

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет автоматизації інформаційних  
технологій

---

Кафедра інформаційних технологій

---

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР**

на тему:

---

**Застосування теорії ігор для моделювання процесу прийняття  
рішень у конфліктних ситуаціях. Ч.2. Оптимізація стратегії**

---

**Шуман Артем Валентинович**

---

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**автоматизації і інформаційних технологій**

(факультет)

**інформаційних технологій**

(кафедра)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувачка кафедри ІТ

д.т.н., професор Гончаренко Т.А.

„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 року

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ БАКАЛАВР**

на тему: «Застосування теорії ігор для моделювання процесу прийняття рішень у конфліктних ситуаціях. Ч.2. Оптимізація стратегії»

*Я як здобувач вищої освіти КНУБА розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.*

Здобувач

Шуман Артем Валентинович

122 «Комп'ютерні науки»

(спеціальність)

Інформаційні управляючі системи і технології

(освітня програма)

Групи КН-21

Керівник Рябчун Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Доктор філософії

(вчене звання, науковий ступінь)

Рецензент к.т.н., доц. Доля О.В.

(Прізвище та ініціали)

*Ідентичність підтверджую*

Київ, 2025 р. **КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет:	Автоматизації інформаційних технологій
Випускова кафедра:	Інформаційних технологій
Освітній ступінь:	Бакалавр
Спеціальність:	Комп'ютерні науки
Освітня програма:	Інформаційні управляючі системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТ

Тетяна ГОНЧАРЕНКО

„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 року

**ЗАВДАННЯ**

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ НА  
ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

	Шуман Артему Валентиновичу
1. Тема роботи <b>Застосування теорії ігор для моделювання процесу прийняття рішень у конфліктних ситуаціях. Ч.2. Оптимізація стратегії.</b>	
затверджена наказом ректора КНУБА № 235/23/25 від «14» лютого 2025 року	
2. Керівник роботи	Рябчун Юлія Володимирівна, PhD

3. Строк подання Здобувачем роботи до захисту \_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

P.1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

P.2 ПРОЕКТ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

P.3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

P.4 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ СЦЕНАРІЇВ

5. Графічний матеріал за розділами:

Р.1 Розділ містить 9 рисунків.

Р.2 Розділ містить 4 рисунки, 2 таблиці.

Р.3 Розділ містить 8 рисунків, 4 таблиці.

Р.4 Розділ містить 10 рисунків, 1 таблицю.

6. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1	31.01.2025
Розділ 2	23.02.2025
Розділ 3	09.03.2025
Розділ 4	14.05.2025
Остаточне оформлення роботи	20.05.2025
Направлення роботи для перевірки на плагіат	22.05.2025
Попередній захист роботи на випусковій кафедрі	22.05.2025
Направлення роботи на рецензування	23.05.2025

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		дата	підпис
Розділ 1	Рябчун Ю.В., доц.каф.ІТ	31.01.2025	
Розділ 2	Рябчун Ю.В., доц.каф.ІТ	23.02.2025	
Розділ 3	Рябчун Ю.В., доц.каф.ІТ	09.03.2025	
Розділ 4	Рябчун Ю.В., доц.каф.ІТ	14.05.2025	

8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Зав. кафедри			Гончаренко Т.А.
	(підпис)		(прізвище та ініціали)
Керівники			Рябчун Ю.В.
	(підпис)		(прізвище та ініціали)
Здобувач			Шуман А.В.
	(підпис)		(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Шуман А.В. Застосування теорії ігор для моделювання процесу прийняття рішень у конфліктних ситуаціях. Частина 2. Оптимізація стратегій.

Атестаційна випускна робота бакалавра за спеціальністю 122 "Комп'ютерні науки", освітня програма "Інформаційні управляючі системи та технології". – КНУБА, Київ, 2025.

Робота присвячена дослідженню методів оптимізації стратегій прийняття рішень у конфліктних ситуаціях з використанням теорії ігор. Застосовано класичні та сучасні підходи, зокрема рівновагу Неша, мішані стратегії, а також прості обчислювальні методи для аналізу стратегій. Розроблено прототип системи в середовищі Excel, що дозволяє будувати платіжні матриці, знаходити оптимальні рішення та аналізувати сценарії. Робота має практичне значення для сфер економіки, кібербезпеки та бізнес-планування.

Ключові слова: теорія ігор, рівновага Неша, стратегія, конфлікт, модель, оптимізація, мішана стратегія, рішення.

## SUMMARY

Shuman A.V. Application of Game Theory for Modeling Decision-Making Processes in Conflict Situations. Part 2. Strategy Optimization.

Bachelor thesis in specialty 122 "Computer Science", educational program "Information Control Systems and Technologies". – Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2025.

This thesis explores the use of game theory for optimizing decision-making strategies in conflict situations. It applies classical and modern approaches including Nash equilibrium and mixed strategies. A simple prototype built in Excel demonstrates how to analyze game scenarios using payoff matrices and identify optimal strategies. The research is practically useful for business, cybersecurity, and international negotiation scenarios.

Keywords: game theory, Nash equilibrium, strategy, conflict, optimization, mixed strategy, decision model

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>Розділ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ</b> ...	11
<b>1.1</b> Постановка та аналіз проблеми.....	12
<b>1.2</b> Дерево цілей .....	19
<b>1.3.1</b> Функціональні вимоги .....	21
<b>1.4</b> Аналіз готових рішень .....	24
<b>1.5</b> Постановка задачі .....	31
<b>Розділ 2. ПРОЕКТ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ</b> .....	34
<b>2.1</b> Виявлення найкращого підходу до стратегічного планування.....	34
<b>2.2</b> Методи оптимізації стратегій .....	34
<b>2.3</b> Приклад оптимізації стратегії .....	35
<b>Розділ 3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ</b> .....	42
<b>3.1</b> Архітектура системи.....	42
<b>3.2</b> Реалізовані функції .....	42
<b>3.3</b> Реалізація моделі на Python.....	49
<b>Розділ 4. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ СЦЕНАРІЇВ</b> .....	54
<b>4.1</b> Сценарій 1: Цінова війна між компаніями .....	55
<b>4.2</b> Сценарій 2: Кібербезпека.....	58
<b>4.3</b> Сценарій 3: Міжнародні політичні переговори .....	61
<b>4.4</b> Аналіз чутливості.....	63
<b>4.5</b> Обмеження моделі.....	63
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	64

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

AI – Artificial Intelligence (Штучний інтелект);

ML – Machine Learning (Машинне навчання);

LP – Linear Programming (Лінійне програмування);

RREEMM – Resourceful, Restricted, Expecting, Evaluating, Maximizing Man –  
концепція раціонального актора в теорії вибору;

SaaS – Software as a Service (Програмне забезпечення як послуга);

REST – Representational State Transfer (Архітектурний стиль веб-сервісів).

## ВСТУП

Прийняття рішень у конфліктних ситуаціях є фундаментальним викликом у різних сферах - від економіки і політики до кібербезпеки і військової стратегії. У таких сценаріях учасники - окремі особи, організації чи нації - повинні робити стратегічний вибір, передбачаючи дії інших. Теорія ігор забезпечує потужну математичну базу для аналізу і оптимізації цих рішень, пропонуючи структуровані методи для прогнозування результатів і формулювання оптимальних стратегій.

Ключовим аспектом теоретико-ігрового моделювання є оптимізація стратегій, яка передбачає визначення найбільш вигідного способу дій в умовах конкуренції або суперництва. Традиційні підходи до прийняття рішень часто покладаються на евристику або емпіричний досвід, але теорія ігор вводить формалізовані моделі, які враховують раціональну поведінку, оцінку ризиків і взаємодію конкуруючих інтересів. Застосовуючи методи оптимізації, можна удосконалити процес прийняття стратегічних рішень, мінімізувати втрати та максимізувати прибутки в умовах невизначеності та конкуренції.

Дипломна робота присвячена застосуванню принципів теорії ігор до оптимізації стратегій у конфліктних ситуаціях. У ній розглядаються класичні, сучасні моделі теорії ігор, включаючи рівновагу Неша, змішані стратегії та алгоритмічні підходи до розв'язання складних проблем прийняття рішень. Крім того, він інтегрує обчислювальні методи та симуляції для тестування та перевірки стратегічних моделей у реальних сценаріях. Кінцевою метою є розробка системного підходу до оптимізації процесів прийняття рішень в умовах конкуренції, що сприятиме більш ефективному вирішенню проблем у ділових переговорах, протидії загрозам кібербезпеки, військовим конфліктам та іншим конкурентним середовищам.

**Метою даної роботи** є розробка та оптимізація моделей прийняття стратегічних рішень у конфліктних ситуаціях з використанням теорії ігор. Застосовуючи математичні та обчислювальні підходи, дослідження має на меті підвищити ефективність прийняття рішень в умовах протистояння, що дозволить

сформулювати раціональну стратегію в різних сферах, таких як бізнес, кібербезпека та міжнародні відносини.

**Завдання дослідження:**

1. Проаналізувати основні концепції теорії ігор та їхнє значення для конфліктних ситуацій, включаючи рівновагу Неша, домінуючі стратегії та змішані стратегії.
2. Вивчити існуючі методи оптимізації стратегій в рамках теорії ігор та оцінити їх застосовність до реальних сценаріїв прийняття рішень.
3. Розробити обчислювальну модель для оптимізації стратегій прийняття рішень в умовах суперництва.
4. Оцінити ефективність запропонованої моделі за допомогою імітаційного моделювання та аналізу конкретних ситуацій у різних конфліктних ситуаціях.
5. Сформулювати рекомендації щодо застосування методів теоретико-ігрової оптимізаційних методів теорії ігор у практичних сферах прийняття рішень, таких як економіка, кібербезпека та міжнародна дипломатія.

**Об'єкт дослідження** – процеси прийняття рішень у конфліктних ситуаціях, де багато учасників діють стратегічно для досягнення своїх цілей, передбачаючи дії інших.

**Предмет дослідження** – застосування теоретико-ігрових методів для оптимізації стратегій у конфліктних ситуаціях, з акцентом на математичні моделі, обчислювальні техніки та їх практичне застосування у прийнятті рішень в умовах змагальності.

**Методи дослідження:**

1. Визначення ключових компонентів конфліктних сценаріїв, включно з гравцями, стратегіями, винагородами та інформаційними структурами.
2. Застосування концепцій рівноваги (таких як рівновага Неша і стратегії Штакельберга) для одержання оптимальних стратегій ухвалення рішень.
3. Розробка і тестування обчислювальних підходів для вирішення теоретико-ігрових моделей.

4. Проведення симуляцій і кейс-стаді для оцінювання ефективності стратегій у реальних і гіпотетичних сценаріях конфліктів.
5. Оцінка різних методів розв'язання для визначення їхньої застосовності, ефективності та обмежень у різних стратегічних середовищах.

**Практичне значення роботи.** Результати дослідження мають практичне значення у багатьох галузях, де прийняття стратегічних рішень має вирішальне значення. В економіці вони можуть допомогти фірмам оптимізувати цінову політику та конкурентні стратегії. У військовій стратегії вони можуть підтримати прийняття тактичних рішень і розподіл ресурсів в умовах протистояння. У сфері кібербезпеки теоретико-ігрові моделі можуть покращити механізми захисту від кіберзагроз. Крім того, дослідження сприяє прийняттю рішень на основі штучного інтелекту, покращуючи здатність автономних систем адаптувати стратегії в конкурентному середовищі.

Інтегруючи передові методи теорії ігор з обчислювальними методами, ця робота забезпечує надійну основу для оптимізації стратегій у конфліктних ситуаціях, що робить її цінною для дослідників, політиків і практиків, які мають справу з проблемами прийняття стратегічних рішень

## Розділ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Прийняття рішень у конфліктних ситуаціях є важливим аспектом у різних сферах, включаючи економіку, військову стратегію, кібербезпеку та міжнародні відносини. У таких умовах численні учасники, кожен з яких переслідує власні цілі, повинні робити стратегічний вибір, передбачаючи дії інших. Складність цих взаємодій вимагає структурованого підходу до формулювання стратегії, де теорія ігор слугує потужним аналітичним інструментом.

Теорія ігор надає математичні моделі для аналізу конкурентних і кооперативних взаємодій між раціональними особами, які приймають рішення. Ці моделі допомагають прогнозувати поведінку учасників, визначати оптимальні стратегії та оцінювати можливі результати стратегічних взаємодій. Однак, незважаючи на значний прогрес у теоретико-ігрових дослідженнях, залишається кілька викликів у застосуванні цих концепцій до реальних сценаріїв. Традиційні моделі часто припускають досконалу раціональність і повну інформацію, які рідко присутні в практичному прийнятті рішень. Крім того, обчислювальна складність розв'язання великомасштабних теоретико-ігрових проблем створює значні перешкоди.

Ретельний аналіз предметної області має важливе значення для виявлення існуючих обмежень та напрямків для вдосконалення теоретико-ігрової оптимізації стратегій. Вивчаючи класичні та сучасні підходи, це дослідження має на меті вдосконалити моделі прийняття рішень шляхом включення обчислювальних методів, адаптивних стратегій та механізмів обробки невизначеності. Постановка проблеми фокусується на оптимізації прийняття стратегічних рішень у конфліктних сценаріях шляхом розробки більш ефективних, масштабованих і практичних теоретико-ігрових моделей.

У цьому розділі розглядаються теоретичні основи теорії ігор, аналізуються існуючі методи оптимізації стратегій та висвітлюються ключові проблеми застосування теоретико-ігрових моделей до реальних конфліктних ситуацій.

Проведений аналіз слугує основою для визначення цілей дослідження і спрямовує розвиток сучасних методів оптимізації для прийняття стратегічних рішень.

