

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій,
обліку та фінансів
Кафедра комп'ютерних технологій
і моделювання систем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Харченко Олександр Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача освіти)

УДК 004.9:004.94:159.9

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Ігровий застосунок для моделювання та прогнозування життєвої траєкторії
особистості

(тема роботи)

122 “Комп'ютерні науки”

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

О .О. Харченко

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Ковальчук Майя Олегівна
к.п.н., доцент

Висновок кафедри комп'ютерних технологій і моделювання систем

за результатами попереднього захисту: допущений

Протокол засідання кафедри комп'ютерних технологій і моделювання систем
№ 20 від «05» червня 2026 р.

Завідувач кафедри комп'ютерних технологій і моделювання систем

к.пед.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

«05» червня 2026 р

КОВАЛЬЧУК М. О.

(прізвище, ім'я, по батькові)

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти Харченко Олександр Олександрович захистив
(прізвище, ім'я, по батькові)

кваліфікаційну роботу з оцінкою: _____

сума балів за 100-бальною шкалою _____

за шкалою ECTS _____

за національною шкалою _____

Секретар ЕК

Лаборант кафедри

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис)

КОРОЛЬЧУК В. В.

(прізвище, ім'я, по батькові)

АНОТАЦІЯ

Харченко О. О. Ігровий застосунок для моделювання та прогнозування життєвої траєкторії особистості за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

Кваліфікаційну роботу присвячено проектуванню та розробці інформаційної системи (серйозної гри) для імітаційного моделювання та стохастичного прогнозування життєвої траєкторії людини в умовах соціально-економічної невизначеності. Об'єктом дослідження є складний стохастичний процес формування, розвитку та багатокритеріальної трансформації життєвого шляху особистості під впливом сукупності її внутрішніх психологічних детермінант, прийнятих рішень та зовнішніх макроекономічних факторів. Предметом дослідження виступають архітектурні патерни, математичні моделі, алгоритми стохастичного прогнозування та інструментальні засоби програмної реалізації інтерактивної системи моделювання життєвих сценаріїв. Для формалізації вимог та опису внутрішньої логіки побудовано функціональну модель за методологією IDEF0, а також комплекс UML-діаграм, що деталізують сценарії взаємодії компонентів.

Програмна архітектура застосунку базується на класичному трирівневому шаблоні із впровадженням патерна Model-View-ViewModel (MVVM), що забезпечує низьку зв'язність і асинхронне виконання важких обчислень у фонових потоках без блокування головного інтерфейсу. Персистентність стану та збереження історії ігрового процесу забезпечено реляційною СУБД SQLite з використанням гібридного підходу, де деталізовані темпоральні зрізи фіксуються у форматі JSON для уникнення ризикованих міграцій схеми даних. Аналітичне ядро системи реалізує метод Монте-Карло для обчислення статистично обґрунтованих ймовірнісних квантильних коридорів майбутнього розвитку (p10, p50, p90) замість спрощених лінійних трендів. Інтеграція марковських ланцюгів дозволила динамічно моделювати якість життя за концепцією QALY на основі шкали EQ-5D, а впровадження логарифмічних функцій корисності забезпечило математичне відображення нелінійного Парадоксу Істерліна.

Налаштування професій, подій та інтервенцій винесено у зовнішні декларативні JSON-каталоги, а для забезпечення повної статистичної відтворюваності результатів та парного дизайну експериментів впроваджено криптографічне хешування seed-значень алгоритмом SHA-256. Інтерфейс користувача, спроектований за принципами Material Design 3, містить аналітичний модуль з торнадо-діаграмами чутливості та інструмент HypothesisRunner для A/B тестування життєвих стратегій. Стабільність та точність розрахунків підтверджено успішним виконанням комплексу з понад 31 ізольованого unit-тесту. Створений програмний продукт може ефективно використовуватися як інструмент профорієнтації, персональний тренажер фінансової грамотності та дослідницька платформа для поведінкової економіки.

