загальному процесі аналізу ризиків використовуються як якісні, так і кількісні методи оцінки. Для отримання більш комплексної картини загальної методології аналізу ризиків, звернемось до процедури, представлені профільною організацією IzenBridge (рис. 1).

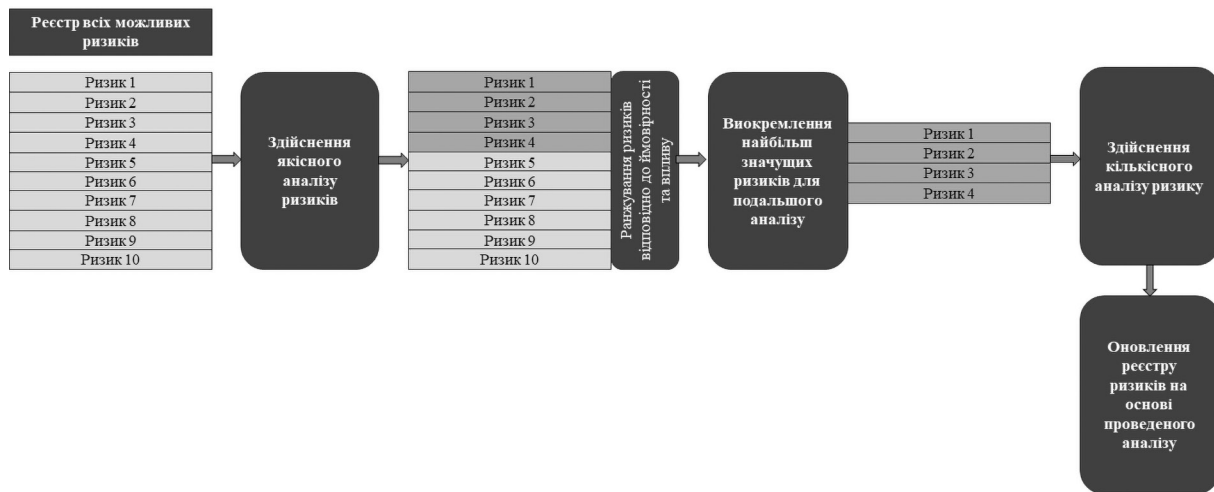


Рис. 1. Процес аналізу ризиків
Джерело: складено автором за [9]

Кількісний аналіз ризиків є передостаннім етапом процедури аналізу ризиків і завдяки ньому можна отримати числову оцінку потенційних загроз та визначити їх вплив на бізнес-процеси компанії. Кількісний підхід до аналізу ризиків вирізняється від якісних методик насамперед тим, що забезпечує вищу точність та об'єктивність результатів, що є критично важливим для ухвалення ефективних управлінських рішень. Основна увага при кількісному аналізі зосереджена на використанні математичних моделей і статистичних методів, які дозволяють отримати формалізовані оцінки й підвищують ефективність системи управління ризиками в умовах динамічного середовища розвитку.

В даній статті розглянемо основні методики кількісного аналізу ризиків, їх практичне застосування, переваги та обмеження, а також здійснимо їх компаративний аналіз. Кількісний аналіз ризиків виступає як методологія, що дозволяє визначити ймовірність виникнення ризикових подій та оцінювати їхній вплив на проекти, бізнес-процеси й інформаційні системи компанії. Отримані результати створюють основу для ухвалення обґрунтованих управлінських рішень, а також для стратегічного планування ресурсів, часу та фінансів ІТ-компаній.

До основних кількісних методів, які можуть бути застосовані у практиці ІТ-підприємств, належать:

- 1) метод Монте-Карло — моделювання різних сценаріїв та оцінка впливу ризиків на систему чи проект шляхом використання випадкових даних;
- 2) метод аналізу витрат і вигод (cost-benefit analysis) — визначення доцільності інвестування ресурсів у зменшення ризиків порівняно з їх прийняттям шляхом співставлення витрат і вигод;
- 3) дерево рішень — графічний метод аналізу можливих варіантів дій та наслідків реалізації ризиків;
- 4) аналіз очікуваної грошової вартості (expected monetary value analysis) — оцінювання вартості впливу ризиків на проект;

- 5) аналіз дисперсії та стандартного відхилення — дослідження розподілу значень показників навколо середнього для оцінки варіативності ризиків.

Першим з вищезазначених методів є метод Монте-Карло, який був розроблений американськими вченими Станіславом Уламом та Джоном фон Нейманом під час роботи над Менхеттенським проектом в 40-х роках минулого сторіччя. Назву метод отримав на честь відомого казино в місті Монте-Карло, оскільки він базується на випадковій генерації чисел, чим дещо нагадує азартні ігри.

Як і метод якісного аналізу FMEA, метод Монте-Карло мав військове коріння, оскільки його використовували для проведення розрахунків у фізиці ядерних реакцій, що в подальшому були використані при виробництві ядерної зброї. Довівши свою ефективність, метод отримав поширення в різних сферах, включно з фінансами, економікою, інженерною справою та ІТ. В галузі ІТ він активно використовується для прогнозування ризиків в розробці програмного забезпечення та управлінні проектами.

Метод Монте-Карло дозволяє здійснити оцінку можливих сценаріїв розвитку подій у разі виникнення певного ризику шляхом багаторазового моделювання випадкових подій із заданими ймовірнісними розподілами. Метод генерує безліч можливих результатів, що дозволяє оцінити розподіл ймовірностей для кожного з них.