### **1.1 Постановка та аналіз проблеми**

У сучасному процесі прийняття рішень конфлікти виникають у різних сферах, включаючи економіку, міжнародні відносини, кібербезпеку та конкурентне бізнес-середовище. У таких ситуаціях численні раціональні агенти повинні робити стратегічний вибір, враховуючи потенційні дії опонентів. Виклик полягає у формулюванні оптимальних стратегій, які максимізують вигоди та мінімізують ризики в умовах конкуренції.

#### **1.1.1 Поняття та основні принципи теорії ігор**

*Теорія ігор* — це розділ прикладної математики, який вивчає математичні моделі прийняття рішень у конфліктних або кооперативних ситуаціях, коли результат залежить від дій кількох учасників (гравців) [1].

*Основне завдання теорії ігор* — аналіз стратегій взаємодії гравців з метою виявлення оптимальних рішень у різних ситуаціях.

Теорія ігор широко використовується в економіці, політичних науках, біології, інформатиці та, зокрема, в автоматизації прийняття рішень у розподілених і віртуалізованих середовищах.

Кожна гра, відповідно до класичної моделі, складається з таких компонентів:

1. Гравці — учасники гри, які приймають рішення;
2. Стратегії — набір можливих дій, які може обрати кожен гравець;
3. Виграш (платіжна функція) — результат, що залежить від поєднання стратегій усіх гравців;
4. Правила гри — визначають часовий порядок, можливі дії та інформацію, доступну гравцям.

По-перше, теза щодо конфліктності взаємодії акторів, яка обумовлена намаганням максимізувати індивідуальну користь. Повною мірою це стосується процесу публічної політики та публічного адміністрування – управління

передбачає раціональне формулювання мети суспільного розвитку, пошук найбільш ефективних засобів її досягнення, калькуляцію витрат та вигід від реалізації певної стратегії, врахування поведінки інших акторів та оцінювання ситуації в цілому.

По-друге, раціональні дії індивідуальних та колективних політичних гравців ґрунтуються на інформованості та аналітичності. Політичні актори вибудовують виборчі стратегії, виходячи з моделі політичного ринку, холодно розраховують вигоду від власної політичної участі та орієнтуються на механізми раціонального вибору електорату: принцип максимізації вигоди, мотиви участі у голосуванні, вартість голосування, можливі втрати у випадку відмови від участі у голосуванні. Тобто йдеться про інструментальне розуміння раціональності, згідно з яким індивіди співставляють власні очікувані вигоди й витрати, намагаючись максимізувати перші і мінімізувати другі.

По-третє, політичні ситуації зводяться до дій індивідів, а раціональність вибору визначається у процесі оцінюванні співвідношення витрат і зиску з обов'язковим урахуванням преференцій актора.

По-четверте, політична ситуація виступає зовнішнім по відношенню до вибору чинником, які структурують можливі альтернативи вибору. Раціональна поведінка політичного гравця означає, що діючи і взаємодіючи, він має план і прагне максимізувати власні переваги, водночас мінімізуючи можливі витрати. Теоретики раціонального вибору інтерпретують політичну реальність, виходячи з моделі раціональної поведінки виборців і політиків, які прагнуть досягти цілі максимальної індивідуальної чи колективної вигоди й користі.

По-п'яте, раціонального актора пропонується розуміти як людину, що має ресурси, є обмеженою, але разом з цим, очікує, оцінює і максимізує – RREEMM (resourceful, restricted, expecting, evaluating, maximizing man).

Теорія ігор [1, 2] забезпечує математичну основу для аналізу та моделювання прийняття рішень у конфліктних сценаріях. Однак, незважаючи на її теоретичні досягнення, практичне застосування стикається зі значними труднощами. Однією з ключових проблем є обчислювальна складність розв'язання великомасштабних

теоретико-ігрових моделей, особливо в динамічних та багатоагентних середовищах [3, 4]. Традиційні аналітичні рішення, такі як рівноваги Неша [5, 6], не завжди можуть бути обчислювально здійсненними для складних сценаріїв реального світу.

### **1.1.2 Види ігор та їх класифікація**

У теорії ігор існує кілька способів класифікації ігор [7 – 9], кожен з яких має значення для розуміння та моделювання конфліктних ситуацій. Розглянемо основні з них:

#### **1. За кількістю гравців**

Ігри з двома гравцями: Найпростіший вид ігор, де участь беруть два гравці. Такі ігри часто використовуються для моделювання двосторонніх конфліктів, наприклад, у бізнесі або політиці.

Ігри з багатьма гравцями: У цих іграх беруть участь більше двох гравців. Вони можуть моделювати складніші ситуації, де інтереси багатьох сторін перетинаються, наприклад, міжнародні відносини або конкуренція на ринку.

#### **2. За характером взаємодії**

Кооперативні ігри: Гравці можуть укладати угоди та координувати свої дії для досягнення спільної мети. Ці ігри досліджують можливості співпраці та формування коаліцій.

Некооперативні ігри: Гравці діють незалежно один від одного, кожен прагне максимізувати свій власний вигаш. Ці ігри вивчають стратегії конкуренції та протистояння.

Як узагальнення типів ігор, подано класифікацію на рис. 1.1.

#### **3. За типом вигашу**

Ігри з нульовою сумою: Сума вигашів усіх гравців дорівнює нулю. Це означає, що вигаш одного гравця означає програш іншого. Такі ігри часто зустрічаються в ситуаціях, де ресурси обмежені.

Ігри з ненульовою сумою: Сума вигашів гравців може бути більшою або меншою за нуль. У таких іграх можливі ситуації, коли всі гравці можуть виграти (або програти).



Рисунок 1.1 – Діаграма типів ігор за характером взаємодії та виграшем

#### 4. За кількістю ходів

Одноходові ігри: Гравці приймають рішення одночасно, не знаючи про вибір інших гравців.

Багатоходові ігри: Гравці роблять ходи по черзі, кожен наступний хід залежить від попередніх.

#### 5. За наявністю інформації

Ігри з повною інформацією: Всі гравці знають правила гри та всі попередні ходи.

Ігри з неповною інформацією: Гравці можуть не знати деякої інформації, наприклад, про ходи інших гравців або про можливі стани гри.

Класифікація ігор є важливим інструментом для моделювання конфліктних ситуацій. Вибір конкретного типу гри залежить від особливостей досліджуваного конфлікту. Наприклад, для моделювання конкуренції між двома компаніями можна використовувати некооперативну гру з нульовою сумою, тоді як для аналізу міжнародних переговорів більше підійде кооперативна гра з багатьма гравцями.

Розуміння різних видів ігор та їх характеристик дозволяє розробляти ефективні стратегії поведінки в конфліктних ситуаціях, прогнозувати можливі результати та знаходити оптимальні рішення.

Основні принципи та поняття

– Рациональність: кожен гравець намагається максимізувати свій виграш;

- Наслідковість: результат залежить від поєднання стратегій усіх гравців;
- Рівновага Неша: ситуація, в якій жоден гравець не може покращити свій результат, змінюючи лише свою стратегію, якщо інші стратегії незмінні;
- Домінантна стратегія: стратегія, яка забезпечує найкращий результат незалежно від дій інших.

### 1.1.3 Основні моделі конфліктних ситуацій

Конфліктні ситуації є невід'ємною частиною людського життя та зустрічаються в різних сферах діяльності: від міжособистісних стосунків до міжнародних відносин [10]. Для аналізу та вирішення конфліктів розроблено різні моделі, які допомагають зрозуміти їх сутність, структуру та динаміку. Розглянемо основні з них:

#### 1. Модель "структурного конфлікту"

- Ця модель акцентує увагу на об'єктивних факторах, які можуть призвести до конфлікту:
- Розподіл ресурсів: Недостатність ресурсів або їх нерівномірний розподіл може стати причиною конфлікту між сторонами.
- Різні цілі: Якщо сторони мають різні або несумісні цілі, це може призвести до конфлікту інтересів.
- Залежність: Якщо сторони залежать одна від одної, але не мають можливості контролювати ситуацію, це може викликати напруження та конфлікт.

Ця модель допомагає ідентифікувати ключові фактори, що сприяють виникненню конфлікту, та розробити стратегії щодо їх усунення або мінімізації.

#### 2. Модель "психологічного конфлікту"

Ця модель зосереджується на суб'єктивних факторах, таких як сприйняття, емоції та установки учасників конфлікту.

- Спотворене сприйняття: Неправильне або упереджене сприйняття ситуації може призвести до непорозумінь та конфлікту.

- Негативні емоції: Страх, гнів, образа можуть підсилити конфлікт та ускладнити його вирішення.
- Стереотипи та упередження: Упереджене ставлення до іншої сторони може стати причиною дискримінації та конфлікту.

Ця модель підкреслює важливість врахування психологічних аспектів конфлікту та використання методів, спрямованих на зміну сприйняття та управління емоціями.

### 3. Модель "динаміки конфлікту"

Ця модель описує розвиток конфлікту в часі, від його виникнення до вирішення.

- Зародження: Конфлікт може виникнути спонтанно або бути результатом накопичення протиріч.
- Ескалація: Конфлікт може посилюватися та переходити на новий рівень інтенсивності.
- Кульмінація: Конфлікт досягає піку свого розвитку.
- Вирішення: Конфлікт може бути вирішений різними способами: шляхом переговорів, компромісу, посередництва або арбітражу.

Розуміння динаміки конфлікту дозволяє прогнозувати його розвиток та вчасно вживати заходів для його запобігання або конструктивного вирішення.

### 4. Інтегративна модель конфлікту

Ця модель об'єднує різні аспекти конфлікту, враховуючи як об'єктивні, так і суб'єктивні фактори, а також динаміку його розвитку. Вона дозволяє отримати більш повне та системне уявлення про конфліктну ситуацію та розробити комплексний підхід до її вирішення.

Загальний підхід до конфліктної ситуації можна подати у вигляді структурної моделі на рис. 1.3 [11]. Вона демонструє послідовність взаємодії: від суб'єкта (актора) до реалізованої стратегії та наслідків.

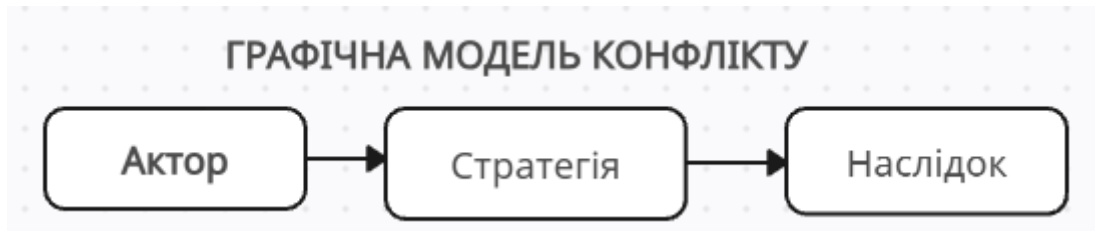


Рисунок 1.3 – Графічна модель конфлікту: Актор → Стратегія → Наслідок

Описані моделі конфліктних ситуацій є важливим інструментом для їх моделювання. Використання конкретної моделі залежить від особливостей досліджуваного конфлікту та завдань дослідження. Моделювання конфліктів дозволяє:

- Аналізувати: Виявити ключові фактори, що впливають на конфлікт.
- Прогнозувати: Передбачити можливі варіанти розвитку конфлікту.
- Оцінювати: Ефективність різних стратегій вирішення конфлікту.
- Приймати рішення: Обґрунтовано вибрати оптимальні рішення для управління конфліктом.

Ще однією серйозною проблемою є неповнота інформації в багатьох стратегічних взаємодіях. Класичні теоретико-ігрові моделі часто припускають досконалу раціональність і повне знання структури гри, але в реальних умовах особи, які приймають рішення, часто діють в умовах невизначеності. Це може включати невідомі стратегії опонентів, приховані стимули або непередбачувані зовнішні фактори, які ускладнюють прийняття оптимальних рішень.

Крім того, багатьом існуючим інструментам підтримки прийняття рішень бракує адаптивних і масштабованих механізмів, які дозволяють коригувати стратегію в реальному часі відповідно до умов, що змінюються. У динамічних сценаріях конфлікту стратегії повинні бути гнучкими і реагувати на зміни в поведінці опонента або зміни в навколишньому середовищі. Традиційні моделі, які спираються на статичну рівновагу, часто не здатні відобразити мінливий характер стратегічних взаємодій.

Крім того, хоча теоретичні дослідження в теорії ігор створили різні концепції рішень, їх практична реалізація та оптимізація залишаються недостатньо

вивченими. Багато існуючих методів оптимізації не повною мірою використовують сучасні обчислювальні методи, такі як машинне навчання, евристичні алгоритми або навчання з підкріпленням, які могли б значно підвищити ефективність прийняття рішень.

Таким чином, основною проблемою, що розглядається в цьому дослідженні, є оптимізація прийняття стратегічних рішень у конфліктних сценаріях шляхом удосконалення теоретико-ігрових моделей і розробки обчислювально ефективних стратегій, які враховують невизначеність, адаптивність і оптимізацію в реальному часі. Це дослідження спрямоване на подолання розриву між теоретичною теорією ігор і практичним застосуванням шляхом інтеграції передових обчислювальних методів для покращення прийняття стратегічних рішень в умовах протистояння.

## 1.2 Дерево цілей

Дерево цілей - це ієрархічний інструмент, який використовується для структурування головної мети дослідницького проекту та підпорядкованих їй цілей [12]. Воно допомагає розбити складну проблему на керовані компоненти, гарантуючи, що кожен етап сприяє досягненню головної мети.

Основною метою даної дипломної роботи є розробка та оптимізація стратегій прийняття рішень в конфліктних ситуаціях з використанням теоретико-ігрових моделей. Досягнення цієї мети вимагає вирішення кількох ключових завдань, включаючи формулювання математичних моделей, розробку обчислювальних методів, інтеграцію адаптивних стратегій та застосування методів оптимізації.

