Society's Innovative Development Paradigms in the Era of Digital Transformation and Artificial Intelligence

Katowice 2026

Парадигми інноваційного розвитку суспільства в епоху цифрової трансформації та штучного інтелекту

Монографія

Редактори: Тетяна Несторенко,
Марина Ажажа

The University of Technology in Katowice Press

2026

Редакційна колегія:

Марина Ажажа – д.н.з держ.упр., професор,
Запорізький національний університет, Україна
Назар Добош – к.е.н., доцент, Національний університет «Львівська політехніка», Україна
Надія Дубровіна – к.е.н., PhD, доцент, Братиславський університет
економіки і менеджменту, Словаччина
Домініка Каліта – Сілезька академія
Олександра Мандич – д.е.н., професор, Державний біотехнологічний університет, Україна
Тетяна Несторенко – к.е.н., професор AS, Сілезька академія;
доцент, Бердянський державний педагогічний університет, Україна
Александер Остенда – PhD, професор AS, Сілезька академія
Ірина Остополець – к.психол.н., доцент, Мелітопольський державний педагогічний
університет ім.Б.Хмельницького, Україна
Інеса Хмеляр – к.п.н., доцент, КЗВО «Рівненська медична академія», Україна

Наукові рецензенти :

Вікторія Гурочкіна – д.е.н., професор, Зеленогорський університет
Андрій Папінко – PhD, Західноукраїнський національний університет, Україна
Віта Семанюк – д.е.н., професор, Західноукраїнський національний університет, Україна

Автори несуть повну відповідальність за текст, дані, цитати та ілюстрації.

ISBN 978-83-68422-12-2
DOI: 10.54264/M057

Редакційне упорядкування:
Видавництво Вищої технічної школи в Катовіце
Вул.Рольна, 43, 40-555 Катовіце, Сілезьке воєводство, Польща
tel. (32) 202 50 34; fax: (32) 252 28 75
email: kontakt@wydawnictwo.wst.pl
www.akademiaslaska.pl, www.wydawnictwo.wst.pl

Copyright by Academy of Silesia, Katowice, 2026

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА 7

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ТА ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 9

1.1. Інноваційні освітні технології як засіб підвищення ефективності навчання політичної, економічної і соціальної географії *(Оксана Браславська)* 10

1.2. Інформаційні та інноваційні технології як інструмент забезпечення якості професійної підготовки фахівців у сфері транспортної логістики в Україні та Республіці Польщі *(Людмила Базиль, Денис Жежерун, Валерій Орлов)* 18

1.3. Цифрова дидактика в системі сучасної освіти: виклики, можливості та перспективи *(Микола Близнюк, Дмитро Угрин, Ярослав Радько)* 35

1.4. Програми підготовки докторів філософії з прикладної математики в Україні: відповідність тематичному ландшафту монографічної літератури *(Всеволод Богаєнко, Василь Горбачук)* 46

1.5. Порівняльний аналіз інтерактивних інструментів візуалізації нейронних мереж у контексті навчання інформатики учнів старшої школи *(Тимофій Драгні)* 54

1.6. Дизайн і мистецтво в умовах цифрової трансформації: нові методології дослідження та перспективи розвитку *(Алла Дяченко)* 60

1.7. Цифровізація економіки, підприємництва й освіти: трансформація термінології, компетенцій і знань *(Святослав Жуков)* 67

1.8. Інноваційні технології у корекційно-розвивальному процесі закладу дошкільної освіти *(Тетяна Кудярська)* 75

1.9. Сучасні синтаксичні технології в мовній освіті: інноваційне моделювання модифікацій предиката в парадигмі речення *(Олена Куц)* 87

1.10. Національно-патріотичне виховання в цифровому суспільстві: сучасні технології, можливості та виклики *(Інна Найда)* 95

1.11. Штучний інтелект як засіб мультимодального збагачення творчої взаємодії з дітьми п’ятого року життя *(Ірина Новоселецька)* 102

1.12. Впровадження інноваційних освітніх методик у сферу забезпечення національної безпеки України в умовах воєнного стану *(Василь Омельчук, Олександр Калініченко)* 109

1.13. Викладання німецької мови з використанням цифрових ресурсів за рекомендацією Goethe-Institut в рамках програми DLL *(Олена Павлишинець, Богдана Петришак)* 116

1.14. Навчання студентів з освоєнням інноваційних методик дослідження в медицині *(Оксана Полянська, Ігор Полянський, Ольга Гулага, Інна Москалюк)* 124

1.15. Формування цифрових, педагогічних і ШІ-компетентностей викладача ЗВО для роботи в гібридному форматі *(Інна Прудченко)* 128

1.16. Розвиток системного мислення студентів закладів вищої освіти: проблеми та шляхи їх розв’язання *(Лідія Сліпчишин)* 134

1.17. Особливості взаємозв'язку емоційної сфери та навчально-професійної мотивації майбутніх митців *(Марина Софілканич, Світлана Шевченко)* 141

1.18. Здоров'язбережувальна компетентність як інтегральний результат міждисциплінарної підготовки майбутніх медичних працівників *(Інеса Хмеляр, Леся Кушнір, Оксана Бурбан)* 147

1.19. Індустрія туризму України: проблеми, задачі та технології підготовки кадрів на основі врахування світового досвіду *(Сергій Цвілий, Тетяна Кукліна, Павло Бобрикін)* 158

РОЗДІЛ 2. СТРАТЕГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ЕКОНОМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ТА ЦИФРОВІ ТРАНСФОРМАЦІЇ РИНКІВ 166

2.1. Інформаційно-аналітичне забезпечення прийняття управлінських рішень у проєктах публічно-приватного партнерства *(Марина Ажажа, Артур Дашков, Дмитро Цикін, Марина Койнаш, Олена Раєвнєва)* 167

2.2. Системно-динамічна модель стратегічного управління логістикою експорту сільськогосподарської продукції *(Олег Бернацький, Віктор Нагаєв)* 176

2.3. Розвиток цифрово орієнтованого менеджменту персоналу в аграрних підприємствах *(Сергій Вашечко, Віктор Нагаєв)* 182

2.4. Інформаційні технології в професійній діяльності економістів: міждисциплінарний вимір *(Зоя Гадецька)* 189

2.5. Цифрова трансформація податкового адміністрування в Україні: передумови та концептуальна модель податкової екосистеми *(Наталія Гембарська, Орися Волошин)* 196