Процес моделювання методом Монте-Карло наведено на рис. 2.

На першому етапі здійснюється вибір змінних факторів, що можуть повпливати на той чи інший чинник ризику, після чого наступним етапом є призначення ймовірнісного розподілу (визначаються діапазони, в яких можуть коливатись величини), далі здійснюється генерація випадкових значень для кожної змінної з урахуванням її розподілу, після чого здійснюються численні симуляції (генерація великої кількості можливих сценаріїв розвитку,



Рис. 2. Процес моделювання методом Монте-Карло

Джерело: складено автором за [10–12]

зазвичай модулюється декілька тисяч сценаріїв). Останнім етапом відбувається аналіз отриманих внаслідок модуляцій результатів (побудова гістограм, розрахунок середнього значення, стандартного відхилення та визначається ймовірність ризикових подій).

Основними сферами застосування методу Монте-Карло в галузі ІТ є:

- Управління проектами (терміни виконання, витрати);
- Розробка програмного забезпечення (оцінка ймовірності виникнення непередбачуваних помилок);
- Кібербезпека (оцінка ймовірностей виникнення ризиків, пов'язаних з питаннями кібербезпеки);
- Аналіз інших нетехнологічних ризиків (оцінка ймовірностей виникнення таких ризиків, як економічні, законодавчі, операційні тощо).

До **переваг** методу Монте-Карло належать: гнучкість (можливість роботи з різними типами змінних і системами), візуалізація (наочне відображення результатів за рахунок побудови гістограм, графіків, діаграм тощо), точність (можливість врахування декількох можливих сценаріїв) та прийняття обґрунтованих рішень (рішення є більш точними за рахунок численних симуляцій).

До **недоліків** методу Монте-Карло належать його висока обчислювальна складність (отримання максимально точних результатів вимагає тисяч, або

навіть мільйонів циклів симуляцій), залежність від точності вхідних (критична важливість правильності початкових даних) та трудомісткість (потрібна висока кваліфікація фахівців для правильної інтерпретації результатів).

Наступним після Монте-Карло методом кількісного аналізу ризиків є Cost-Benefit аналіз. Аналіз витрат і вигод (СВА) представляє собою процес порівняння прогнозованих витрат і вигод певного рішення з метою визначення його доцільності. Доцільність реалізації певного рішення оцінюється шляхом підсумування потенційних вигод, очікуваних від рішення, та віднімання пов'язаних з ним витрат. У випадку, якщо потенційні вигоди перевищують витрати, рішення, ймовірно, є доцільним для бізнесу, в протилежному випадку — доцільнішим буде ухилитись від прийняття зазначеного рішення.

В контексті ризиків ІТ, цей підхід може бути використаний для оцінки доцільності інвестицій в заходи з управління ризиками а також інвестиції, пов'язані зі зменшенням впливу ризиків. В якості подібних інвестицій може бути впровадження технологій захисту проти кіберзлочинів, навчання персоналу, зміни в політиках безпеки тощо.

Метод СВА бере свій початок у роботах Жуля Дюпюї та Альфреда Маршалла та набув подальшого вдосконалення інженерним корпусом США в 1930-х роках. СВА включає порівняння всіх поточних і про-

гнозованих витрат і вигод проекту, як у грошовій, так і в нематеріальній формах.

Метод аналізу витрат і вигод не має єдиного універсального підходу, і в контексті аналізу ризиків він включає наступні етапи [15]:

- Ідентифікація ризиків та оцінка ймовірності їх виникнення;
- Оцінка потенційних витрат у випадку настання ризику;
- Визначення можливих заходів для управління ризиками;
- Оцінка витрат на заходи з управління ризиками;
- Розрахунок вигод від впровадження заходів по управлінню ризиками;
- Порівняння витрат та вигод;
- Прийняття рішень.

Також перед процесом ідентифікації ризиків важливим є визначення чіткої мети аналізу та ресурсів, що будуть залучені для виконання. Даний процес включає в себе постановку конкретної цілі (наприклад, аналіз найбільш пріоритетних ризиків, що були обрані на етапі якісного аналізу), встановлення часових рамок аналізу, підбір персоналу, визначення необхідних ресурсів тощо. У випадку відсутності технічних ресурсів у компанії доцільним може бути залучення зовнішніх спеціалістів.

На першому етапі здійснюється визначення ризиків, які підпадають під аналіз, та ймовірності їх виникнення. Після визначення переліку ризиків, здійснюється оцінка потенційних витрат. В свою чергу, розрізняють прямі (безпосередньо пов'язані з ризиком), непрямі (частково пов'язані з ризиком), нематеріальні (пов'язані з впливом ризику, який важко оцінити) та альтернативні (втрачені можливості). Також важливим є оцінка витрат і необхідність розрізнення одноразових та повторюваних витрат, змінних і фіксованих витрат.

Наступними етапами процесу є визначення можливих заходів для управління ризиками та витрат, пов'язаних з цим. До подібних заходів можуть відноситись, наприклад, резервне копіювання даних, встановлення додаткових систем кібербезпеки, розробка нових процесів моніторингу та реагування на ризики, навчання співробітників з питань, пов'язаних з кібербезпекою тощо. Також до витрат можуть бути включені заходи на закупівлю обладнання, оплату ліцензій на програмне забезпечення, залучення зовнішніх консультантів тощо.