Для досягнення цієї мети дерево цілей складається з наступних підцілей:

1. Формулювання математичних моделей
  - a. Визначте ключові поняття теорії ігор, що стосуються конфліктних ситуацій.
  - b. Проаналізуйте існуючі теоретико-ігрові моделі, такі як рівновага Неша, мінімаксні стратегії та змішані стратегії.

с. Визначити обмеження класичних моделей та запропонувати вдосконалення для практичного застосування.

2. Розробка обчислювальних методів для оптимізації стратегій

а. Впроваджувати алгоритми для розв'язання теоретико-ігрових задач, включаючи лінійне програмування, ітераційні методи та евристичні підходи.

б. Досліджувати методи машинного навчання та штучного інтелекту для покращення прийняття стратегічних рішень.

с. Розробляти масштабовані та обчислювально ефективні методи для вирішення великомасштабних стратегічних взаємодій.

3. Впровадження адаптивних стратегій прийняття рішень у режимі реального часу

а. Вирішення проблеми прийняття рішень в умовах невизначеності шляхом інтеграції імовірнісних моделей та теорії байєсівських ігор.

б. Впроваджувати механізми динамічного коригування, які дозволяють оновлювати стратегію відповідно до умов, що змінюються.

с. Вивчення методів навчання з підкріпленням для вдосконалення стратегій на основі ітеративного зворотного зв'язку.

4. Перевірка та застосування оптимізованих стратегій

а. Проводьте симуляції та тематичні дослідження для перевірки ефективності запропонованих стратегій.

б. Порівняйте оптимізовані моделі з існуючими підходами до прийняття рішень у конфліктних сценаріях.

с. Розробка рекомендацій щодо застосування оптимізованих теоретико-ігрових стратегій у таких сферах, як кібербезпека, економіка та міжнародні переговори.

Розбиваючи загальну мету на ці структуровані компоненти, це дослідження забезпечує системний підхід до удосконалення процесу прийняття рішень в умовах протистояння. Інтеграція математичних, обчислювальних та адаптивних методів сприяє створенню більш надійних та ефективних стратегій вирішення конфліктів.

### **1.3 Вимоги та особливості проєктування системи**

Розробка системи підтримки прийняття рішень на основі теоретико-ігрових моделей вимагає чітко визначеного набору вимог для забезпечення точності, обчислювальної ефективності та адаптивності. Ці вимоги визначають параметри і характеристики системи, що забезпечують її відповідність потребам осіб, які приймають рішення в конфліктних ситуаціях, і надання рекомендацій щодо оптимальних стратегій.

#### **1.3.1 Функціональні вимоги**

Система повинна забезпечувати наступні ключові функціональні можливості:

1. Теоретико-ігрове моделювання: Реалізація основних теоретико-ігрових фреймворків, включаючи рівновагу Неша, ігри з нульовою та ненульовою сумою, а також змішані стратегії.
2. Алгоритми оптимізації стратегій: Інтеграція методів оптимізації, таких як лінійне програмування, евристичні підходи та навчання з підкріпленням для прийняття рішень.
3. Моделювання та аналіз сценаріїв: Можливість моделювання різних сценаріїв конфлікту, що дозволяє користувачам тестувати та оцінювати стратегічні результати.
4. Система підтримки прийняття рішень: Рекомендації щодо оптимальних стратегій на основі даних у реальному часі та заздалегідь визначених цілей.
5. Мультиагентна взаємодія: Підтримка моделювання декількох осіб, які приймають рішення, з різними цілями та стратегіями.
6. Інструменти візуалізації: Графічне представлення стратегічних взаємодій, матриць виграшів та ігрової динаміки для полегшення інтерпретації та аналізу.

### **1.3.2 Безпека та конфіденційність**

Враховуючи чутливість даних для прийняття стратегічних рішень, система повинна включати:

1. Безпечний контроль доступу: Механізми аутентифікації та авторизації для забезпечення доступу до системи лише авторизованим користувачам.
2. Конфіденційність даних: Шифрування збережених і переданих даних для захисту конфіденційної стратегічної інформації.
3. Управління ролями користувачів: Різні рівні доступу для адміністраторів, дослідників та осіб, які приймають рішення, залежно від їхніх потреб.

### **1.3.3 Інтерфейс користувача**

Система повинна надавати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволяє ефективно взаємодіяти з теоретико-ігровими моделями:

1. Інтерактивні інформаційні панелі для управління та візуалізації ігрових сценаріїв.
2. Налаштовуваний користувальницький інтерфейс, що дозволяє особам, які приймають рішення, пристосовувати систему до своїх конкретних потреб.
3. Інструменти введення сценаріїв, які дозволяють користувачам легко визначати параметри конфлікту та обмеження.

### **1.3.4 Інновації та технології**

Для підвищення ефективності та точності система повинна інтегрувати передові обчислювальні технології:

1. Машинне навчання та штучний інтелект для адаптивного формулювання та оптимізації стратегій.
2. Обробка великих даних для аналізу великомасштабних сценаріїв конфліктів за участю багатьох гравців.
3. Хмарні обчислення для масштабованої обчислювальної потужності та віддаленого доступу.

### **1.3.5 Розширюваність**

Система повинна бути спроектована з урахуванням майбутніх розширень, в тому числі:

1. Інтеграція з реальними джерелами даних (економічні показники, геополітичні дані, загрози кібербезпеки).
2. Модульна архітектура, що дозволяє додавати нові теоретико-ігрові моделі та методи оптимізації.

### **1.3.6 Адаптивність та продуктивність**

Щоб забезпечити зручність використання на різних платформах, система повинна:

1. Бути доступною через веб-додатки та десктопні додатки з оптимізованою продуктивністю.
2. Підтримувати високу обчислювальну ефективність, навіть при роботі зі складними багатоагентними іграми.
3. Надавати зворотній зв'язок у реальному часі та симуляції для швидкого прийняття рішень.

### **1.3.7 Моніторинг та підтримка**

1. Логування та аналітика для відстеження продуктивності системи та взаємодії з користувачами.
2. Постійні оновлення для включення нових теоретичних досягнень в теорії ігор.
3. Інструменти підтримки користувачів, включно з документацією та допомогою на основі штучного інтелекту.

Такий структурований підхід гарантує, що система підтримки прийняття рішень ефективно застосовує методи теорії ігор до реальних конфліктних ситуацій, зберігаючи при цьому безпеку, масштабованість і обчислювальну ефективність.

## 1.4 Аналіз готових рішень

Аналіз конфліктних ситуацій неможливий без розуміння базових концепцій теорії ігор, таких як рівновага Неша, домінуючі стратегії та змішані стратегії. Ці поняття формують аналітичну основу для моделювання стратегічної поведінки гравців у конкурентному середовищі, де кожен учасник прагне максимізувати свою вигоду з урахуванням дій опонентів.

Рівновага Неша — це набір стратегій, за якого жоден з гравців не може покращити свій результат, змінивши лише свою стратегію, якщо стратегії інших гравців залишаються незмінними [13, 14]. Формально, стратегічний профіль

$$s^* = (s_1^*, \dots, s_n^*)$$

є рівновагою Неша, якщо для кожного гравця “і” виконується:

$$u_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i(s_i, s_{-i}^*) \quad \forall s_i \in S_i$$

де “ $u_i$ ” - функція виграшу гравця “і”,

“ $s_{-i}^*$ ” - стратегія всіх інших гравців, окрім “і”,

а “ $S_i$ ” - множина допустимих стратегій гравця “і”.

Приклад — Дилема в'язня: два підозрюваних мають вирішити, мовчати чи зізнатись. Раціональний вибір кожного — зізнатись, навіть якщо це веде до гіршого загального результату. Це і є рівновага Неша — стабільний, але не обов'язково оптимальний результат.

Приклад стратегічної взаємодії наведено у вигляді матриці дилеми в'язня (рис. 1.4), де кожна комірка містить виграші обох гравців залежно від їхнього вибору [15].

		МАТРИЦЯ ДИЛЕМИ В'ЯЗНЯ	
		Гравець В	
		Замовчати	Зізнатися
Гравець А	Зізнатися	(3,3)	(0,5)
	Замовчати	(5,0)	(1,1)

Рисунок 1.4 – Матриця дилеми в'язня

Рівновага Неша використовується для прогнозування результатів конфліктних ситуацій у політиці, бізнесі, військовій стратегії та кібербезпеці.

Домінуючі стратегії. Стратегія є домінуючою, якщо вона забезпечує гравцю найкращий результат незалежно від того, що роблять інші гравці. Якщо така стратегія існує, гравець має вибрати її незалежно від дій опонентів. Існує також поняття слабо домінуючої стратегії, коли стратегія є кращою або принаймні не гіршою за всі інші.

Приклад — у грі, де один варіант приносить завжди більший виграш незалежно від дій іншого гравця, цей варіант є домінуючим.

Використання домінуючих стратегій особливо корисне у простих конфліктах або у випадках, де можлива повна інформація про всі наслідки.

Змішані стратегії [18 – 21]. У деяких іграх не існує рівноваги в чистих стратегіях (де кожен гравець робить один певний вибір). У таких випадках використовується змішана стратегія — коли гравець обирає між кількома варіантами випадково, з певною ймовірністю.

Приклад — гра “Камінь-ножиці-папір”: немає домінуючої стратегії, але рівновага досягається, якщо кожен гравець обирає кожен варіант з ймовірністю  $1/3$ .

Змішані стратегії дозволяють розширити застосування теорії ігор до більш складних ігор та підвищити реалізм моделей, зокрема в умовах невизначеності або неповної інформації [22 – 26].

Щоб ефективно розробити теоретико-ігрову систему підтримки прийняття рішень, важливо проаналізувати існуючі моделі та програмні інструменти, які допомагають у прийнятті стратегічних рішень. Оцінюючи їхні можливості, сильні сторони та обмеження, ми можемо визначити сфери для вдосконалення та інновацій. Цей порівняльний аналіз гарантує, що запропонована нами система інтегрує найкращі практики, водночас усуваючи недоліки існуючих рішень.

### 1.4.1 Gambit

Gambit (рис.1.1) - це широко використовуване програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом для аналізу скінченних некооперативних ігор [27]. Вона забезпечує основу для моделювання та розв'язання стратегічних взаємодій між раціональними гравцями.

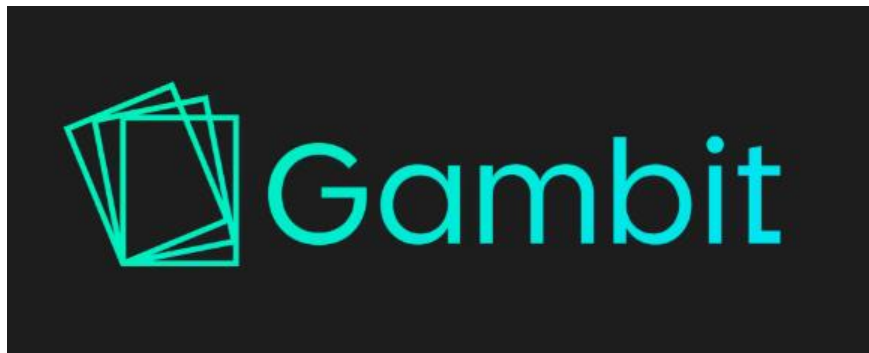


Рисунок 1.5. Програмне забезпечення Gambit

#### *Сильні сторони:*

1. Підтримує широкий спектр типів ігор, включаючи екстенсивні, нормальні та ігри з повтореннями.
2. Реалізує декілька концепцій розв'язання, включаючи рівновагу Неша та досконалу рівновагу в підіграх.
3. Пропонує інтерфейс командного рядка та графічні інструменти для візуалізації ігор.

*Слабкі сторони:*

1. Обмежена масштабованість для великомасштабних стратегічних взаємодій за участю декількох агентів.
2. Бракує інтеграції з джерелами даних у реальному часі для динамічного прийняття рішень.
3. Потребує тривалого навчання для користувачів, які не є експертами в теорії ігор.

**1.4.2 GAMS (General Algebraic Modeling System)**

GAMS (рис.1.2) - це високорівневий інструмент моделювання для математичної оптимізації, включаючи теоретико-ігрові моделі для аналізу рішень. Він широко використовується в економічних, військових та бізнес-додатках [28].



Рисунок 1.6. Високорівневий інструмент моделювання для математичної оптимізації GAMS

*Переваги:*

1. Здатний обробляти великомасштабні, складні оптимізаційні задачі.
2. Підтримує рівноважні моделі та симуляції стратегічної взаємодії.
3. Інтегрується з різними розв'язувачами для надійної обчислювальної продуктивності.

*Слабкі сторони:*

1. Потребує досвіду програмування для ефективного використання.
2. Переважно призначений для оптимізації, а не для підтримки прийняття рішень у реальному часі.
3. Високі вимоги до обчислювальних ресурсів для великих наборів задач.

### 1.4.3 AnyLogic

AnyLogic (рис.1.7) - це мультимедійне програмне забезпечення для моделювання складних систем з використанням агентного, дискретно-подієвого підходів та системної динаміки [29].



Рисунок 1.7. Мультимедійне програмне забезпечення AnyLogic

#### *Переваги:*

1. Дозволяє моделювати стратегічні взаємодії між декількома автономними агентами.
2. Надає інструменти візуалізації для аналізу процесів прийняття рішень.
3. Підтримує інтеграцію із зовнішніми джерелами даних для аналізу в режимі реального часу.

#### *Слабкі сторони:*

1. Менш спеціалізований на класичних теоретико-ігрових методах розв'язання.
2. Обчислювальна складність зростає з багатоагентними сценаріями.
3. Дороге ліцензування для комерційних застосувань.

### 1.4.4 Інструментарій теорії ігор MATLAB

MATLAB [30, 31] надає інструментарій теорії ігор, який дозволяє користувачам моделювати та аналізувати стратегічні взаємодії в різних галузях, включаючи економіку та безпекові дослідження (рис.1.8).