2.6. Спектральний аналіз потокових даних ENTSO-E для виявлення аномалій арбітражних ігор на зональних ринках електроенергії *(Віктор Годлюк)* 204

2.7. Гібридні моделі прогнозування цін в різних сегментах ринку електроенергії *(Таміла Голоцукова, Геннадій Голоцуков)* 210

2.8. Економіка постачання у новому тисячолітті *(Василь Горбачук, Андрій Камуз, Лілія Товстенко)* 218

2.9. Цифрова аналітика та штучний інтелект у дослідженні й прогнозуванні поведінки працівників і споживачів *(Тетяна Гринів, Зоряна Скибінська)* 225

2.10. Моделі та методи прогнозування цін на ринках електроенергії *(Максим Дунаєвський)* 233

2.11. Веб-геопортали та інтерактивні туристичні карти як засіб популяризації туристичного потенціалу Кіровоградської області *(Антоніна Зарубіна, Лариса Семенюк)* 241

2.12. Інтегрована платформа ризик-менеджменту банку в умовах цифровізації та драйвери системної трансформації *(Людмила Зверук, Вікторія Гук)* 247

2.13. Бюджетний потенціал регіону в системі публічних фінансів України: сутність, складові та механізми нарощування *(Аліна Козенко)* 253

2.14. Алгоритмічна оптимізація часу руху одноланкового робота-маніпулятора за заданою криволінійною траєкторією *(Василь Кот, Юрій Лотюк, Валентина Юскович-Жуковська)* 260

2.15. Передумови застосування спектрального аналізу для виявлення аномалій у процесах електроенергетичних ринків в реальному часі *(Олександр Кушнір)* 271

2.16. Просторова концентрація соціально-економічної активності України в умовах війни *(Наталія Лисяк, Наталія Самотій)* 279

2.17. «Розумна логістика» як драйвер штучного інтелекту в умовах Industry 5.0: виклики цифрової трансформації та перспективи соціотехнічної еволюції *(Вікторія Оглобліна, Каріна Бєлоконь, Сергій Загородній)* 287

2.18. Прогнозування цін на електроенергію на ринках «На добу наперед», внутрішньодобовому та балансуючому: від статистичних моделей до глибокого навчання *(Дмитро Рибачок)* 295

2.19. Корпоративний договір як цивільно-правовий договір у корпоративному праві *(Микола Скаржинський, Ольга Зіньова)* 301

2.20. Інновації та інноваційність, як невід'ємні елементи розвитку та існування сучасного суспільства *(Олександр Скляренко)* 307

2.21. Інтелектуалізація пошуку та персоналізація клієнтського досвіду в електронній комерції на основі штучного інтелекту *(Тетяна Тардаскіна)* 314

РОЗДІЛ 3. СОЦІОГУМАНІТАРНІ ПАРАДИГМИ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І ТЕХНОЛОГІЇ ЗДОРОВ'ЯЗБЕРЕЖЕННЯ 323

3.1. Еволюція штучного інтелекту: сучасні тенденції та нові вектори розвитку *(Валентина Воронкова, Ольга Венгер, Олександр Фурсін)* 324

3.2. Коеволюційно-синергетична парадигма розвитку штучного інтелекту: самоорганізація, нелінійність і соціотехнічна трансформація *(Валентина Воронкова, Віталіна Нікітенко, Андрій Крупа)* 330

3.3. Онлайн-платформи як інструмент цифровізації та підвищення доступності соціальних послуг в Україні *(Олена Балухтіна)* 336

3.4. Моделювання поведінкових стратегій LLM-агентів в ітераційній грі «дилема в'язня» *(Валентин Водяницький, Валентина Юскович Жуковська)* 342

3.5. Ефективні шляхи та методи боротьби з тривожністю підлітків ВПО *(Людмила Галічій, Світлана Шевченко)* 351

3.6. Інноваційні цифрові технології психологічної підтримки військовослужбовців при роботі з травмою *(Олеся Єсіна)* 357

3.7. Трансформаційна гра як інструмент формування психологічного благополуччя особистості *(Дар'я Камишан)* 364

3.8. Особливості психологічного навантаження на бойових медиків в умовах війни *(Ігор Коваль, Роман Яремко, Каріна Дида)* 369

3.9. Психологічні особливості розвитку мотиваційної сфери внутрішньо переміщених осіб засобами арт-терапії *(Ірина Колдун, Світлана Шевченко)* 376

3.10. Сучасні технології та інноваційні підходи до багаторічної підготовки спортсменів і спортсменок у біатлоні *(Сергій Лазоренко, Віта Ворона)* 384

3.11. Цифрова емпатія як новий феномен психології онлайн-комунікації *(Юрій Ліннік, Дмитро Лисиця, Юлія Лисиця)* 393

3.12. Мехатронний тренажер STEPUP на базі LEGO SPIKE Prime як інструмент дозованої реабілітації нижніх кінцівок *(Юрій Лотюк, Віталій Переходько)* 404

3.13. Впровадження сучасних технологій у спортивну підготовку кваліфікованих бейсболістів *(Тетяна Маленюк, Вікторія Бабаліч, Галина Панченко)* 412

3.14. My Jump Lab як засіб цифрового біомеханічного аналізу рухів у фізичному вихованні та спорті *(Олена Маркова)* 420

3.15. Персоналізація VR-експозиційної терапії засобами штучного інтелекту в роботі з тривожними та фобічними розладами *(Інна Медвідь, Ольга Біцюта)* 427

3.16. Психологічні особливості переживання втрати цивільними в умовах війни *(Єлизавета Овсяннікова, Світлана Шевченко)* 432

3.17. Соціальне середовище як чинник успішної реадаптації ветеранів війни до цивільного життя *(Анна Полякова)* 439

3.18. Віртуальні музеї та цифрові колекції у дослідженні, вивченні та збереженні історико-культурної спадщини України *(Юлія Руденко)* 445

3.19. Вплив занять фізичною культурою на розвиток лідерських якостей учнів старшого шкільного віку *(Ірина Сундукова, Олексій Стасенко, Михайло Корнєєв)* 453

3.20. Цифрова компетентність майбутніх медсестер: ключові характеристики в епоху технологічної медицини *(Дмитро Филипюк, Роман Шустик, Василь Палапа)* 461