Після визначення витрати важливим етапом є розрахунок потенційних вигод від впровадження заходів по контролю ризиків. Вигоди можна виміряти за рахунок зниження ймовірності виникнення ризику і підвищення ефективності роботи. До вигод можуть належати наступні:

- Вищий дохід і продажі завдяки вживанню заходів з контролю ризиків;
- Зростання задоволеності клієнтів завдяки тому, що компанія вжила заходів по контролю ризиків

і, як результат, відсутність негативного впливу на клієнта;

- Збільшення рівня утримання клієнтів;
- Отримання конкурентної переваги за рахунок вчасно вжитих заходів по зменшенню впливу ризиків;
- Розширення частки ринку.

Здійснивши визначення потенційних вигод, на наступному етапі є порівняння витрат і вигод. Завдяки аналізу можна визначити чи перевищують очікувані вигоди витрати на реалізацію заходів по контролю ризиків.

Для цього можуть бути використані показники чистої поточної вартості NPV (різниця між вигодами та витратами з урахуванням дисконтування), співвідношення вигод і витрат BCR, рентабельності інвестицій ROI (оцінка прибутковості заходів).

Останнім етапом є прийняття рішень стосовно впровадження обраних заходів з урахуванням вигод і витрат чи відмови від них.

До переваг СВА відносяться: здійснення аналізу засноване на даних (рішення базуються на об'єктивній інформації), уникнення розгляду надто великої кількості варіантів (зосередження на ключових аспектах та варіантах рішення), глибокі та більш надійні висновки (отримання якісних результатів за рахунок детального дослідження), підвищення прозорості процесу прийняття рішень.

До недоліків методу СВА належать необхідність досить великого капіталу та ресурсів на виконання, доцільність використання тільки для великих проектів і ризиків, сильна залежність результатів від прогнозованих показників, складність в точному визначенні витрат та вигод, можливість неврахування впливу зовнішніх факторів, які складно передбачити.

Наступним з перелічених вище методів кількісного аналізу ризиків є метод дерева рішень, який представляє собою потужний візуальний інструмент для оцінки потенційних рішень, що можуть бути прийняті менеджментом компанії з точки зору їх впливу на фінансові показники компанії.

Початкові ідеї методу дерева рішень можна знайти в класичній теорії ймовірностей і дані методики здебільшого використовувались в контексті формування військових стратегій та для прийняття важливих економічних рішень. Подальшого розвитку метод дерева рішень отримав завдяки Джону фон Нейману та Оскара Моргенштерну і їх теорії ігор, що надала основу для моделювання стратегічних рішень. Подальшої формалізації метод дерева рішень набув у наступних десятиліттях і почав активно використовуватись в аналізі інвестицій, виборі стратегій, управлінні проектами та моделюванні ризиків.

Розвиток комп'ютерних технологій та алгоритмів машинного навчання сприяв покращенню процесу. У 1986 р. американський інженер Росс Квінлейн розробив алгоритм ID3 (Iterative Dichotomiser 3), що став основою для побудови дерев рішень в сфері штучного

інтелекту. Цей алгоритм став основою для більше розвинутих алгоритмів C4.5 та CART, що в подальшому стали стандартними методами в машинному навчанні та для класифікації та регресійного аналізу. З появою автоматизованих інструментів аналізу даних, таких як SAS та SPSS, метод дерева рішень набув популярності в сферах маркетингу, фінансового аналізу та оцінки кредитних ризиків.

В умовах сьогодення метод дерева рішень широко використовується в алгоритмах роботи з великими масивами даних, таких як Random Forest та Gradient Boosting, моделюванні ризиків завдяки інструментам Power Bi та Tableau, оцінці ризиків кібербезпеки та машинному навчанні та Data Science.

В сфері управління ризиками метод дерева рішень є потужним інструментом для ухвалення обґрунтованих рішень. Перевагою даного методу є можливість візуалізації можливих результатів прийняття рішень та наслідків їх прийняття.

До основних елементів дерева рішень належать [19]:

- Вузли (критичні точки, де необхідно зробити вибір, що веде до різних шляхів);
 - Гілки (вихідні варіанти з вузлів, що позначають можливі дії або варіанти вибору);
 - Результати (термінальні вузли, що відображають потенційні результати, що можуть виникнути після ухвалення рішень);
 - Ймовірності (присвоєна величина ймовірності виникнення відповідного сценарію для кожної гілки);
 - Очікувані значення (результат перемноження ймовірності гілки на результат та підсумовування всіх можливих наслідків для конкретного рішення).
- Процес проведення аналізу ризиків методом дерева рішень наведено на рис. 3.

На першому кроці визначається рішення або проект, для якого потрібно зробити оцінку та управління ризиками. Як приклад, це може бути ухвалення бізнес-рішення або розробка плану впровадження нового проекту.