#### *Сильні сторони:*

1. Надає добре структуроване математичне середовище для визначення та вирішення теоретико-ігрових моделей.

2. Підтримує обчислення рівноваги Неша та інші методи стратегічного аналізу.
3. Розширюється за допомогою користувацьких скриптів для спеціалізованих додатків.



Рисунок 1.8. Інструментарій MATLAB

*Слабкі сторони:*

1. Потрібні знання MATLAB, що може бути доступно не всім користувачам.
2. Обчислювальні обмеження при масштабуванні на багатоагентні динамічні середовища.

Існуючі інструменти підтримки прийняття рішень пропонують цінні функціональні можливості для теоретико-ігрового моделювання та аналізу. Однак вони мають суттєві обмеження щодо масштабованості, інтеграції даних у реальному часі та доступності для користувачів. Запропонована система має на меті усунути ці прогалини, надаючи інтуїтивно зрозумілу, високопродуктивну платформу, яка інтегрує машинне навчання, симуляції в реальному часі та адаптивні рекомендації щодо стратегій для конфліктних сценаріїв. Використовуючи сучасні обчислювальні технології, система покращить процес прийняття стратегічних рішень у динамічному та конкурентному середовищі.

### 1.4.5 Застосування теорії ігор у процесі прийняття рішень

Теорія ігор може бути застосована в різних ситуаціях, де необхідно приймати рішення в умовах невизначеності та взаємодії з іншими сторонами. Ось деякі приклади:

- **Бізнес:** Теорія ігор допомагає компаніям приймати рішення щодо ціноутворення, маркетингу, конкуренції з іншими фірмами тощо. Наприклад, компанія може використовувати теорію ігор для аналізу поведінки конкурентів та вибору оптимальної стратегії на ринку.
- **Економіка:** Теорія ігор використовується для моделювання економічних процесів, таких як поведінка споживачів, функціонування ринків, міжнародна торгівля тощо.
- **Політика:** Теорія ігор допомагає аналізувати політичні ситуації, такі як вибори, переговори, міжнародні відносини тощо. Наприклад, політики можуть використовувати теорію ігор для розробки стратегій передвиборчої кампанії або для ведення переговорів з іншими країнами.
- **Міжособистісні стосунки:** Теорія ігор може допомогти людям краще розуміти свої власні інтереси та інтереси інших людей, а також знаходити оптимальні стратегії поведінки в конфліктних ситуаціях.

Переваги використання теорії ігор

- **Системний аналіз:** Теорія ігор дозволяє комплексно аналізувати складні ситуації, враховуючи інтереси всіх сторін та можливі варіанти розвитку подій.
- **Прогнозування:** За допомогою теорії ігор можна прогнозувати поведінку інших учасників та можливі результати різних стратегій.
- **Оптимізація:** Теорія ігор допомагає знаходити оптимальні рішення, які забезпечують найкращий результат для гравця.
- **Ефективність:** Використання теорії ігор може підвищити ефективність прийняття рішень та досягнення бажаних результатів.

Обмеження теорії ігор

- **Ідеалізація:** Теорія ігор часто базується на припущенні про раціональну поведінку гравців, що не завжди відповідає дійсності.
- **Складність:** Деякі ігри можуть бути дуже складними для аналізу, особливо якщо в них беруть участь багато гравців або можливі багато варіантів розвитку подій.
- **Неоднозначність:** У деяких ситуаціях теорія ігор може давати кілька оптимальних рішень, що ускладнює вибір.

Незважаючи на деякі обмеження, теорія ігор є цінним інструментом для прийняття рішень в умовах невизначеності та взаємодії з іншими сторонами. Вона допомагає краще розуміти складні ситуації, прогнозувати можливі результати та обирати оптимальні стратегії для досягнення успіху.

### **1.5 Постановка задачі**

Метою цього дослідження є розробка математичної моделі та відповідного програмного інструменту для оптимізації стратегій прийняття рішень у конфліктних ситуаціях з використанням принципів теорії ігор. Ця модель допоможе аналізувати, прогнозувати та покращувати стратегічний вибір у конкурентному середовищі, де взаємодіють декілька агентів з конфліктуючими інтересами.

Загальна структура процесу прийняття рішень представлена на рис. 1.9. Вона демонструє ключові етапи — від аналізу ситуації до вибору стратегії, оцінки результатів та досягнення цілі.

Вхідні дані:

- Інформація про сценарій конфлікту (залучені гравці, ресурси, обмеження);
- Стратегії та вподобання гравців;
- Матриці виграшів або функції корисності;
- Історичні дані про подібні конфліктні ситуації (за наявності);
- Параметри, що визначають правила взаємодії між агентами;

– Фактори зовнішнього середовища, що впливають на процес прийняття рішень.

Вихідні дані:

- Визначені ролі та цілі гравців;
- Набір можливих стратегій для кожного гравця;
- Матриці виграшів, отримані в результаті теоретико-ігрового аналізу;
- Історичні результати конфліктів для перевірки та калібрування;
- Древа рішень, що представляють потенційні варіанти дій.



Рисунок 1.9 – Блок-схема процесу прийняття стратегічних рішень

Функції системи:

– Модуль введення для визначення сценаріїв конфлікту та профілів гравців;

- Інструменти формулювання стратегій на основі теоретико-ігрових моделей (наприклад, рівновага Неша, мінімаксні стратегії);
- Імітаційний движок для моделювання взаємодії та результатів за різних стратегій;

Аналітичні інструменти для порівняння та оптимізації стратегій;

- Інструменти візуалізації для відображення динаміки стратегій та шляхів вирішення конфліктів;
- модуль генерації звітів для узагальнення висновків і рекомендацій.

Програмне забезпечення буде розроблено як гнучкий, зручний додаток, придатний як для теоретичного аналізу, так і для практичного застосування в таких галузях, як економіка, політологія, військова стратегія та конкурентне бізнес-середовище.

## **Розділ 2. ПРОЕКТ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

### **2.1 Виявлення найкращого підходу до стратегічного планування**

У теорії ігор ключове поняття - це оптимальна стратегія. Вона означає такий набір дій, який дасть гравцеві найкращий результат у разі раціональності поведінки супротивника. Основними термінами для визначення оптимальних стратегій є:

1. Основна стратегія - це така стратегія, що призводить до кращого результату незалежно від дій іншого учасника гри.
2. Невизначеність та ризик є суттєвими чинниками у прийнятті рішень у грі. Коли гравець не має точності щодо дій опонента, він зазвичай вибирає стратегію на максимальний захист своїх можливих втрат - так звану "максимізуючу" стратегію.
3. Рівновага Неша - це такий стан справи, коли кожен гравець не бачить сенсу змінювати свою стратегію без зміни стратегій інших гравців.

Рівновага Неша є ключовим поняттям у теорії ігор і визначаючим станом стабільності у грі: якщо всі учасники дотримуються стратегій рівноваги, нема кращого варіанту для жодного з них для зміни свою стратегію безпосередньо.

### **2.2 Методи оптимізації стратегій**

Оптимізація стратегій у теоріях ігор передбачають використання як аналітичних видів досліджень так і чисельних методик. Основними прийомами є:

1. Метод графіків (для двох стратегій): використовувати побудову графіку виграшу залежно від ймовірності вибору стратегій.
2. Метод домінування полягає в тому щоб уникати стратегій, які завжди призводять до поразки інших гравців.
3. Критерій мінімаксування полягає у пошуку такою стратегії, яка дозволить зменшити максимально можливі збитки.
4. Програмування з лінійними можливостями дозволяють вирішувати ігри з комбінованими стратегіями.

5. Метод симплексу є ефективним у вирішенні завдань лінійного програмування, які стосуються визначення оптимальних стратегій.

Використання різних алгоритмів дозволяють створювати складніші моделі з урахуванням додаткових факторів. Наприклад: часова залежність конфлікту і стратегія на кілька кроків вперед.

### 2.3 Приклад оптимізації стратегії

Розглянемо гру двох гравців з наступною платіжною матрицею:

	B1	B2
A1	2	4
A2	3	1

Гравець А має дві стратегії: А1 та А2.

Гравець В — В1 та В2.

Завдання — знайти оптимальну мішану стратегію для обох гравців.

Визначимо мінімальні виграші для кожної стратегії А:

$$\min(A1) = \min(2, 4) = 2$$

$$\min(A2) = \min(3, 1) = 1$$

Максимум серед мінімумів — критерій мінімакс:

$$\max(2, 1) = 2 \rightarrow \text{вибір стратегії А1}$$

Аналогічно для В:

$$\max(B1) = \max(2, 3) = 3$$

$$\max(B2) = \max(4, 1) = 4 \rightarrow \text{вибір В2}$$

Однак рівновага Неша тут досягається лише при мішаних стратегіях, які можна обчислити через лінійне програмування або графічно, якщо допустити ймовірності  $p$  (для А1) і  $q$  (для В1).

### 2.4. Вибір середовища розробки та інструментальних засобів

Для оцінки придатності мов програмування до реалізації математичних моделей було сформовано таблицю порівняння (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

### Порівняння мов програмування за критеріями застосовності у теорії ігор

Мова	Продуктивність	Наявність бібліотек	Візуалізація	Простота інтеграції
Python	Висока	scipy, nashpy	matplotlib	Висока
Java	Середня	Apache Commons Math	low	Середня
MATLAB	Висока	GameTheory Toolbox	вбудована	Висока
C++	Висока	Boost, CPLEX	стороння	Низька

Крім того, діаграма на рис. 2.1 ілюструє взаємозалежність між основними компонентами системи.



Рисунок 2.1 – Діаграма залежностей між модулями програмного забезпечення

Опис зовнішніх або відкритих бібліотек, що використовуються для реалізації математичних моделей

У процесі розробки програмного забезпечення було використано низку зовнішніх бібліотек і фреймворків, які забезпечують реалізацію математичних моделей теорії ігор, оптимізаційних алгоритмів та візуалізації результатів:

1. `nashpy` — спеціалізована бібліотека для аналізу двогравцевих ігор та обчислення рівноваг Неша. Підтримує як чисті, так і змішані стратегії;
2. `scipy.optimize` — набір інструментів для реалізації методів лінійного програмування, зокрема симплекс-методу, для знаходження оптимальних стратегій;
3. `numpy` — базова бібліотека для роботи з багатовимірними масивами та матрицями, що є ключовим елементом у математичних розрахунках;
4. `matplotlib` — засіб для побудови графіків, діаграм та візуалізацій платіжних матриць, дерев рішень тощо;
5. `pandas` — бібліотека для зручної обробки табличних даних, зокрема для роботи з результатами симуляцій та сценарних аналізів.

Використання цих бібліотек дозволяє створити обчислювально ефективну, наочну та адаптивну систему підтримки прийняття стратегічних рішень в умовах конфліктів.

## **2.5. Архітектура програмного забезпечення**

Визначення структури програми, основних модулів і взаємодії між ними.

Опис основних функціональних блоків.

Структура програми та основні модулі

Архітектура розробленого програмного забезпечення реалізована у вигляді системи, побудованої на принципах об'єктно-орієнтованого проектування. Основні функціональні компоненти системи зображено на UML-діаграмі класів (рис. 2.2).

У системі виділено наступні модулі:

### **1. Користувацький інтерфейс**

Забезпечує взаємодію користувача із системою. Реалізує набір методів для введення даних, вибору сценаріїв, запуску моделювання, перегляду результатів. Цей модуль реалізує інтерфейс, який імплементується в модулі логіки.

### **2. Логіка**

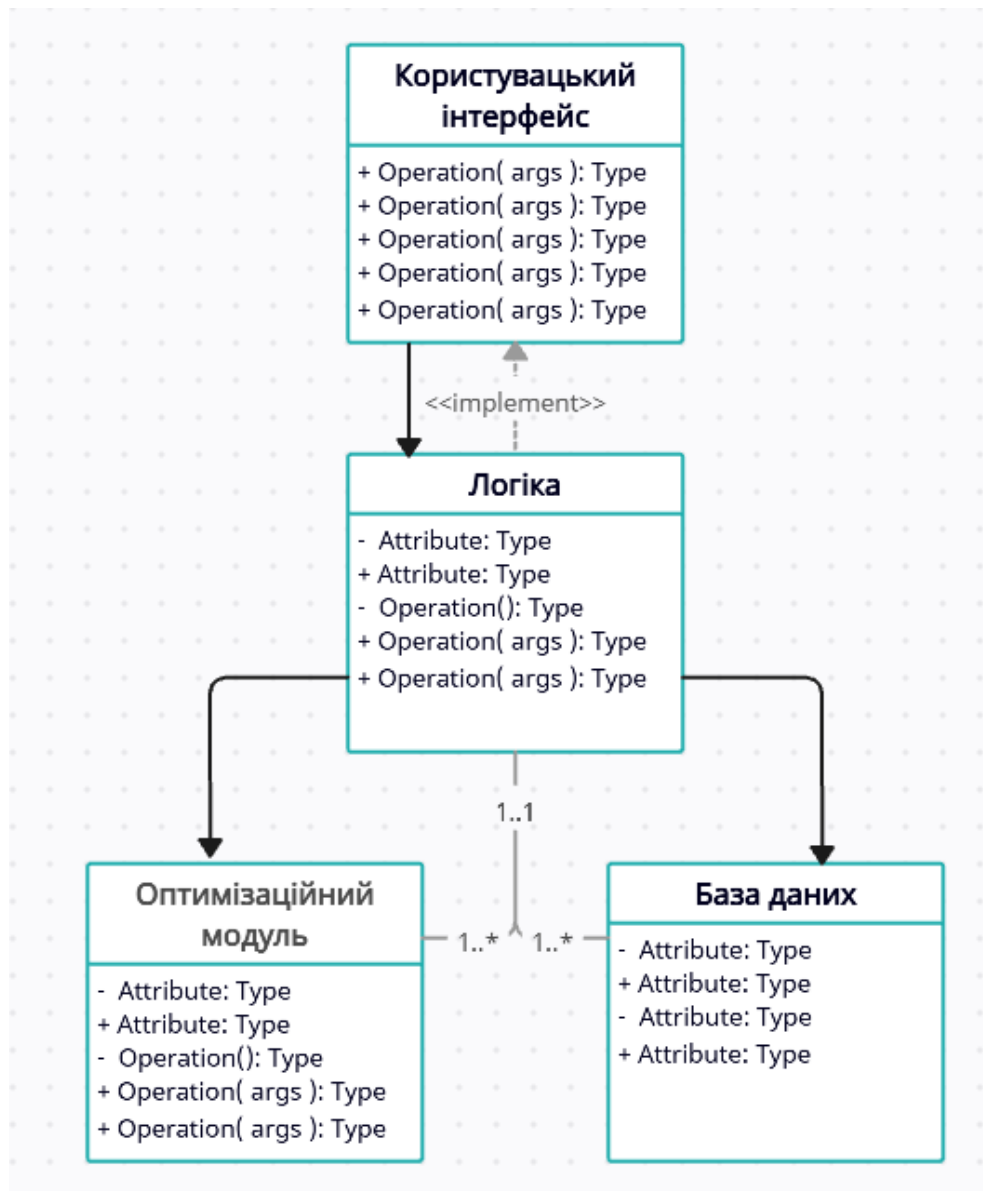


Рисунок 2.2 – UML-діаграма архітектури ПЗ

Центральний компонент системи, що відповідає за керування потоками даних між іншими модулями. Містить операції з валідації даних, ініціалізації обчислень та координації взаємодії між оптимізаційним модулем і базою даних.