3.21. Мотивація як фактор формування педагогічної майстерності у майбутніх учителів фізичної культури *(Ольга Шевченко, Наталія Щербатюк)* 467

АННОТАЦІЇ (ABSTRACTS) 474

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ (INFORMATION ABOUT THE AUTHORS) 494

3.4. МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКОВИХ СТРАТЕГІЙ LLM-АГЕНТІВ В ІТЕРАЦІЙНІЙ ГРІ «ДИЛЕМА В'ЯЗНЯ»

Валентин Водяницький, Валентина Юскович-Жуковська

Анотація. *Досліджено можливість використання локальної великої мовної моделі як механізму прийняття рішень у формалізованому агентному моделюванні. Запропоновано гібридну архітектуру, в якій мовна модель інтерпретує поведінковий профіль, сформульований природною мовою, поточну ситуацію та історію взаємодії, тоді як правила гри, матриця виплат, накопичення балів і ведення логів реалізуються за допомогою детермінованих програмних засобів. Прототип було створено мовою Python із використанням фреймворку LangChain, локального сервера Ollama та моделі Llama 3. Експеримент проведено для двох контрастних агентів – «Раціонального егоїста» та «Наївного альтруїста» – протягом п'яти раундів ітеративної гри «Дилема в'язня». Результати демонструють, що профілювання засобами природної мови дозволяє формувати ефективні стратегії без зміни програмної логіки; водночас індивідуальна перевага егоїстичного агента супроводжується зниженням колективної ефективності. Разом із тим, один короткий експериментальний цикл не дає підстав ототожнювати поведінку агентів, керованих промптами, з поведінкою людини.*

Ключові слова: *велика мовна модель, LLM-агенти, моделювання стратегій, теорія ігор.*

Вступ

Розвиток великих мовних моделей (Large Language Models, LLM) сприяв переходу від використання штучного інтелекту як засобу генерації тексту до побудови автономних програмних агентів, здатних аналізувати контекст, формувати рішення, використовувати зовнішні інструменти та адаптувати свою поведінку відповідно до результатів попередніх взаємодій. У сучасних інформаційних системах LLM-агенти розглядаються як програмні компоненти, які можуть виконувати послідовність взаємопов'язаних дій для досягнення визначеної мети. Це зумовлює необхідність дослідження не лише якості генерованих ними відповідей, а й закономірностей їхньої поведінки в умовах взаємодії з іншими агентами.

Особливий інтерес становить моделювання поведінки LLM-агентів у середовищах, де рішення одного агента залежать від рішень іншого. Такі умови характерні для розподілених інформаційних систем, мультиагентних програмних середовищ, систем підтримки прийняття рішень та людино-машинної взаємодії. У цьому контексті класичні моделі теорії ігор можуть використовуватися як формалізоване середовище для дослідження стратегій, які обирають LLM-агенти.

Однією з базових моделей для такого дослідження є «Дилема в'язня», яка дає змогу формалізувати конфлікт між індивідуальною вигодою та взаємною кооперацією. В ітераційному варіанті гри рішення приймаються послідовно, тому результат попередніх раундів може впливати на подальшу поведінку учасників. Це створює можливість досліджувати такі характеристики LLM-агентів, як схильність до кооперації або зради, послідовність ухвалення рішень, реакція на попередні результати та використання контекстної пам'яті. На відміну від традиційних алгоритмічних агентів, поведінкова стратегія LLM-агента не обов'язково задається однією детермінованою функцією переходу. Вона може формуватися в результаті взаємодії системного профілю агента, поточного контексту, історії попередніх раундів та механізму генерації відповіді. Тому для дослідження поведінки LLM-агентів необхідно сформувати програмне середовище, у якому зазначені компоненти можуть бути контрольовано задані та відтворені.

Важливим напрямом є також використання локального інференсу, який дає змогу виконувати LLM-моделі без передавання ігрового контексту до зовнішніх хмарних сервісів.

Це створює умови для відтворюваного експериментального дослідження, оскільки програмне середовище, профілі агентів, історія взаємодії та правила гри можуть бути інтегровані в єдину локальну систему. Водночас локальна архітектура дозволяє досліджувати вплив різних параметрів агента без зміни структури самого ігрового середовища.

Аналіз останніх публікацій

Великі мовні моделі дедалі частіше використовуються не лише для генерування тексту, а й як когнітивне ядро програмних агентів. На відміну від класичних правилоорієнтованих моделей, такий агент може інтерпретувати опис ролі природною мовою, враховувати контекст попередніх подій і формувати пояснення власного вибору. Це відкриває можливості для дослідження стратегій довіри, кооперації, конкуренції та адаптації у контрольованих середовищах (Russell, 2021; Russell, 2024; Tunstall, 2022; Alammar, 2024).

Водночас мовна модель продукує варіативний неструктурований текст, тоді як симуляційне середовище потребує однозначних станів і відтворюваних обчислень. Тому актуальним є не використання LLM як неконтрольованого «симулятора людини», а побудова гібридної системи: модель відповідає за контекстний вибір, а формальний програмний шар – за допустимі дії, правила, винагороди та аналітику. Такий поділ також узгоджується з поведінковим підходом Тюрінга: предметом спостереження є зовнішня реакція системи, а не твердження про наявність у неї свідомості (Poole, 2023).

У цій роботі поведінка розглядається як спрощена модель вибору дії за умов стратегічної взаємодії, а не як повне відтворення людської психіки. Формальним середовищем обрано ітераційну «Дилему в'язня», де конфлікт між індивідуальною вигодою та спільною ефективністю має чітке кількісне представлення (Espinola-Arredondo, 2023; Pal, 2026; Osborne, 2003).

Теоретичну основу становлять чотири взаємодоповнювальні підходи. Теорія ігор формалізує стратегічну залежність результату одного учасника від дії іншого (Espinola-Arredondo, 2023; Osborne, 2003; Preto, 2025).

Ітераційна «Дилема в'язня» вводить історію взаємодії, завдяки чому виникають довіра, репутація, покарання за зраду та можливість відновлення кооперації (Pal, 2026).

Агентне моделювання відокремлює автономних суб'єктів від середовища, яке координує їхні дії (Russell, 2021). Великі мовні моделі дають змогу переносити частину поведінкової специфікації з умовних операторів у системні інструкції (Raschka, 2024; Tunstall, 2022; Alammar, 2024).