Ключові слова: серйозні ігри, метод Монте-Карло, марковські ланцюги, життєва траєкторія, імітаційне моделювання, MVVM, SQLite, QALY, Парадокс Істерліна, SHA-256.

SUMMARY

Kharchenko O. O. Gaming Application for Modeling and Forecasting the Life Trajectory of an Individual, specialty 122 – Computer Science. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

The qualification work is devoted to the design and development of an information system (serious game) for simulation modeling and stochastic forecasting of an individual's life trajectory under conditions of socio-economic uncertainty. The object of the study is a complex stochastic process of formation, development, and multi-criteria transformation of an individual's life path under the influence of a set of their internal psychological determinants, decisions made, and external macroeconomic factors. The subject of the study is architectural patterns, mathematical models, stochastic forecasting algorithms, and software implementation tools of an interactive system for modeling life scenarios. To formalize the requirements and describe the internal logic, a functional model was built using the IDEF0 methodology, as well as a complex of UML diagrams detailing the interaction scenarios of the components.

The software architecture of the application is based on a classic three-tier template with the implementation of the MVVM pattern, which ensures loose coupling and asynchronous execution of heavy computations in background threads without blocking the main interface. State persistence and saving of gameplay history are ensured by the SQLite relational DBMS using a hybrid approach, where detailed temporal snapshots are recorded in JSON format to avoid risky data schema migrations. The analytical core of the system implements the Monte Carlo method to calculate statistically substantiated probabilistic quantile corridors of future development (p10, p50, p90) instead of simplified linear trends. The integration of Markov chains allowed for dynamic modeling of the quality of life using the QALY concept based on the EQ-5D scale, while the introduction of logarithmic utility functions provided a mathematical representation of the non-linear Easterlin Paradox.

Configurations of professions, events, and interventions are moved to external declarative JSON catalogs, and cryptographic hashing of seed values using the SHA-256 algorithm is implemented to ensure full statistical reproducibility of results and a paired experimental design. The user interface, designed according to the principles of Material Design 3, contains an analytical module with tornado sensitivity diagrams and a HypothesisRunner tool for A/B testing of life strategies. The stability and accuracy of calculations are confirmed by the successful execution of a complex of more than 31 isolated unit tests. The created software product can be effectively used as a vocational guidance tool, a personal trainer for financial literacy, and a research platform for behavioral economics.

Keywords: serious games, Monte Carlo method, Markov chains, life trajectory, simulation modeling, MVVM, SQLite, QALY, Easterlin Paradox, SHA-256.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1. Аналіз предметної області дослідження, встановлення інформаційних потреб та функціональних вимог	10
1.2. Порівняльний аналіз чинних інформаційних систем моделювання життєвих сценаріїв та оцінки особистісних ризиків	12
1.3. Обґрунтування функціональних та технічних вимог до інформаційної системи.....	15
Висновки до першого розділу	17
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....	19
2.1. Обґрунтування вибору клієнт-серверної архітектури та технологічного стеку	19
2.2. Моделювання інформаційної системи та структура бази даних	20
2.3. Математичне та алгоритмічне забезпечення прогностичного ядра системи.....	27
Висновки до другого розділу.....	30
РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....	33
3.1. Опис інтерфейсу розробленої інформаційної системи.....	33
3.2. Порядок встановлення, налаштування та розгортання системи	36
3.3 Керівництво користувача та результати тестування	38
Висновки до третього розділу	40
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному постіндустріальному суспільстві, що характеризується високою динамікою соціально-економічних процесів, безпрецедентними темпами технологічного розвитку та загальною глобальною невизначеністю, здатність особистості до стратегічного планування власного майбутнього стає однією з ключових життєвих компетенцій. Концепція життєвої траєкторії індивіда нині виходить за межі суто соціологічного чи психологічного дискурсу й набуває міждисциплінарного характеру, інтегруючи методологічні підходи поведінкової економіки, актуарної математики та комп'ютерних наук. Особливої гостроти ця проблема набуває на етапах професійного самовизначення та кар'єрних трансформацій, коли суб'єкту необхідно оцінити довгострокові наслідки поточних рішень.