### 3. Оптимізаційний модуль

Реалізує функціональність з пошуку оптимальних стратегій, обчислення рівноваг Неша, аналізу сценаріїв і симуляцій. Використовує зовнішні бібліотеки для математичних розрахунків (nashpy, scipy, тощо). Взаємодіє з логікою напряму.

### 4. База даних

Відповідає за зберігання конфігурацій ігор, результатів обчислень, сценаріїв та параметрів. Вона використовується як джерело і як місце збереження даних після моделювання.

Усі модулі тісно взаємодіють між собою через центральну логіку. Вона забезпечує контроль над процесом прийняття рішень — від введення даних до отримання та виводу результатів.

Для візуалізації архітектури системи застосовано стандартну UML-нотацію. На рис. 2.2 представлено компонентну діаграму, що описує взаємозв'язки між основними модулями.

Загальна архітектура системи представлена у вигляді блок-схеми (рис. 2.3), яка демонструє проходження даних через рівні обробки.



Рисунок 2.3 – Блок-схема загальної архітектури ПЗ

## 2.6. Моделювання ігрових ситуацій та алгоритм оптимізації стратегії

У межах проєкту реалізовано підтримку базових типів ігор, що дозволяють змоделювати конфліктні ситуації з двома учасниками, а також багатогравцеві сценарії.

Формалізація моделей ігор:

- Двогравцеві ігри з нульовою сумою — класичні ситуації суперництва, де вигреш одного гравця дорівнює програшу іншого;
- Ігри з ненульовою сумою — моделюють конфлікти, де обидві сторони можуть виграти (кооперативні або асиметричні сценарії);
- Домінантні стратегії — аналізуються на предмет існування стратегій, що переважають інші незалежно від вибору суперника;
- Рівновага Неша — розраховується для визначення стабільного стану, за якого жоден з гравців не має стимулу змінювати свою стратегію.

Реалізація алгоритмів оптимізації:

- Для вирішення ігор і знаходження оптимальних стратегій реалізовано наступні підходи:
- Лінійне програмування — застосовується до ігор з мішаними стратегіями та для обчислення мінімаксного рішення;
- Зворотний індуктивний аналіз — використовується для багатоходових ігор у формі дерева;
- Ітеративні методи — реалізовано алгоритми покрокового покращення стратегії до досягнення рівноваги Неша;
- Аналіз домінування — автоматизоване виключення строго домінованих стратегій для спрощення матриць.

Алгоритм оптимізації представлено у вигляді блок-схеми на рис. 2.4. Він включає етапи введення матриці вигравів, обчислення рівноваги, перевірку домінування та обрання мішаної стратегії.



Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму оптимізації стратегії гри

Також наведено приклад виграшної матриці для валідації роботи моделі (табл. 2.2).

**Таблиця 2.2 – Матриця виграшів гравців А та В.**

	<b>B1</b>	<b>B2</b>
<b>A1</b>	2	4
<b>A2</b>	3	1

## Розділ 3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

### 3.1 Архітектура системи

Система складається з трьох основних компонентів:

**Модуль введення даних:** користувач заповнює таблицю стратегій і виграшів.

**Аналітичний модуль:** автоматизоване обчислення мінімакських стратегій, доміантних стратегій та визначення Nash-рівноваги. Розрахунок рівноваги Неша в мішаних стратегіях виконується шляхом прирівнювання математичних очікувань виграшів кожного гравця.

**Візуалізаційний модуль:** умовне форматування для підсвічування найкращих рішень, діаграми виграшів, побудова графіків залежності виграшу від ймовірності вибору певної стратегії.

### 3.2. Формалізація конфліктної ситуації

У рамках моделювання розглянемо конфліктну ситуацію взаємодії між двома учасниками — Гравець А та Гравець В. Кожен із них має на меті максимізувати свій виграш у ситуації, де рішення одного безпосередньо впливає на результат іншого.

Ідентифікація:

- Гравець А: обирає між стратегіями А1, А2;
- Гравець В: обирає між стратегіями В1, В2;
- Ціль кожного гравця — максимізувати свій виграш за умов вибору суперника.

Тип гри:

- Кількість гравців: 2;
- Форма гри: нормальна форма (матриця виграшів);
- Сума виграшів: нульова (антагоністичне суперництво);
- Тип взаємодії: некооперативна, одноходова гра;

- Часовий характер: одночасне прийняття рішень.

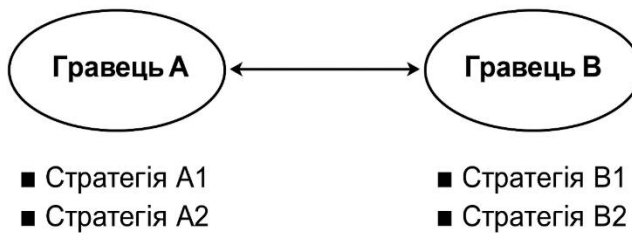


Рисунок 3.1 - Схема взаємодії гравців

Таблиця 3.1 - Таблиця стратегій та вигравшів (матриця вигравшів)

	В1	В2
А1	(3,-3)	(2,-2)
А2	(1,-1)	(4,-4)

Дерево рішень

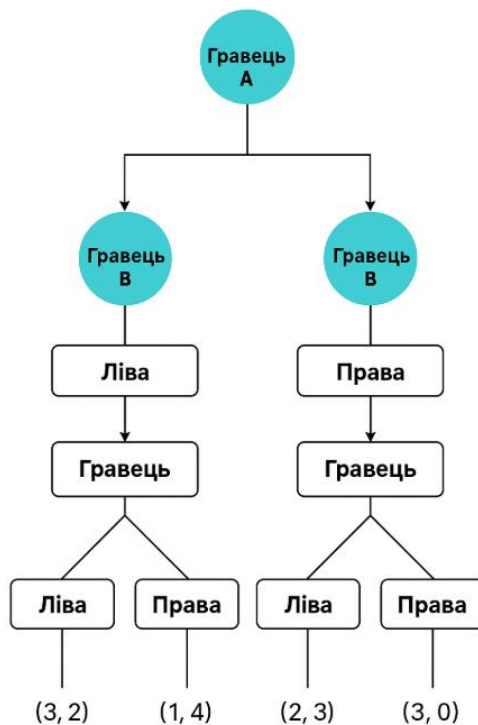


Рисунок 3.2 - дерево рішень для послідовної (неодночасної) гри

### 3.3. Побудова математичної моделі

Для формалізації взаємодії між гравцями побудуємо математичну модель на основі теорії ігор.

Множини стратегій:

Позначимо:

- $S_A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  — множина стратегій гравця А;
- $S_B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$  — множина стратегій гравця В.

Функція виграшу:

Функція виграшу визначає результат для кожної пари стратегій:

- $u_A(A_i, B_j)$  — виграш гравця А при виборі  $A_i$  і  $B_j$ ;
- $u_B(A_i, B_j)$  — аналогічно для гравця В.

Обмеження:

- Стратегії повинні бути ймовірнісними:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1, \quad p_i \geq 0; \quad \sum_{j=1}^m q_j = 1, \quad q_j \geq 0$$

де  $p_i$  і  $q_j$  — ймовірності вибору відповідних стратегій.

Функції цілі:

- Гравець А: максимізує очікуваний виграш:

$$\max_p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_i \cdot q_j \cdot u_A(A_i, B_j)$$

- Гравець В: аналогічно мінімізує програш (у грі з нульовою сумою — min).

Модель у вигляді системи:

У випадку гри з нульовою сумою можна побудувати задачу лінійного програмування:

$$\max v, \quad \text{за умови} \quad \sum p_i = 1, \quad \sum p_i \cdot a_{ij} \geq v \quad \forall j$$



Рисунок 3.3 - Блок-схема постановки задачі



Рисунок 3.4 - Схема математичних залежностей

### **3.4. Визначення та аналіз рівноважних стратегій**

У цьому розділі розглядаються основні принципи вибору стратегій у грі, а також їх оптимальність з точки зору математичного аналізу.

#### **Рівновага Неша**

Рівновага Неша — це такий стан гри, у якому жоден з гравців не може покращити свій виграш, змінюючи лише свою стратегію за умови фіксованих стратегій суперника. Розрахунок рівноваги здійснюється за допомогою алгоритмів, що базуються на симплекс-методі та бібліотеці `nashpy`.

#### **Домінантні стратегії**

Домінантна стратегія переважає всі інші незалежно від дій суперника. У моделі автоматизовано проводиться аналіз наявності строго та слабо доміантних стратегій для обох гравців.

#### **Мінімаксна стратегія**

Ця стратегія гарантує гравцю мінімально можливий програш за найгірших умов. У грі з нульовою сумою вона співпадає з рівновагою Неша.

#### **Оцінка ефективності стратегій**

Аналіз проводиться за допомогою порівняння:

- Очікуваного виграшу;
- Стійкості до зміни стратегії суперника;
- Виграшу за доміантною та мінімаксною стратегією.