На наступному кроці визначаються ключові моменти, де потрібно ухвалити рішення, та їх мож-

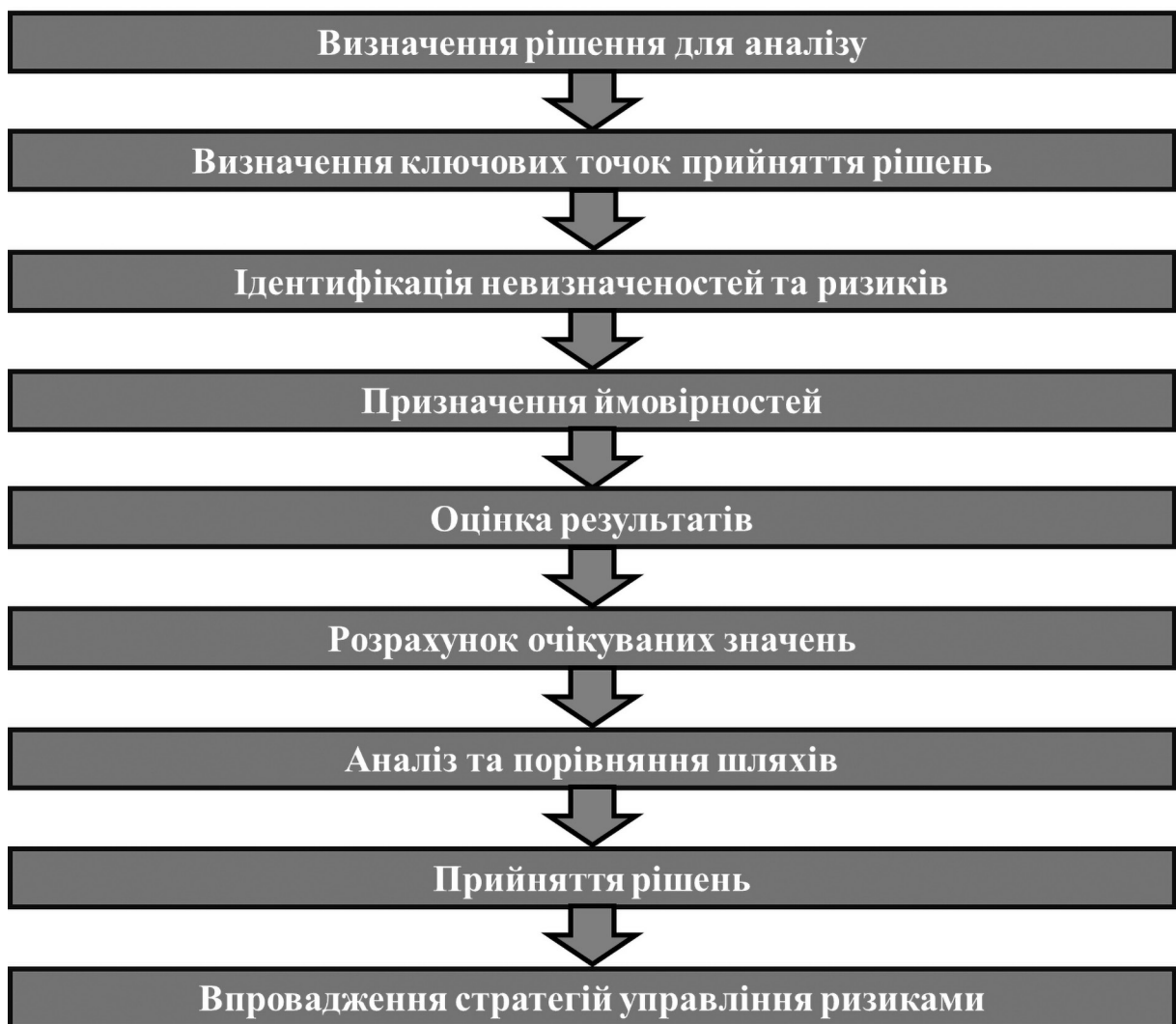


Рис. 3. Процес проведення аналізу ризиків методом дерева рішень
Джерело: складено автором за [20]

ливі результати. Важливо продумати потенційні сценарії, що можуть розвинути в залежності від кожного вибору.

Після визначення моментів ухвалення рішень здійснюється ідентифікація невизначеностей та ризиків, пов'язаних з кожною точкою прийняття рішень. До невизначеностей можуть входити зміни ринкових умов, економічні фактори, технічні ризики тощо.

Наступним кроком здійснюється оцінка ймовірності виникнення кожного можливого результату. Дані ймовірності можуть базуватись на історичних даних, думці експертів або прогнозах.

Після оцінки ймовірності здійснюється оцінка потенційного впливу та значення кожного результату. Наслідки настання прийнятого рішення можуть бути як кількісними (грошовий прибуток або збиток), та і якісними (вплив на репутацію компанії, зміна рівня задоволеності клієнтів).

Наступним за оцінкою потенційного впливу рішень здійснюється розрахунок очікуваних значень шляхом перемноження ймовірності кожної гілки на відповідний результат та підсумування результатів для кожного рішення. Завдяки цьому забезпечується кількісна оцінка можливих результатів для кожного шляху.

Після проведення обчислення очікуваних значень здійснюється порівняння різних шляхів ухвалення рішень за їх очікуваними значеннями. Також на даному етапі проводиться аналіз чутливості, завдяки якому можна зрозуміти як зміни в ймовірностях або результатах можуть вплинути на загальне рішення.

Передостаннім кроком процесу є вибір оптимального шляху ухвалення рішень на основі аналізу. Рішення з найвищим значенням може бути найкращим, але потрібно враховувати його ризикованість та стратегічні цілі компанії.

Фінальним кроком йду впровадження стратегій управління ризиками, що включає в себе зміну процесу ухвалення рішень, інтеграцію заходів управління ризиками або розробку планів на випадок надзвичайних ситуацій.

В сфері управління ризиками дерево рішень може бути використане для оцінки ризиків проекту (управління ризиками, пов'язаними з графіками проектів, розподілом ресурсів та очікуваннями зацікавлених сторін), фінансового аналізу ризиків (аналіз інвестиційних можливостей, оцінка потенційного прибутку та ідентифікація ризик-факторів у фінансових рішеннях), управління ризиками в ланцюзі постачання (ідентифікація вразливих місць, оптимізація процесів ланцюга постачання та розробка планів реагування на надзвичайні ситуації), оцінки операційних ризиків (аналіз ризиків в операційних процесах, визначення вузьких місць та впровадження заходів контролю ризиків).