Принцип модельного мислення передбачає, що складне явище доцільно досліджувати через множину спрощених моделей, кожна з яких висвітлює окрему властивість (Page, 2018). Тому профілі «Раціонального Егоїста» та «Наївного Альтруїста» не є психологічною типологією людей. Це навмисно контрастні сценарні моделі: перша орієнтована на максимізацію власного виграшу, друга – на кооперацію, прощення окремих порушень і самозахист у разі втрати довіри. Локальне виконання зменшує залежність від зовнішніх API, зберігає експериментальний контекст на комп'ютері дослідника та дає змогу повторювати запуск без тарифних обмежень. Разом із тим, автономність не дорівнює повній відтворюваності: необхідно фіксувати версію моделі, digest, квантизацію, версії бібліотек, seed і параметри генерації відповідно до (Ollama Documentation, 2026; Huyen, 2022; Meta Llama Documentation, 2026). У працях Yuskovych-Zhukovska (2025), Kasatkin (2026) показано, що алгоритми машинного навчання, обробка природної мови, прогнозну аналітику та інтелектуальну автоматизацію можна інтегрувати в інструменти управління IT-проєктами, в тому числі у розробці ігрових середовищ.

Отже, аналіз сучасних досліджень свідчить про активний розвиток підходів до використання LLM як автономних і напівавтономних програмних агентів, однак питання формалізованого моделювання їхніх поведінкових стратегій у повторюваній взаємодії залишається недостатньо дослідженим. Зокрема, потребують подальшого вивчення

програмні механізми поєднання LLM-агентів із формалізованим ігровим середовищем, параметризованими профілями поведінки, контекстною пам'яттю та локальним інференсом. Це зумовлює доцільність розроблення локальної програмної системи, яка забезпечує контрольоване відтворення та експериментальне дослідження стратегій кооперації і зради LLM-агентів у багаторазових раундах ітераційної гри.

Мета дослідження

Метою дослідження є розроблення та експериментальна апробація локальної програмної системи моделювання поведінкових стратегій LLM-агентів в ітераційній грі «Дилема в'язня» з використанням параметризованих профілів, контекстної пам'яті та локального інференсу, а також дослідження характеру вибору стратегій кооперації та зради в послідовних раундах ітераційного ігрового середовища.

Завдання дослідження

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- формалізувати ігрове середовище та правила взаємодії двох LLM-агентів;
- розробити архітектуру локальної програмної системи моделювання;
- реалізувати профілі поведінки та механізм пам'яті агентів;
- організувати локальний інференс LLM-моделей у програмному середовищі;
- провести серію ітераційних ігрових раундів із фіксацією рішень та отриманих виграшів;
- порівняти експериментальні результати з теоретично визначеними сценаріями поведінки;
- оцінити можливість використання розробленої системи для подальшого моделювання поведінки LLM-агентів у мультиагентних середовищах.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні формалізованого ігрового середовища з програмним моделюванням LLM-агентів, що створює основу для дослідження їхньої поведінки як програмних компонентів у контрольованих багатоетапних взаємодіях. Сформуємо контрастні поведінкові профілі агентів «Раціональний Егоїст» та «Наївний Альтруїст» (рис. 1).

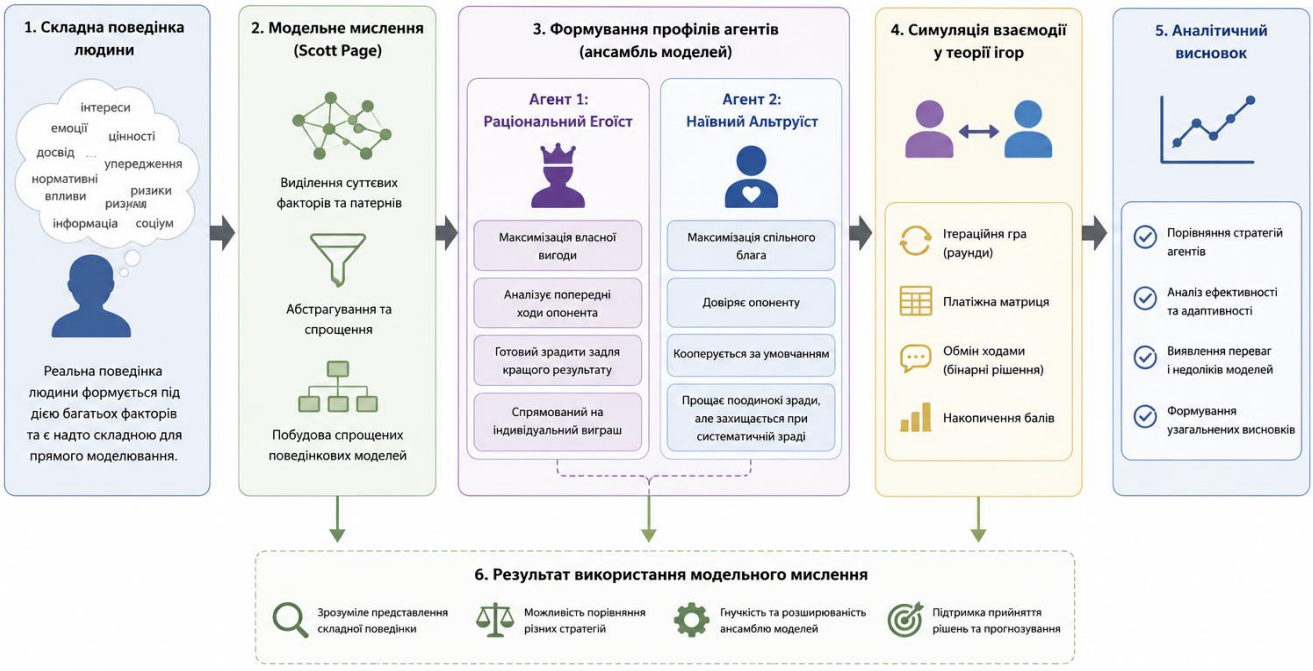


Рис. 1. Формування контрастних поведінкових профілів агентів

Джерело: побудовано авторами

На концептуальному рівні рішення агента подано як функцію $D = f(P, S, H)$, де P – природномовний профіль поведінки, S – опис поточної ситуації, H – історія попередніх взаємодій, а D належить до множини {«Кооперуватися», «Зрадити»}. Така конструкція поєднує гнучке мовне міркування з бінарним станом, придатним до формального оцінювання. Механізм ухвалення рішення LLM-агентом відображено на рис.2.