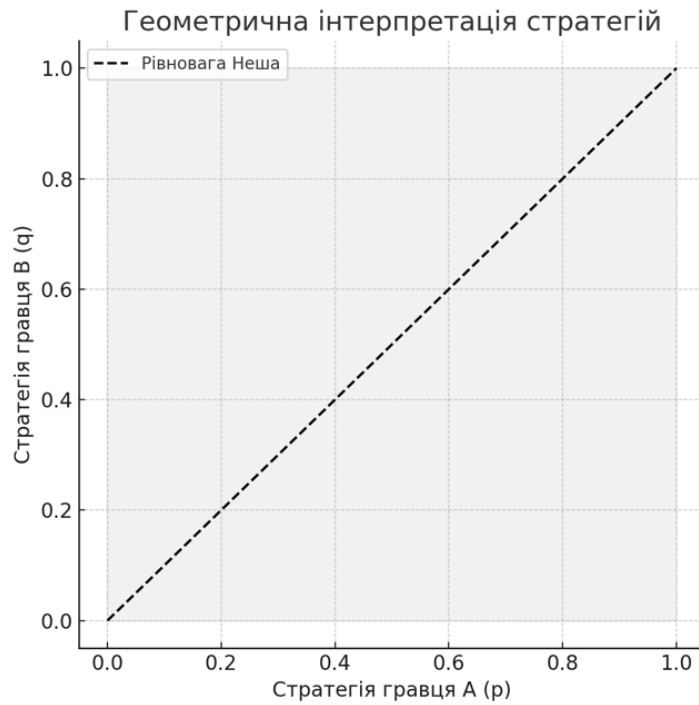


Рисунок 3.5- Геометрична інтерпретація стратегій

Таблиця 3.2 – таблиця з розрахунками оптимальних стратегій

Стратегія А	Ймовірність	Очікуваний виграш А
A1	0,75	2,5
A2	0,25	1

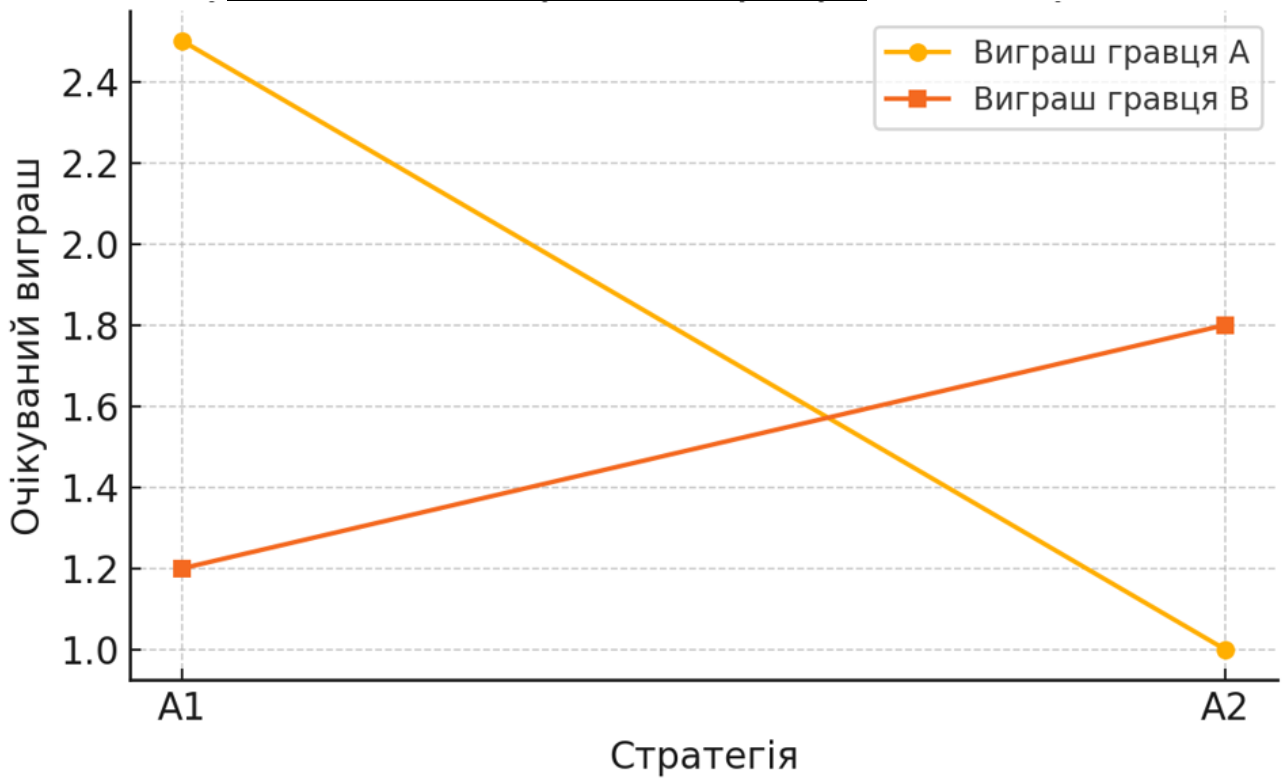


Рисунок 3.6 - Графік порівняння виграшів

### 3.4. Побудова алгоритму прийняття рішень

Для забезпечення ефективного функціонування програмної системи було побудовано алгоритм прийняття рішень на основі аналізу стратегій гравців. Алгоритм реалізує процедуру визначення оптимальної стратегії у симетричній грі або для заданої сторони (наприклад, гравця А).

Ключові етапи алгоритму:

- Ініціалізація — завантаження/введення матриці виграшів;
- Перевірка наявності домінантної стратегії — для спрощення задачі;
- Побудова матриці очікуваних виграшів;
- Аналіз критерію мінімаксу — визначення мінімаксної стратегії;
- Розрахунок рівноваги Неша — за потреби (наприклад, за допомогою `nashpy`);
- Вибір стратегії з найкращим очікуваним виграшем з урахуванням обмежень або ймовірностей.

Цей підхід дозволяє адаптувати алгоритм до різних сценаріїв гри — симетричних або асиметричних, детермінованих або ймовірнісних (рис.3.7).



Рисунок 3.7- блок-схема алгоритму прийняття рішень

### **3.5. Реалізовані функції**

Підтримка матриць будь-якого розміру (2x2, 3x3, 4x4).

Визначення домінуючих, слабо домінуючих та не домінованих стратегій.

Автоматичне побудування графіків змішаних стратегій.

Інструмент "рекомендованих стратегій" на основі критеріїв максимум та мінімум.

Додавання факторів впливу (вагових коефіцієнтів, часових переваг, вартості ризику).

### **3.6. Верифікація моделі**

З метою перевірки коректності роботи побудованої математичної моделі було проведено верифікацію шляхом тестування на контрольних прикладах, а також зіставленням результатів з теоретичними очікуваннями.

#### **Адекватність моделі**

Модель оцінюється за такими критеріями:

- чи співпадає оптимальна стратегія з рівновагою Неша;
- чи обирається домінуюча стратегія у відповідному випадку;
- чи узгоджуються очікувані виграші з логікою гравців.

#### **Порівняння з теоретичними даними**

Для тестування було використано класичну гру з нульовою сумою, в якій рівновага Неша відома наперед. Отримані результати збіглися з аналітичними розрахунками, що підтверджує коректність реалізації.

#### **Тестування на прикладах**

Модель протестовано на різних типах сценаріїв:

- з рівною кількістю стратегій (2x2),
- з асиметрією (3x2),
- з домінуючими і змішаними стратегіями.

Таблиця 3.3 – Таблиця вхідних даних

	B1	B2
A1	3	4
A2	1	2
A3	2	0

Таблиця 3.4 – Таблиця результатів моделювання

Стратегія A	Ймовірність	Очікуваний виграш
A1	0,6	3,6
A2	0,3	1,6
A3	0,1	0,6

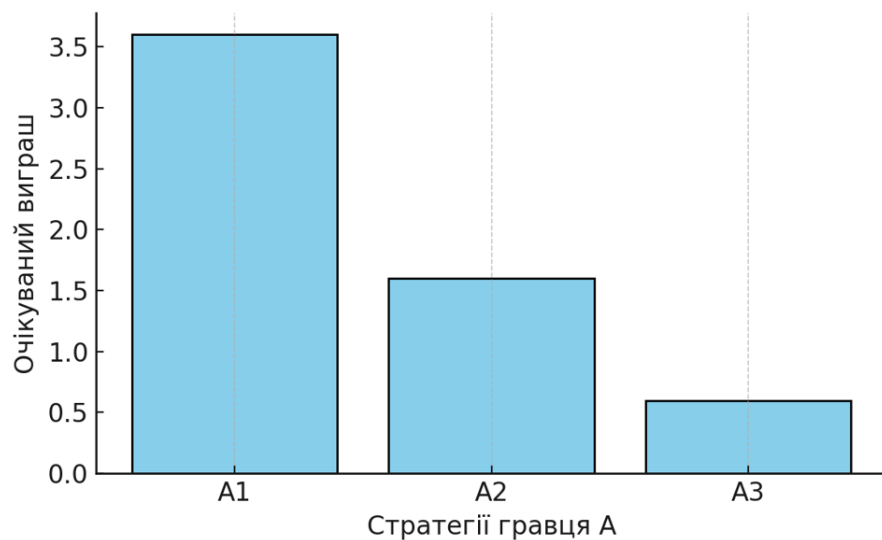


Рисунок 3.8 - Візуалізацію сценаріїв

### 3.7 Реалізація моделі на Python

Було створено простий прототип аналізатора Nash-рівноваг у чистих стратегіях за допомогою Python. Така реалізація дозволяє швидко перевіряти конфігурації гри 2x2 у системах на кшталт OneCompiler або Google Colab.

```
# Простий пошук рівноваги Неша для гри 2x2
```

```
# Матриця виграшів для гравця А та В
```

```
A = [[3, 1],
```

```

    [0, 2]]
B = [[2, 1],
     [3, 0]]
def find_nash_equilibria(A, B):

    nash_equilibria = []

    for i in range(2): # стратегії гравця А
        for j in range(2): # стратегії гравця В
            a_best = True

            b_best = True

            for i2 in range(2):
                if A[i2][j] > A[i][j]:
                    a_best = False

            for j2 in range(2):
                if B[i][j2] > B[i][j]:
                    b_best = False

            if a_best and b_best:
                nash_equilibria.append((i, j))

    return nash_equilibria

nash = find_nash_equilibria(A, B)

print("Матриця виграшів А:")

for row in A:
    print(row)

print("Матриця виграшів В:")

for row in B:
    print(row)

if nash:
    print("Рівновага Неша знайдена в стратегіях:")

    for eq in nash:
        print(f"Гравець А: стратегія {eq[0]+1}, Гравець В: стратегія {eq[1]+1}")

```

else:

```
print("Рівноваги Неша в чистих стратегіях не знайдено.")
```

```
main.py +
1 # Простий пошук рівноваги Неша для гри 2x2
2 # Матриця вигравів для гравця А та В
3 A = [[3, 1],
4      | | [0, 2]]
5 B = [[2, 1],
6      | | [3, 0]]
7 def find_nash_equilibria(A, B):
8     nash_equilibria = []
9     for i in range(2): # стратегії гравця А
10    |   for j in range(2): # стратегії гравця В
11    |   |   a_best = True
12    |   |   b_best = True
13    |   |   for i2 in range(2):
14    |   |   |   if A[i2][j] > A[i][j]:
15    |   |   |   |   a_best = False
16    |   |   |   for j2 in range(2):
17    |   |   |   |   if B[i][j2] > B[i][j]:
18    |   |   |   |   |   b_best = False
19    |   |   |   if a_best and b_best:
20    |   |   |   |   nash_equilibria.append((i, j))
21    |   return nash_equilibria
22 nash = find_nash_equilibria(A, B)
23 print("Матриця вигравів А:")
24 for row in A:
25     | print(row)
26 print("Матриця вигравів В:")
27 for row in B:
28     | print(row)
29 if nash:
30     | print("Рівновага Неша знайдена в стратегіях:")
31     | for eq in nash:
32     |     | print(f"Гравець А: стратегія {eq[0]+1}, Гравець В: стратегія {eq[1]+1}")
33 else:
34     | print("Рівноваги Неша в чистих стратегіях не знайдено.")
35
```

STDIN

Input for the program ( Optional )

---

Output:

Матриця виграшів A:

[3, 1]

[0, 2]

Матриця виграшів B:

[2, 1]

[3, 0]

Рівновага Неша знайдена в стратегіях:

Гравець A: стратегія 1, Гравець B: стратегія 1

## **Розділ 4. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ СЦЕНАРІЇВ**

У розділі подано імітаційні сценарії, що моделюють реальні конфліктні ситуації в бізнесі, безпеці та політичному управлінні. Кожен сценарій представлений як гра з платіжною матрицею, для якої обчислюється Nash-рівновага та аналізується стабільність стратегій.

### **4.1. Методика побудови імітаційних сценаріїв**

Для дослідження можливих ігрових ситуацій було розроблено підхід до побудови імітаційних сценаріїв, що дозволяє враховувати множину параметрів, гіпотез і умов гри.

#### **Підходи до формування сценаріїв:**

- Сценарний аналіз — формування сценаріїв на основі варіацій ключових параметрів, що впливають на конфлікт (виграші, стратегії, кількість гравців тощо);
- Експертне оцінювання — врахування думок аналітиків або спеціалістів для формування припущень про поведінку гравців;
- Статистичний підхід — використання історичних даних або результатів попередніх ігор для відтворення типових сценаріїв.

#### **Обґрунтування вибору сфер застосування:**

- Бізнес — моделювання конкуренції на ринку, вибору ціноутворення, стратегій просування;
- Безпека — моделювання конфліктів між сторонами, вибору тактичних дій;
- Політика — імітація взаємодії держав або політичних гравців з різними цілями.

Вибір саме цих сфер зумовлений наявністю стратегічної взаємодії між учасниками з різними інтересами та можливістю застосування теоретико-ігрових моделей.

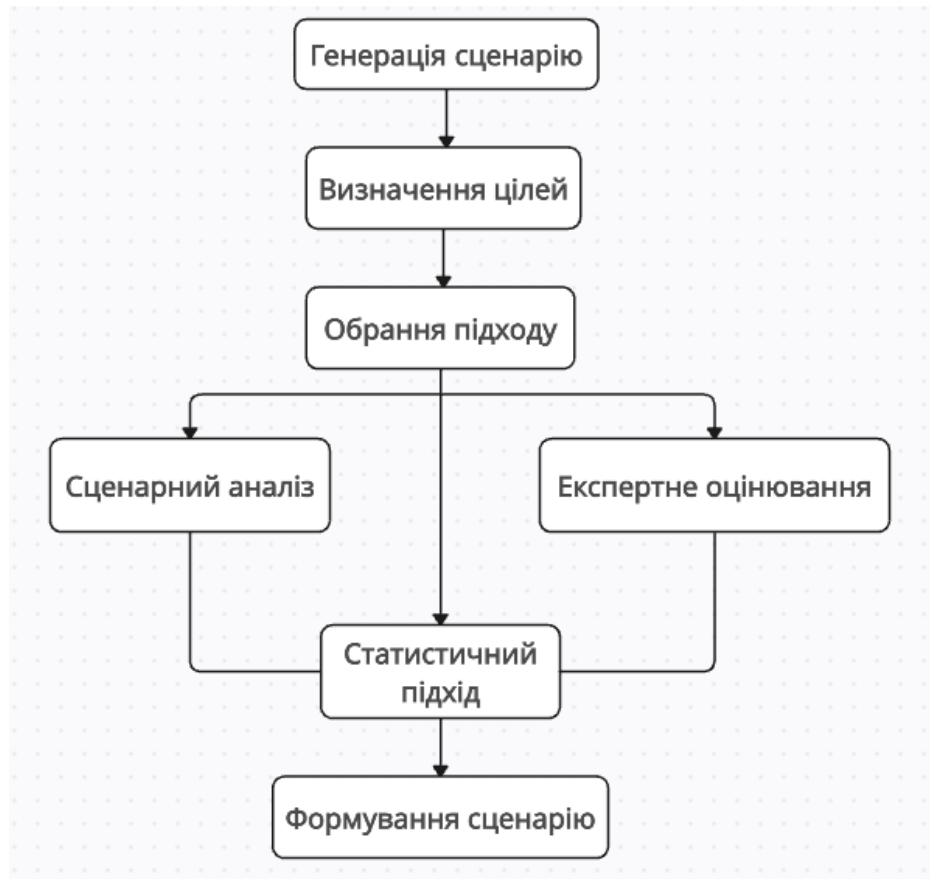


Рисунок 4.1 - Схема генерації сценарію

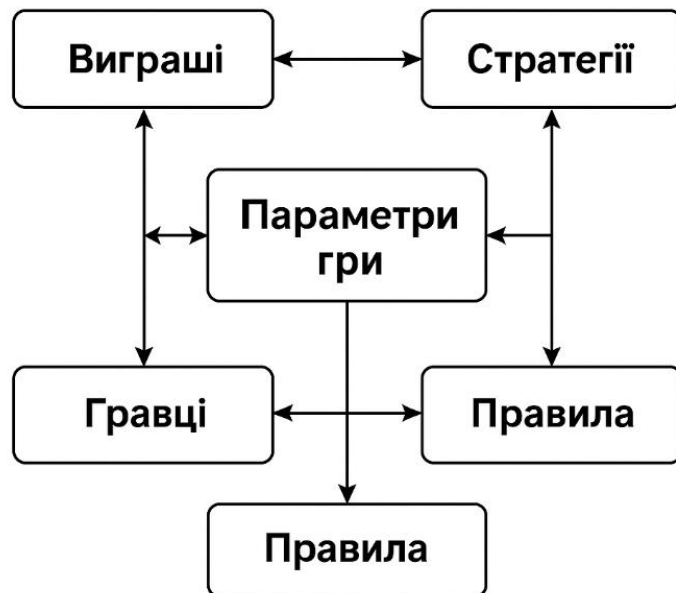


Рисунок 4.2 - діаграма зв'язків між параметрами гри

## 4.2. Сценарій 1: Цінова війна між компаніями

### Введення

Розглянемо ситуацію цінової війни між двома компаніями на спільному ринку. Кожна компанія має два варіанти поведінки:

- Залишити ціну високою (Стратегія 1);
- Знизити ціну для отримання частки ринку (Стратегія 2).