До переваг методу дерева рішень належать візуалізація ризиків та можливих шляхів ухвалення рішень, можливість кількісної оцінки ризиків

та прогнозування результатів, простота використання та зрозумілість навіть для осіб, які не мають технічної підготовки.

Окрім переваг, метод дерева рішень має певну кількість обмежень, до яких належать складність у великих проектах (зі зростання кількості змінних дерево рішень може стати занадто громіздким і важким для інтерпретації), залежність від якості вхідних даних (достовірність результатів дуже сильно залежить від вхідних даних та точності оцінки ймовірностей) та суб'єктивність (ймовірності та очікувані значення, сформовані на базі думок експертів та їх оцінках, можуть бути помилковими).

Наступним методом кількісного аналізу ризиків є метод очікуваної грошової вартості (Expected Monetary Value, або EMV), що представляє собою потужний інструмент аналізу ризиків, який оцінює фінансовий вплив потенційних подій на результати проекту та фінансовий стан компанії. Суть методу полягає в перемноженні ймовірності події на її вплив, завдяки чому можна чітко оцінити потенційні втрати та вигоди для кожного сценарію. Завдяки такому підходу керівники проектів можуть оцінювати та порівнювати різні стратегії пом'якшення ризиків. Також використання даного методу допомагає керівникам приймати обґрунтовані, засновані на даних рішення, а також визначити пріоритетність найбільш ефективних стратегій реагування на ризики.

Основна ідея методу полягає в розрахунку середньозваженого значення потенційних грошових результатів для кожного ризику. Розрахунок здійснюється за формулою:

$$EMV = P \times I,$$

де EMV — очікувана грошова вартість ризику;

P — ймовірність настання ризику (у відсотках або дробах);

I — грошова оцінка впливу ризику (наприклад, можливі втрати або вигоди).

Показник EMV розраховується окремо для кожного ідентифікованого ризику. Загальна ж оцінка ризику для проекту отримується шляхом підсумовування EMV для всіх ризиків.

Процес розрахунку EMV складається з чотирьох кроків: ідентифікації, оцінювання, розрахунку та підсумовування.

На першому етапі визначаються всі потенційні ризики та їх потенційні наслідки. Цей процес включає в себе оцінку як позитивного, так і негативного впливу кожного ризику. Після складання повного списку ризиків здійснюється оцінка ймовірності кожного сценарію та представлення ймовірності у вигляді відсоткових значень.

На другому етапі здійснюється перегляд списку ризиків і призначення кожному ідентифікованому ризику грошової оцінки впливу. У випадках, коли пряма фінансова оцінка не застосовується, використовується бальна система або оцінка задоволеності у якості заміни монетарної величини.

На третьому етапі здійснюється процес розрахунку EMV шляхом перемноження впливу ризику на ймовірність виникнення (виражену у відсотках).

Завершальним етапом є підсумовування значень EMV для всіх ідентифікованих ризиків і отримання загальної суми для проекту. Ця сума відображає сукупний ризик проекту в грошовому еквіваленті.

До недоліків методу EMV належать: неврахування ризик-апетиту та суб'єктивних факторів (фокусування на середніх значеннях і неврахування варіації результатів), потреба у точній інформації про ймовірності та вартості (вимагається якомога більш точні значення ймовірностей, які досить часто складно оцінити, помилки в прогнозах можуть призвести до хибних рішень), ігнорування екстремальних сценаріїв (зосередження на усереднених результатах може призвести до ігнорування «чорних лебедів»), неврахування фактору часу (не враховується зміна вартості грошей у часі та, відповідно, зміна витратної складової розрахунку).

Також даний метод має серію обмежень, до яких належать суб'єктивність (враховується суб'єктивна думка експертів з приводу ймовірностей й грошових оцінок), врахування лише фінансових втрат (ігнорування нематеріальних факторів, таких як репутація компанії, питання, пов'язані з персоналом тощо), неможливість використання для дуже великих проектів (розрахунки можуть бути складними для інтерпретації).

Останнім з запропонованих для дослідження методів кількісного аналізу ризиків, що може бути використаний ІТ-компаніями є аналіз дисперсії та стандартного відхилення, що є важливими статистичними методами для оцінки ступеню ризику та визначення рівня невизначеності в процесі прийняття рішень. Завдяки даним величинам вдається зрозуміти наскільки фактичні результати можуть відхилитись від очікуваних значень. Чим віддаленіше точки даних знаходяться від середнього значення масиву даних, тим більше буде відхилення.

Основними поняттями даного методу є дисперсія та стандартне відхилення. Дисперсія представляє собою міру розсіювання значень навколо середнього значення (математичного сподівання) і вираховується за формулою.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n},$$

де: x_i — значення i -ї точки у наборі даних;

\bar{x} — середнє значення набору даних;

n — кількість точок у наборі даних.

Стандартне відхилення, в свій час, представляє собою квадратний корінь із дисперсії:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

Стандартне відхилення вимірюється в тих самих одиницях, що й початкові дані.

Графічно стандартне відхилення зображується як ширина кривої Гауса (дзвонової кривої) навколо середнього значення.