Існуючий прикладний інструментарій профорієнтації, психологічного консультування та фінансового планування виявляє обмеженість через ретроспективний характер або застосування статичних лінійних екстраполяцій. Подібні підходи не спроможні наочно демонструвати нелінійні причинно-наслідкові зв'язки, кумулятивні ефекти та стохастичну природу життєвих подій, що у науковій літературі часто асоціюється з «ефектом метелика».

Перспективним науково-практичним напрямом вирішення проблеми моделювання складних нелінійних систем є парадигма гейміфікації та концепція «серйозних ігор» (serious games). Впровадження інтерактивних ігрових механік дозволяє суттєво знизити когнітивне навантаження, підвищити внутрішню мотивацію користувача та сформувати стійкі когнітивні зв'язки завдяки миттєвому зворотному зв'язку. Проте критичний аналіз ринку програмного забезпечення свідчить, що існуючі комерційні симулятори життя (наприклад, BitLife, The Sims) орієнтовані виключно на розважальний контент і базуються на примітивних генераторах випадкових чисел без врахування макроекономічного контексту. З іншого боку, нечисленні освітні та дослідницькі рішення (зокрема Real Lives) потерпають від надмірної детермінованості й браку гнучких стохастичних інструментів прогнозування. Необхідність подолання суперечності між потребою

у якісному прогностичному інструментарії та відсутністю гнучких комп'ютерних симуляторів соціоекономічного розвитку особистості зумовлює актуальність теми кваліфікаційної роботи.

Об'єктом дослідження є складний стохастичний процес формування, розвитку та багатокритеріальної трансформації життєвої траєкторії особистості під впливом сукупності її внутрішніх психологічних детермінант, прийнятих рішень та зовнішніх соціокультурних і макроекономічних факторів.

Предметом дослідження виступають архітектурні патерни, математичні моделі, алгоритми стохастичного прогнозування та інструментальні засоби програмної реалізації інтерактивної інформаційної системи моделювання життєвих сценаріїв.

Метою роботи є проєктування, формалізація та програмна реалізація ігрового застосунку (комп'ютерного симулятора), який на основі методів системного аналізу, актуарної математики та імітаційного моделювання Монте-Карло дозволяє користувачеві конструювати альтернативні життєві траєкторії, візуалізувати ймовірнісні наслідки довгострокових планів та розвивати навички управління особистісними й фінансовими ризиками.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено такі завдання:

- здійснити системний теоретичний аналіз предметної області, дослідити психологічні теорії життєвого шляху, принципи гейміфікації та виконати порівняльний аналіз існуючих програмних аналогів;
- побудовано функціональну модель інформаційної системи за методологією IDEF0 для формалізації бізнес-процесів та інформаційних потоків;
- розробити багаторівневу об'єктно-орієнтовану архітектуру застосунку та оптимальну структуру локальної бази даних з урахуванням персистентності темпоральних зрізів;
- обґрунтувати та математично формалізувати обчислювальне ядро симуляції (марковські ланцюги, логарифмічні функції корисності, прогнозні алгоритми Монте-Карло);

- програмно реалізувати графічний інтерфейс користувача та функціональні модулі системи із забезпеченням статистичної відтворюваності результатів та провести їх верифікацію.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у інтеграції в одному програмному продукті синтезу психометричних моделей (шкали EQ-5D, Дінера, Бандури), поведінкових економічних теорій (зокрема нелінійного парадоксу Істерліна) та обчислювальних методів машинного симулювання і стохастичного аналізу.