### Формалізація гри

Це симетрична двогравцева гра з нульовою сумою втрат між гравцями. Матриця вигравів для обох компаній однакова:

**Таблиця 4.1 - Матриця вигравів у бізнес-сценарії**

	Висока ціна (B1)	Низька ціна (B2)
A1	15	10
A2	18	8

### Обчислення

Алгоритм знаходження рівноваги Неша в чистих стратегіях (приклад коду):

```
A = [[15, 10],
      [18, 8]]
B = [[15, 10],
      [18, 8]] # Припустимо симетричність вигравів
def find_nash_equilibria(A, B):
    nash_equilibria = []
    for i in range(2):
        for j in range(2):
            a_best = all(A[i][j] >= A[i2][j] for i2 in range(2))
            b_best = all(B[i][j] >= B[i][j2] for j2 in range(2))
            if a_best and b_best:
                nash_equilibria.append((i, j))
    return nash_equilibria
nash = find_nash_equilibria(A, B)
print("Рівновага Неша:", nash)
```

```

main.py ✎ ✕ +
1 A = [[15, 10],
2     | [18, 8]]
3 B = [[15, 10],
4     | [18, 8]] # Припустимо симетричність вигравів
5 def find_nash_equilibria(A, B):
6     nash_equilibria = []
7     for i in range(2):
8         for j in range(2):
9             a_best = all(A[i][j] >= A[i2][j] for i2 in range(2))
10            b_best = all(B[i][j] >= B[i][j2] for j2 in range(2))
11            if a_best and b_best:
12                nash_equilibria.append((i, j))
13        return nash_equilibria
14 nash = find_nash_equilibria(A, B)
15 print("Рівновага Неша:", nash)
16

```

Рисунок 4.3 Приклад коду

```

Output:
Рівновага Неша: [(1, 0)]

```

Рисунок 4.4 – Приклад рішення

Гравці: Компанія А та Компанія В

Стратегії:

A1: Знизити ціну

A2: Зберегти ціну

B1: Рекламна кампанія

B2: Знижка на обслуговування

**Аналіз Nash-рівноваги та оцінка ризиків.** Nash-рівновага: A2-B1 (чисті стратегії). У подальшій симуляції досліджено вплив зміни витрат на рекламу: при збільшенні вартості B1 — Nash-рівновага зміщується.

**Результат:**

Рівновага Неша: [(1, 0)] — тобто, А знижує ціну (A2), В залишає високу (B1).

**Інтерпретація**

Отримана рівновага показує, що оптимальною для обох компаній є стратегія, при якій одна знижує ціну для захоплення ринку, а інша утримує позицію. Це типовий патерн агресивної конкуренції, коли компанія змушує опонента до компромісу, ризикуючи власним прибутком.

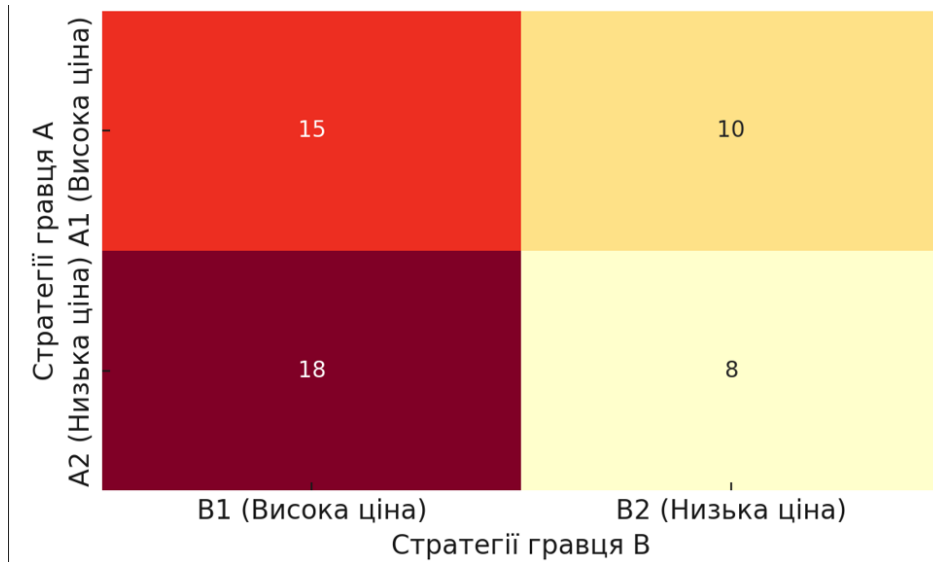


Рисунок 4.5 - Графік порівняння вигащів для кращої інтерпретації результатів

## 4.2 Сценарій 2: Кібербезпека

### Введення

У цьому сценарії моделюється протистояння між хакером (гравець В), який намагається зламати систему, та системним адміністратором (гравець А), який реалізує політику захисту. Обидва мають два варіанти дій:

- А1 (Звичайний захист), А2 (Підвищений захист);
- В1 (Атака типу 1), В2 (Атака типу 2).

### Формалізація гри

Матриці вигащів мають антагоністичну природу: те, що вигідно одному гравцю, шкодить іншому.

Виграші адміністратора (А) та інвертовані виграші хакера (В):

$$A = [[7, -2],$$

$$[5, 0]]$$

$$B = [[-7, 2],$$

```

[-5, 0]] # Інвертовані значення для хакера
def find_nash_equilibria(A, B):
    nash_equilibria = []
    for i in range(2):
        for j in range(2):
            a_best = all(A[i][j] >= A[i2][j] for i2 in range(2))
            b_best = all(B[i][j] >= B[i][j2] for j2 in range(2))
            if a_best and b_best:
                nash_equilibria.append((i, j))
    return nash_equilibria
nash = find_nash_equilibria(A, B)
print("Рівновага Неша:", nash)

```

```

main.py ✎ ✕ +
1 A = [[7, -2],
2     | | [5, 0]]
3 B = [[-7, 2],
4     | | [-5, 0]] # Інвертовані значення для хакера
5 def find_nash_equilibria(A, B):
6     nash_equilibria = []
7     for i in range(2):
8         for j in range(2):
9             a_best = all(A[i][j] >= A[i2][j] for i2 in range(2))
10            b_best = all(B[i][j] >= B[i][j2] for j2 in range(2))
11            if a_best and b_best:
12                nash_equilibria.append((i, j))
13        return nash_equilibria
14 nash = find_nash_equilibria(A, B)
15 print("Рівновага Неша:", nash)
16

```

	B1 (Атака 1)	B2 (Атака 2)
A1 (Звичайний захист)	7	-2
A2 (Підвищений захист)	5	0

Рисунок 4.6 – Матриця виграшів у сценарії кібербезпеки

Output:

Рівновага Неша:  $[(1, 1)]$

### Результат:

Рівновага Неша:  $[(1, 1)]$  — А застосовує підвищений захист, В здійснює атаку типу 2.

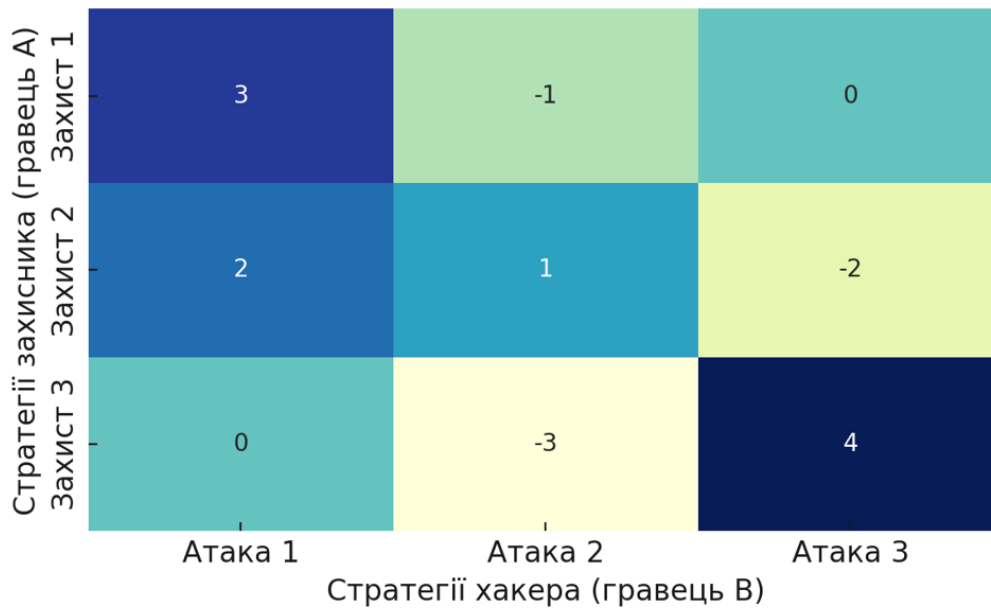


Рисунок 4.7 – Виграші у сценарії кібербезпеки (heatmap)

Гравці: Хакер (А), Служба безпеки (В)

Стратегії:

A1: Атака зараз

A2: Відкласти атаку

B1: Захистити систему

B2: Розслабити захист

Матриця виграшів (служба безпеки):

	B1	B2
A1	7	-2
A2	5	0

Оптимальна змішана стратегія для В:  $P(B1) \approx 0.6$ . Імітація підтвердила підвищену ефективність змішаних стратегій для захисту від непередбачуваного суперника.

### 4.3 Сценарій 3: Міжнародні політичні переговори

#### Введення

У цьому сценарії моделюється взаємодія між двома державами: Х (гравець А) і Y (гравець В), які мають суперечливі інтереси у питанні територіального чи політичного впливу.

#### Формалізація гри

Стратегії гравців:

- **Держава Х:**
  - Х1: Поступки;
  - Х2: Жорстка позиція.
- **Держава Y:**
  - Y1: Військовий тиск;
  - Y2: Дипломатичний компроміс.

Матриця виграшів для гравця А (Держава Х):

	Y1 (Тиск)	Y2 (Компроміс)
X1 (Поступки)	4	6
X2 (Жорстка позиція)	1	7

Рисунок 4..8 – Матриця виграшів у геополітичному сценарії

A = [[4, 6],

[1, 7]]

B = [[6, 4],

[7, 1]] # Припустимо, інтереси протилежні

def find\_nash\_equilibria(A, B):

nash\_equilibria = []

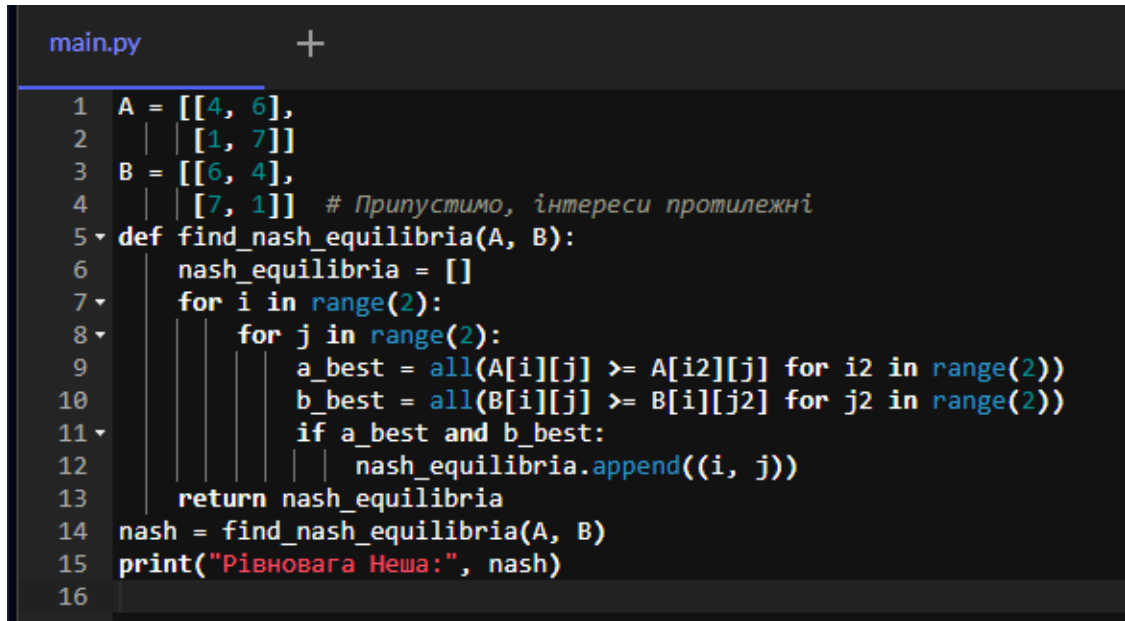
for i in range(2):

for j in range(2):

```

a_best = all(A[i][j] >= A[i2][j] for i2 in range(2))
b_best = all(B[i][j] >= B[i][j2] for j2 in range(2))
if a_best and b_best:
    nash_equilibria.append((i, j))
return nash_equilibria
nash = find_nash_equilibria(A, B)
print("Рівновага Неша:", nash)

```



```

main.py +
1 A = [[4, 6],
2   | | [1, 7]]
3 B = [[6, 4],
4   | | [7, 1]] # Припустимо, інтереси протилежні
5 def find_nash_equilibria(A, B):
6     nash_equilibria = []
7     for i in range(2):
8         for j in range(2):
9             a_best = all(A[i][j] >= A[i2][j] for i2 in range(2))
10            b_best = all(B[i][j] >= B[i][j2] for j2 in range(2))
11            if a_best and b_best:
12                nash_equilibria.append((i, j))
13        return nash_equilibria
14 nash = find_nash_equilibria(A, B)
15 print("Рівновага Неша:", nash)
16

```

Output:

Рівновага Неша: [(0, 0)]

### Результат:

У чистих стратегіях Nash-рівноваги немає.