В процесі аналізу та контролю ризиків дисперсія та стандартне відхилення використовуються для визначення ступеню ризику. Чим вищими є дисперсія або стандартне відхилення, тим більшим є розкид можливих результатів і, відповідно, це свідчить про вищий ризик. Проекти з великим стандартним відхиленням можуть бути як дуже прибутковими, так і, навпаки, дуже збитковими.

Також завдяки даним показникам можна визначати фактори, що мають найбільший вплив на загальний ризик проекту (наприклад, коливання валютних курсів, зміна цін на послуги постачальників тощо).

Стандартне відхилення також може бути використане для аналізу відхилень від планів проекту а також для виявлення помилок в плануванні.

Аналіз на основі стандартного відхилення може бути використаний як в поєднанні з іншими методами, так і в якості доповнення. Наприклад, в поєднанні з методом очікуваної грошової вартості обчислення стандартного відхилення додає додаткову інформацію про можливу мінливість. Проекти з однаковим значенням EMV можуть мати різні стандартні відхилення, і, відповідно, проект з вищим стандартним відхиленням має більший рівень невизначеності і є більш ризиковим, а проект з низьким стандартним відхиленням є більш стабільним і передбачуваним.

До переваг методу дисперсії та стандартного відхилення належать гнучкість застосування (може використовуватись в різних сферах та процесах), урахування всіх точок даних (врахування кожного спостереження), можливість комбінування наборів даних (стає можливим об'єднання наборів даних і обчислення спільного відхилення).

До обмежень даного методу належать чутливість до екстремальних значень (сильний вплив на стандартне відхилення), складність обчислення вручну (потреба використання програмного забезпечення задля запобігання можливих помилок), ігнорування форми розподілу (можливість використання тільки для нормального розподілу) та ймовірність неправильної інтерпретації результатів (ймовірність хибних рішень за умови неврахування природи змінних).

Для вибору оптимального методу якісної оцінки ризиків доцільним буде провести порівняльний аналіз за наступними характеристиками:

- Рівень складності методу з точки зору необхідних знань та навичок;
- Вимогливість до обсягу і точності необхідних даних для проведення аналізу;
- Точність результатів;
- Часо- та ресурсомісткість;
- Залежність від експертної думки.

Таблиця 1

Компаративний аналіз кількісних методів аналізу ризиків

Метод / Характеристика	Метод Монте-Карло	Cost-benefit analysis	Дерево рішень	Аналіз очікуваної грошової вартості	Аналіз дисперсії та стандартного відхилення
Складність	Висока	Середня	Середня	Середня	Середня
Вимогливість до вхідних даних	Висока	Середня	Середня	Середня	Висока
Точність результатів	Дуже висока	Середня	Висока	Висока	Висока
Часо- та ресурсомісткість	Дуже висока	Середня	Середня	Середня	Середня
Залежність від експертної думки	Низька	Помірна	Середня	Середня	Низька

Джерело: узагальнено автором

Результати компаративного аналізу кількісних методів аналізу ризиків наведені в таблиці 1.

Відповідно до проведеного вище аналізу, для малих ІТ-компаній та стартапів доцільним є використання методик дисперсії та стандартного відхилення, а також Cost-Benefit аналізу, оскільки вони не передбачають високої складності розрахунків, не є вимогливими до точних фінансових даних, є помірно вимогливими до наявних в компанії ресурсів і підходять для організацій з невеликим штатом співробітників.

Для компаній середнього масштабу оптимальними методиками кількісного аналізу ризиків є Cost-Benefit аналіз завдяки його збалансованості між складністю та вимогливістю до ресурсів і метод дерева рішень, що характеризується простотою впровадження та можливістю моделювання різних сценаріїв.

Для великих ІТ-корпорацій, що мають в своєму розпорядженні великі ресурси та відокремлені підрозділи, що займаються питаннями управління ризиками, найбільш підходящими є Метод Монте-Карло та очікуваної грошовою вартості. Перший метод характеризується високою точністю результатів та мінімальною залежністю від експертної думки, а другий є ефективним для оцінки ризиків фінансових втрат у масштабних проєктах.

Окремо варто зазначити, що для більш детального аналізу доцільно використовувати декілька якісних і кількісних методів, оскільки завдяки цьому можна буде отримати більш докладну інформацію стосовно ризиків, з якими може зустрітись компанія під час своєї діяльності та менеджмент та стейкхолдери зможуть прийняти більш обґрунтовані рішення стосовно заходів по контролю за ризиками та розробки подальшої стратегії діяльності компаній в цій площині.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Результатом проведеного в даній статті дослідження є формування рекомендацій підприємствам галузі ІТ щодо вибору найбільш оптимальних методів кількісного аналізу ризиків. Враховуючи стрімкі зміни в зовнішньому середовищі діяльності українських підприємств ІТ індустрії, запропоновані рекомендації можуть значно спростити процес кількісного аналізу ризиків і пришвидшити перехід до кількісного аналізу.

В подальших дослідженнях пропонується зосередити увагу на більш докладній адаптації досліджених методик до підприємств галузі ІТ, розгляді можливостей використання засобів штучного інтелекту для проведення обчислень та надання рекомендацій щодо необхідних заходів по обробці ризиків.