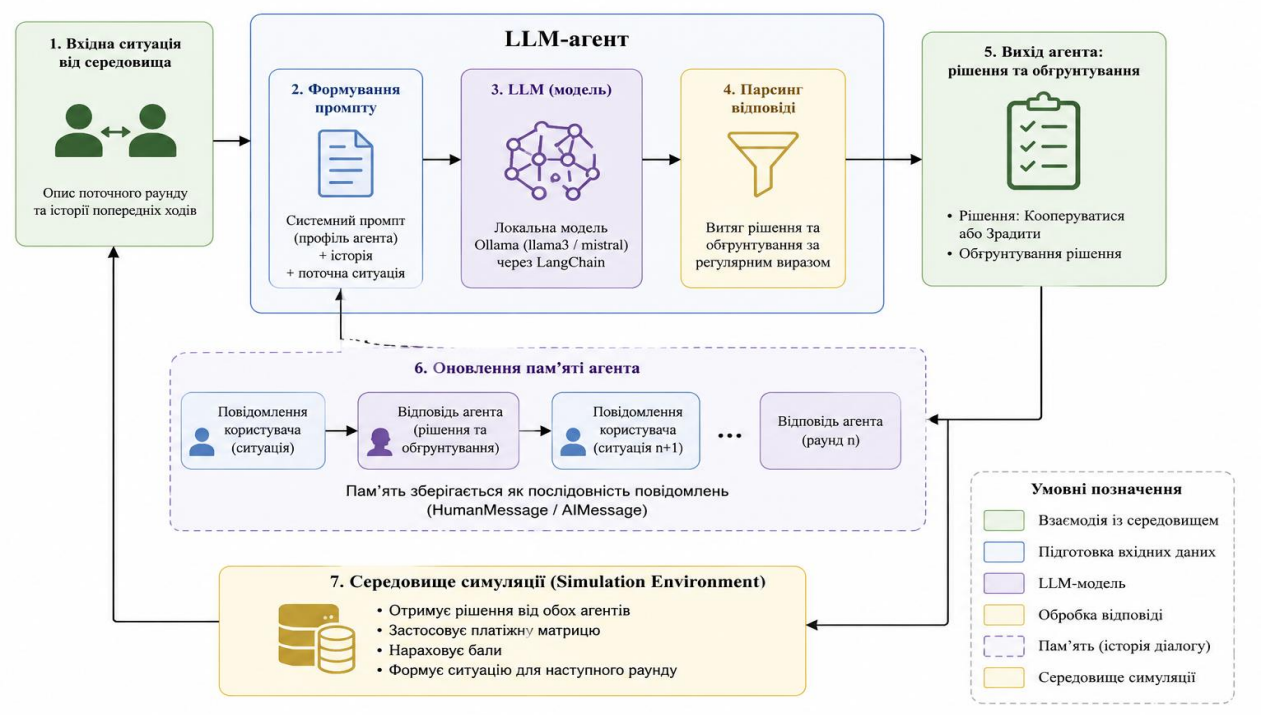


Рис.2. Механізм ухвалення рішення LLM-агентом
Джерело: побудовано авторами

У кожному раунді обидва агенти незалежно обирають кооперацію або зраду. Середовище не змінює їхні відповіді по суті, а нормалізує вибір і застосовує класичну платіжну матрицю. Взаємна кооперація дає по 3 бали; одностороння зрада – 5 балів зраднику і 0 тому, хто кооперується; взаємна зрада – по 1 балу. Отже, індивідуальна спокуса зрадити конфліктує з максимальним сумарним результатом 6 балів за раунд.

Таблиця 1. Платіжна матриця експерименту

Дія агента A	Дія агента B	Бали A	Бали B
Кооперуватися	Кооперуватися	3	3
Кооперуватися	Зрадити	0	5
Зрадити	Кооперуватися	5	0
Зрадити	Зрадити	1	1

Джерело: розроблено авторами

Прототип реалізовано мовою Python. Для побудови ланцюжка «шаблон промпту → локальна модель → текстовий парсер» використано LangChain, для локального інференсу – Ollama, а для побудови графіків – Matplotlib (Python Documentation, 2026).

Основний запуск виконувався з моделлю llama3 та температурою 0,3 на комп'ютері з Kubuntu Linux, процесором Ryzen 5 8400F і відеокартою NVIDIA RTX 4070 SUPER із 12 ГБ VRAM. Точного digest і квантизації моделі у вихідному протоколі не зафіксовано, що враховано як обмеження відтворюваності.

Таблиця 2. Основні параметри експерименту

Параметр	Значення
Кількість і тип агентів	2: «Раціональний Егоїст», «Наївний Альтруїст»
Сценарій	Ітераційна гра «Дилема в'язня»
Кількість раундів	5
Модель та інференс	llama3; локальний сервер Ollama
Температура	0,3
Результати	Протокол рішень, пояснення, рахунок, Markdown - звіт і графіки

Джерело: розроблено авторами

Експериментальні дані генерувала сама система; зовнішній датасет і людські учасники не використовувалися. Одиницею спостереження був раунд, для якого фіксували номер, формалізоване рішення кожного агента, згенероване пояснення, бали за хід і накопичений рахунок. Аналіз включав опис послідовності дій, частки кооперації та зради, середні виграші й порівняння з двома теоретичними межами – повною взаємною кооперацією та повною взаємною зрадою.

Архітектура та програмна реалізація

Розроблена система має три основні рівні. На рівні інференсу Ollama обслуговує локальну LLM, а LangChain формує послідовність обробки запиту. Рівень агента об'єднує системний профіль, ситуаційний контекст, історію повідомлень, виклик моделі й парсинг відповіді. Рівень середовища керує раундами, передає однакові правила обом агентам, застосовує платіжну матрицю та зберігає результати. Допоміжний аналітичний модуль генерує консольний протокол, Markdown-звіт і графіки.

Поділ відповідальностей є суттєвим для надійності експерименту. Мовна модель визначає лише поведінковий вибір і текстове пояснення, тоді як критичні обчислення залишаються детермінованими. Завдяки цьому новий поведінковий профіль можна додати шляхом заміни системного промпту, не змінюючи середовище, а нову гру – шляхом заміни правил і матриці без перебудови механізму інференсу. Така модульність також підтримує супроводжуваність і контрольованість програмної системи як характеристики її якості (Huyen, 2022; ISO/IEC 25010, 2011). Повний цикл роботи розробленої агентної симуляційної системи зображено на рис.3.

