

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ**

Кафедра теорії функцій та методики навчання математики

На правах рукопису

ТИМЧУК СОЛОМІЯ РОМАНІВНА

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ
ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ**

Спеціальність : 111 Математика

Освітньо-професійна програма «Математика»

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

Науковий керівник :

КАЛЬЧУК ІННА ВОЛОДИМИРІВНА,

кандидат фіз.-мат. наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ

Протокол № _____

Засідання кафедри теорії функцій та

методики навчання математики

від _____ 2025 р.

Завідувач кафедри

доцент Гембарська С. Б. _____

Луцьк-2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. Сутність та комплексний підхід до управління інвестиційними ризиками підприємства.....	7
1.1 Ризик, невизначеність і небезпека.....	7
1.2 Класифікація ризиків	9
1.3 Ідентифікація ризиків	13
1.4 Ідентифікація проєкту	15
1.5 Фактор ризику	16
1.6 Класичне означення ймовірності	16
1.6.1 Поняття розподілу ймовірностей та типи випадкових величин	17
1.6.2 Типи дискретних та неперервних розподілів ймовірностей	18
1.6.3 Граничні теореми теорії ймовірностей.....	19
1.6.4 Центральні граничні теореми	19
1.6.5 Нормальний розподіл	20
1.7 Оцінювання джерел фінансування, їх впливу на фінансову стійкість та стабільність діяльності підприємства	24
1.8 Нефінансові критерії оцінювання інвестиційних проєктів	25
РОЗДІЛ 2. Сучасні методи управління ризиками інвестиційних проєктів.....	27
2.1 Метод чистої теперішньої вартості.....	27
2.2 Внутрішня норма доходності (Internal Rate of Return, IRR)	28
2.3 Метод індексу рентабельності.....	29
2.4 Період окупності	30
2.5 Показники рентабельності (прибутковості) інвестицій.....	31
2.6 Коефіцієнт ліквідності.....	31
2.7 Сценарний аналіз фінансових ризиків з використанням ймовірнісних методів.....	32
2.8 Аналіз чутливості в умовах невизначеності параметрів проєкту	34
2.9 Метод Монте-Карло.....	37
2.10 Теорія ігор.....	39
2.10.1 Методика розв'язання матричних ігор із використанням чистих стратегій	42

2.10.2 Розв’язання матричної гри графічним методом	43
2.10.3 Ігри з природою як модель ухвалення рішень за невизначеності	44
Розділ 3. Практичне застосування методів аналізу інвестиційних ризиків на підприємстві «MNL».....	49
3.1 Побудова карти ризиків.....	49
3.2 Розрахунок ефекту фінансового важеля.....	52
3.3 Аналіз чутливості прибутку.....	54
3.4 Аналіз сценаріїв	55
3.5 Теорія ігор.....	57
3.6 Моделювання Монте-Карло	63
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ТАБЛИЦЬ.....	67
СПИСОК РИСУНКІВ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69

ВСТУП

У сучасних умовах динамічного розвитку економіки, що характеризується високою мінливістю та непередбачуваністю зовнішнього середовища, питання кількісної оцінки та управління інвестиційними ризиками стає однією з ключових умов забезпечення фінансової стійкості підприємств. Будь-яке інвестиційне рішення ґрунтується на очікуваних майбутніх грошових потоках, які є випадковими величинами та формуються під впливом численних стохастичних чинників. У зв'язку з цим ефективна система управління ризиками потребує не лише економічного аналізу, але і використання строгих математичних методів, що дозволяють описати невизначеність у формалізованому вигляді та здійснити кількісну оцінку можливих відхилень результатів проєкту.

Математичне моделювання інвестиційних ризиків спирається на апарат теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії прийняття рішень та оптимізаційних методів. Застосування ймовірнісних характеристик випадкових величин, зокрема математичного сподівання, дисперсії, стандартного відхилення та коефіцієнта варіації, забезпечує можливість об'єктивного порівняння альтернативних інвестиційних варіантів за рівнем ризику. У цьому контексті важливу роль відіграє використання різних інтерпретацій поняття ймовірності – класичної, частотної та аксіоматичної – що створює теоретичні засади для побудови коректних математичних моделей у ситуаціях обмеженості та неповноти вихідної інформації.

Вибір теми дипломної роботи зумовлений зростаючою потребою у формуванні сучасного інструментарію управління та мінімізації інвестиційних ризиків у діяльності підприємств і інноваційних проєктів в умовах економічної турбулентності та соціально-політичної нестабільності. За умов високої невизначеності зовнішнього середовища ефективне управління ризиками стає не лише елементом стратегічного планування, а й необхідною передумовою збереження фінансової стійкості та довгострокової життєздатності суб'єктів господарювання.

Функціонування дієвої системи управління ризиками є ключовим фактором забезпечення стабільного розвитку підприємства, оптимізації структури інвестиційного портфеля та підвищення результативності господарської діяльності в межах контрольованих та неконтрольованих

зовнішніх умов. Саме потреба в комплексному і математично обґрунтованому дослідженні природи інвестиційного ризику визначає актуальність обраної теми та її теоретичне й практичне значення.

Інвестиційні ризики відіграють системоутворюючу роль у забезпеченні економічної безпеки підприємства та держави загалом. Їх ігнорування або неправильна оцінка може спричинити суттєві фінансові втрати, втрату ліквідності, зниження рентабельності капіталу та послаблення конкурентних позицій на ринку. Тому розроблення науково обґрунтованих моделей і методів кількісного аналізу ризиків є важливою науковою та прикладною проблемою сучасного економічного менеджменту.

Метою кваліфікаційної роботи є побудова та обґрунтування математичних моделей і методів, спрямованих на вдосконалення системи управління ризиками інвестиційних проєктів підприємства, а також розроблення практичних рекомендацій щодо їх застосування.

Об'єктом дослідження є процес оцінювання та управління інвестиційними ризиками підприємства із застосуванням математичних методів їх аналізу та мінімізації.

Предметом дослідження є математичні моделі та методи, що забезпечують теоретичне обґрунтування та практичний аналіз інвестиційних ризиків у діяльності підприємства.

Методи дослідження: побудова карти ризиків, рохрахунок ефекту фінансового важеля, аналіз чутливості прибутку, аналіз сценаріїв, теорія ігор, метод Монте-Карло.

Кваліфікаційна робота **складається** з трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Перший розділ містить теоретичні засади управління інвестиційними ризиками. Розглянуто сутність і класифікацію ризиків, методи їх ідентифікації, фактори ризику, основи теорії ймовірності та вплив джерел фінансування на фінансову стійкість підприємства. Другий розділ присвячений сучасним методам аналізу та мінімізації інвестиційних ризиків. Висвітлено підходи до розрахунку ефективності інвестицій (NPV , IRR , PI , період окупності), застосування аналізу чутливості й сценарного аналізу, імітаційного моделювання методом Монте-Карло та елементів теорії ігор. Третій розділ має практичний характер та містить приклад аналізу ризиків інвестиційного проєкту підприємства «MNL». Виконано побудову карти ризиків, проведено розрахунок

ефекту фінансового важеля, аналіз чутливості та сценаріїв, а також застосовано теорію ігор і моделювання Монте-Карло для кількісної оцінки ризиків.

Апробація дослідження: основні результати дослідження були представлені у формі тез на наукових конференціях:

- XIX Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень» (13–14 травня 2025 року) на тему «Математичне моделювання ризику інвестиційних проєктів за допомогою методу Монте-Карло»;
- Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «СУЧАСНА НАУКА ТА ОСВІТА ВОЛИНІ» (22 травня 2025 р) на тему «Математичне моделювання ризику інвестиційного проєкту за допомогою аналізу критичної точки».

РОЗДІЛ 1. Сутність та комплексний підхід до управління інвестиційними ризиками підприємства

1.1 Ризик, невизначеність і небезпека

Для якісного інвестиційного аналізу важливо розмежовувати поняття ризику, невизначеності та небезпеки. Ризик завжди пов'язаний з конкретною дією, проектом або рішенням, результат якого не є гарантованим. Ці результати можуть мати фінансові наслідки для суб'єкта, який ініціює або реалізує відповідну діяльність. Зокрема, провал інвестиційного проекту може спричинити фінансові втрати, втрату ліквідності або загрозу подальшому функціонуванню підприємства. Водночас наслідки можуть стосуватися й менеджерів, відповідальних за ухвалення рішень – у вигляді штрафів, втрати репутації або звільнення. Успішна реалізація проекту, навпаки, може підвищити конкурентоспроможність компанії, поліпшити фінансові показники та створити передумови для кар'єрного зростання відповідальних осіб. Невизначеність, на відміну від ризику, пов'язана з обмеженими можливостями точно спрогнозувати майбутні значення ключових факторів, таких як: обсяги попиту, ціни на продукцію чи ресурси, валютні коливання, технологічні зміни тощо. Ця невизначеність перетворюється на ризик у міру того, як її вплив на фінансові результати проекту стає імовірним, але не передбачуваним. Тобто, неможливість точного прогнозування формує потенційну варіативність результатів, яку й називають ризиковістю.

У різних дисциплінах ці поняття можуть тлумачитися по-різному. Наприклад, у теорії прийняття рішень:

- рішення за умов ризику – це ситуація, коли відомі можливі сценарії та ймовірності їх настання;
- рішення в умовах невизначеності – коли ймовірності настання подій не можуть бути визначені.

Серед основних чинників, що ускладнюють достовірне прогнозування майбутніх значень ризикових факторів та рівня невизначеності, виокремлюють такі:

- обмежена інформаційна база та недостатнє розуміння механізмів формування ризику. Відсутність глибокого аналізу джерел ризиків і

невизначеностей, а також низький рівень моделювання відповідних процесів, знижують точність прогнозів;

- використання ненадійних або статистично нестабільних джерел інформації. Залучення неперевіраних даних, а також посилення на застарілі або непристосовані до специфіки проєкту показники, негативно впливає на якість аналітичних висновків;
- застосування непридатних методів прогнозування. Методики, які не враховують характер змін або особливості поточного економічного середовища, не забезпечують належного рівня точності у прогнозах;
- стохастичний характер економічних процесів. Багато ризикових факторів є результатом дії складних, часто випадкових комбінацій змінних, що унеможлиблює їх повне передбачення навіть за умов використання сучасних аналітичних інструментів [1].

Таким чином, хоча рівень невизначеності можна суттєво знизити – зокрема, шляхом покращення інформаційного забезпечення, розширення джерел даних та удосконалення методів прогнозування – повністю усунути її неможливо. Це зумовлено природною випадковістю (стохастичністю) багатьох процесів, які лежать в основі інвестиційної діяльності та управлінських рішень.

Таким чином, невизначеність, пов'язана з ненадійністю прогнозування ризикових факторів, може бути зменшена, але не усунута повністю. Це можливо шляхом глибшого аналізу процесів, які генерують ризики, поліпшення інформаційної підтримки, використання альтернативних і достовірніших джерел даних, а також застосування більш точних і адаптованих методів прогнозування.

Проте повна ліквідація невизначеності неможлива через випадкову (стохастичну) природу багатьох процесів, що формують ризикове середовище. Науковці розмежовують поняття ризику та небезпеки.

Згідно з їх підходом:

- ризик – це ймовірність настання нестандартного (потенційно шкідливого) стану певної системи або об'єкта у конкретних часових і просторових межах;
- небезпека – це активований вплив (природного, техногенного або антропогенного походження), що може спричинити негативні наслідки для об'єкта, який перебуває в зоні ризику [16].

1.2 Класифікація ризиків

1. Підприємницький ризик має як негативні, так і позитивні наслідки, оскільки пов'язаний із варіативністю результатів діяльності: як можливими втратами, так і потенційними прибутками. Натомість чистий ризик характеризується виключно негативним впливом, тобто передбачає лише ймовірність настання несприятливих подій або відхилень від бажаного стану. Під таким станом мають на увазі збереження майна, здоров'я чи життя осіб. Чисті ризики зазвичай пов'язані з матеріальними збитками, шкодою здоров'ю або загрозами для життя працівників чи членів організацій. Основними джерелами їх виникнення можуть бути:

- природні явища – повені, пожежі, землетруси тощо;
- відмови технічних систем – аварії виробничого обладнання, збої в інфраструктурі;
- людський фактор – крадіжки, привласнення майна, страйки, навмисні порушення.

2. Систематичний ризик – це вид ризику, що виникає під впливом загальноекономічних факторів і охоплює всі або майже всі сфери підприємницької діяльності. До його джерел належать:

- зміни в грошово-кредитній або фіскальній політиці держави;
- податкове регулювання;
- загальні ринкові коливання: економічні цикли, зміни цін на базові ресурси, енергоносії тощо.

Оскільки систематичний ризик зумовлений розвитком ринку в цілому, його також називають ринковим або недиверсифікованим. Він не може бути усунений чи зменшений через диверсифікацію портфеля, що відрізняє його від інших типів ризиків. Несистематичний ризик (також – специфічний, унікальний або внутрішній) пов'язаний із діяльністю конкретного підприємства або галузі. До потенційних джерел цього ризику належать:

- звільнення ключових працівників;
- перебої в постачанні з боку критично важливих контрагентів;
- поява нового конкурента;
- технічні збої або аварії обладнання.

Узагальнюючи, можна зазначити:

- систематичні ризики переважно мають макроекономічний характер і впливають на увесь ринок;
- несистематичні ризики є мікроекономічними за природою й стосуються індивідуальних умов функціонування окремих підприємств.

3. Внутрішні ризики пов'язані з факторами, що формуються у межах самого підприємства. До цієї категорії відносять, зокрема:

- ризики, пов'язані з проведенням науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт;
- техніко-технологічні ризики, що виникають при розробці нових продуктів або впровадженні інновацій;
- ризики, спричинені помилками персоналу, неефективними управлінськими рішеннями або недоліками в організації виробничих процесів.

Зовнішні ризики виникають під впливом чинників зовнішнього середовища, в якому функціонує підприємство. Їх джерелами є екзогенні умови, які поділяють на:

- макроекономічні фактори – загальноекономічна ситуація, соціальні зміни, технологічний розвиток, екологічні загрози;
- мікроекономічні фактори – поведінка ринкових контрагентів: конкурентів, постачальників, споживачів, партнерів тощо.

4. Керованим ризиком вважається такий, на який підприємство може впливати шляхом цілеспрямованих дій, спрямованих на усунення або зменшення його джерел. Це може передбачати:

- усунення причин виникнення ризику;
- зниження ймовірності його реалізації;
- обмеження масштабу потенційних негативних наслідків.

Наприклад, підвищення кваліфікації персоналу в сфері R&D, модернізація обладнання чи впровадження стандартів якості здатні зменшити технічні й інноваційні ризики.

Некеровані ризики, навпаки, не залежать безпосередньо від дій підприємства. Їхні джерела перебувають поза зоною управлінського контролю – це, наприклад, коливання валютного курсу, стихійні лиха, політична нестабільність.

Однак навіть у таких випадках підприємство може застосовувати інструменти управління наслідками, зокрема:

- страхування;
- хеджування;
- створення резервів.

Узагальнено можна зазначити: внутрішні ризики здебільшого є керованими, тоді як зовнішні – найчастіше некерованими.

5. Первинні ризики охоплюють усі основні типи ризиків, безпосередньо пов'язані з реалізацією проєкту або операційною діяльністю підприємства. Вони становлять пряму загрозу досягненню цілей і є об'єктом первинного аналізу та управління.

Вторинні ризики виникають як побічний ефект заходів, спрямованих на мінімізацію первинних ризиків. Іншими словами, це нові загрози, що формуються внаслідок реалізації стратегії управління ризиками.

Наприклад, створення спільного підприємства з іноземним партнером з метою зниження ризику виходу на новий ринок може породити вторинний ризик – культурні, управлінські або організаційні конфлікти, які впливають на ефективність співпраці та навіть можуть призвести до провалу проєкту.

Таким чином, ефективне управління ризиками вимагає системного підходу, який враховує не лише первинні загрози, але й потенційні наслідки впроваджених управлінських рішень.

6. У процесі реалізації інвестиційних або стратегічних проєктів ризики можуть виникати на різних етапах – від підготовки до експлуатації об'єкта. Їх своєчасне виявлення та управління є критично важливими для досягнення запланованих результатів.

Група ризиків на етапі підготовки та реалізації проєкту охоплює ризики, що загрожують дотриманню строків, бюджету та технічних параметрів проєкту. До них належать:

- проєктні помилки або технічні недоліки;
- невиконання зобов'язань субпідрядниками (наприклад, під час будівельно-монтажних робіт);
- коливання валютного курсу, що впливають на вартість імпортного обладнання та матеріалів.

Ризики на етапі експлуатації проєкту пов'язані з факторами, що впливають на ефективність функціонування об'єкта. Серед них:

- зростання цін на сировину, енергоносії чи інші ресурси;
- зниження попиту на продукцію або послуги;
- недосягнення проєктної потужності через труднощі з технологіями або організацією процесів.

Успішне управління ризиками передбачає комплексний підхід на всіх етапах життєвого циклу проєкту – від планування до повноцінної експлуатації.

Один із найбільш комплексних підходів до класифікації ризиків базується на критерію їхньої предметної (змістової) природи. У цьому контексті виділяють низку специфічних типів ризиків, що відображають сутнісні особливості джерел їх виникнення.

Техніко-технологічні ризики пов'язані з використанням і впровадженням досягнень науково-технічного прогресу. Вони можуть виявлятися у:

- невдалому розробленні нових продуктів або технологій;
- порушеннях технологічного процесу;
- труднощах із впровадженням або масштабуванням нових рішень, що призводять до зниження виробничих потужностей.

Крім того, техніко-технологічні ризики можуть мати форму морального старіння існуючих продуктів чи процесів унаслідок появи інноваційних рішень на ринку, які роблять попередні технології менш конкурентоспроможними або застарілими.