Практичне значення отриманих результатів зумовлене тим, що розроблений ігровий застосунок може бути впроваджений як:

- інноваційний інструмент професійної орієнтації та кар'єрного консультування у закладах освіти різного рівня;
- інтерактивний тренажер для підвищення фінансової та життєвої грамотності населення;
- дослідницька платформа (віртуальна лабораторія) для емпіричної перевірки наукових гіпотез щодо поведінкових стратегій індивіда в умовах мінливого ринкового середовища.

За темою кваліфікаційної роботи опубліковано наукові публікації, а саме:

Харченко О. О. Використання методу Монте-Карло для оцінки ймовірнісних траєкторій розвитку складних систем. MODERN RESEARCH AND EDUCATION : зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., м. Варшава, 23–25 черв. 2026. Варшава : Науково-видавничий центр «Прогрес», 2026.

Харченко О. О. Методи лінійної апроксимації та регресійного аналізу в задачах прогнозування соціальних показників персонажа. BRITISH–UKRAINIAN ACADEMIC CONGRESS : зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., м. Манчестер, 19–21 черв. 2026. Манчестер : Науково-видавничий центр «Прогрес», 2026. С.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Аналіз предметної області дослідження, встановлення інформаційних потреб та функціональних вимог

Предметною областю дослідження є інформаційне середовище процесу моделювання, стохастичного прогнозування та аналізу життєвої траєкторії особистості в умовах соціально-економічної невизначеності. Життєвий шлях людини в сучасній науці розглядається як складна, багатовимірна та саморегульована система, де минулий досвід, поточний психофізіологічний стан та макроекономічні фактори взаємодіють у безперервному циклі зворотного зв'язку. Фундаментальне значення для розуміння цих процесів має метод каузометрії, проте він залишається переважно інструментом ретроспективного аналізу і не надає обчислювальних засобів для симуляції майбутнього.

Критичний аналіз існуючих програмних рішень демонструє, що популярні комерційні симулятори життя (BitLife, The Sims Mobile) виконують виключно розважальну функцію. Вони базуються на спрощених генераторах випадкових чисел, ігноруючи актуарні ризики, економічні цикли та кумулятивні психологічні ефекти. Натомість освітні продукти (наприклад, Real Lives) потерпають від надмірної детермінованості сценаріїв і не мають гнучкого аналітичного ядра. Це зумовлює необхідність розробки нового застосунку в парадигмі «серйозних ігор» (serious games), який би інтегрував ігрові механіки з математичним апаратом для достовірного предиктивного аналізу.

Об'єктом інформатизації виступає процес управління особистим розвитком та прийняття довгострокових стратегічних рішень. Відповідно до цього, інформаційні потреби цільової аудиторії (здобувачів освіти на етапі профорієнтації, спеціалістів під час кар'єрних трансформацій, осіб, що планують фінансові стратегії) концентруються навколо отримання об'єктивного, статистично обґрунтованого зворотного зв'язку щодо наслідків їхніх дій. Користувачі потребують інтерактивного віртуального середовища, яке дозволяє формувати альтернативні сценарії («що буде, якщо...»), візуалізувати ймовірнісні наслідки у

довгостроковій перспективі та оцінювати ефективність різних поведінкових стратегій з урахуванням управління особистими ризиками.

На основі аналізу предметної області та визначених інформаційних потреб було сформовано такий перелік функціональних вимог до розроблюваної інформаційної системи (ігрового застосування):