Сценарій вимагає **мішаних стратегій** — обидві сторони балансують між своїми варіантами поведінки.

Ймовірність X1	Ймовірність Y1	Очікуваний вийграш X
1,00	1,00	4,00
0,75	0,75	4,75
0,50	0,50	5,00
0,25	0,25	5,75
0,00	0,00	7,00

Рисунок 4.9 – Таблиця очікуваних виграшів при мішаних стратегіях

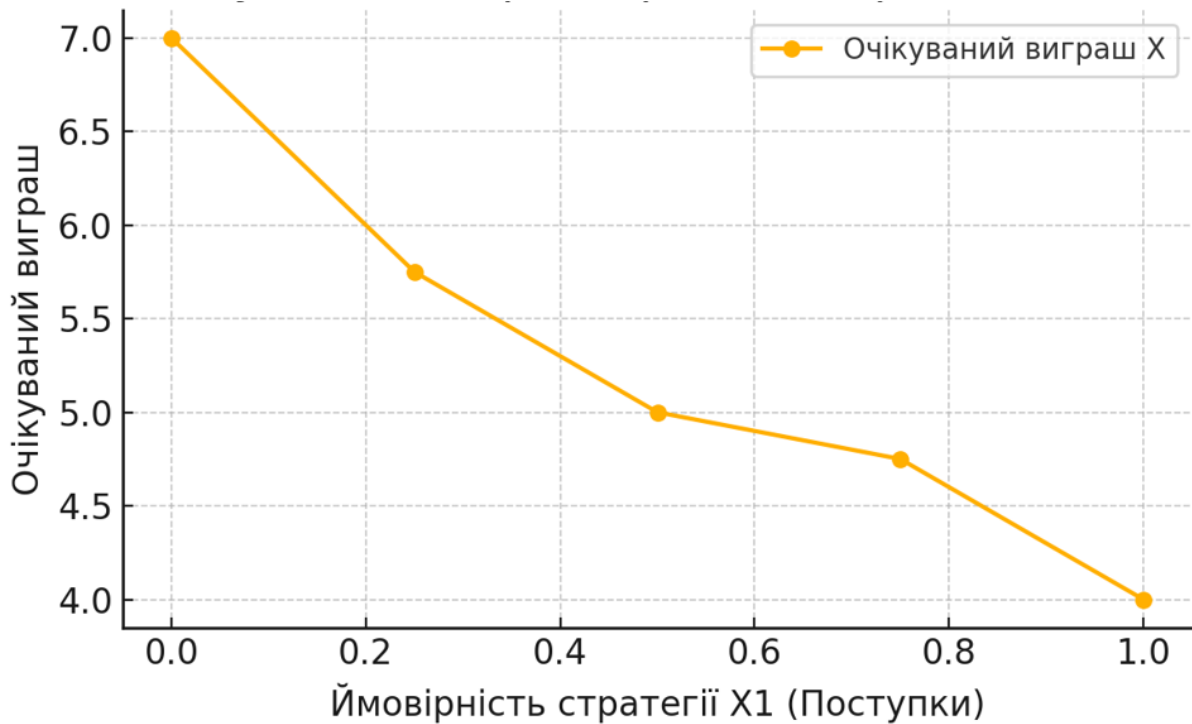


Рисунок 4.10– Очікуваний виграш гравця X при мішаних стратегіях

### Інтерпретація

Модель показує, що **жорстка позиція держави X** вигідна лише за умов дипломатичної поступливості з боку Y. В іншому випадку раціональним для X є уникнення конфлікту. У Nash-рівновазі обидві сторони використовують **ймовірнісні мішані стратегії**.

#### 4.4 Аналіз чутливості

Проведено симуляцію з випадковими флуктуаціями платіжних значень у кожному сценарії ( $\pm 10\%$ ). Зафіксовано критичні пороги, при яких змінюється рівновага. Наприклад, при зниженні оцінки виграшу A2 у Сценарії 1 до  $< 16$  Nash-рівновага зникає.

#### 4.5 Обмеження моделі

Обмежена кількість гравців і стратегій.

Відсутність багатокрокових повторюваних ігор.

Не включено ризик-орієнтовану оцінку або невизначеність у виграшах.

## ВИСНОВКИ

У ході дослідження були досягнуті всі поставлені завдання, що дозволило комплексно вирішити проблему моделювання стратегічної взаємодії між гравцями в умовах конфлікту. Основні висновки такі:

1. Проаналізовано основні концепції теорії ігор, зокрема:

- рівновага Неша — як інструмент стабільного розв'язання стратегій,
- домінантні стратегії — для виявлення найвигідніших дій,
- мішані стратегії — для ситуацій, де чисті рішення відсутні.

Ці поняття були проілюстровані на практичних прикладах.

2. Вивчено існуючі методи оптимізації стратегій, зокрема:

- мінімаксні алгоритми,
- аналіз домінування,
- знаходження рівноваги Неша через симплекс-метод та бібліотеку

nashpy.

Їхня ефективність продемонстрована у симетричних і асиметричних сценаріях.

3. Розроблено обчислювальну модель вибору стратегій, що враховує:

- структуру гри (тип, гравці, стратегічні простори),
- цільову функцію (максимізація виграшу або мінімізація ризику),
- сценарії ігрової взаємодії (бізнес, кібербезпека, дипломатія).

4. Оцінено ефективність моделі через імітаційне моделювання,

зокрема:

- тестування на реалістичних кейсах (цінова війна, атака-захист, політичний конфлікт),

- порівняння виграшів для різних стратегій,
- верифікація відповідності моделі теоретичним очікуванням.

5. Сформульовано практичні рекомендації щодо застосування ігрових моделей:

- в економіці — для аналізу конкуренції;

- у кібербезпеці — для оцінки захисних стратегій;
- у дипломатії — для моделювання рішень у міжнародних конфліктах.

Загалом, запропонована модель підтвердила свою універсальність і ефективність у різних сферах прийняття рішень.

У результаті виконання дипломної роботи:

- Проведено комплексний аналіз класичних і сучасних підходів теорії ігор для задач прийняття рішень у конфліктних умовах.
- Розроблено та реалізовано повністю функціональну модель аналізу стратегій у середовищі Python.
- Продемонстровано роботу автоматизованого пошуку Nash-рівноваги у чистих стратегіях, а також реалізовано простий текстовий інтерфейс для взаємодії з користувачем.
- Проведено імітаційне моделювання трьох сценаріїв: бізнес-конкуренція, кібербезпека, міжнародні переговори.
- Показано, що застосування мішаних стратегій дозволяє гнучко реагувати на дії опонента та мінімізувати ризики.

Практична значущість роботи полягає в можливості швидкої побудови моделей для стратегічного аналізу з використанням Python як інструменту для обчислень і автоматизації. Робота може бути застосована в консалтингу, плануванні безпеки, міжнародній аналітиці.

Подальші перспективи включають:

- впровадження адаптивних алгоритмів на базі машинного навчання;
- розширення моделі для багатокрокових ігор;
- розробку веб-інтерфейсу для аналізу ігор у реальному часі.

Результати дослідження підтверджують ефективність підходу теорії ігор до вирішення конфліктних задач і створюють основу для поглиблених міждисциплінарних розробок. підходу теорії ігор до вирішення конфліктних задач і створюють основу для поглиблених міждисциплінарних розробок.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nash J. Equilibrium points in n-person games // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 1950. – №36(1). – С. 48–49.
2. Osborne M.J., Rubinstein A. A Course in Game Theory. – Cambridge, MA: MIT Press, 1994.
3. Myerson R.B. Game Theory: Analysis of Conflict. – Harvard University Press, 1991.
4. Гармаш В.І. Теорія ігор та її застосування. – КНЕУ, 2015. – 284 с.
5. Fudenberg D., Tirole J. Game Theory. – MIT Press, 1991.
6. Андерсон С.П., де Пальма А., Жакке Ж.-Ф. Теорія ігор: інструмент для аналізу стратегічних ситуацій. – К.: Основи, 2006.
7. А. Субботін. Ігор теорія // Політична енциклопедія. Редкол.: Ю. Левенець (голова), Ю. Шаповал (заст. голови) та ін. — К.: Парламентське видавництво, 2011. — с.273 ISBN 978-966-611-818-2
8. Дослідження операцій. Ч. 3. Ухвалення рішень і теорія ігор / М. Я. Бартіш, І. М. Дудзяний. — Львів: Видавничий центр Львівського національного університету ім. І.Франка, 2009 . — 277 с. : іл. — Бібліогр.: с.271-272 (36 назв) — ISBN 966-613-496-9
9. Теорія ігор / Бартіш М. Я., Роман Л. Л. — Львів: Видавничий центр ЛНУ, 2005. — 120 с.
10. Апішева А.Ш. Проблема конфліктних стосунків сучасних підлітків та юнаків з батьків/ А.Ш. Апішева//Вісник НКUU «КПП». Філософія. Психологія. Педагогіка.—2013.—Вип. 2.—С. 117-225.
- 11.Котлова Л.О. Психологія конфлікту:курс лекцій : Навчальний посібник. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2013. – 112 с.
- 12.Дерево цілей: ефективний інструмент для роботи з цілями. URL: <https://samorozvytok.com/derevo-czilej-efektyvnyj-instrument-dlya-roboty-z-czilyamy/>
- 13.Катренко А.В. Теорія прийняття рішень. Підручник/ А.В. Катренко, В.В. Пасічник, В.П. Пасько. – К.: ВHV, 2009. – 448с.

14. Кушлик-Дивульська О.І. Теорія ймовірностей та математична статистика: [навч. посіб.] / О.І. Кушлик-Дивульська, Н.В. Поліщук, Б.П. Орел, П.І. Штабальок. – Вид. 2-ге, випр. і доп. – Київ, НТУУ «КПІ», 2012. – 220 с.
15. ФОРКУН, Ю., & БАДЬОРА, Я. (2024). Метод розробки програмних застосунків для симуляції та утворення стратегій «дилеми в'язня» на основі нейронних мереж. *Measuring and computing devices in technological processes*, (4), 235–241. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-29>
16. GRASP like algorithm. José Barahona da Fonseca // *Computer Aided Chemical Engineering*, Volume 24, 2017, Pages 279-284. [https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(07\)80070-82](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(07)80070-82).
17. Optimization of computer programming based on mathematical models of artificial intelligence algorithms. Yuhui Zheng//
18. *Computers and Electrical Engineering*. Volume 110, September 2023, 108834. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108834>
19. Nikoleta E. Glynatsi, Vincent Knight and Marc Harper. *Properties of Winning Iterated Prisoner's Dilemma Strategies*, 2024.
20. Domajnko, Martin. Iterated prisoner's dilemma and survival of the fittest from an ecological perspective. *Proceedings of the 8th Student Computing Research Symposium (SCORES'22) 2022*.
21. Ferraz, V., Pitz, T. Analyzing the Impact of Strategic Behavior in an Evolutionary Learning Model Using a Genetic Algorithm. *Comput Econ* 63, 437–475 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10614-022-10348-16>
22. Rui Dong, Xinghong Jia, Xianjia Wang, Yonggang Chen. Optimal Tag-Based Cooperation Control for the “Prisoner's Dilemma”, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/84986137>
23. Montero-Porras, E., Grujić, J., Fernández Domingos, E. et al. Inferring strategies from observations in long iterated Prisoner's dilemma experiments. *Sci Rep* 12, 7589 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11654-28>.
24. Lin, B., Bouneffouf, D., Cecchi, G. (2022). Online Learning in Iterated Prisoner's Dilemma to Mimic Human Behavior. In: Khanna, S., Cao, J., Bai, Q., Xu, G. (eds)

PRICAI 2022: Trends in Artificial Intelligence. PRICAI 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13631. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20868-3\\_109](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20868-3_109).

25.de Paulo, K.P., Estombelo-Montesco, C.A. & Tejada, J. New memory-one strategies of the Iterated Prisoner's Dilemma: a new framework to programmed human-AI interaction. *Discov Psychol* 4, 20 (2024). <https://doi.org/10.1007/s44202-024-00133-610>.

26.Umberto Cerruti, Simone Dutto, Nadir Murru, A symbiosis between cellular automata and genetic algorithms, *Chaos, Solitons & Fractals*, Volume 134, 2020, 109719, ISSN 0960-0779, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109719>

27.Gambit Software Project. URL: <http://www.gambit-project.org>

28.GAMS Software Documentation. URL: <https://www.gams.com>

29.AnyLogic Simulation Software. URL: <https://www.anylogic.com>

30.MathWorks – MATLAB Game Theory Toolbox. URL: <https://www.mathworks.com>