Виробничі ризики пов'язані з факторами, що впливають на стабільність і результативність виробничого процесу. Найчастіше вони виникають унаслідок дефіциту або обмеженості ресурсів – таких як сировина, матеріали, енергоносії чи кваліфікована робоча сила.

Одним із джерел виробничих ризиків можуть бути збої у ланцюгах постачання, зокрема через помилки або ненадійність постачальників (так звані постачальницькі ризики), що ускладнює дотримання графіків виробництва.

Окрему групу становлять ризики, пов'язані з технічними збоями або відмовами виробничого обладнання. Вони можуть спричинити:

- перебої у випуску продукції чи наданні послуг;
- збільшення витрат на ремонт і обслуговування;
- зниження загальної продуктивності.

Такі ризики також класифікують як експлуатаційні або операційні, оскільки вони безпосередньо пов'язані з функціонуванням виробничої інфраструктури [3].

1.3 Ідентифікація ризиків

Метою ідентифікації ризиків є формування повного переліку факторів, які можуть впливати на результати діяльності підприємства – як у негативному, так і в позитивному аспекті. Це стосується не лише економічних показників, а й вартості окремих активів, ефективності реалізації інвестиційних проєктів та загального рівня досягнення стратегічних цілей. Процес ідентифікації ризиків є складним і багаторівневим, охоплюючи кілька ключових аспектів, серед яких:

- декомпозиція об'єкта ризик-аналізу, що передбачає поділ його на логічно пов'язані складові для точнішого виявлення джерел ризику;
- змістовне наповнення процесу ідентифікації, включаючи деталізацію видів і характеристик ризиків;
- вибір методів і інструментів, які використовуються для виявлення потенційних загроз (наприклад, експертні оцінки, аналіз сценаріїв, SWOT-аналіз тощо);
- інформаційна база, на основі якої здійснюється ідентифікація (внутрішня статистика, ринкові дані, нормативні документи тощо);
- суб'єкти, залучені до процесу ідентифікації, включаючи управлінський персонал, аналітиків, зовнішніх консультантів тощо.

У процесі ідентифікації ризиків застосовується широкий спектр інструментів та підходів, які сприяють виявленню потенційних загроз для діяльності підприємства. Найбільш поширеними з них є:

1. Контрольні списки та каталоги ризиків – це структуровані переліки можливих ризиків, які можуть стосуватися підприємства загалом або окремих його функціональних підрозділів. Їх використання дозволяє мінімізувати ймовірність пропущення важливих ризикових факторів на етапі ідентифікації.

2. Інтерв'ю з експертами та групові обговорення – це один з ефективних форматів – мозковий штурм, у якому беруть участь представники підприємства, зовнішні консультанти та галузеві експерти. Обговорення модеруються фахівцем з управління ризиками, який забезпечує участь усіх членів групи, спрямовує дискусію та підсумовує результати. Важливою умовою є відсутність

критики висловлених ідей, що стимулює креативність та обмін досвідом між учасниками.

3. Інструменти стратегічного аналізу зовнішнього середовища. До них належать, зокрема:

- SWOT-аналіз (виявлення слабких/сильних сторін та зовнішніх загроз/можливостей);
- PEST-аналіз (аналіз політичних, економічних, соціальних та технологічних факторів);
- модель п'яти сил Портера, яка дозволяє оцінити конкурентне оточення.

Ці методи особливо ефективні для ідентифікації зовнішніх ризиків, що впливають на ринкову позицію підприємства .

4. Когнітивні (ментальні) карти – це візуальні схеми, що демонструють взаємозв'язки між факторами ризику. Ключові ризикові фактори розміщуються у вигляді вузлів на схемі, а причинно-наслідкові зв'язки між ними позначаються стрілками: від чинника (причини) до потенційного наслідку. Такий підхід дає змогу не лише ідентифікувати ризики, а й зрозуміти їх взаємозалежність і каскадний ефект [4].

Важливою передумовою ефективної ідентифікації факторів ризику є доступ до якісної та відповідної інформації. Одним із ключових джерел є експертні знання фахівців, які мають практичний досвід у відповідних галузях діяльності, де потенційно виникають ризики. Крім того, до основних джерел інформації належать:

- результати структурованих інтерв'ю та анкетувань, що проводяться серед персоналу підприємства або зовнішніх експертів;
- локальний та міжнародний досвід, накопичений як на індивідуальному, так і на корпоративному рівні;
- висновки зовнішніх аудиторів та надані ними рекомендації щодо підвищення ефективності управлінських рішень;
- дані фінансового контролінгу та внутрішнього аудиту, що дозволяють виявити внутрішні джерела ризиків;
- матеріали бізнес-планування, які включають прогностичні показники, припущення, оцінки ринкових умов тощо;
- регулярний аналіз фінансових результатів діяльності підприємства, включаючи динаміку ключових показників;

- системи моніторингу та раннього попередження, що фіксують потенційні відхилення від запланованих параметрів;
- висновки з досвіду реалізації масштабних інвестиційних проєктів, що дозволяють ідентифікувати ризики, виявлені в аналогічних ситуаціях у минулому.

Комплексне використання цих джерел підвищує якість і повноту процесу ідентифікації ризиків, забезпечуючи обґрунтованість подальших етапів ризик-менеджменту.

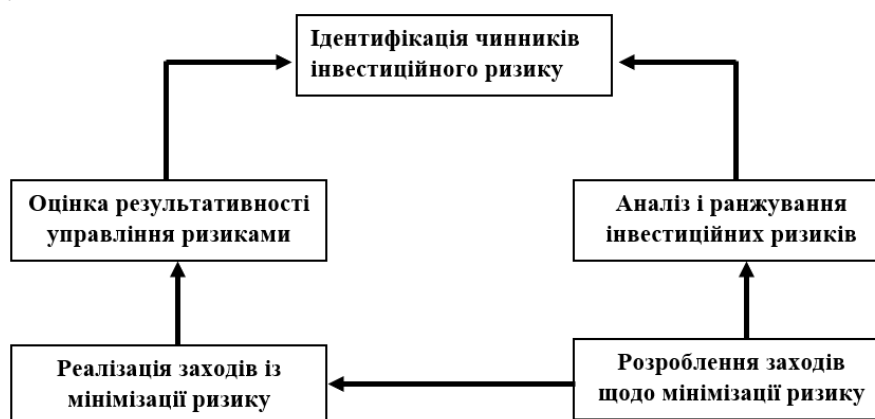


Рисунок 1. Механізм управління інвестиційними ризиками

1.4 Ідентифікація проєкту

Інвестиційний проєкт повинен бути чітко визначений як окрема цілісна одиниця для аналізу. Це означає, що всі дії в межах проєкту мають бути узгодженими та спрямованими на досягнення конкретної мети. Це правило важливе навіть тоді, коли аналіз охоплює лише початкову частину проєкту, але його успіх залежить від реалізації всього задуму. У практиці часто трапляються випадки, коли проєкт поділяють на етапи – це наприклад, через управлінські або фінансові рішення – і це треба враховувати. Може виникнути ризик, коли на фінансування подається лише одна частина великого проєкту, а решта – особливо важливі елементи – залишаються під питанням. Якщо немає впевненості, що інші частини також будуть реалізовані, це ставить під сумнів доцільність підтримки проєкту [17]. У деяких випадках може знадобитися розгляд усього комплексу дій як одного великого проєкту. Тоді заявник має подати додаткову інформацію – наприклад, розрахунок витрат і вигод – відповідно до вимог чинних правил. Заявник зобов’язаний обґрунтувати, чому саме такий підхід до визначення проєкту є правильним. А оцінювач перевіряє,

наскільки це обґрунтування переконливе. Якщо щось незрозуміло, оцінювач може запросити пояснення або додаткові документи [9].

1.5 Фактор ризику

Ризик, властивий інвестиційному проєкту, значною мірою визначається структурою його фінансування і відображає рівень фінансової невизначеності, який готові прийняти інвестори та кредитори. Зі зростанням загального рівня ризику проєкту зростають і вимоги до очікуваної прибутковості, що безпосередньо впливає на величину корпоративної дисконтної ставки. Одним із найбільш уживаних методів її оцінки є визначення середньозваженої вартості капіталу (Weighted Average Cost of Capital, WACC), яка слугує орієнтиром мінімально прийнятної дохідності з погляду постачальників капіталу. Цей показник має забезпечувати покриття витрат на обслуговування залучених фінансових ресурсів (зокрема відсоткових платежів за кредитами), а також гарантувати належний рівень доходу для власників капіталу як компенсацію за прийнятий інвестиційний ризик [2].

$$CBK = K_{\Pi} \cdot (1 - C_{\Pi}) \cdot \frac{PK}{ЗК} + K_{В} \cdot \frac{ВК}{ЗК}, \quad (1.1)$$

де:

- CBK – середньозважена вартість капіталу;
- K_{Π} – вартість позикового капіталу до оподаткування;
- $K_{В}$ – вартість власного капіталу після оподаткування;
- C_{Π} – ставка податку на прибуток;
- ВК – обсяг власного капіталу;
- PK – обсяг позикового капіталу;
- ЗК – загальна вартість капіталу, яка формує дохід.

1.6 Класичне означення ймовірності

Під час процесу математичного моделювання ризиків інвестиційних проєктів доцільно застосовувати статистичні методи, що базуються на аналізі ймовірності досягнення певного значення досліджуваної величини – здебільшого очікуваного грошового потоку від реалізації проєкту.

Наприклад, при оцінюванні інвестицій у обладнання для виробництва певного продукту можна змоделювати кілька можливих варіантів динаміки

грошових потоків залежно від різних економічних умов. Такий підхід дозволяє кількісно відтворити можливі сценарії розвитку подій і визначити ймовірність досягнення очікуваних результатів.

У разі, коли множина елементарних подій $I = \{E_1, E_2, E_3, \dots, E_n\}$ є скінченною, а всі елементарні події рівноймовірні, ймовірність настання події A визначається за класичною формулою:

$$P(A) = \frac{m}{n} \quad (1.2)$$

де:

- m – кількість елементарних подій, сприятливих для події;
- n – загальна кількість усіх можливих (однаково ймовірних) елементарних подій у просторі подій.

1.6.1 Поняття розподілу ймовірностей та типи випадкових величин

Розподіл ймовірностей – це математична функція, що визначає закономірність виникнення випадкових подій і описує, яким чином імовірності розподіляються між можливими результатами стохастичного експерименту. Така функція встановлює взаємозв'язок між можливими результатами події та умовами її реалізації.

Випадкові (стохастичні) величини – це змінні, числові значення яких за сталих умов визначаються випадковим чином. Інакше кажучи, це такі величини, які можуть набувати різних значень у результаті повторення одного й того самого експерименту, причому кожному можливому значенню відповідає певна ймовірність. Аналіз і дослідження властивостей випадкових величин здійснюється на основі засобів теорії ймовірностей і математичної статистики. Залежно від характеру множини можливих значень випадкової величини, розрізняють:

- дискретні випадкові величини – це такі стохастичні величини, значення яких визначаються на зліченній множині, наприклад, на множині цілих чисел. Імовірнісний розподіл для таких величин подається у формі таблиці або як функція, що кожному можливому значенню ставить у відповідність певну ймовірність;
- неперервні випадкові величини – це величини, які можуть набувати будь-якого значення в межах деякого інтервалу на числовій прямій. Для опису розподілу ймовірностей таких величин використовується функція

щільності ймовірності – неперервна функція, що характеризує ймовірність потрапляння значення випадкової величини до заданого підінтервалу. Типовими прикладами таких розподілів є експоненціальний і нормальний розподіли.

1.6.2 Типи дискретних та неперервних розподілів ймовірностей

Графічні приклади окремих дискретних розподілів ймовірностей наведено на рисунку 2.

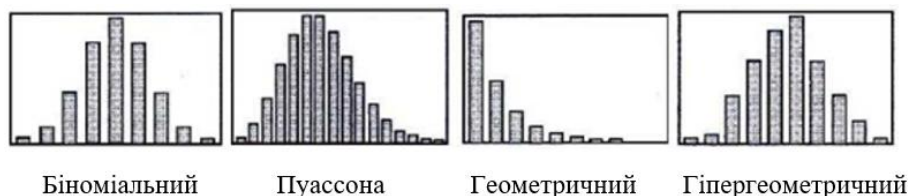


Рисунок 2. Типові форми основних дискретних розподілів ймовірності

Серед найбільш уживаних і значущих типів дискретних розподілів ймовірностей вирізняють, зокрема, такі:

- прості розподіли (із обмеженою кількістю можливих результатів);
- біноміальний розподіл;
- негативно біноміальний розподіл;
- розподіл Пуассона;
- розподіл Максвелла–Больцмана.

Зазначені розподіли активно використовуються для розв'язання задач, пов'язаних із підрахунком кількості подій за заданих умов, зокрема – визначення кількості дефектів у виробничій партії або кількості звернень до системи обслуговування протягом певного інтервалу часу. Серед основних неперервних розподілів доцільно виокремити:

- нормальний розподіл слугує універсальним інструментом моделювання симетрично розподілених даних;
- гамма-розподіл використовується для опису часу до настання певної події;
- розподіл Стюдента є доцільним для статистичного аналізу при роботі з малими вибірками;
- експоненціальний розподіл застосовується для моделювання проміжків часу між подіями у випадкових і незалежних процесах.

Ілюстрації зазначених неперервних розподілів подано на рисунку 3.

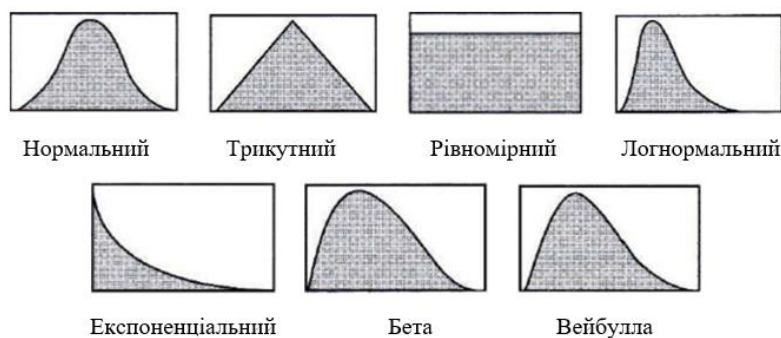


Рисунок 3. Типові форми основних неперервних розподілів ймовірності

1.6.3 Граничні теореми теорії ймовірностей

Одним із ключових положень теорії ймовірностей є закон великих чисел, який описує зміну статистичних характеристик у процесі збільшення кількості повторень стохастичного експерименту. Відповідно до цього закону, за умови багаторазового незалежного проведення одного й того самого експерименту, результати можуть бути узагальнені у вигляді розподілу відносних частот. Такий розподіл отримав назву емпіричного, а числові характеристики, що його описують (зокрема, середнє значення, дисперсія тощо), називають емпіричними характеристиками.

За дотримання певних умов емпіричний розподіл і його характеристики з високою ймовірністю наближаються до відповідного теоретичного розподілу та теоретичних характеристик. Причому ступінь цього наближення зростає зі збільшенням обсягу вибірки. Саме це й становить узагальнене формулювання закону великих чисел.

Варто зауважити, що зі збільшенням обсягу вибірки ймовірність суттєвого відхилення емпіричних величин від відповідних теоретичних значень зменшується, що, своєю чергою, забезпечує статистичну надійність отриманих оцінок.

1.6.4 Центральні граничні теореми

Центральні граничні теореми формулюють одне з ключових положень теорії ймовірностей, згідно з яким нормальний розподіл виступає як граничний розподіл для широкого класу інших розподілів за умови наявності великої кількості незалежних випадкових складових.

Зокрема, центральна гранична теорема стверджує, що якщо випадкова величина X є сумою великої кількості взаємно незалежних випадкових величин $X_1, X_2, \dots, X_n$, які мають однаковий розподіл із кінцевим математичним

сподіванням та дисперсією, то за певних умов її розподіл при $n \rightarrow \infty$ наближається до нормального. Інакше кажучи, незалежно від початкового закону розподілу окремих доданків, сума або середнє значення великої кількості незалежних спостережень має тенденцію до набуття форми нормального розподілу. Таку випадкову величину X , яка за великих n має нормальний граничний розподіл, називають асимптотично нормально розподіленою.

Це твердження має принципове значення для математичної статистики, оскільки пояснює універсальну появу нормального розподілу у багатьох природних, технічних і соціальних процесах, які зумовлені впливом великої кількості незалежних чинників.

1.6.5 Нормальний розподіл

Нормальний розподіл, також відомий як розподіл Гауса, є одним із найважливіших і найпоширеніших типів ймовірнісних розподілів. Завдяки здатності адекватно описувати широкий спектр природних і соціально-економічних явищ, зумовлених дією великої кількості незалежних чинників, цей розподіл набув широкого застосування у різних галузях науки — зокрема у фізиці, біології, економіці та соціології.

Основні властивості нормального розподілу:

- значення функції щільності ймовірності є невід’ємними на всій області визначення, що відповідає природній вимозі до ймовірностей;
- площа під графіком функції щільності на всій числовій прямій дорівнює 1, що відображає умову повної ймовірності для неперервної випадкової величини;
- ймовірність того, що випадкова величина x потрапить до інтервалу $[a; b]$, чисельно дорівнює площі під щільністю між точками a і b .

Нормальний розподіл є симетричним відносно свого центру і повністю визначається двома параметрами:

μ – математичне сподівання (середнє значення);

σ – середнє квадратичне відхилення (стандартне відхилення), яке описує ступінь розсіювання значень навколо середнього.

Аналitiчна формула щільності розподілу для нормально розподіленої випадкової величини X має такий вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1.3)$$

де $x \in \mathbb{R}$ – довільне значення випадкової величини;

$\mu \in \mathbb{R}$ – середнє значення;

$\sigma > 0$ – стандартне відхилення.