Пам'ять організована на двох рівнях. Локальна історія агента є послідовністю повідомлень, яку повторно передають моделі для врахування контексту. Глобальна історія середовища є списком структурованих записів про раунди та використовується для розрахунків і звітності. Розмежування запобігає змішуванню природномовного контексту з формальними експериментальними даними.

Від моделі вимагається відповідь із двома полями: «Вибір» і «Обґрунтування». Регулярний вираз нормалізує поле вибору до однієї з двох дозволених дій. Якщо строгий формат не знайдено, програмний fallback шукає корінь «зрад» у тексті, а за його відсутності повертає кооперацію. Такий механізм підтримує безперервність симуляції, але може створити систематичну похибку класифікації; у наступних версіях доцільно перейти до структурованого JSON-виводу зі схемною валідацією.

Основні результати дослідження

У першому раунді обидва агенти обрали кооперацію й отримали по 3 бали. У другому «Раціональний Егоїст» зрадив, тоді як «Наївний Альтруїст» продовжив кооперуватися, що дало результат 5:0. У третьому раунді обидва агенти зрадили й отримали по 1 балу. Після цього вони відновили кооперацію у четвертому раунді, але у п'ятому егоїстичний агент знову використав кооперативний вибір опонента. Фінальний рахунок становив 17:7 (табл.3).

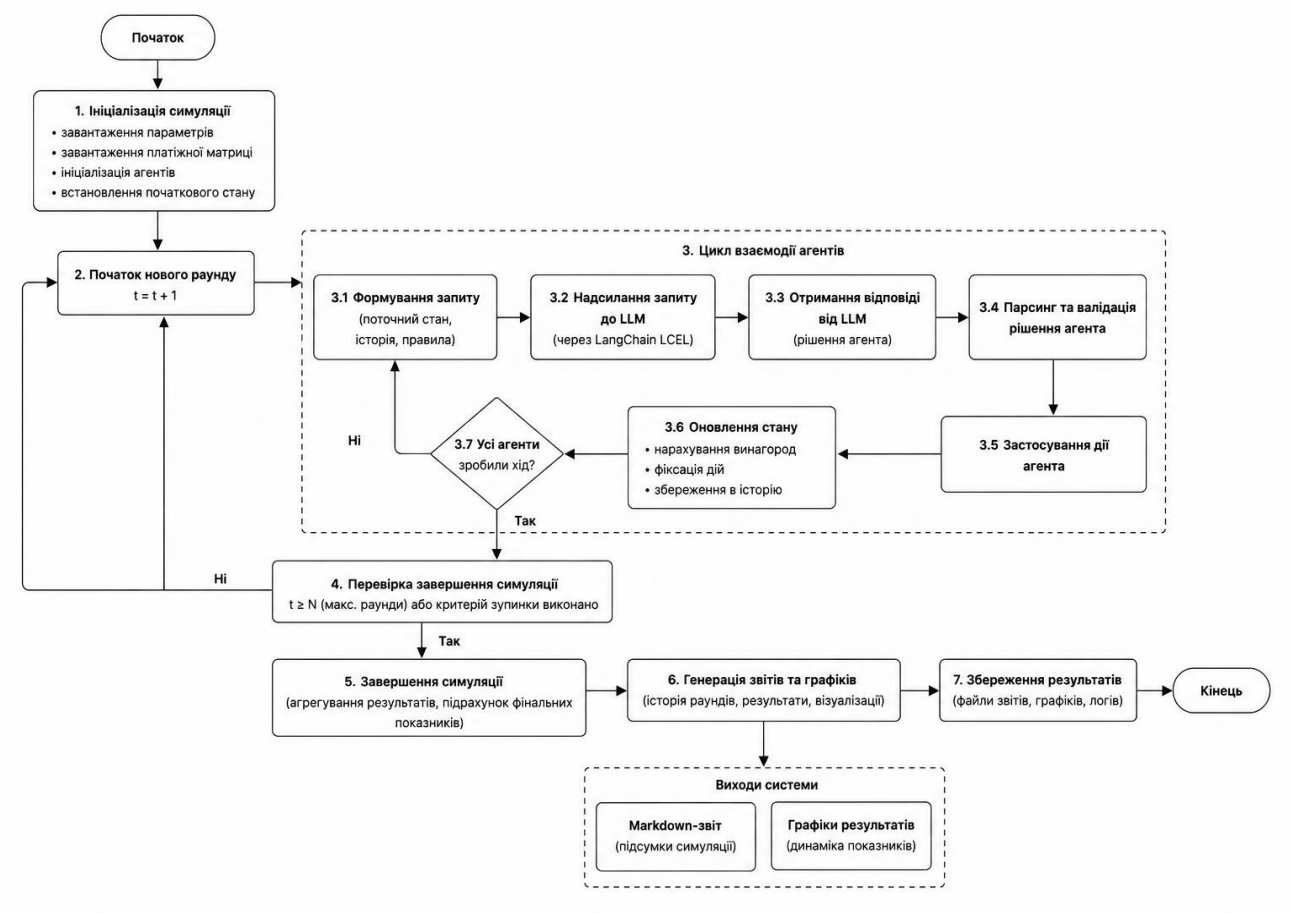


Рис.3. Повний цикл роботи агентної симуляційної системи
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3. Протокол п'яти раундів симуляції

Раунд	Раціональний Егоїст	Наївний Альтруїст	Бали за хід	Рахунок
1	Кооперуватися	Кооперуватися	3:3	3:3
2	Зрадити	Кооперуватися	5:0	8:3
3	Зрадити	Зрадити	1:1	9:4
4	Кооперуватися	Кооперуватися	3:3	12:7
5	Зрадити	Кооперуватися	5:0	17:7

Джерело: розроблено авторами

Егоїстичний агент кооперувався у 2 із 5 раундів (40%) і зраджував у 3 (60%); альтруїстичний – кооперувався у 4 раундах (80%) і зрадив один раз (20%). Середній виграш за раунд становив відповідно 3,4 і 1,4 бала. Із десяти індивідуальних рішень шість були кооперативними, тобто загальна частка кооперації дорівнювала 60%. Взаємна кооперація спостерігалася у 40% раундів, одностороння зрада Егоїста – у 40%, взаємна зрада – у 20%.