Література

- Gotti M., Carluccio L. M., 2023, Quantitative Risk Assessment: Best Practices and Limitations, Chemical Engineering Transactions, 99, 187–192.
- Тарасова, К. (2013). Методологічні засади кількісної оцінки ризиків. Наукові записки Національного університету «Острозька академія», Економіка, (23), 367–372.
- Шурда, К. (2020). Методи якісного та кількісного аналізу ризиків. Збалансоване природокористування, (4), 64–72.
- Hofert, M. (2023). Assessing ChatGPT's proficiency in quantitative risk management. Risks, 11(9), 166
- Paltrinieri, N., Comfort, L., & Reniers, G. (2019). Learning about risk: Machine learning for risk assessment. Safety science, 118, 475–486.
- Walędzik, K., & Mańdziuk, J. (2018). Applying hybrid Monte Carlo tree search methods to risk-aware project scheduling problem. Information Sciences, 460, 450–468.
- Strielkina, A., Tetskiy, A., & Krasilshchykova, V. (2023). Risk and uncertainty assessment in software project management: integrating decision trees and Monte Carlo modeling. Radioelectronic and Computer Systems, (3), 217–225.
- Остапець, А. О., & Парасій-Вергуненко, І. М. (2025). Методики якісного аналізу ризиків підприємств галузі ІТ. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». Серія: «Економічні науки», (2). <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2025-2-10724>

9. Saket Bansal (2019). Differentiating quantitative risk analysis and qualitative risk analysis. Izenbridge. URL: <https://www.izenbridge.com/blog/differentiating-quantitative-risk-analysis-and-qualitative-risk-analysis/>.
10. Зоріна, О. (2011). Методи аналізу фінансових ризиків. Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу, (2 (20)), 221–229.
11. Курдупов, О., & Потапова, Н. (2021). Використання методу Монте-Карло для аналізу проектних ризиків. Комп'ютерні технології обробки даних, 138–141.
12. Spiceworks. (2024, May 22). What is a Monte Carlo Simulation? Spiceworks. <https://www.spiceworks.com/tech/tech-general/articles/what-is-a-monte-carlo-simulation/>
13. Романовський, І. Г. (2017). Застосування методу Монте-Карло для моделювання економічних ризиків агропромислового підприємства. Проблеми економіки та політичної економії, (1), 129–141.
14. Senova, A., Tobisova, A., & Rozenberg, R. (2023). New approaches to project risk assessment utilizing the Monte Carlo method. *Sustainability*, 15(2), 1006.
15. Kenton, W. (2023, July 11). Cost-Benefit Analysis (CBA): What It Is, How It's Used, and What to Consider. Investopedia. URL: <https://www.investopedia.com/terms/c/cost-benefitanalysis.asp> (дата звернення: 15.08.2025).
16. Adler, M. D., & Posner, E. A. (1999). Rethinking cost-benefit analysis. *Yale LJ*, 109, 165
17. Robinson, R. (1993). Cost-benefit analysis. *British Medical Journal*, 307(6909), 924–926.
18. Ray, P. A., Taner, M. Ü., Schlef, K. E., Wi, S., Khan, H. F., Freeman, S. S. G., & Brown, C. M. (2019). Growth of the decision tree: advances in bottom-up climate change risk management. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 55(4), 920–937.
19. Kenton, W. (2023, July 11). Decision Tree Analysis in Finance: A Simple Way to Make Smart Decisions. Investopedia. URL: <https://www.investopedia.com/articles/financial-theory/11/decisions-trees-finance.asp> (дата звернення: 15.08.2025).
20. Miro. Decision Tree Analysis in Risk Management. Miro. URL: <https://miro.com/diagramming/decision-tree-analysis-in-risk-management/> (дата звернення: 15.08.2025).
21. Zaku, A., & Uysal, F. (2022). Decision tree analysis in project risk management: A systematic review. In *Proc. 12th Int. Conf. Construct.* (pp. 1–12).
22. Roadmunk. (2022, February 23). Expected Monetary Value: What is EMV and How to Use it? Roadmunk. URL: <https://roadmunk.com/product-management-blog/expected-monetary-value/> (дата звернення: 15.08.2025).
23. Walke, R., Topkar, V., & Kabiraj, S. (2010). Risk Quantification Using EMV Analysis-A Strategic Case of Ready Mix Concrete Plants. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 7(5), 399.
24. Walke, R. C., Topkar, V. M., & Matekar, N. U. (2011). An Approach to risk quantification in construction projects using EMV analysis. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(9), 6847–6855.
25. Ganti, A. (2024, June 20). Standard Deviation: What It Is and How Is It Used? Investopedia. URL: <https://www.investopedia.com/terms/s/standarddeviation.asp>
26. Hattis, D., & Burmaster, D. E. (1994). Assessment of variability and uncertainty distributions for practical risk analyses. *Risk Analysis*, 14(5), 713–730.
27. Лоскоріх, Г., & Грабчук, І. (2021). Облікове забезпечення управління ризиками діяльності ІТ-підприємств. *Економіка, управління та адміністрування*, (4(98)).
28. Mokhtari, A., & Frey, H. C. (2005). Sensitivity analysis of a two-dimensional probabilistic risk assessment model using analysis of variance. *Risk Analysis: An International Journal*, 25(6), 1511–1529.