Переважає частина реалізацій випадкової величини зосереджена в околі середнього значення μ , тоді як значення, що виходять за межі цього інтервалу, трапляються з меншою ймовірністю.

Однією з фундаментальних властивостей нормального розподілу є можливість побудови довірчих інтервалів, які забезпечують кількісну оцінку меж, в межах яких із заданим рівнем довіри міститься істинне значення випадкової величини. Такий підхід має суттєве прикладне значення в статистичному аналізі, особливо в умовах, коли висновки про генеральну сукупність робляться на основі вибірових даних.

Для випадкової величини, що має нормальний розподіл $N(\mu; \sigma^2)$ виконується наступне: результат реалізації такої величини з ймовірністю, що відповідає заданому рівню довіри, потрапляє в певний інтервал навколо середнього значення μ .

Межі та ймовірність інтервалів нормального розподілу представлені в таблиці 1 нижче:

Таблиця 1. Довірчий інтервал

Довірчий інтервал	Ймовірність у %
$x \in [\mu - \sigma; \mu + \sigma]$	68,2
$x \in [\mu - 2\sigma; \mu + 2\sigma]$	95,4
$x \in [\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma]$	99,7

Статистичний метод ґрунтується на припущенні, що ймовірність настання певних подій, зокрема ризикових, може бути об'єктивно оцінена на основі результатів статистичних спостережень. Цей підхід дозволяє виявити закономірності у частоті настання подій та, відповідно, кількісно оцінити рівень ризику [11].

Найбільш обґрунтованим з наукової точки зору вважається використання статистичних характеристик, таких як:

- математичне сподівання (середнє значення очікуваного результату);

- дисперсія (міра варіативності даних);
- середнє квадратичне відхилення (ступінь відхилення від середнього);
- коефіцієнт варіації (відносна міра ризику).

Ці показники дають змогу кількісно описати ступінь невизначеності та обґрунтовано порівнювати альтернативні варіанти дій з позиції ризику.

Розмах значень може слугувати простим інструментом кількісної оцінки ризику, оскільки визначається як різниця між мінімальним і максимальним можливим результатом, що характеризує діапазон коливань показників. Водночас такий підхід має обмеження, адже не враховує ймовірність реалізації окремих сценаріїв. Тому доцільніше використовувати статистичні методи, які враховують розподіл ймовірностей можливих результатів і забезпечують більш обґрунтовану оцінку ризику.

Стандартне відхилення відображає, наскільки можливі значення грошових потоків x_n відхиляються від їхнього очікуваного (середнього) значення $E(x)$, яке в цьому випадку визначається як зважене середнє арифметичне грошових потоків, де вагами виступають ймовірності їх настання $p(x)$.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{n=1}^N p_n \cdot (x_n - E(x))^2} \quad (1.4)$$

Цей показник дає змогу кількісно оцінити ступінь мінливості та рівень ризику інвестиційного проєкту: чим менше стандартне відхилення, тим стабільнішими є очікувані результати.

Проте навіть цей показник не завжди дає змогу коректно порівнювати рівень ризику різних інвестиційних проєктів, особливо коли вони суттєво різняться за обсягом очікуваних грошових потоків. У таких випадках стандартне відхилення, що виступає абсолютною мірою ризику, може бути недостатньо репрезентативним або навіть створювати викривлене уявлення про реальний рівень ризиковості проєктів.

Коефіцієнт варіації усуває обмеження попередніх методів оцінювання ризику, оскільки відображає його у відносних величинах. Його обчислюють як відношення стандартного відхилення до середнього очікуваного значення досліджуваного показника:

$$V = \frac{\sigma}{E(x)} \quad (1.5)$$

Водночас практичне застосування статистичного методу може бути ускладненим через необхідність у значному обсязі достовірних, стабільних і репрезентативних статистичних даних. У разі відсутності таких даних точність оцінки рівня ризику істотно знижується.

У процесі реалізації статистичного підходу здійснюється аналіз сукупності наявної статистичної інформації, яка характеризує ефективність виконання аналогічних операцій або реалізації подібних процесів у минулому. Це дає змогу здійснити об'єктивну оцінку ймовірності виникнення збитків і, відповідно, побудувати кількісну модель ризику.

Таким чином, статистичний метод дає змогу не лише визначити ймовірність настання небажаних наслідків, але й кількісно оцінити очікувану величину втрат, що робить його одним із ключових інструментів у системі управління ризиками.

У процесі кількісного аналізу ризику одним із поширених підходів є обчислення ризику в абсолютному вираженні, що передбачає застосування кількох базових методів. Найпростішим та найбільш інтуїтивно зрозумілим є підхід, за якого мірою ризику виступає ймовірність настання збитків або ймовірність недоотримання очікуваного доходу порівняно з прогнозованим значенням.

У цьому контексті загальноприйнятим є позначення рівня ризику символом R :

$$R = p(x) \quad (1.6)$$

Тобто, ризик у даному випадку розглядається як числова ймовірність відхилення фактичного результату від запланованого (наприклад, очікуваного прибутку), що свідчить про потенційні фінансові втрати або недоотримання вигоди. У контексті оцінювання ризику випадкова величина x інтерпретується як збиток або недоотриманий дохід, що може виникнути в результаті реалізації певної події. Таким чином, значення x відображає фінансовий результат, пов'язаний із ризиковою ситуацією, і може змінюватися в залежності від умов середовища, ринку або поведінки інших чинників невизначеності.

Ця зміна значення x пояснює необхідність застосування імовірнісних методів, адже конкретний розмір втрат або відхилень заздалегідь невідомий, проте його можна описати за допомогою ймовірнісного розподілу, який базується на статистичних або експертних даних.

Такий підхід дозволяє здійснювати обґрунтоване порівняння альтернативних сценаріїв або варіантів рішень за критерієм імовірності несприятливого результату та є початковим етапом у побудові більш складних моделей ризику.

Як міру ризику використовують очікуваний збиток, що визначається як математичне сподівання випадкової величини:

$$R = M(x) \quad (1.7)$$

Для знаходження міри ризику також використовують добуток величини збитку на ймовірність його настання:

$$R = M(x) \cdot P(x) \quad (1.8)$$

У процесі оцінювання ризику як кількісну характеристику ризику застосовують математичне сподівання відповідної випадкової величини:

$$R = M(x) \quad (1.9)$$

Для визначення ступеня ризику використовується середнє квадратичне відхилення, яке відображає коливання можливих значень цієї величини відносно її середнього значення:

$$\sigma(x) = \sqrt{\sigma^2(x)} \quad (1.10)$$

1.7 Оцінювання джерел фінансування, їх впливу на фінансову стійкість та стабільність діяльності підприємства

Для оцінки доцільності фінансування інвестиційного проєкту необхідно враховувати не лише його потенційну прибутковість, а й рівень фінансового ризику. Нижче наведено ключові фінансові показники, які дають змогу проаналізувати структуру джерел фінансування, ліквідність підприємства та ефективність використання капіталу. Ці показники дозволяють комплексно оцінити фінансову стабільність підприємства, що є важливим чинником при ухваленні інвестиційних рішень.

Рентабельність активів:

$$ROA = \frac{\text{прибуток до сплати відсотків і податків}}{\text{активи}} \quad (1.11)$$

Рентабельність власного капіталу:

$$ROE = \frac{\text{чистий прибуток}}{\text{власний капітал}} \quad (1.12)$$

Коефіцієнт загальної заборгованості:

$$K_{ЗБ} = \frac{\text{позиковий капітал}}{\text{сукупні активи}} \quad (1.13)$$

Коефіцієнт фінансової залежності:

$$K_{ФЗ} = \frac{\text{позиковий капітал}}{\text{власний капітал}} \quad (1.14)$$

Поточна ліквідність:

$$K_{ПЛ} = \frac{\text{оборотні активи}}{\text{поточні зобов'язання}} \quad (1.15)$$

Абсолютна ліквідність:

$$K_{АЛ} = \frac{\text{грошові кошти та їх еквіваленти}}{\text{поточні зобов'язання}} \quad (1.16)$$

Швидка ліквідність:

$$K_{ШЛ} = \frac{\text{оборотні активи} - \text{запаси}}{\text{поточні зобов'язання}} \quad (1.17)$$

Ефективна річна відсоткова ставка:

$$i_e = \left(1 + \frac{i}{m}\right)^m - 1 \quad (1.18)$$

де:

- m – кількість нарахувань відсотків протягом року;
- i – номінальна відсоткова ставка.

1.8 Нефінансові критерії оцінювання інвестиційних проєктів

У таблиці 2 наведено характеристику нефінансових наслідків інвестиційних проєктів, структурованих за двома основними критеріями. Перший критерій визначає коло суб'єктів, на яких поширюється вплив проєкту, зокрема підприємство, персонал, споживачів, суспільство та державу. Другий критерій відображає змістовну природу наслідків, що охоплює такі напрями, як соціальний ефект, екологічний вплив, інноваційний розвиток, зміцнення конкурентоспроможності та формування людського капіталу. Застосування

такого підходу забезпечує комплексну оцінку результатів інвестиційних проєктів не лише у фінансовому вимірі, а й з урахуванням ширшого спектра ефектів, значущих для зацікавлених сторін [3].

Таблиця 2. Характеристика нефінансових наслідків інвестиційного проєкту

Класифікація	Тип наслідків	Приклад
За суб'єктами впливу	Внутрішні	Пов'язані з діяльністю підприємства, яке реалізує інвестиційний проєкт
	Зовнішні	Стосуються інших суб'єктів господарювання та елементів ринкового середовища
За характером впливу	Фінансові	Відображають зміни у фінансових результатах підприємства, наприклад зростання доходів або прибутку
	Матеріальні	Відображають зміни у матеріально-технічній базі підприємства, наприклад, збільшення виробничих потужностей або модернізацію обладнання
	Нематеріальні	Відображають соціальні, інтелектуальні або іміджеві ефекти, наприклад підвищення задоволеності клієнтів, поліпшення іміджу підприємства чи зростання його інноваційного потенціалу

РОЗДІЛ 2. Сучасні методи управління ризиками інвестиційних проєктів

2.1 Метод чистої теперішньої вартості

Метод чистої теперішньої вартості (Net Present Value, NPV) належить до динамічних методів оцінки ефективності інвестиційних проєктів та ґрунтується на принципі дисконтування грошових потоків. NPV визначається як різниця між сумою дисконтованих грошових надходжень, що генеруються проєктом, і капітальними витратами на його реалізацію. Якщо інвестиційні витрати розподіляються у часі, їх враховують у складі грошових потоків відповідних періодів.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - I \quad (2.1)$$

де:

- NPV – чиста теперішня вартість;
- CF_t – грошовий потік у t -му році;
- I – загальні капітальні витрати на інвестицію;
- i – ставка дисконту, що відображає середньозважену вартість капіталу (WACC), %;
- n – загальна тривалість реалізації інвестиційного проєкту, років;
- t – порядковий номер року життєвого циклу інвестиції.

Суть методу NPV полягає в порівнянні прогнозованих витрат і доходів інвестиційного проєкту з урахуванням їх теперішньої вартості. Дисконтування здійснюється за ставкою, що відображає середньозважену вартість капіталу підприємства, завдяки чому у розрахунках враховуються як ризик, так і часовий чинник. Абсолютне значення NPV показує очікуваний фінансовий результат від реалізації проєкту. Якщо $NPV \geq 0$, інвестиція є економічно доцільною, оскільки забезпечує мінімально прийнятний рівень прибутковості. У випадку $NPV < 0$ проєкт вважається неефективним і не підлягає впровадженню.

Метод чистої теперішньої вартості (NPV) вважається одним із найбільш обґрунтованих способів оцінювання ефективності інвестиційних проєктів завдяки таким ключовим перевагам:

- враховує зміну вартості грошей у часі, що забезпечує точнішу фінансову оцінку майбутніх потоків;
- ґрунтується на прогнозованих грошових потоках та альтернативній вартості капіталу, що робить розрахунки максимально об'єктивними;
- є адитивним, тобто значення NPV окремих проєктів можуть бути підсумовані в межах інвестиційного портфеля.

До основних недоліків методу чистої теперішньої вартості (NPV) належить те, що він не враховує тривалість інвестиційного проєкту під час оцінювання його ефективності. Порівнювати альтернативні варіанти доцільно лише за умови, що вони мають однаковий строк реалізації. Одним із підходів до усунення цієї проблеми є приведення проєктів до спільного періоду аналізу, тобто до такого строку, який дозволяє оцінити альтернативи в однакових часових межах. У цьому разі передбачається, що короткострокові проєкти можуть бути повторно реалізовані на тих самих умовах. Втім, така модель істотно знижує точність оцінки, оскільки ігнорує можливі зміни зовнішніх умов у майбутньому.

Серед інших обмежень методу NPV варто зазначити:

- високу чутливість до зміни процентних ставок, що є важкопрогнозованими;
- результат подається в абсолютному грошовому вираженні, що може спотворювати порівняльну оцінку проєктів із різною капітальною ємністю.

У зв'язку з цим доцільно доповнювати аналіз методами, що дають відносну оцінку ефективності, наприклад, індексом прибутковості (PI) або внутрішньою нормою дохідності (IRR).

2.2 Внутрішня норма доходності (Internal Rate of Return, IRR)

Внутрішня норма доходності інвестиційного проєкту (Internal Rate of Return, IRR), також відома як внутрішня ставка прибутковості або норма рентабельності, визначається як таке значення дисконтної ставки, за якого сукупна теперішня вартість очікуваних грошових потоків дорівнює початковим інвестиційним витратам.

З огляду на свій аналітичний зміст, показник IRR слугує додатковим критерієм оцінювання інвестиційної привабливості, оскільки демонструє рівень дохідності, за якого чиста теперішня вартість (NPV) проєкту дорівнює нулю.

Чим вищим є значення IRR, тим привабливішим виглядає проєкт із точки зору потенційного інвестора.

Згідно з критерієм внутрішньої норми доходності, інвестиційний проєкт доцільно реалізовувати за умови, що альтернативна вартість капіталу (тобто мінімально прийнятна ставка доходності) є нижчою за розраховану величину IRR. Інакше кажучи, проєкт є економічно виправданим, якщо внутрішня норма доходності перевищує вартість капіталу [10].

$$I = \sum_{t=1}^n \frac{P_t}{(1+i)^t} \quad (2.2)$$

- P_t – грошовий потік від інвестиції в n -му році;
- i – шуканий відсотковий коефіцієнт;
- n – строк служби (період реалізації проєкту);
- I – капітальні витрати (початкові інвестиції).

2.3 Метод індексу рентабельності

Індекс рентабельності інвестицій (Profitability Index, PI) є відносним показником, який базується на принципах методу чистої теперішньої вартості (NPV), проте використовує інше співвідношення вхідних даних. На відміну від NPV , що відображає абсолютну різницю між дисконтованими доходами та капітальними витратами, PI визначає, скільки дисконтованих грошових надходжень припадає на одиницю інвестованого капіталу. Завдяки спільній методологічній основі обидва показники часто дають подібні висновки щодо доцільності реалізації проєкту. Проте PI є особливо корисним при формуванні інвестиційного портфеля за умов обмеженого бюджету, коли потрібно порівнювати ефективність проєктів із різною капіталомісткістю.

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}}{I} \quad (2.3)$$

де:

- PI – індекс рентабельності;
- CF_t – грошовий потік у t -му році;
- I – капітальні витрати на інвестицію;
- i – ставка дисконту, що в окремих випадках може збігатися з внутрішньою нормою доходності;

- n – строк служби (життєвий цикл) інвестиційного проєкту, років;
- t – конкретний рік реалізації проєкту.

Якщо чиста теперішня вартість проєкту є додатною ($NPV > 0$), то відповідно індекс рентабельності перевищує одиницю ($PI > 1$). І навпаки – значення $PI < 1$ свідчить про економічну недоцільність проєкту та необхідність відмови від його реалізації. Чим більше значення PI перевищує 1, тим вищою є ефективність інвестиції в розрахунку на кожен вкладений грошову одиницю. Це дає змогу порівнювати проєкти з різними обсягами капітальних витрат та обрати найвигідніший варіант за обмеженого інвестиційного бюджету. Метод PI забезпечує відносну оцінку інвестиційної привабливості, що робить його особливо корисним для ранжування альтернативних проєктів у межах загального інвестиційного портфеля.

Метод має певні обмеження при порівнянні взаємовиключних інвестиційних проєктів. У таких випадках його застосування може призвести до хибних висновків щодо того, який із проєктів є економічно доцільнішим. Можлива суперечність між результатами методів PI та NPV зумовлена тим, що PI враховує ефективність на одиницю вкладеного капіталу, тоді як NPV відображає загальний приріст вартості. Тому орієнтація лише на показник PI не забезпечує максимізації сумарної чистої теперішньої вартості інвестиційного портфеля.

2.4 Період окупності

Період окупності інвестиційного проєкту (Payback Period) визначається як тривалість часової інтервали, необхідної для того, щоб кумулятивні грошові надходження компенсували загальний обсяг початкових інвестиційних витрат. Чим коротшим є цей період, тим вищою вважається ліквідність інвестиції та нижчим – рівень фінансового ризику, оскільки вкладений капітал повертається в обіг за менший проміжок часу.

У разі рівномірного надходження грошових потоків протягом кожного звітного періоду період окупності розраховується як частка від ділення загальної суми інвестиційних витрат на очікуваний річний грошовий потік. Натомість за умов нерівномірного розподілу надходжень у часі використовується поетапне накопичення грошових потоків до моменту, коли їх сума дорівнює початковим інвестиціям.

Згідно з критерієм періоду окупності, інвестиційний проєкт визнається економічно недоцільним, якщо строк повернення вкладених коштів перевищує встановлений термін експлуатації активу або інший нормативний граничний період, визначений інвестором.