Як вбачається з рис.4, після першого раунду рахунок був рівним. Перевага Егоїста виникла в другому раунді та зберігалася до завершення. Взаємна зрада у третьому раунді дала найменший сумарний приріст – 2 бали, тоді як повернення до взаємної кооперації у четвертому забезпечило 6 балів. Ця динаміка ілюструє центральний конфлікт гри: експлуатація довіри може бути індивідуально вигідною, але зменшує сукупну винагороду.

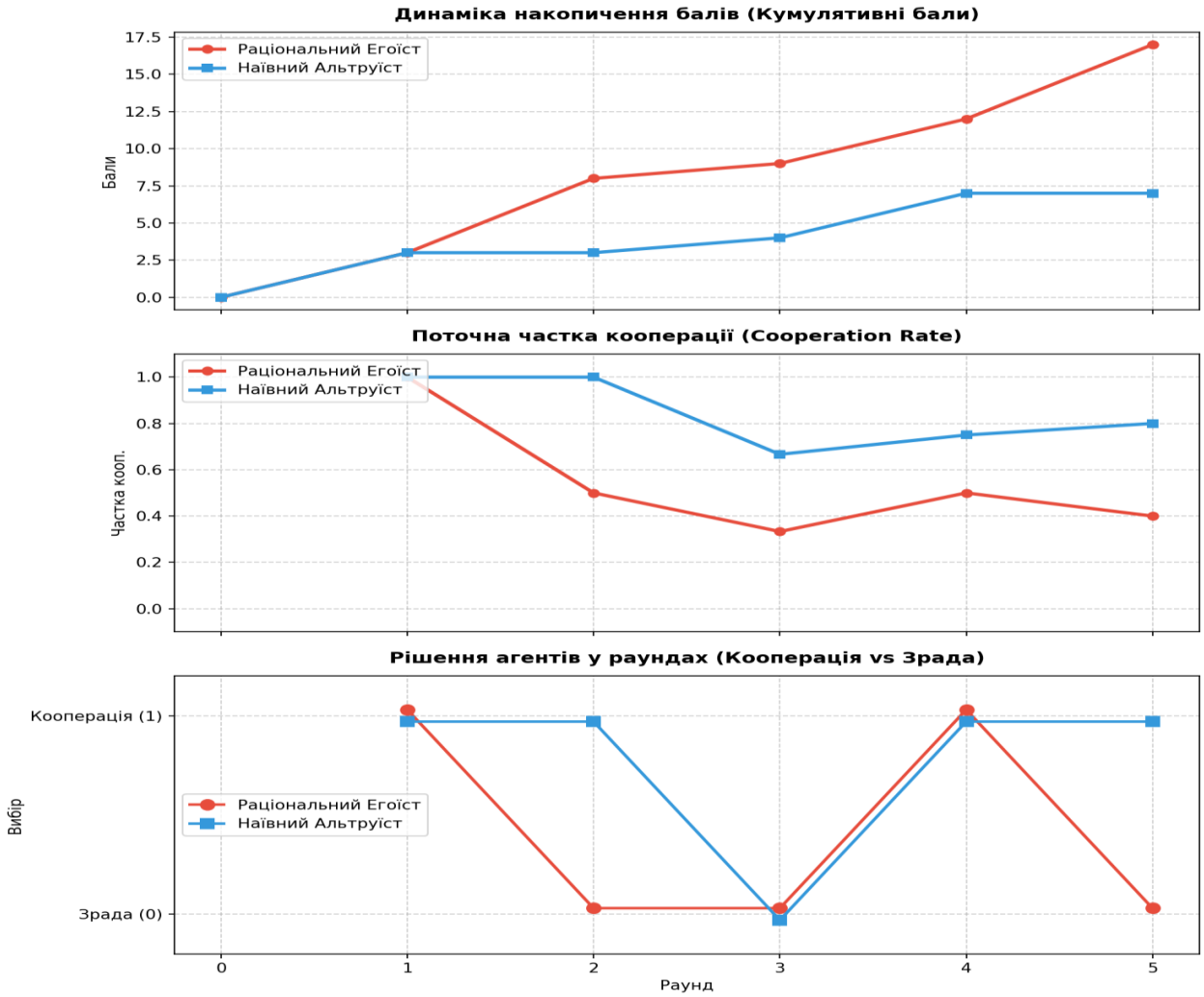


Рис.4. Динаміка рахунку, частки кооперації та рішень за раундами
Джерело: побудовано авторами

За повної взаємної кооперації протягом п’яти раундів кожен агент отримав би по 15 балів, тобто 30 сумарно. Повна взаємна зрада дала б по 5 балів або 10 сумарно. Фактичний результат 17:7 становить 24 бали: це у 2,4 раза більше, ніж у сценарії постійної взаємної зради, але лише 80% від колективного максимуму. Втрачено 6 балів або 20% потенційної сукупної винагороди.

Раціональний Егоїст отримав на 2 бали більше, ніж мав би за стабільної взаємної кооперації, тоді як Наївний Альтруїст – на 8 балів менше. Таким чином, перерозподіл виграшу на користь егоїстичного агента відбувся одночасно зі зниженням загальної ефективності. Результат узгоджується з класичною інтерпретацією «Дилеми в’язня»: індивідуальний стимул до зради може перешкоджати Парето-кращому результату, хоча в повторюваній грі пам’ять створює умови для відновлення кооперації (Osborne, 2003; Preto, 2025). Наведемо порівняння фактичного результату з теоретичними сценаріями (рис.5).

Найважливішим інженерним результатом є не перемога конкретного профілю, а працездатність гібридної конструкції. Природномовні інструкції породили відмінні послідовності дій без зміни класу агента; пам’ять дала моделі доступ до історії; парсер перетворив текст на формальний стан; середовище забезпечило однозначне оцінювання. Система водночас зберігає кількісні результати та пояснювальні тексти, що зручно для якісного аналізу.