References

1. Gotti M., Carluccio L. M. (2023) Quantitative Risk Assessment: Best Practices and Limitations, *Chemical Engineering Transactions*, 99, 187–192.
2. Tarasova K. (2013). Metodologichni zasady kil'kisnoii otsinky ryzykiv. [Methodological principles of quantitative risk assessment]. *Naukovi zapysky Natsional'noho universytetu "Ostroz'ka akademiia"*. *Ekonomika* (23), 367–372 [in Ukrainian].
3. Shurda K. (2020). Metody iakisnoho ta kil'kisnoho analizu ryzykiv. [Methods of qualitative and quantitative risk analysis]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya*, (4), 64–72 [in Ukrainian].
4. Hofert M. (2023). Assessing ChatGPT's proficiency in quantitative risk management. *Risks*, 11(9), 166
5. Paltrinieri N., Comfort L., Reniers, G. (2019). Learning about risk: Machine learning for risk assessment. *Safety science*, 118, 475–486.
6. Wałędzik K., Mańdziuk J. (2018). Applying hybrid Monte Carlo tree search methods to risk-aware project scheduling problem. *Information Sciences*, 460, 450–468.
7. Strielkina A., Tetskyi A., Krasilshchikova V. (2023). Risk and uncertainty assessment in software project management: integrating decision trees and Monte Carlo modeling. *Radioelectronic and Computer Systems*, (3), 217–225.
8. Ostapets A. O., Parasii-Verhunencko I. M. (2025). Metodyky yakisnoho analizu ryzykiv pidpriemstv haluzi IT. [Methods of qualitative risk analysis for IT industry enterprises] *International Scientific Journal "Internauka"*. Series: "Economic Sciences", (2). <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2025-2-10724> [in Ukrainian].

9. Saket Bansal (2019). Differentiating quantitative risk analysis and qualitative risk analysis. Izenbridge. URL: <https://www.izenbridge.com/blog/differentiating-quantitative-risk-analysis-and-qualitative-risk-analysis/>
10. Zorina O. (2011). Metody analizu finansovykh ryzykiv. [Methods of financial risk analysis]. Problemy teorii ta metodolohii bukhgalters'koho obliku, kontroliu ta analizu, (2 (20)), 221–229 [in Ukrainian].
11. Kurdupov O., Potapova N. (2021). Vykorystannia metodu Monte Carlo dlia analizu proektnykh ryzykiv. [Use of the Monte Carlo method for project risk analysis]. Komp'uterni tekhnolohii obrobky danykh, 138–141 [in Ukrainian].
12. Spiceworks. (2024, May 22). What is a Monte Carlo Simulation? Spiceworks. [https://www.spiceworks.com/tech-general/articles/what-is-a-monte-carlo-simulation/](https://www.spiceworks.com/tech/general/articles/what-is-a-monte-carlo-simulation/)
13. Romanovskiy I. (2017). Zastosuvannia metodu Monte-Karlo dlia modeliuvannia ekonomichnykh ryzykiv agroprymysloвого pidpryemstva. [Application of the Monte Carlo method for modeling economic risks of an agro-industrial enterprise]. Problemy ekonomiky ta politychnoi ekonomii, (1), 129–141 [in Ukrainian].
14. Senova A., Tobisova A., Rozenberg R. (2023). New approaches to project risk assessment utilizing the Monte Carlo method. Sustainability, 15(2), 1006.
15. Kenton W. (2023, July 11). Cost-Benefit Analysis (CBA): What It Is, How It's Used, and What to Consider. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/c/cost-benefitanalysis.asp>
16. Adler M.D., Posner E.A. (1999). Rethinking cost-benefit analysis. Yale LJ, 109, 165
17. Robinson R. (1993). Cost-benefit analysis. British Medical Journal, 307(6909), 924–926.
18. Ray P.A., Taner M. Ü., Schlef K.E., Wi S., Khan H.F., Freeman S.S.G., Brown C.M. (2019). Growth of the decision tree: advances in bottom-up climate change risk management. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 55(4), 920–937.
19. Kenton W. (2023, July 11). Decision Tree Analysis in Finance: A Simple Way to Make Smart Decisions. Investopedia. <https://www.investopedia.com/articles/financial-theory/11/decisions-trees-finance.asp>
20. Miro. Decision Tree Analysis in Risk Management. Miro. <https://miro.com/diagramming/decision-tree-analysis-in-risk-management/>
21. Zaku A., Uysal F. (2022). Decision tree analysis in project risk management: A systematic review. In Proc. 12th Int. Conf. Construct. (pp. 1–12).
22. Roadmunk. (2022, February 23). Expected Monetary Value: What is EMV and How to Use it? Roadmunk. <https://roadmunk.com/product-management-blog/expected-monetary-value/>
23. Walke R., Topkar V., Kabiraj S. (2010). Risk Quantification Using EMV Analysis-A Strategic Case of Ready Mix Concrete Plants. International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), 7(5), 399
24. Walke R.C., Topkar V.M., Matekar N.U. (2011). An Approach to risk quantification in construction projects using EMV analysis. International Journal of Engineering Science and Technology, 3(9), 6847–6855.
25. Ganti A. (2024, June 20). Standard Deviation: What It Is and How Is It Used? Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/s/standarddeviation.asp>
26. Hattis D., Burmaster D.E. (1994). Assessment of variability and uncertainty distributions for practical risk analyses. Risk Analysis, 14(5), 713–730.
27. Loskorikh H., Hrabchuk I. (2021). Oblikove zabezpechennia upravlinnia ryzykamy dial'nosti IT-pidpryemstv, [Accounting support for risk management in IT enterprises]. Ekonomika, upravlinnia ta administruvannia, (4(98)) [in Ukrainian].
28. Mokhtari A., Frey H.C. (2005). Sensitivity analysis of a two-dimensional probabilistic risk assessment model using analysis of variance. Risk Analysis: An International Journal, 25(6), 1511–1529.