2.5 Показники рентабельності (прибутковості) інвестицій

Ця група методів оцінювання інвестиційних проєктів належить до найпростіших за механікою розрахунків, однак є однією з найпоширеніших у фінансово-економічній практиці. Її концептуальна основа полягає в аналізі здатності залученого капіталу генерувати прибуток у процесі реалізації інвестиційного проєкту.

Обчислення ґрунтується на порівнянні величини отриманого прибутку з обсягом інвестованих фінансових ресурсів. У прикладній оцінці ефективності широко застосовуються різноманітні модифікації показників рентабельності капіталу, які відображають рівень фінансової віддачі від вкладених коштів.

Рентабельність власного капіталу:

$$ROE = \frac{\text{чистий прибуток}}{\text{власний капітал}} \quad (2.4)$$

Рентабельність активів:

$$ROA = \frac{\text{чистий прибуток}}{\text{загальний капітал}} \quad (2.5)$$

Рентабельність інвестицій:

$$ROI = \frac{\text{дохід від інвестиції} - \text{витрати на інвестицію}}{\text{витрати на інвестицію}} \quad (2.6)$$

2.6 Коефіцієнт ліквідності

Ліквідність підприємства характеризує його здатність своєчасно виконувати короткострокові фінансові зобов'язання, тобто перетворювати оборотні активи на грошові кошти для погашення поточних боргів. Цей показник є важливим індикатором фінансової стабільності та операційної гнучкості суб'єкта господарювання.

Під загальною ліквідністю розуміють спроможність підприємства ефективно використовувати власний оборотний капітал для покриття короткострокових зобов'язань. Вона відображає рівень фінансової готовності до

виконання термінових платіжних зобов'язань за рахунок наявних активів, що мають високу ліквідність [13].

Рівень поточної ліквідності визначається за такою формулою:

$$BL = \frac{\text{короткострокові активи}}{\text{короткострокові пасиви}} \quad (2.7)$$

Отримане значення свідчить про фінансову здатність підприємства задовольняти свої короткострокові зобов'язання на основі доступних ресурсів у найближчій перспективі.

2.7 Сценарний аналіз фінансових ризиків з використанням ймовірнісних методів

Попри відсутність уніфікованого визначення поняття «сценарій», у науковій та практичній діяльності його зазвичай розуміють як внутрішньо узгоджену систему уявлень про потенційні варіанти розвитку майбутніх подій. Такі уявлення ґрунтуються на логічно пов'язаній сукупності якісних і кількісних чинників, що формують основу для прогнозування.

Ключовою відправною точкою у процесі побудови сценаріїв є розмежування між визначеними (відомими) тенденціями та критичними невизначеностями, які суттєво впливають на характер майбутнього розвитку. З одного боку, враховуються вже наявні тренди, які можна спостерігати або прогнозувати з високим рівнем імовірності; з іншого – ключові фактори, щодо яких існує значна невизначеність.

Сценарії, як правило, формуються шляхом комбінації виявлених тенденцій і критичних невизначеностей, що дає змогу відтворити декілька альтернативних варіантів розвитку подій. Такий підхід дозволяє врахувати складність і багатоваріантність майбутнього середовища функціонування проєкту, підвищуючи якість стратегічного планування та ризик-менеджменту.

Після визначення показників ефективності проєкту, видів сценаріїв та їхніх імовірностей обчислюють очікуване значення показника ефективності за формулою:

$$\bar{M} = \sum_{j=1}^n M_j \cdot p_j \quad (2.8)$$

де $\bar{M}$ – середнє значення показника ефективності;

M_j – абсолютне значення показника ефективності для j -го можливого результату;

p_j – ймовірність настання j -го результату.

Після цього визначають середнє квадратичне відхилення показника, що виступає абсолютною мірою ризику проєкту.

$$C = \sqrt{\sum_{j=1}^n (M_j - \bar{M})^2 \cdot M_j} \quad (2.9)$$

Далі визначають коефіцієнт варіації, який характеризує ризик у відносних величинах і прямо відображає рівень ризиковості проєкту.

$$CV = \frac{C}{\bar{M}} \quad (2.10)$$

$$CV = \frac{C}{\bar{M}} \quad (2.11)$$

Значення коефіцієнта варіації оцінюють відповідно до шкали інвестиційного ризику, поданої нижче.

Таблиця 3. Ранжування рівня ризику

CV у %	Оцінка рівня інвестиційного ризику
< 17%	Відсутній ризик
17 – 33%	Низький ризик
33 – 40%	Середній ризик
40 – 60%	Високий ризик
> 60%	Катастрофічно високий ризик

Традиційні підходи до оцінювання інвестиційних проєктів здебільшого базуються на одно-сценарному аналізі. Грошові потоки формуються на основі одного, переважно найбільш імовірного сценарію розвитку внутрішніх і зовнішніх факторів, що впливають на прибутковість і витрати протягом життєвого циклу проєкту.

Ризик та невизначеність у такому підході практично не моделюються. Їх частково враховують через дисконтну ставку або розглядають неформально на етапі прийняття рішення.

У результаті оцінка має детермінований характер. Рішення зазвичай ґрунтуються на обмеженій кількості показників (NPV, строк окупності),

розрахованих за фіксованим сценарієм без аналізу альтернативних варіантів розвитку.

Недоліки односценарного підходу посилюються через систематичний оптимізм менеджерів, які переоцінюють доходи й недооцінюють витрати, спираючись не на об'єктивний аналіз, а на уявлення про гарантований успіх проєкту. Інвестиційні сценарії часто є занадто оптимістичними й не враховують імовірність негативного розвитку подій, що здатні істотно вплинути на фінальні результати. Складні проєкти вразливі до багатьох ризиків. Навіть якщо ймовірність кожного з них є низькою, їх комбінація може мати критичний вплив, і така сукупна ймовірність часто перевищує ймовірність «найімовірнішого» сценарію, який зазвичай беруть за основу в традиційній оцінці.

Аналіз чутливості частково компенсує обмеження традиційного підходу, дозволяючи оцінити вплив змін окремих параметрів на результати проєкту, зокрема на показники ефективності або грошові потоки. Однак повноцінне врахування ризиків і невизначеності можливе лише за умов використання імовірнісних методів, насамперед – сценарного аналізу та симуляції Монте-Карло, які забезпечують системну оцінку варіативності результатів.

2.8 Аналіз чутливості в умовах невизначеності параметрів проєкту

Аналіз чутливості інвестиційного проєкту передбачає вивчення впливу змін вхідних параметрів на очікувані грошові потоки, з метою встановлення ступеня залежності між варіативністю ключових факторів та фінансовими результатами реалізації проєкту. Такий підхід дозволяє ідентифікувати ті параметри, від яких найбільшою мірою залежить досягнення запланованих показників ефективності. Фактори, модифікація яких не спричиняє суттєвих змін у грошових надходженнях чи інтегральних критеріях оцінки ефективності, розглядаються як другорядні та характеризуються низьким рівнем чутливості. Водночас змінні, варіації яких викликають значні коливання фінансових показників, класифікуються як ключові або критичні, і проєкт вважається високочутливим до них. Головною метою аналізу чутливості є виокремлення таких критичних факторів і здійснення кількісної оцінки їхнього впливу на загальну ефективність інвестиційного проєкту.

Процедуру аналізу чутливості інвестиційного проєкту доцільно реалізовувати поетапно, виділяючи чотири ключові стадії.

На першому етапі встановлюється функціональна залежність прогнозованих грошових надходжень (або їх окремих складових, зокрема прибутку після оподаткування) від визначених ключових факторів, що безпосередньо впливають на їх розмір.

Другий етап передбачає ідентифікацію базових, тобто найбільш імовірних, значень відповідних факторів, використаних у процесі обґрунтування грошових потоків або прибутковості, а також розрахунок очікуваної величини грошового потоку.

Третій етап полягає у зміні значень окремих факторів за умов стабільності інших параметрів (метод *ceteris paribus*) з подальшим аналізом впливу таких варіацій на загальний обсяг грошових надходжень або прибутку після оподаткування.

Завершальний, четвертий етап охоплює виявлення факторів із максимальним або мінімальним ступенем впливу на фінансові результати проєкту, що дозволяє виокремити найбільш критичні параметри для подальшого моніторингу та управління ризиками.

Нехай задано дійсну функцію z , що залежить від m змінних і визначена на деякій області їх можливих значень.

$$z = g(a_1, a_2, \dots, a_m) \quad (2.12)$$

У такому разі коефіцієнт еластичності для певної змінної можна обчислити, використовуючи таку формулу:

$$\frac{\Delta z}{z} \cdot \frac{a_j}{\Delta a_j} \cdot 100\% \quad (2.13)$$

де $j \in [1; m]$.

Високе значення коефіцієнта еластичності означає більшу чутливість показника ефективності та підвищений ризик проєкту.

Твердження. Дисперсією випадкової величини Z називають математичне сподівання квадрата відхилення цієї випадкової величини від її математичного сподівання

$$\begin{aligned} \Delta D(Z) &= E(X - E(Z))^2 = E(Z^2 - 2 \cdot Z \cdot E(Z) + (E(Z))^2) \\ &= E(Z^2) - 2 \cdot E(Z) + (E(Z))^2 = E(Z^2) - (E(Z))^2 \blacksquare \end{aligned}$$

Матриця чутливості відображає зміну чистої поточної вартості за різних відхилень ключових параметрів від базового рівня. Вона дає змогу визначити,

які фактори найбільше впливають на результативність проєкту: чим вищі коливання NPV та його дисперсія, тим вищий рівень ризику, пов'язаний із відповідним параметром.

Таблиця 4. Матриця чутливості

Чинники впливу	Підсумковий показник результативності проєкту					Дисперсія
	$-p_2\%$	$-p_1\%$	0%	$+p_1\%$	$+p_2\%$	
W_1	NPV_{11}	NPV_{12}	NPV_{13}	NPV_{14}	NPV_{15}	$Var(NPV_1)$
W_2	NPV_{21}	NPV_{22}	NPV_{23}	NPV_{24}	NPV_{25}	$Var(NPV_2)$
...	...	...	...	...	...	...
W_n	NPV_{n1}	NPV_{n2}	NPV_{n3}	NPV_{n4}	NPV_{n5}	$Var(NPV_n)$

На етапі оцінювання впливу окремих параметрів на кінцеві результати проєкту використовується показник еластичності, який порівнює зміну критерію ефективності із базовим значенням. Цей показник є одним із найбільш інформативних інструментів аналізу чутливості.

Нехай x_1 і x_2 – це базове та змінне значення параметра, NPV_1 – значення чистої поточної вартості у базовому варіанті, а NPV_2 – значення у зміненому варіанті розрахунку. Тоді можемо записати формулу для знаходження показника еластичності:

$$\frac{x_1 \cdot (NPV_2 - NPV_1)}{NPV_1 \cdot (x_2 - x_1)} \quad (2.14)$$

Чим вищим є показник еластичності, тим чутливішим вважається проєкт до зміни відповідного параметра. ісля виконання всіх розрахунків отримані значення еластичності дозволяють ранжувати параметри за ступенем їхнього впливу на результати проєкту. Це дає змогу визначити найризикованіші фактори, що потребують додаткової уваги під час ухвалення інвестиційних рішень.

Метод аналізу чутливості дає змогу дослідити, як змінюються результати економічних розрахунків залежно від коливань окремих параметрів моделі. Його застосування охоплює два основні підходи:

- перший підхід передбачає вивчення того, як змінюється значення цільового показника (наприклад, чистої поточної вартості або внутрішньої норми прибутковості) у відповідь на зміну однієї чи кількох вихідних змінних;

- другий підхід полягає у визначенні таких значень вхідних параметрів або їх комбінацій, які призводять до досягнення найменш бажаного (критичного) значення цільової функції.

Метод дозволяє виявити потенційні ризики, виділяючи ті аспекти проєкту, які потребують детальнішого аналізу. Особливо ефективний він у випадках, коли здійснюється оцінка інвестиційних або розвиткових проєктів, що раніше не були предметом подібного аналізу, тобто за відсутності практичного досвіду реалізації аналогічних ініціатив. Отримані результати – зокрема інформація про те, як окремі незалежні змінні впливають на цільовий показник – можуть бути використані як додатковий інструмент у межах інших методів аналізу ризиків. Усі побудовані криві чутливості можливо подати на одному графіку, що спрощує процес порівняння ризику, зумовленого різними факторами. Крім того, криві чутливості містять важливу інформацію про критичні межі – тобто точки, у яких змінюється рішення щодо доцільності інвестицій – та дають змогу визначити зони безпечного функціонування проєкту.

У процесі аналізу часто використовується спрощене припущення, згідно з яким під час дослідження впливу окремої незалежної пояснювальної змінної всі інші змінні залишаються сталими. Таке припущення не завжди відповідає реальним умовам функціонування проєкту. Варто зазначити, що рівень ризику інвестиційного проєкту визначається не лише чутливістю обраного критерію ефективності до змін окремих змінних, але й шириною діапазону їхніх можливих значень, які описуються відповідними розподілами ймовірностей. Оскільки аналіз чутливості враховує лише чутливість, ігноруючи ймовірнісні характеристики змінних, його результати слід вважати лише частковою оцінкою ризику [8].

2.9 Метод Монте-Карло

Попри те, що метод Монте-Карло вже тривалий час використовується як інструмент підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності, його застосування в сфері інвестиційного аналізу в Україні досі залишається обмеженим. Цей підхід базується на імітаційному моделюванні великої кількості можливих сценаріїв розвитку подій, кількість яких може досягати кількох тисяч. Для кожного з варіантів проводиться обчислення ключових показників ефективності, що дає змогу отримати ймовірнісні розподіли досліджуваних

критеріїв та кількісно охарактеризувати ризик, властивий кожному з оцінюваних інвестиційних проєктів.

Впровадження симуляції Монте-Карло в процес аналізу інвестиційних ризиків передбачає низку базових етапів, серед яких: формування планового звіту про фінансові результати, прогнозування грошових потоків, а також побудова математичних моделей для оцінки ефективності. Усі ці складові – як елементи фінансової звітності, так і аналітичні моделі – реалізуються у вигляді програмних інструментів, зокрема в середовищі Microsoft Excel, що забезпечує доступність та функціональність такого підходу в практичних умовах.

Застосування методу Монте-Карло для аналізу ризиків інвестиційного проєкту передбачає проходження низки послідовних етапів, кожен з яких має критичне значення для точності та достовірності результатів:

1. Ідентифікація ключових ризик-факторів. На початковому етапі важливо визначити ті змінні, чия невизначеність має найбільший вплив на досягнення цільових показників проєкту. У моделі доцільно зосередитися саме на цих факторах, тоді як менш вагомі або передбачувані параметри можуть приймати фіксовані значення, що відповідають їхнім середнім чи найбільш ймовірним оцінкам.

2. Задання імовірнісних розподілів для основних змінних. Для дискретних змінних із обмеженою кількістю значень слід визначити ймовірності появи кожного з них. У разі континуальних параметрів (наприклад, цін, обсягів продажу чи витрат) обирається відповідний тип імовірнісного розподілу (нормальний, трикутний, бета-розподіл тощо) з подальшим визначенням його параметрів.

3. Врахування статистичних залежностей між змінними. У практиці аналізу ризиків важливим є врахування кореляцій між окремими факторами, оскільки їхня незалежна генерація може призвести до викривлення результатів. Наприклад, попит на товар часто пов'язаний із його ціною, тому моделювання має враховувати такі взаємозв'язки шляхом оцінки коефіцієнтів кореляції між відповідними змінними.

4. Проведення симуляційного моделювання. Основна фаза реалізації методу полягає у багаторазовому проведенні симуляцій, в межах яких генеруються сценарії розвитку подій на основі заданих розподілів та кореляційних зв'язків між факторами. Для кожного сценарію розраховується

цільовий показник – наприклад, чиста приведена вартість (Net Present Value, NPV).

5. Інтерпретація результатів симуляції. Після реалізації великої кількості симуляційних ітерацій (зазвичай – кількох тисяч) формується імовірнісний розподіл значень обраного показника. Результати аналізу можуть бути представлені як у графічній формі (наприклад, гістограма розподілу NPV), так і у вигляді ключових статистичних характеристик, зокрема: середнє значення, дисперсія, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації, ймовірність отримання від'ємного значення NPV тощо.

Окрім базових результатів моделювання, симуляція Монте-Карло дає змогу отримати додаткові аналітичні показники, які істотно розширюють інформаційну базу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Такі дані можуть бути корисними при визначенні подальшої стратегії поводження з інвестиційним проєктом, зокрема:

- прийняття проєкту до реалізації, якщо рівень очікуваного ризику є прийнятним для інвестора;
- модифікація проєкту шляхом впровадження заходів з управління ризиками, у разі виявлення надмірної варіативності результатів або високої ймовірності збитковості;
- відмова від реалізації проєкту, якщо ризик досягає критичного рівня, а його зниження потребує ресурсів, що перевищують доцільні межі.

Таким чином, імітаційне моделювання не лише дозволяє оцінити рівень ризику, але й створює умови для комплексного аналізу ефективності інвестицій в умовах невизначеності, забезпечуючи вищу якість управлінських рішень [15].

2.10 Теорія ігор

На практиці часто виникає проблема узгодити дії різних учасників проєктів: підприємств, державних органів, компаній в ситуаціях коли їхні інтереси не збігаються або суперечать один одному. Саме в таких випадках варто застосовувати теорію ігор, яка дає можливість знайти найбільш раціональну стратегію поведінки для кожної сторони учасників конфлікту.

Сьогодні теорію ігор активно використовують в економіці для прийняття рішень. Наприклад, вона дає змогу визначити, наскільки знизити ціни, скільки

товару зберігати на складі, або як найкраще розмістити важливі ресурси в межах країни.