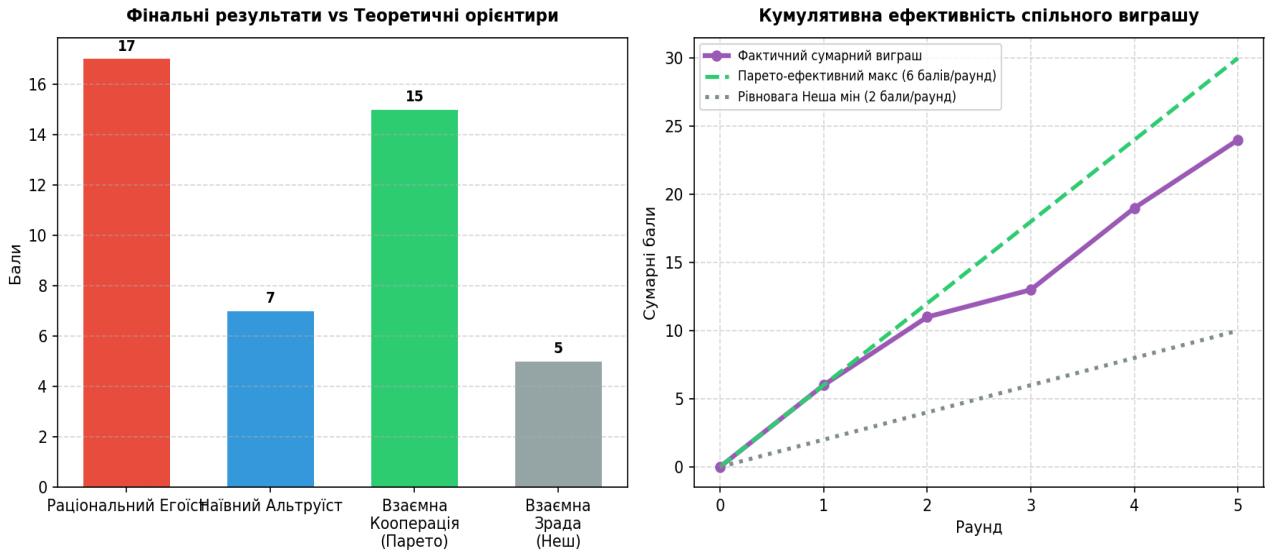


Рис.5. Порівняння фактичного результату з теоретичними сценаріями
Джерело: побудовано авторами

Однак згенероване обґрунтування не слід трактувати як безпосередній опис внутрішнього механізму LLM: це ще один вихід моделі. Так само перехід Альтруїста до зради у третьому раунді демонструє контекстну зміну рішення, але одиничний протокол не доводить причинного впливу пам'яті. Перед цим вибором агент спостерігав одну попередню зраду, тому називати реакцію відповіддю на «систематичну» або «повторну» зраду було б неточно.

Висновки

Розроблено локальну агентно-орієнтовану систему, що поєднує природномовні поведінкові профілі, контекстну пам'ять, LLM-інференс, формальне ігрове середовище та аналітичний модуль. Гібридний підхід відокремлює варіативне генерування рішення від детермінованого застосування правил і тим самим робить результат придатним до кількісного аналізу.

У п'ятираундовій взаємодії «Раціонального Егоїста» та «Наївного Альтруїста» отримано рахунок 17:7. Егоїстична стратегія забезпечила індивідуальну перевагу, але сумарний результат 24 бали виявився на 20% нижчим за максимум взаємної кооперації. Отже, прототип наочно відтворив конфлікт між приватною вигодою та колективною ефективністю.

Практична цінність системи полягає у швидкому створенні нових сценарних профілів без переписування основної логіки, автономному локальному запуску та автоматичному протоколюванні. Наукові висновки слід обмежувати межами пілотного експерименту: отримані дані підтверджують працездатність інженерного підходу, але не доводять еквівалентності поведінки LLM-агентів людській поведінці.

Список використаних джерел

Alammar, J., & Grootendorst, M. (2024). *Hands-on large language models*. O'Reilly Media.

Espinola-Arredondo, A., & Muñoz-García, F. (2023). *Game theory: An introduction with step-by-step examples*. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37574-3.

Huyen, C. (2022). *Designing machine learning systems*. O'Reilly Media.

ISO/IEC. (2024). *Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models* (ISO/IEC Standard No.25002:2024). URL: https://www.iso.org/standard/78175.html.

Kasatkin, D., Yuskovych-Zhukovska, V., & Bogut, O. (2026). The features of orchestration for multi-agent artificial intelligence systems applied to the tasks of HR process automation in IT companies. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 361*(1), 444–451. https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-361-61.

LangChain. (2026). *LangChain documentation*. URL: https://python.langchain.com/docs/introduction/

Matplotlib Development Team. (2026). *Matplotlib documentation*. URL: https://matplotlib.org/stable/

Meta. (2026). *Meta Llama documentation*. URL: https://www.llama.com/docs/

Ollama. (2026). *Ollama documentation*. URL: https://ollama.com/

Osborne, M. J. (2003). *An introduction to game theory*. Oxford University Press.

Page, S. E. (2018). *The model thinker: What you need to know to make data work for you*. Basic Books.

Pal, S., Mallela, A., Pracher, L., Wei, C., Fu, F., Schnell, S., & Nowak, M. A. (2026). Large language models instantiate evolutionarily robust strategies of cooperation. *PNAS Nexus, 5*(6), Article pgag210. https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgag210.

Poole, D. L., & Mackworth, A. K. (2023). Artificial intelligence: Foundations of computational agents (3rd ed.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009258227.

Preto, S., Marra, V., & Finger, M. (2025). Nash meets Łukasiewicz: Computing equilibria through logic. *Journal of Logic and Computation, 35*(4), Article exae073. https://doi.org/10.1093/logcom/exae073.

Python Software Foundation. (2026). *Python documentation*. URL: https://docs.python.org/3/

Raschka, S. (2024). *Build a large language model* (from scratch). Manning Publications.

Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.

Tunstall, L., von Werra, L., & Wolf, T. (2022). *Natural language processing with transformers*. O'Reilly Media.

Yuskovych-Zhukovska, V., & Bogut, O. (2025a). Methods of preventing information leaks caused by the usage of artificial intelligence agent systems. *Наука і техніка сьогодні, 12*(53), 109–118. https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-12(53).

Yuskovych-Zhukovska, V., & Bogut, O. (2025b). The impact of artificial intelligence on the efficiency of IT project management. In *Innovation-driven development in education, digital economy, and applied technologies* (pp. 228–232). The University of Technology in Katowice Press. URL: http://www.wydawnictwo.wst.pl/uploads/files/e28c93cb04ed5369e1c94cb14399b880.pdf