Теорія ігор є розділом математики, що вивчає ситуації, у яких різні сторони мають суперечливі інтереси. Основна мета цієї теорії – визначити такі правила або стратегії поведінки, які дозволяють кожному учаснику діяти найбільш раціонально. З часом стало очевидно, що традиційні математичні методи, зокрема ті, що пов'язані з пошуком максимумів або мінімумів, не завжди дають змогу ефективно вирішувати подібні задачі. Саме тому теорія ігор розвинулася як окремий напрям математичної оптимізації, що дає змогу аналізувати й розв'язувати нові типи проблем у процесі прийняття рішень.

У межах теорії ігор гра розглядається як спрощена та формалізована модель реальної конфліктної ситуації, яка має чітко визначені правила. Гру можна розглядати як множину структурованих умов, у межах яких кожен учасник (гравець) має набір чистих стратегій – тобто визначених, недвозначних дій, які він може обрати у тій чи іншій ситуації.

Центральним аспектом гри є ухвалення рішень в умовах стратегічної взаємодії, коли кожен гравець прагне максимізувати власну вигоду, беручи до уваги можливі дії інших учасників. Виграш кожного визначається за допомогою функції виграшу (або платіжної функції), що встановлює кількісну оцінку результатів для кожної комбінації стратегій. Ця функція може бути представлена у табличній формі або задана аналітично.

Особливий інтерес у прикладних дослідженнях викликають так звані ігри з нульовою сумою, у яких виграш одного гравця дорівнює втраті іншого, тобто сума виграшів усіх учасників дорівнює нулю. Такі моделі особливо характерні для конфронтаційних ситуацій. Коли у грі беруть участь лише двоє гравців, її називають парною грою. Ці типи ігор допомагають краще зрозуміти логіку стратегічної поведінки в ситуаціях конкуренції.

Виграш гравця залежить від обраної стратегії – чіткого набору дій у кожній можливій ситуації гри. Оптимальна стратегія – це та, яка при багаторазовому повторенні гри дає гравцеві найбільший середній виграш. Гра складається з партій – окремих сценаріїв її перебігу. У кожній партії гравці роблять ходи, обираючи дозволені дії згідно з правилами.

Ігри класифікують за різними ознаками. Залежно від кількості можливих стратегій, їх поділяють на кінцеві (обмежена кількість стратегій) та нескінченні (кількість стратегій необмежена).

За характером виграшів розрізняють ігри з нульовою сумою (сума виграшів усіх гравців дорівнює нулю) та ігри з ненульовою сумою (загальний виграш може змінюватися). У грі з нульовою сумою виграш одного гравця означає програш іншого. Далі розглядатимемо парну матричну гру з нульовою сумою як базову модель аналізу стратегічної взаємодії між двома гравцями.

Розглянемо гру з двома гравцями, X та Y , кожен з яких має скінченну кількість чистих стратегій: гравець X – n , які позначимо $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, а гравець Y – m , які позначимо $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_m$,

Щоб гра була повністю визначеною, необхідно задати матрицю виграшів x_{ij} , де кожне число відповідає виграшу гравця X (і відповідно програшу гравця Y) за певної пари стратегій $(X_i; Y_j)$. У грі з нульовою сумою справедливо, що $x_{ij} < 0$ означає програш X і виграш Y , рівний за модулем, тобто гравцю Y виплачує гравець X суму $|x_{ij}|$.

Якщо гра складається лише з одного ходу, то вибір конкретної пари чистих стратегій повністю визначає результат гри. Якщо ж у процесі гри використовуються випадкові ходи, тоді підсумковий результат визначається середнім значенням виграшу, тобто математичним очікуванням.

Якщо гра має лише один хід, результат повністю визначається обраною парою стратегій. Якщо ж використовуються змішані стратегії (випадковий вибір дій), результат описується через математичне очікування виграшу.

Якщо відомі значення x_{ij} для кожної пари стратегій $(X_i; Y_j)$, можна побудувати платіжну матрицю – таблицю, що подає функцію виграшу гравця X .

Таблиця 5. Платіжна матриця

X_i	Y_i				
	Y_1	Y_2	Y_3	...	Y_m
X_1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	...	x_{1m}
X_2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	...	x_{2m}
X_3	x_{31}	x_{32}	x_{33}	...	x_{3m}
...	...	...	...	...	...
X_n	x_{n1}	x_{n2}	x_{n3}	...	x_{nm}

У цій матриці:

- рядки – стратегії гравця X ;
- стовпці – стратегії гравця Y ;
- елементи x_{ij} – виграш гравця X , програш гравця Y за певної пари стратегій.

В одній партії гравець X обирає рядок платіжної матриці (свою чисту стратегію), а гравець Y – стовпець (свою чисту стратегію). Число на перетині вибраного рядка та стовпця показує виграш X і відповідний програш Y . У грі з нульовою сумою ці значення рівні за модулем і протилежні за знаком [12].

2.10.1 Методика розв'язання матричних ігор із використанням чистих стратегій

Мета кожного учасника матричної гри – обрати стратегію, що дає гравцю X максимальний виграш, а гравцю Y – мінімальний програш. Вибір оптимальної стратегії ґрунтується на принципі обережності: суперник вважається раціональним і готовим використати будь-яку помилку на свою користь. Тому, ухвалюючи рішення, гравці діють максимально уважно, враховуючи можливі кроки опонента та наслідки свого вибору.

Щоб обрати стратегію, гравець X для кожної чистої стратегії X_1 визначає мінімальний виграш:

$$\chi_i = \min_j \{x_{ij}\}, \text{ де } i = 1, \dots, n. \quad (2.15)$$

Далі з цих мінімальних значень обирається найбільше:

$$\chi = \max_i \{\min_j x_{ij}\} \quad (2.16)$$

Відповідна стратегія X_i^0 є максимінною (гарантувальною) – вона забезпечує найбільший гарантований виграш гравцю X , навіть якщо суперник прагне мінімізувати його результат.

χ – це величина, яка знайдена за принципом максиміну, називається вона нижчою чистою ціною гри. Вона показує мінімальний гарантований виграш, який гравець X може забезпечити собі за будь-яких дій суперника, якщо обирає оптимальну чисту стратегію.

Щоб мінімізувати свій програш, гравець Y застосовує принцип обережності. Для кожної чистої стратегії Y_1 він обчислює максимально можливий програш:

$$\gamma_j = \max_i \{x_{ij}\}, \text{ де } j = 1, \dots, m \quad (2.17)$$

Далі з отриманих значень $\gamma = \min_j \{\gamma_j\}$ обирає найменше:

$$\gamma = \min_j \max_i \{x_{ij}\} \quad (2.18)$$

Стратегія, якій відповідає це значення, є мінімаксною. Вона гарантує гравцеві Y найменший із можливих максимальних програшів і захищає його від найгірших дій суперника.

Отримане значення називають верхньою чистою ціною гри або мінімаксною величиною. Вона визначає найбільший можливий програш гравця Y , який він може обмежити за умови правильного вибору своєї чистої стратегії. Інакше кажучи, це гарантія для гравця Y : його програш ніколи не перевищить цієї межі, незалежно від дій суперника.

Таким чином, гравець X , використовуючи оптимальні чисті стратегії, може гарантувати собі виграш не менший за нижчу чисту ціну гри χ . Водночас гравець Y , діючи раціонально, здатен обмежити виграш суперника так, щоб він не перевищував верхню чисту ціну гри

2.10.2 Розв'язання матричної гри графічним методом

Найпростішим випадком є матрична гра 2×2 , коли кожен із гравців має по дві чисті стратегії. У цьому разі платіжна матриця (матриця виграшів гравця X) має вигляд:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} \\ x_{21} & x_{22} \end{pmatrix} \quad (2.19)$$

Якщо матрична гра не має сідлової точки, її розв'язок шукають у змішаних стратегіях. У цьому випадку гравці застосовують свої чисті стратегії з певними ймовірностями: $A = (a_1; a_2)$, $B = (b_1; b_2)$, де a_1, a_2, b_1, b_2 – це ймовірності вибору відповідних стратегій.

Для знаходження оптимальної стратегії гравця X складається система рівнянь:

$$x_{11}a_1 + x_{12}a_2 = \vartheta \quad (2.20)$$

$$x_{12}a_1 + x_{22}a_2 = \vartheta$$

Враховуючи $a_1 + a_2 = 1$, знайдемо

$$a_1 = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} + x_{22} - x_{12} - x_{21}}, \quad a_2 = \frac{x_{11} - x_{12}}{x_{11} + x_{22} - x_{12} - x_{21}} \quad (2.21)$$

Ціна гри:

$$\vartheta = \frac{x_{11}x_{22} - x_{12}x_{21}}{x_{11} + x_{22} - x_{12} - x_{21}} \quad (2.22)$$

Оптимальну стратегію гравця Y знаходять, розв'язуючи відповідну систему рівнянь:

$$b_1 = \frac{x_{22} - x_{12}}{x_{11} + x_{22} - x_{12} - x_{21}}, \quad b_2 = \frac{x_{11} - x_{21}}{x_{11} + x_{22} - x_{12} - x_{21}} \quad (2.23)$$

2.10.3 Ігри з природою як модель ухвалення рішень за невизначеності

З метою зменшення негативних наслідків при ухваленні рішень необхідно враховувати рівень ризику та доступну інформацію. У цьому випадку особа, що приймає рішення (ОПР), ніби вступає у «гру» з умовним опонентом – природою, під якою розуміють сукупність невизначених зовнішніх факторів, що впливають на результат. Такі ситуації називають ігри з природою, де природа байдужа до результату, а ОПР прагне обрати найкраще рішення з урахуванням можливих станів середовища та наявних імовірностей їх настання. Будь-яку господарську діяльність можна розглядати як взаємодію з природою. Якість управлінського рішення визначається рівнем поінформованості ОПР. На відміну від звичайних матричних ігор, у іграх з природою відсутній свідомий суперник – лише невизначеність середовища. Ігри з природою є базовою моделлю теорії прийняття рішень в умовах часткової невизначеності [7].

Позначимо множину можливих станів природи символом N , а окремий її елемент $N_j \in N$, де $j \in [1; m]$. Множину можливих рішень (стратегій) особи, що приймає рішення (ОПР), позначимо через P , $P_i \in P$, де $i \in [1; n]$.

Під час взаємодії з природним середовищем особа, що приймає рішення, має можливість обрати одну з альтернативних стратегій $P_1, P_2, \dots, P_n$, які реалізуються залежно від імовірного настання певного стану природи $N_1, N_2, \dots, N_m$. Основною метою в такій ситуації є вибір оптимальної моделі поведінки, що забезпечить максимально можливий результат за умов невизначеності.

Залежно від типу завдання та наявної інформації, ОПР може застосовувати як чисті стратегії – вибір однієї конкретної дії, так і змішані стратегії, які передбачають використання імовірнісного розподілу між кількома альтернативами з метою досягнення кращого очікуваного результату.

Нехай p_{ji} – виграш особи, яка приймає рішення у разі вибору стратегії P_i за стану природи N_j . Можна здійснити пошук оптимальної стратегії, використовуючи платіжну матрицю гри з природою:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \vdots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \vdots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nm} \end{pmatrix} \quad (2.24)$$

Особливістю гри з природою порівняно зі звичайною матричною грою є її спрощений характер: аналіз домінуючих та дублюючих стратегій проводиться лише для стратегій ОПР, оскільки природа не є активним гравцем.

У деяких випадках для оцінювання результатів застосовують матрицю ризиків, елементи якої відображають різницю між максимальним можливим виграшем і фактичним результатом за відповідного стану природи N_j при виборі стратегії P_i :

$$r_{ji} = \gamma_i - p_{ji} \quad (2.25)$$

де $\gamma_i = \max_j p_{ji}$

Матриця ризиків використовується для кількісного вимірювання втрат, що виникають унаслідок відхилення від найкращого можливого рішення в умовах невизначеності.

Оптимальну стратегію особи, що приймає рішення (ОПР), можна визначити шляхом застосування відповідних критеріїв вибору. Загалом ці критерії поділяються на дві основні групи:

- перша група враховує апріорні ймовірності настання можливих станів природи k_j ;
- друга група не використовує ймовірнісної інформації та базується винятково на значеннях очікуваних виграшів.

До першої групи належать, зокрема, критерії Байєса та Лапласа, які ґрунтуються на обчисленні середнього очікуваного виграшу $\bar{p}_j$. За наявності апріорного розподілу ймовірностей можливих станів зовнішнього середовища N_i , доцільним є застосування критерію Байєса. Його основним аналітичним інструментом виступає математичне сподівання виграшу або ризику, що дозволяє здійснювати кількісну оцінку ефективності кожної альтернативної стратегії з урахуванням імовірностей реалізації відповідних сценаріїв.

Платіжна матриця зазвичай подається у табличному форматі, де рядки відповідають можливим стратегіям особи, що приймає рішення (ОПР), а стовпці – можливим станам природи. Кожен елемент матриці p_{ji} відображає результат –

виграш або збиток – який отримує ОПР у разі реалізації стратегії P_i за умов настання певного стану природи N_j .

Таблиця 6. Платіжна матриця

Стратегія ОПР P_j	Стан природи N_i				Середній виграш $\bar{p}_j$
	N_1	N_2	...	N_m	
P_1	p_{11}	p_{12}	...	p_{1m}	$\bar{p}_1$
...	...	...	...	...	...
P_n	p_{n1}	p_{n2}	...	p_{nm}	$\bar{p}_n$
k_j	k_1	k_2	...	k_m	

Відповідно до критерію Байєса, оптимальною вважається така чиста стратегія P_j , яка забезпечує максимальне значення середнього очікуваного виграшу для особи, що приймає рішення (ОПР). Середній очікуваний виграш для стратегії P_j обчислюється за формулою:

$$\bar{p}_j = \sum_{i=1}^m p_{ji} \cdot k_j \quad (2.26)$$

Матрицю ризиків подають у вигляді таблиці де кожен елемент таблиці r_{ji} відображає величину ризику або втрату:

Таблиця 7. Матриця ризиків

Стратегія ОПР P_j	Стан природи N_i				Середній виграш $\bar{r}_j$
	N_1	N_2	...	N_m	
P_1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1m}	$\bar{r}_1$
...	...	...	...	...	...
P_n	r_{n1}	r_{n2}	...	r_{nm}	$\bar{r}_n$
k_j	k_1	k_2	...	k_m	

Оптимальною для особи, що приймає рішення (ОПР), вважається така чиста стратегія P_j , яка мінімізує середній ризик, тобто задовольняє умову:

$$\bar{r} = \min_j \sum_{i=1}^m r_{ji} \cdot k_j \quad (2.27)$$

У ситуаціях, коли відсутня достовірна інформація щодо ймовірностей настання станів природи, для їх оцінювання застосовується принцип

недостатньої підстави (принцип Лапласа). Згідно з ним, усі стани природи вважаються рівномовірними, тобто:

$$k_1 = k_2 = \dots = k_m = \frac{1}{m} \quad (2.28)$$

У межах такого припущення оптимальною вважається та стратегія, яка забезпечує максимальне значення середнього виграшу, обчисленого як арифметичне середнє значень результатів для всіх можливих станів природи.

До другої групи критеріїв вибору оптимальної стратегії особи, що приймає рішення (ОПР), належать критерії Вальда, Севіджа та Гурвіца. Їх застосування є обґрунтованим за умов високого рівня невизначеності, що унеможливорює імовірнісне моделювання сценаріїв розвитку подій.

Зазначені підходи дозволяють визначити оптимальну стратегію, виходячи з поведінкових характеристик ОПР – зокрема, рівня його схильності до ризику або, навпаки, обережності в ситуації невизначеного зовнішнього середовища.

Максимінний критерій Вальда узгоджується з принципом вибору максимінної стратегії, що застосовується, зокрема, у парних іграх із нульовою сумою. Відповідно до цього критерію, оптимальною вважається така чиста стратегія, яка забезпечує найбільший серед усіх можливих мінімальних результатів, тобто гарантує особі, що приймає рішення (ОПР), максимальний виграш у найгіршому з можливих сценаріїв розвитку подій. Такий підхід відображає песимістичну позицію у прийнятті рішень за умов невизначеності.

$$\gamma = \max_j \min_i \{p_{ji}\} \quad (2.29)$$

Критерій мінімального ризику Севіджа використовується для обґрунтування вибору такої стратегії, яка мінімізує максимальні можливі втрати (ризик) у найнесприятливішому варіанті розвитку подій. Оптимальною визнається та чиста стратегія P_j , для якої досягається мінімум серед максимальних ризиків за всіма можливими станами природи, тобто виконується умова:

$$\min_j \max_i \{r_{ji}\} \quad (2.30)$$

Критерії Вальда та Севіджа фокусують увагу особи, що приймає рішення (ОПР), на аналізі найбільш несприятливих сценаріїв розвитку подій. Їх використання ґрунтується на песимістичному підході до оцінювання невизначеності, згідно з яким стратегія обирається з метою мінімізації

потенційних втрат у разі настання найгірших можливих станів зовнішнього середовища. Такий підхід передбачає прагнення до зниження ризику й уникнення значних негативних наслідків, навіть ціною недоотримання потенційного прибутку в більш сприятливих умовах.

Критерій Гурвіца належить до класу так званих компромісних критеріїв «песимізму-оптимізму», оскільки поєднує елементи обережного підходу Вальда з оптимістичною стратегією максимаксу. Він враховує як найгірший, так і найкращий можливий результат для кожної стратегії, з урахуванням певного коефіцієнта песимізму $\lambda \in [0; 1]$, що відображає рівень ризикованості у поведінці особи, що приймає рішення (ОПР).

Оптимальною вважається така стратегія P_j , яка забезпечує максимальне значення згідно з формулою:

$$H_j = \max_j \left\{ \lambda \min_i \{p_{ji}\} + (1 - \lambda) \max_i \{p_{ji}\} \right\} \quad (2.31)$$

Таблиця 8. Характеристика критеріїв

$\lambda = 0$	Критерій оптимізму
$0 < \lambda < 1$	Критерій середнього
$\lambda \approx 1$	Необхідна підстраховка
$\lambda = 1$	Критерій песимізму

Розділ 3. Практичне застосування методів аналізу інвестиційних ризиків на підприємстві «MNL»

У якості прикладу для аналізу ризику інвестиційного проєкту розглянемо ініціативу створення підприємства «MNL», основною діяльністю якого є обсмаження натуральних кавових зерен та виробництво кавових сумішей.

Метою проєкту є організація невеликого виробництва, що поєднує імпорт зеленої сировини (зелених зерен), її обсмаження, змішування за унікальними рецептурами, фасування та подальший збут гуртовим і роздрібним клієнтам. Продукція компанії позиціонується як якісна кава середнього сегменту, орієнтована на кав'ярні, ресторани, офіси, а також онлайн-продаж.

3.1 Побудова карти ризиків

Реалізація цього проєкту передбачає інвестування в базове обладнання для обсмаження, пакування і зберігання продукції, а також створення логістичної моделі та налагодження системи постачання зеленої кави з-за кордону.

Інвестиційна ідея обґрунтовується позитивною динамікою внутрішнього споживчого попиту на свіжообсмажену каву та тенденціями до зростання культури споживання в Україні.

1. Нестача управлінського досвіду у керівника проєкту. Недостатній практичний досвід керівника підприємства, що спеціалізується на обсмаженні та виробництві кавових зерен, може призвести до зниження ефективності управлінських рішень, нераціональної організації виробничих процесів, а також до виникнення порушень у логістичних і постачальних операціях. Такі недоліки управління здатні спричинити затримки у виконанні замовлень, зростання операційних витрат та погіршення ділової репутації підприємства, що, у свою чергу, підвищує загальний рівень ризику реалізації інвестиційного проєкту.

Оцінка ризику:

- ймовірність настання: 8;
- серйозність наслідків: 9;
- загальний рівень ризику: 72.

2. Проблеми з функціонуванням виробничого обладнання. Невдалий вибір або неналежна експлуатація обладнання для обсмажування та фасування кавових зерен може призвести до збоїв у виробництві, неможливості забезпечення

необхідних обсягів продукції або до зниження її якості, що негативно вплине на задоволення попиту та імідж бренду.

Оцінка ризику:

- ймовірність настання: 6;
- серйозність наслідків: 9;
- загальний рівень ризику: 54.

3. Недостатній маркетинговий аналіз. Поверхневий або неповний маркетинговий аналіз ринку може призвести до неточного прогнозування попиту на продукцію підприємства, зокрема обсмажені кавові зерна та кавові суміші. Невірна оцінка ринкової кон'юнктури ускладнює формування ефективної стратегії збуту, що спричиняє нестабільність реалізації продукції, коливання грошових потоків і зниження прибутковості діяльності підприємства. У результаті підвищується ризик неефективного використання інвестиційних ресурсів та зменшення конкурентоспроможності проєкту.

Оцінка ризику:

- ймовірність настання: 6;
- серйозність наслідків: 6;
- загальний рівень ризику: 36.

4. Ненадійність постачальника сировини. Нестабільність у постачанні зеленої кави або постачання сировини недостатньої якості можуть спричинити перебої у виробничому процесі підприємства. Такі порушення призводять до зниження якості готової продукції, збільшення виробничих витрат і можливих затримок у виконанні замовлень. Унаслідок цього погіршується сприйняття бренду споживачами, знижується рівень довіри до компанії та підвищується загальний рівень операційного ризику інвестиційного проєкту.

Оцінка ризику:

- ймовірність настання: 6;
- серйозність наслідків: 7;
- загальний рівень ризику: 42.

5. Зростання відсоткової ставки. Підвищення відсоткових ставок за кредитними або іншими позиковими ресурсами зумовлює збільшення фінансових витрат підприємства, що безпосередньо впливає на формування собівартості продукції, зокрема обсмажених кавових зерен і кавових сумішей. Зростання кредитного навантаження може призвести до необхідності

підвищення роздрібних цін, зниження конкурентоспроможності продукції на ринку та зменшення інвестиційної привабливості проєкту. Внаслідок цього можливе подовження строку окупності інвестицій, а також підвищення фінансового ризику реалізації проєкту.

Оцінка ризику:

- ймовірність настання: 3;
- серйозність наслідків: 6;
- загальний рівень ризику: 18.

6. Порушення правил охорони праці. Недотримання вимог охорони праці під час здійснення виробничих операцій, пов'язаних із обсмаженням кавових зерен, може призвести до виникнення нещасних випадків і травмування персоналу. Наявність таких інцидентів спричиняє зниження продуктивності праці, тимчасові зупинки окремих технологічних процесів, додаткові фінансові витрати на виплату компенсацій та організацію заходів з відновлення безпечних умов роботи. Крім того, підвищується ризик погіршення психологічного клімату в колективі та зниження репутаційної стійкості підприємства, що негативно позначається на ефективності реалізації інвестиційного проєкту.

Оцінка ризику:

- ймовірність настання: 6;
- серйозність наслідків: 9;
- загальний рівень ризику: 54.

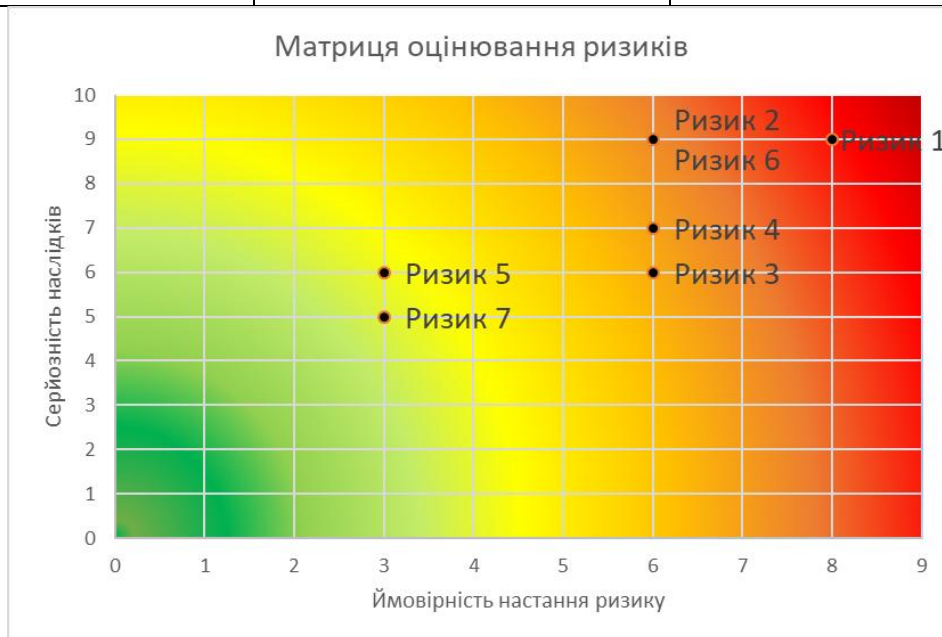
7. Порушення екологічних норм при транспортуванні та зберіганні сировини. Витік токсичних або небезпечних речовин унаслідок неналежного транспортування чи зберігання сировини та допоміжних матеріалів може призвести до забруднення довкілля та порушення чинних екологічних вимог. Такі інциденти здатні стати підставою для накладення значних штрафних санкцій на підприємство, спричинити додаткові витрати на ліквідацію наслідків та негативно вплинути на репутаційний імідж компанії, що підвищує загальний рівень екологічного ризику інвестиційного проєкту.

Оцінка ризику:

- ймовірність настання: 3;
- серйозність наслідків: 5;
- загальний рівень ризику: 15.

Таблиця 9. Розподіл ризиків за рівнями

Тип ризику	Кількість	Відсоткове значення
Низький ризик	2	28,57 %
Середній ризик	2	28,57 %
Високий ризик	3	42,86 %
Дуже високий ризик	0	0,00 %



За результатами аналізу встановлено, що найбільш значущим для реалізації інвестиційного проєкту є ризик, пов'язаний із недостатнім управлінським досвідом керівника, оскільки він може суттєво вплинути на ефективність організації виробництва та загальну результативність діяльності підприємства. Менш критичними, але все ж вагомими, є ризики, зумовлені можливими порушеннями у функціонуванні виробничого обладнання та недотриманням вимог охорони праці під час виконання технологічних операцій. Найнижчий рівень загрози зафіксовано щодо ризику невідповідності екологічним нормам під час транспортування та зберігання сировини, що, попри потенційні наслідки, характеризується нижчою ймовірністю виникнення та менш масштабним впливом на кінцеві показники інвестиційного проєкту.

3.2 Розрахунок ефекту фінансового важеля

Для подальшого аналізу інвестиційних ризиків було використано вхідні дані, які подані в таблиці 10 нижче.

Таблиця 10. Вхідні дані інвестиційного проєкту

Ключові параметри фінансової моделі	Величина показника, тис грн
Дохід (виручка) від реалізації	92 800
Постійні витрати	270
Змінні витрати	71 200
Власний капітал	185 000
Позиковий капітал	8 500
Витрати на обслуговування позикового капіталу	510,5
Валова маржа	21 600
Коефіцієнт валової маржі	0,23
Прибуток	21 330
Чистий прибуток від інвестованих активів	21 840,5

Для розрахунку ефекту фінансового важеля спочатку потрібно визначити економічну рентабельність активів та середню розрахункову відсоткову ставку за позиковим капіталом [5].

Таблиця 11. Розрахунок економічної рентабельності активів та ефекту фінансового важеля

Параметр	Розрахунки
Економічна рентабельність	$\frac{21\,840,5}{193\,500} \cdot 100\% \approx 11,29\%$
Середня розрахункова ставка відсотка	$\frac{510,5}{8\,500} \cdot 100\% \approx 6\%$
Ефект фінансового важеля	$\frac{2}{3} \cdot \frac{8\,500 \cdot (11,29\% - 6\%)}{185\,000} \approx 0,16\%$
Рентабельність власного капіталу	$\frac{2}{3} \cdot 11,29\% + 0,16\% \approx 7,69\%$
Плече фінансового важеля	$\frac{8\,500}{185\,000} \approx 0,05$

Оскільки ефект фінансового важеля додатний, то використання позикового капіталу сприяє зростанню прибутковості власних коштів, а доходність активів перевищує вартість обслуговування кредиту. Отже, залучення позикових ресурсів є для підприємства фінансово вигідним і підвищує загальну ефективність інвестиційної діяльності.

Підприємство може розраховувати на отримання додаткових кредитних ресурсів у разі потреби, оскільки рівень фінансового ризику залишається прийнятним (плече фінансового важеля менше 1), а поточні зобов'язання – цілком контрольованими [6].

3.3 Аналіз чутливості прибутку

Проаналізуємо чутливість прибутку до коливань ключових параметрів операційного важеля, що наведено в таблиці:

Таблиця 12. Аналіз чутливості прибутку до зміни параметрів

	Збільшення на 15%			Зниження на 15%		
	Ціна	Постійні витрати	Змінні витрати	Ціна	Постійні витрати	Змінні витрати
Дохід від реалізації	106 720	92 800	92 800	78 880	92 800	92 800
Постійні витрати	270	310,5	270	270	229,5	270
Змінні витрати	71 200	71 200	81 880	71 200	71 200	60 520
Валова маржа	35 520	21 600	10 920	7 680	21 600	32 280
Коефіцієнт валової маржі	0,33	0,23	0,12	0,1	0,23	0,35

У рамках цього етапу дослідження було проаналізовано, як зміна окремих складових операційного важеля впливає на прибуток підприємства. Для наочності в таблиці 13 подано значення ключових фінансових показників за різних сценаріїв варіації трьох основних параметрів. Такий аналіз дозволяє краще зрозуміти, які саме фактори є найбільш чутливими та як вони можуть впливати на фінансову стійкість підприємства в умовах змін зовнішнього та внутрішнього середовища.

Таблиця 13. Оцінка впливу зміни вартості та витрат на рівень операційного важеля

	Зміна вартості	Зміна постійних витрат	Зміна змінних витрат
+15%	$\frac{21\,600}{0,33 \cdot 106\,720} \approx 0,61$	$\frac{21\,640,5}{0,23 \cdot 92\,800} \approx 1,014$	$\frac{21\,600}{0,12 \cdot 92\,800} \approx 1,94$
-15%	$\frac{21\,600}{0,1 \cdot 78\,880} \approx 2,74$	$\frac{21\,565,575}{0,23 \cdot 92\,800} \approx 1,01$	$\frac{21\,600}{0,35 \cdot 92\,800} \approx 0,67$

Зростання ціни на 15% суттєво підсилює фінансовий результат, оскільки навіть без змін обсягів продажу прибуток збільшиться на 64%. Більше того, підприємство може скоротити обсяг реалізації продукції на 39%, зберігаючи при цьому прибуток на попередньому рівні. Підвищення постійних витрат має мінімальний вплив, а саме: для збереження прибутку достатньо наростити обсяги продажу на 1,4%, а якщо обсяги реалізації не змінюються, то прибуток зменшиться на 0,19%. При збільшенні змінних витрат і сталих продажах прибуток зменшується на 48,45%, що негативно впливає на рентабельність. Для того, щоб зберегти базовий рівень прибутку, потрібно збільшити обсяг продажу на 94%.

Зменшення ціни на 15% змушує шукати нові додаткові можливості для збуту продукції. Щоб зберігати прибуток на одному рівні, необхідно збільшити обсяги продажу на 174%, а якщо обсяги реалізації не змінювати, то прибуток зменшиться на 63%. Зменшення постійних витрат призведе до підвищення прибутку на 1%. Зменшення змінних витрат дасть можливість зменшити обсяг продажу на 33% без шкоди для прибутку. За умови збереження сталого рівня обсягу реалізації прибуток зросте на 49,25%.

3.4 Аналіз сценаріїв

З метою оцінки впливу зовнішніх та внутрішніх чинників на ефективність інвестиційного проєкту було сформовано три сценарії розвитку: базовий, оптимістичний та песимістичний.

Песимістичний сценарій враховує зниження ціни та обсягів реалізації продукції, а також підвищення податкового навантаження. Це може суттєво погіршити фінансові результати проєкту. Оптимістичний сценарій, навпаки, передбачає зростання ціни та обсягів продажу, а також зменшення ставки податку на прибуток, що позитивно впливає на прибутковість. Базовий варіант виступає орієнтиром для порівняння і враховує середні, найбільш імовірні значення основних показників.

У таблиці 14 наведено порівняння фінансових результатів для кожного сценарію. Це дає змогу проаналізувати чутливість проєкту до зміни ключових параметрів та оцінити можливі ризики.

Таблиця 14. Сценарний аналіз фінансових результатів інвестиційного проєкту

Параметр	Значення		
Період розрахунку	60 місяців		
Облікова ставка НБУ	15,5%		
Фінансові показники за сценаріями	Песимістичний	Базовий	Оптимістичний
Загальні доходи	3 704 223,73	4 482 110,71	4 930 321,79
Загальні витрати	2 964 575,6	3 261 033,16	3 587 136,48
Чисті грошові потоки	739 648,13	1 221 077,55	1 343 185,31
Результати дисконтованого аналізу	Песимістичний	Базовий	Оптимістичний
Чиста поточна вартість	511 343,41	844 171,61	928 588,78
Індекс рентабельності	3,8225	4,3626	4,7989

На підставі фінансових результатів, отриманих у межах песимістичного, базового та оптимістичного сценаріїв, експертами були визначені ймовірності реалізації кожного з варіантів розвитку подій. З урахуванням цих імовірностей проведено розрахунки в таблиці 15:

Таблиця 15. Статистична оцінка ефективності та ризику інвестиційного проєкту з урахуванням ймовірності сценаріїв

Чиста поточна вартість, тис. грн	$0,2 \cdot 511\,343,41 + 0,5 \cdot 844\,171,61 + 0,3 \cdot 928\,588,78 = 802\,931,121$
Середньоквадратичне відхилення, тис. грн	$\sqrt{(511\,343,41 - 802\,931,121)^2 \cdot 0,2 + (844\,171,61 - 802\,931,121)^2 \cdot 0,5 + (928\,588,78 - 802\,931,121)^2 \cdot 0,3} \approx 150\,096,9592$
Коефіцієнт варіації	$\frac{150\,096,9592}{802\,931,121} \cdot 100\% \approx 18,69\%$

Це свідчить про те, що інвестиційний проєкт характеризується низьким рівнем ризику, оскільки навіть за несприятливих умов він залишається економічно доцільним.

3.5 Теорія ігор

Розглянемо умову, за якої на ринку з'являється конкурентний продукт. У такій ситуації підприємство може обрати одну з кількох можливих альтернативних стратегій поведінки на рисунку 5:

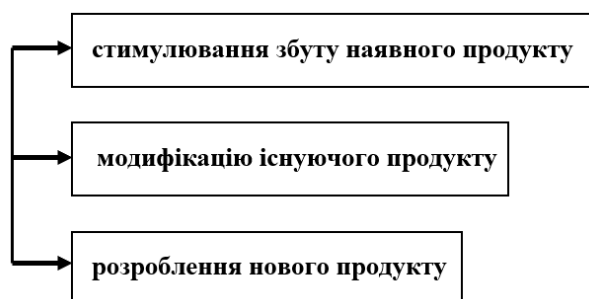


Рисунок 5. Стратегії поведінки

Припустімо, що дії конкурента не залежать від вибору підприємства, а ринкове середовище залишається відносно стабільним і не зазнає різних зовнішніх впливів. За таких умов доцільно використовувати модель гри з природою, яка дає змогу оцінити можливі сценарії розвитку подій і визначити оптимальну стратегію для підприємства. Потрібно визначити одну з трьох можливих стратегій розвитку, яка забезпечить максимальний прибуток підприємства за умови реалізації наведених можливих станів зовнішнього середовища на рисунку 6.

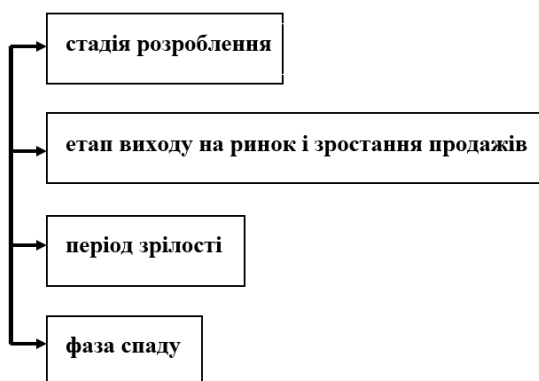


Рисунок 6. Можливі стани середовища

Для формування матриці гри з природою необхідно попередньо оцінити чинники, що впливають на величину прибутку за обраної стратегії розвитку. Такий аналіз дає змогу встановити зв'язок між управлінським рішенням і

можливими станами зовнішнього середовища, що слугує основою для подальшого побудування матриці виграшів.

Таблиця 16. Опис параметрів потенційного прибутку за різних умов зовнішнього середовища

Прибуток	Опис параметра
c_{11}	У ситуації, коли конкуренція ще не проявила себе, але ринок уже демонструє ознаки насичення, доцільно зосередитись на активному маркетинговому просуванні. Це можуть бути промоакції, нові візуальні рішення для упаковки, співпраця з кав'ярнями або просування у соцмережах. Необхідні інвестиції в такому випадку залишаються помірними, ризики – мінімальними, а прибуток можна отримувати стабільно протягом тривалого часу.
c_{12}	Коли на ринку з'являється новий гравець, що швидко набирає обертів, компанії необхідно реагувати активніше – вдосконалювати рецептури, впроваджувати нові продукти, оновлювати айдентика бренду або розширювати канали збуту. У таких умовах зростають як фінансові витрати, так і ризики – зокрема, ризик того, що маркетингова кампанія не принесе очікуваного ефекту. Прибуток можна отримати досить швидко, але період його надходження, як правило, обмежений.
c_{13}	Якщо конкурентний продукт перебуває на тій самій стадії зрілості, що й власна продукція компанії, боротьба за споживача стає особливо напруженою. Будь-яке просування вимагає ретельно вивіреної стратегії та точного позиціонування. Ризик провалу зростає, а прибуткова фаза значно скорочується через зниження інтересу споживачів та тиск із боку конкурентів.
c_{14}	На останньому етапі, коли продукція як компанії, так і конкурентів втрачає актуальність, ринок фактично насичений, а попит падає. У таких умовах доцільність подальших інвестицій у підтримку існуючого продукту під питанням. Якщо й здійснюються певні маркетингові чи виробничі заходи, вони повинні бути мінімальними за витратами та орієнтованими на короткостроковий результат. У цей момент компанія має вирішити, чи продовжувати підтримку чинної продукції, чи

	переключити ресурси на розробку нової кавової лінійки або нішевого продукту.
C ₂₁	У разі, коли компанія самостійно ініціює оновлення продукту (наприклад, через розширення лінійки кавових сумішей або зміну способів обсмаження), виникає потреба у розробці нових рецептур, модернізації обладнання чи навіть перенавчанні персоналу. Це вимагає суттєвих капіталовкладень і тривалішого очікування фінансового результату. Існує ризик, що інновації не знайдуть позитивного відгуку серед споживачів. Водночас, за відсутності серйозної конкуренції, шанси на витіснення з ринку залишаються невисокими.
C ₂₂	Поява нового гравця на ринку зі схожим продуктом зумовлює зміну поведінки споживачів. Частина клієнтів може залишитися вірною традиційним смакам і відмовитися від нових модифікацій, що призводить до зменшення попиту на оновлену продукцію. У таких умовах важливо визначити, наскільки виправданими є витрати на модифікацію, враховуючи зміну ринкової структури.
C ₂₃	Коли конкуруючий товар перебуває на стадії зрілості й активно підтримується через маркетинг, нові модифікації власного продукту можуть не отримати достатньої уваги з боку покупців. Ризик втрати ринкових позицій зростає, особливо якщо конкурент має сильний бренд і сталу клієнтську базу. Це потребує особливо зваженого підходу до прийняття інвестиційних рішень щодо оновлення продукції.
C ₂₄	Якщо конкуренти вже знаходяться на етапі занепаду, це свідчить про загальне зниження зацікавленості у відповідному товарному сегменті. Попри запуск нових варіантів кавових сумішей, рівень попиту може залишатись на низькому рівні. У такому випадку доцільно не лише модифікувати наявну продукцію, а й розглядати можливість створення нових унікальних пропозицій – зокрема для вузьких ніш, сегменту specialty або преміального ринку.

C ₃₁	Розробка нового продукту (наприклад, лінійки функціональної кави, купажів із додаванням суперфудів, адаптація під нові методи заварювання тощо) вимагає значних науково-технологічних зусиль, можливо – повної модернізації виробничої лінії, впровадження нових стандартів якості та навчання персоналу. Інвестиції в такому разі є суттєвими, а період між початком реалізації стратегії та отриманням першого прибутку – тривалим. Існує високий ризик, що розробка не принесе очікуваного результату, однак водночас потенційний попит на такий продукт може бути високим, особливо якщо йдеться про вихід на новий, поки не освоєний конкурентами сегмент ринку.
C ₃₂	У разі, коли на ринку вже присутній традиційний товар-аналог, новий продукт може стикнутися з бар'єром ціни. Якщо інноваційна продукція значно дорожча через великі початкові витрати, частина споживачів – особливо цінові консерватори – залишиться прихильниками дешевших, звичних варіантів. Попит на новинку у такому випадку буде обмеженим, хоча ризик швидкого витіснення з ринку залишається невисоким через відсутність прямої конкуренції в новому сегменті.
C ₃₃	Якщо конкурентний продукт досяг фази зрілості, попит на новий товар може залишатися стабільним, однак активізація конкурентів (через посилення маркетингу або виведення альтернативних рішень) підвищує ризик того, що нова продукція втратить позиції ще до того, як повністю окупиться. Це потребує чіткої маркетингової стратегії, грамотного позиціонування та гнучкості в ціноутворенні.
C ₃₄	Коли конкурентний товар наближається до стадії занепаду, ринок демонструє ознаки насичення. У таких умовах конкуренти змушені шукати нові шляхи: або оновлювати існуючий продукт, або виводити на ринок щось принципово нове. Подальша доля нової продукції компанії залежатиме від того, яке рішення прийме конкурент. Якщо його стратегія

	виявиться ефективною, вона може змінити загальну ринкову ситуацію, що вплине й на попит на новий товар компанії.
--	--

Для подальшого аналізу здійснено експертну оцінку відповідних показників, результати якої наведено у таблиці 17. Незважаючи на суб'єктивний характер оцінювання, це дає змогу змодельовати очікуваний прибуток у межах ігрової моделі.

Де:

m_1 – рівень витрат на реалізацію продукції;

m_2 – ймовірність витіснення продукції з ринку конкурентами;

m_3 – ймовірність неуспішної реалізації стратегії;

m_4 – оцінка прибутковості;

m_5 – очікуваний попит;

m_6 – підсумкова оцінка.

Таблиця 17. Експертна оцінка показників

	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6
c_{11}	8	-4	-5	8	4	11
c_{12}	5	-4	-4	3	7	7
c_{13}	6	-2	-8	9	4	9
c_{14}	8	-3	-5	5	8	13
c_{21}	4	-4	-7	5	1	-1
c_{22}	9	-1	-3	9	3	17
c_{23}	6	-2	-4	8	5	13
c_{24}	6	-5	-5	7	3	16
c_{31}	8	-3	-8	7	7	11
c_{32}	3	-1	-8	8	5	7
c_{33}	4	-1	-6	7	1	5
c_{34}	8	-5	-6	4	7	8

Таким чином, ігрову ситуацію доцільно подати у вигляді наступної матриці:

$$\begin{pmatrix} 11 & 7 & 9 & 13 \\ -1 & 17 & 13 & 16 \\ 11 & 7 & 5 & 8 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Розрахуємо матрицю ризику на основі отриманих даних:

$$\begin{pmatrix} 0 & 10 & 4 & 3 \\ 12 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 8 & 8 \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Для обґрунтування вибору найкращого управлінського рішення проведено аналіз альтернативних стратегій згідно з низкою класичних критеріїв прийняття рішень в умовах ризику та невизначеності. Розрахунки здійснено з використанням табличного процесора Microsoft Excel, що дало змогу автоматизувати обчислення та мінімізувати ймовірність арифметичних помилок. Підсумкові результати аналізу зведено у таблицю на рисунку 13, яка дозволяє порівняти ефективність кожної стратегії за різними критеріями.

Критерій Вальда:

=MAX(E2:E4)

Рисунок 7. Формула обчислення критерію Вальда в Excel

Критерій Севіджа:

=MIN(E7:E9)

Рисунок 8. Формула обчислення критерію Севіджа в Excel

Критерій максімакса:

=MAX(B2:B4)

Рисунок 9. Формула обчислення критерію максімакса в Excel

Критерій Гурвіча:

=MAX(0,5*(MIN(B2:E2)+MAX(B2:E2));0,5*(MIN(B3:E3)+MAX(B3:E3));0,5*(MIN(B4:E4)+MAX(B4:E4)))

Рисунок 10. Формула обчислення критерію Гурвіча в Excel

Критерій Байєса:

=MAX(K2*B2+K3*C2+K4*D2+K5*E2;K2*B3+K3*C3+K4*D3+K5*E3;K2*B4+K3*C4+K4*D4+K5*E4)

Рисунок 11. Формула обчислення критерію Байєса в Excel

Критерій мінімізації середнього очікуваного рівня ризику:

=MIN(K2*B7+K3*C7+K4*D7+K5*E7;K2*B8+K3*C8+K4*D8+K5*E8;K2*B9+K3*C9+K4*D9+K5*E9)

Рисунок 12. Формула обчислення критерію мінімізації середнього очікуваного рівня ризику в Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		M_1	M_2	M_3	M_4		Критерій	R(C*, M*)	Стратегія	Ймовірність	
2	C_1	11	7	9	13		Вальда	16	C_1	p(M_1)	0,4
3	C_2	-1	17	13	16		Севіджа	0	C_1, C_2, C_3	p(M_2)	0,3
4	C_3	11	7	5	8		Максімакса	11	C_1, C_3	p(M_3)	0,2
5							Гурвіча	10	C_1	p(M_4)	0,1
6		M_1	M_2	M_3	M_4		Байєса	9,6	C_1		
7	C_1	0	10	4	3		Мін.очік.ризик	4,1	C_1		
8	C_2	12	0	0	0						
9	C_3	0	10	8	8						

Рисунок 13. Результати аналізу стратегій за критеріями теорії ігор

де, C^* – це оптимальна стратегія (альтернатива), яку обираємо серед рядків матриці C_1, C_2, C_3 , M^* – це найгірший або найкращий стан природи (сценарій, ситуація), що відповідає стовпцям M_1, M_2, M_3, M_4 .

Отже, за результатами проведеного аналізу за різними критеріями прийняття рішень, найбільш ефективною виявилася стратегія C_1 , яка передбачає стимулювання збуту продукції. Такий варіант є доцільним, оскільки спрямований на активізацію продажів, підвищення попиту та, як наслідок, – зростання прибутку підприємства.

3.6 Моделювання Монте-Карло

Проведемо аналіз інвестиційного проєкту з використанням імітаційного моделювання за методом Монте-Карло. Для реалізації розрахунків застосовано спеціалізований шаблон у програмному середовищі Microsoft Excel, що дало змогу автоматизувати процес моделювання та дослідити вплив стохастичних чинників на ключові показники ефективності проєкту.

Початкові дані дослідження наведено у **таблицях**, які представлені на рисунках 14, 15. Вони відображають ключові показники, використані для проведення подальших розрахунків

	Мінімально	Максимально
Обсяг виробництва та збуту	62 000	118000
Ціна за одиницю продукції	790	1050
Змінні витрати	440	570

Рисунок 14. Ключові параметри, що змінюються у проєкті

	Найімовірніше значення
Фіксовані витрати	3200000
Амортизаційні відрахування	480 000
Ставка податку на прибуток	0,18
Ставка дисконтування	0,14
Період реалізації проєкту	5
Обсяг стартових інвестицій	3800000

Рисунок 15. Незмінні параметри проєкту

У ході проведеного імітаційного моделювання було виконано 1014 експериментів, у межах яких згенеровано відповідну кількість випадкових величин. Отримані результати оброблено із застосуванням методів статистичного аналізу, що дало можливість виявити основні закономірності розподілу показників ефективності інвестиційного проєкту.

Прикладові результати моделювання подано у таблиці на рисунках 16, 17, де наведено перші 40 та останні 39 реалізацій отриманих даних.

№	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н
1	Обсяг виробництва	Ціна	Собівартість	Виторг	Прибуток	Грошовий потік NCF	Дисконтована вартість NPV
2	88008,80	993,91	42061765,2	87473174,72	45411409,5	45 891 410	153748924,7
3	94130,86	972,03	45420673,81	91498280,17	46077606,4	46 557 606	156036032,4
4	68413,07	946,18	39224027,17	64731418,62	25507391,5	25 987 391	85416819,03
5	102815,27	1034,86	59459723,76	106399478,1	46939754,4	47 419 754	158995856,3
6	90280,90	816,07	49109129,93	73675495,67	24566365,7	25 046 366	82186201,57
7	65911,92	829,38	32311072,68	54666356,58	22355283,9	22 835 284	74595378,58
8	107101,62	1036,82	55710632,69	111044588,6	5533955,9	55 813 956	187813829,8
9	64850,04	901,35	35416947,69	58452454,97	23035507,3	23 515 507	76930640,5
10	70352,61	835,57	36761839,55	58784731,01	22022891,5	22 502 891	73454248,39
11	73418,28	842,17	43151139,73	61830687,81	18679548,1	19 159 458	61976279,86
12	108241,63	1014,94	59194515,82	109858983,4	50664467,5	51 144 468	171783098,2
13	95112,68	1031,93	56490221,15	98149818,2	41659597,1	42 139 597	140868648,7
14	107251,19	898,08	52453892,81	96320027,06	43866134,2	44 346 134	148443869,5
15	65305,97	831,80	33904173,3	54321819,1	20417645,8	20 897 646	67943310,09
16	115209,06	823,98	65663594,48	94929779,56	29266185,1	29 746 185	98321061,9
17	90014,86	894,76	51097319,71	80541397,07	29444077,4	29 924 077	98931780,49
18	85243,76	848,71	43689470,55	72347556,29	28658085,7	29 138 086	96233407,62
19	73828,32	1007,47	43689623,4	74380142,04	30690518,6	31 170 519	103210914,4
20	84809,78	830,00	41780704,21	70392175,43	28611471,2	29 091 471	96073376,2
21	116794,87	822,11	58135007,89	96018403,38	37883395,5	38 363 395	127904643
22	82917,29	914,32	43819631,27	75812640,64	31993009,4	32 473 009	107682470,5
23	63402,78	1043,89	33895276,87	66185779,26	32290502,4	32 770 502	108703788,1
24	87963,63	1034,24	51574967,64	90975447,14	39400479,5	39 880 479	133112915,2
25	99775,38	859,51	58407944,04	85758309,04	27350365	27 830 365	91743896,43
26	115139,90	825,38	55668817,11	95034451,68	39365634,6	39 845 635	132993289,7
27	64165,27	795,07	32231197,29	51016086,44	18784889,1	19 264 889	62337924,29
28	74224,78	880,88	35860755,01	65383236,64	29522481,6	30 002 482	99200948,73
29	100820,87	885,24	55499678,08	89250976,73	33751296,6	34 231 299	113718819,9
30	93996,12	1040,97	53414783,11	97846746,35	44431963,2	44 911 963	150386406,3
31	109145,95	1023,47	51264890,5	111707877,8	60442987,3	60 922 987	205353548,4
32	88443,49	937,56	48905954,1	82921232,41	34015278,3	34 495 278	114625083,5
33	75621,82	959,89	39426360,56	72588651,93	33162291,4	33 642 291	111696710,3
34	78104,85	886,61	40360719,65	69248395,41	28887675,8	29 367 676	97021608,75
35	111400,64	1005,55	56154999,46	112019087	55864087,5	56 344 088	189633814,5
36	98336,34	860,44	53770524,98	84612830,04	30842305,1	31 322 305	103732009,4
37	67847,79	937,30	40393494,55	63593828,08	23200333,5	23 680 334	77496502,38
38	90565,26	917,13	51073269,84	83060426,19	31987156,3	32 467 156	107662376,6
39	72160,48	999,21	36945616,81	72103590,15	35157973,3	35 637 973	118548048
40	110578,55	869,48	54842889,91	96145607,92	41302718	41 782 718	139643454
41	80939,06	981,33	47459808,35	79428236,96	31968428,6	32 448 429	107598082,7

Рисунок 16. Імітація Монте-Карло 1

№	A	B	C	D	E	F	G	H
977	473,42	113381,12	930,70	56876662,63	105523980,7	48647318,1	49 127 318	164858060,7
978	460,49	72115,85	811,69	36408713,05	58535957,03	22127244	22 607 244	73812499,07
979	461,39	75221,75	970,10	37906279,3	72972741,27	35066462	35 546 462	118233882,1
980	534,69	70464,64	945,19	40878616,17	66602711,1	25725894,9	26 205 895	86166959,17
981	458,04	96531,55	811,28	47414840,13	78314176,66	30899336,5	31 379 337	103297803,1
982	477,18	106785,69	852,19	54156045,91	91002028,45	36845982,5	37 325 983	124343120,3
983	469,52	105611,66	968,80	52786575,56	102316899,3	49530323,9	50 010 324	167889491,3
984	473,62	86035,55	1010,29	43948071,83	86920954,84	42972883	43 452 883	145377265,7
985	595,98	93499,65	1040,20	56115817,67	97253370,04	44186552,4	44 616 552	138072999,9
986	507,89	116425,15	942,25	62331159,35	109701741,1	47370581,8	47 850 582	160474921,9
987	536,75	74484,30	885,08	43179277,64	65924791,29	22745513,6	23 225 514	75935068,88
988	539,40	81203,07	803,05	47000892,6	65209985,96	18209093,4	18 689 093	60361170,73
989	508,52	72342,98	857,78	39987110,22	62058494,96	22066739,7	22 546 740	73604783,09
990	552,07	99291,95	868,57	58015844,31	86242288,27	28226444	28 706 444	94751546,43
991	445,93	96117,48	1033,72	46061684,07	99358420,46	53296736,4	53 776 736	180818989,3
992	518,13	67435,15	893,12	38140356,72	60227352,14	22086995,4	22 566 995	73674322,51
993	444,13	65549,48	851,87	32312499,28	5589573,89	23527074,6	24 007 075	78618230,96
994	521,47	83346,96	993,84	46662628,99	82833606,5	36170977,5	36 650 978	122025773,4
995	461,25	102856,65	937,71	50642701,72	96450142,67	45807440,9	46 287 441	155108532,6
996	521,59	73641,22	880,34	41610375,46	64829508,04	23219132,6	23 699 133	77561041,03
997	529,64	85375,38	1047,56	48418192,09	89435517,57	41017325,5	41 497 325	138663678,4
998	560,34	87884,00	1011,93	52444560,75	88932537,6	36487976,9	36 967 977	123114057,8
999	556,77	98882,78	796,59	58254940,07	78768607,31	20513667,2	20 993 667	68272959,47
1000	545,11	96051,53	878,18	55558520,72	84350999,01	28792478,3	29 272 478	96694788,11
1001	539,59	104563,56	1034,71	59621536,78	108193105,1	48571568,3	49 051 568	164598005,6
1002	548,98	98135,96	928,40	57074532,67	91109099,47	34034566,8	34 514 567	114691302,4
1003	458,76	72519,01	975,61	36468717,84	70703864,57	34281646,7	34 761 647	115539547,8
1004	566,84	70170,83	1049,40	42957566,83	73637259,79	30661493	31 141 493	103111266,8
1005	465,40	110805,44	976,99	54769135,97	108256051,4	53486855,4	53 966 855	181472584,3
1006	476,61	62207,55	949,81	32849006,49	58718385,05	25869978,6	26 349 379	86659550,06
1007	483,93	81249,66	996,58	42519044,8	80971484,44	38452439,6	38 892 440	12858217,6
1008	536,20	71126,14	914,83	41337801,79	65068249,68	23730447,9	24 210 448	79316427,89
1009	555,61	96871,39	1028,97	57022610,63	99677682,82	42655072,2	43 135 072	144286195,4
1010	487,74	106966,61	791,82	55372016,87	84698634	29326167,1	29 806 617	98528530,02
1011	469,21	92849,59	796,86	46766248,79	73988341,85	27222093,1	27 702 093	91303528,49
1012	509,10	96863,62	871,37	52513372,88	84403634,75	31890261,9	32 370 262	107329730
1013	461,20	112936,52	947,70	55285990,83	107029476,6	51743485,8	52 223 486	175487455,3
1014	530,18	109176,58	960,64	61082970,28	104879184,6	43796214,3	44 276 214	148203828,8
1015	494,40	69308,20	1012,80	37466161,45	70195568,25	32729406,8	33 209 407	110210582,5

Рисунок 17. Імітація Монте-Карло 2

Отримані випадкові величини слугували основою для розрахунку грошових потоків проєкту та визначення показника чистої зведеної вартості (NPV), який відображає інтегральний результат ефективності інвестиційного проєкту.

	Змінні витрати	Обсяг виробництва	Ціна	Надходження	NPV
Мінімум	440,02	62020,14	791,36	31344721,27	50238082,63
Максимум	570,00	117977,33	1049,73	69126182,27	122089121,43
Середнє значення	494,95	85799,63	927,51	45762125,38	80514808,14
Стандартне відхилення	37,46	16161,69	76,35	8877683,15	16179884,44
Коефіцієнт варіації %	7,57	18,84	8,23	19,40	20,10
Кількість випадків $NPV < 0$					0
Кількість випадків $NPV > 0$					1014
Сума збитків					0
Сума прибутків					34424901562

Рисунок 18. Результат імітації Монте-Карло

Величина $X(NPV)$ характеризує те значення чистої зведеної вартості, для якого визначається ймовірність того, що фактичний результат реалізації інвестиційного проєкту буде нижчим за заданий поріг. Зокрема, якщо $X = 0$, це відповідає точці беззбитковості проєкту, тобто ситуації, коли обчислюється ймовірність виникнення збитків ($NPV < 0$). Результати проведеного аналізу узагальнено на рисунку 19, де подано імовірнісну оцінку рівня ризику для різних порогових значень показника чистої зведеної вартості.

$X(NPV)$	Нормалізоване X	$p(NPV < X)$
0	-3,06	0,0011
90000000	0,59	0,72072

Рисунок 19. Ймовірність реалізації значення NPV , меншого або рівного X

Отже, ймовірність того, що чиста поточна вартість (NPV) інвестиційного проєкту буде меншою або дорівнюватиме 90 млн грн, становить 72 %. Таким чином, у 28 % симульованих випадків отримано значення NPV , що перевищує 90 млн грн. Це свідчить про високий рівень стабільності та помірний рівень ризику проєкту, оскільки порогове значення 90 млн грн розташоване дещо вище середнього очікуваного показника ефективності. Очікувані втрати за результатами моделювання відсутні (0 грн), що свідчить про стабільність та ефективність інвестиційного проєкту. Найменший можливий прибуток становить 50 238 082,63 грн, а максимальний – 122 089 121,43 грн, при середньому значенні 80 514 808,14 грн. Низьке значення коефіцієнта варіації свідчить про незначну мінливість показників ефективності відносно їхнього середнього значення, що, у свою чергу, вказує на високу достовірність і стабільність отриманих результатів [14].

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження підтверджує, що оцінювання та управління інвестиційними ризиками є критично важливим елементом фінансової політики підприємства та ключовою умовою забезпечення його стабільності й довгострокової ефективності. Недостатній контроль над ризиками здатен спричинити суттєві відхилення фактичних результатів від запланованих та призвести до значних фінансових втрат, що обґрунтовує необхідність системного підходу до їх ідентифікації, оцінювання і мінімізації.

У роботі показано, що комплексне управління ризиками передбачає застосування як якісних, так і кількісних методів аналізу. Важливу роль відіграють математичні моделі, що дозволяють формалізувати невизначеність і прогнозувати можливі сценарії розвитку подій. Методи аналізу чутливості, сценарного підходу, теорії ігор та імітаційного моделювання Монте-Карло довели свою ефективність у зниженні невизначеності та підвищенні обґрунтованості управлінських рішень.

Практична частина дослідження, виконана на прикладі підприємства «MNL», дала змогу проаналізувати структуру ризиків, оцінити вплив критичних факторів та розробити конкретні рекомендації щодо їх мінімізації. Найбільшу загрозу становлять ризики, пов'язані з технічним забезпеченням виробництва та надійністю постачальників, для яких сформовано превентивні заходи. Аналіз фінансового важеля підтвердив, що залучення позикового капіталу є доцільним за умов позитивного диференціального ефекту та достатньої кредитоспроможності підприємства.

Сценарне моделювання і динамічні методи оцінювання (NPV, IRR, PI, період окупності) засвідчили, що досліджуваний інвестиційний проєкт має низький рівень ризику та може бути рекомендований до впровадження. Разом із тим визначено потенційні слабкі місця, що потребують моніторингу та коригування управлінської стратегії.

Результати роботи становлять практичну цінність для підприємства, оскільки забезпечують методичну основу для прийняття інвестиційних рішень з урахуванням ризику, дають можливість прогнозувати фінансові наслідки за різних сценаріїв, а також пропонують механізми підвищення стійкості бізнесу в умовах невизначеності.

СПИСОК ТАБЛИЦЬ

Таблиця 1. Довірчий інтервал	21
Таблиця 2. Характеристика нефінансових наслідків інвестиційного проєкту ...	26
Таблиця 3. Ранжування рівня ризику	33
Таблиця 4. Матриця чутливості	36
Таблиця 5. Платіжна матриця	41
Таблиця 6. Платіжна матриця	46
Таблиця 7. Матриця ризиків	46
Таблиця 8. Характеристика критеріїв	48
Таблиця 9. Розподіл ризиків за рівнями	52
Таблиця 10. Вхідні дані інвестиційного проєкту	53
Таблиця 11. Розрахунок економічної рентабельності активів та ефекту фінансового важеля	53
Таблиця 12. Аналіз чутливості прибутку до зміни параметрів	54
Таблиця 13. Оцінка впливу зміни вартості та витрат на рівень операційного важеля	54
Таблиця 14. Сценарний аналіз фінансових результатів інвестиційного проєкту	56
Таблиця 15. Статистична оцінка ефективності та ризику інвестиційного проєкту з урахуванням ймовірності сценаріїв	56
Таблиця 16. Опис параметрів потенційного прибутку за різних умов зовнішнього середовища	58
Таблиця 17. Експертна оцінка показників	61

СПИСОК РИСУНКІВ

Рисунок 1. Механізм управління інвестиційними ризиками.....	15
Рисунок 2. Типові форми основних дискретних розподілів ймовірності	18
Рисунок 3. Типові форми основних неперервних розподілів ймовірності	19
Рисунок 4. Оцінювання ризиків.....	52
Рисунок 5. Стратегії поведінки.....	57
Рисунок 6. Можливі стани середовища	57
Рисунок 7. Формула обчислення критерію Вальда в Excel	62
Рисунок 8. Формула обчислення критерію Севіджа в Excel	62
Рисунок 9. Формула обчислення критерію максімакса в Excel	62
Рисунок 10. Формула обчислення критерію Гурвіча в Excel	62
Рисунок 11. Формула обчислення критерію Байєса в Excel.....	62
Рисунок 12. Формула обчислення критерію мінімізації середнього очікуваного рівня ризику в Excel	62
Рисунок 13. Результати аналізу стратегій за критеріями теорії ігор	63
Рисунок 14. Ключові параметри, що змінюються у проєкті	63
Рисунок 15. Незмінні параметри проєкту.....	63
Рисунок 16. Імітація Монте-Карло 1	64
Рисунок 17. Імітація Монте-Карло 2	64
Рисунок 18. Результат імітації Монте-Карло	65
Рисунок 19. Ймовірність реалізації значення NPV, меншого або рівного X.....	65

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз та оцінка ризику : навч. матеріал. Moodle ЗНУ. URL: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1249104/mod_resource/content/1/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%202%20%D0%90%D0%9D%D0%90%D0%9B%D0%86%D0%97%20%D0%A2%D0%90%20%D0%9E%D0%A6%D0%86%D0%9D%D0%9A%D0%90%20%D0%A0%D0%98%D0%97%D0%98%D0%9A%D0%A3.pdf
2. Бланк І. О., Гуляєва Н. М., Вавдійчик І. М. Інвестиційний менеджмент: підручник : у 3 ч. Ч. 1. Київ : Держ. торг.-екон. ун-т, 2023. 504 с. URL: <https://ur.knute.edu.ua/server/api/core/bitstreams/cf8300a0-5ee3-421c-9152-605f7753cfcf/content>
3. Васильєва Т. А. та ін. Економічний ризик: методи оцінки та управління: навч. посіб. Суми : ДВНЗ "УАБС НБУ", 2015. 208 с. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/bde23075-9d5e-4124-ae9f-d51c1ec59502/content>
4. Дропа Я. Б. Фінансовий аналіз : навч. посіб. [електрон. вид.]. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2023. 238 с. URL: <https://econom.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/09/Dropa-Navchalnyy-posibnyk-2024.pdf>
5. Королович О. О., Галай Ю. М. Аналіз ефекту фінансового важеля виробничого підприємства. Economy and Society. 2024. № 64. С. 117–124. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4298/4223>
6. Королович О. О., Галай Ю. М. Аналіз ефекту фінансового важеля виробничого підприємства в середовищі Mathematica. Ефективна економіка. 2022. № 7. URL: <https://nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/162/162>
7. Кравець П. О. Адаптивні стратегії прийняття рішень у грі з природою. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі. 2010. № 673. С. 128–134. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2019/apr/15989/vis673ism-128-134.pdf>
8. Малиш І. Аналіз чутливості показників ефективності інвестиційних проектів. Економічний аналіз. 2011. № 8(1). С. 441–445. URL: https://econa.at.ua/Vypusk_8/p1/malysh.pdf
9. Методи оцінки ефективності інвестиційних проектів. Stud.com.ua: освітній портал. URL:

https://stud.com.ua/91662/investuvannya/metodi_otsinki_efektivnosti_investitsiynih_proektiv

10. Погуда Н. В. Внутрішня норма прибутковості у системі інструментів державного управління інвестиційно-інноваційною діяльністю. Інвестиції: практика та досвід. 2011. № 2. С. 14–18. URL: http://www.investplan.com.ua/pdf/2_2011/6.pdf

11. Статистичний метод оцінки ризиків. URL: <https://studfile.net/preview/5199105/page:9/>

12. Теорія ігор: Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 124 «Системний аналіз», спеціалізації «Системний аналіз фінансового ринку» / КПП ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. В. Барановська. – Електронні текстові дані (1 файл: 21.6 МБ). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 245 с. URL:

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://el.a.kpi.ua/bitstream/123456789/49092/1/Teoriia_ihor.pdf&ved=2ahUKEwivuOic9Z-RAxViIBAIHYOONnAQFnoECCYQAQ&usg=AOvVaw0Alegm6U5DAbbce_IBc48P

13. Що таке ліквідність: основні показники та приклади. Ощадбанк : офіційний вебсайт. URL: <https://www.oschadbank.ua/blog/so-take-likvidnist-osnovni-pokazniki-ta-prikladi>

14. Fotr J., Švecová L., Souček I., Pešák L. Simulace Monte Carlo v analýze rizika investičních projektů. Acta Oeconomica Pragensia. 2007. Roč. 15, č. 2. S. URL: <https://aop.vse.cz/pdfs/aop/2007/02/03.pdf>

15. Kom R., Korn E., Kroisandt G. Monte Carlo Methods and Models in Finance and Insurance. Boca Raton : Chapman & Hall / CRC Press, 2010. 484 p. URL: <http://bayanbox.ir/view/8464593478513834502/Monte-Carlo-Methods>

16. Knápková A., Pavelková D., Štěker K. Finanční analýza: komplexní průvodce s příklady. Praha : Grada Publishing, 2013.

17. Smejkal V., Rais K. Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích. Praha : Grada Publishing, 2010. 360 s.

Анотація

Тимчук С. Р. Математичне моделювання ризиків інвестиційних проєктів. Магістерська робота. Луцьк, 2025р. 70 с.

Ключові слова: інвестиційний проєкт, ризик, управління ризиками, сценарний аналіз, аналіз чутливості, метод Монте-Карло, фінансова стійкість, теорія ігор, внутрішня норма доходності, карта ризиків.

У роботі досліджено використання математичних моделей для аналізу ризиків інвестиційних проєктів та підходів до їх ефективного управління. На тлі швидкого розвитку інновацій актуальною стає задача своєчасного виявлення, оцінки та мінімізації інвестиційних ризиків. Метою дослідження є створення моделей, що підвищують обґрунтованість управлінських рішень у сфері інвестування.

Проаналізовано ключові типи ризиків, методи їх ідентифікації та класифіковано підходи до їх математичного моделювання. Розглянуто застосування таких інструментів, як дерево рішень, аналіз чутливості, сценарне моделювання, аналогії, статистичні методи, аналіз беззбитковості, метод Монте-Карло та елементи теорії ігор.

Як приклад використано проєкт запуску підприємства «MNL», що займається обсмаженням кавових зерен та виробництвом кавових сумішей. Бізнес-модель включає імпорт сировини, її обробку та збут у гуртових, роздрібних і онлайн-каналах.

У рамках дослідження проаналізовано вплив змін ключових факторів (цін, обсягів, витрат) на прибутковість. Проведено сценарне моделювання розвитку проєкту, обраховано фінансовий важіль і застосовано метод Монте-Карло для оцінки ймовірностей результатів. Теорія ігор дозволила змодельовати поведінку підприємства в умовах конкуренції.

Abstract

Tymchuk S. R. Mathematical Modeling of Investment Project Risks. Master's Thesis. Lutsk, 2025. 70 p.

Keywords: investment project, risk, risk management, scenario analysis, sensitivity analysis, Monte Carlo method, financial stability, game theory, internal rate of return, risk map.

This thesis explores the application of mathematical models for analyzing investment project risks and approaches to their effective management. In the context

of rapid technological advancement, the timely identification, assessment, and mitigation of investment risks has become increasingly relevant. The main objective of the research is to develop and substantiate models that enhance the validity of managerial decisions in the field of investment.

The study examines key types of investment risks, methods for their identification, and classifies approaches to their mathematical modeling. Particular attention is given to such tools as decision trees, sensitivity analysis, scenario modeling, analogy-based estimation, statistical techniques, break-even analysis, the Monte Carlo method, and elements of game theory.

As a practical example, the project of launching an enterprise named "MNL", specializing in coffee bean roasting and coffee blend production, is analyzed. The business model includes importing raw green beans, processing, packaging, and distribution through wholesale, retail, and online channels.

Within the research framework, the impact of key factors (prices, sales volumes, and costs) on profitability is assessed. Scenario modeling is applied to evaluate the project under different development conditions. The financial leverage effect is calculated, and the Monte Carlo method is used to estimate the probabilities of potential outcomes. Game theory is employed to simulate the enterprise's strategic behavior under competitive conditions.