- ініціалізація та управління профілем користувача. система повинна забезпечувати створення багатовимірного профілю особистості, що включає демографічні та фінансові метрики, показники здоров'я (за концепцією *qalu*) та психометричні шкали (рівень стресу, задоволеність життям);
- моделювання інтервенцій та контроль ресурсів. застосунок має надавати можливість вибору комплексу дій (портфеля інтервенцій) із вбудованою системою валідації доступних ресурсів гравця (жорсткий контроль бюджету вільного часу та фінансів);
- генерація стохастичних подій. необхідна наявність обчислювального рушія, що генерує життєві події на основі об'єктивних актуарних ризиків, інтегруючи марковські ланцюги для визначення ймовірностей переходу між станами здоров'я під впливом кумулятивного стресу;
- математичне прогнозування. система повинна містити автономний аналітичний модуль для багатопрогінного імітаційного моделювання майбутнього за методом Монте-Карло з метою побудови статистично достовірних квантильних коридорів ймовірності (p_{10} , p_{50} , p_{90});
- забезпечення персистентності даних. вимагається розробка локальної реляційної бази даних (SQLite) для безперервного збереження ігрового прогресу та фіксації деталізованих темпоральних зрізів (історії) у форматі JSON для подальшого алгоритмічного аналізу;
- візуалізація та аналітика. інтерфейс користувача повинен миттєво трансформувати складні математичні масиви в інтуїтивні інтерактивні графіки, торнадо-діаграми чутливості (для відображення впливу окремих факторів) та звіти щодо каузальних зв'язків;

- відтворюваність результатів. для проведення валідних статистичних a/b експериментів система повинна забезпечувати детерміновану генерацію випадкових подій за допомогою алгоритмів криптографічного хешування (sha-256) стартових значень (seed-значень);

1.2. Порівняльний аналіз чинних інформаційних систем моделювання життєвих сценаріїв та оцінки особистісних ризиків

У межах системного аналізу предметної області важливим етапом є дослідження та порівняння архітектурних і алгоритмічних рішень, які використовуються в наявних інформаційних системах (ІС) схожого спрямування. Аналог концепту екологічного моніторингу в контексті досліджуваної теми трансформується в комп'ютерний моніторинг і фіксацію темпоральних станів профілю особистості, а оцінка ризиків — у стохастичне прогнозування ймовірності настання критичних подій (таких як фінансова неспроможність, критичне погіршення здоров'я або професійне вигорання). Для визначення технологічних прогалин та обґрунтування розробки предиктивного ігрового застосунку проведено критичний аналіз трьох чинних систем: BitLife, The Sims Mobile та Real Lives.

Перша аналізована система — текстовий симулятор BitLife — реалізує покрокове моделювання життєвого циклу об'єкта. З позиції комп'ютерних наук та системного аналізу, головним обмеженням цієї ІС є використання ізольованих лінійних генераторів псевдовипадкових чисел (PRNG) для ініціалізації подій. Система функціонує за принципом дискретно-подійного моделювання без побудови динамічних каузальних зв'язків. Ризики розраховуються як незалежні випадкові величини, що виключає можливість відстеження кумулятивного (накопичувального) ефекту від прийнятих користувачем рішень. Програма не містить аналітичного ядра для довгострокового прогнозування та оцінки чутливості профілю до макроекономічних змін, а збереження історії обмежується лінійним логуванням текстових стрічок, що унеможливорює проведення предиктивного аналізу часових рядів.

Друга поширена ІС — The Sims Mobile — представляє клас агентних систем мікромоделювання. Архітектура цього застосунку орієнтована на підтримку короткострокових гомеостатичних станів віртуального агента (моніторинг показників ситості, енергії, спілкування). Проте з точки зору довгострокового прогнозування траєкторії розвитку система є неефективною. Математичний апарат базується на детермінованих кінцевих автоматах (FSM), де перехід між станами чітко зумовлений виконанням лінійних ігрових скриптів. Система повністю ігнорує реальні актуарні моделі ризиків, демографічні закономірності та соціоекономічні чинники ринку праці. Функціональні модулі для багатоваріантного аналізу або побудови прогностичних коридорів у структурі цієї ІС відсутні, що звужує сферу її застосування до суто рекреаційної.

Найбільш наближеною до науково-практичних завдань є спеціалізована ІС Real Lives, призначена для комп'ютерного моделювання соціодемографічних процесів. Ця система використовує для ініціалізації стартових умов реальні статистичні бази даних ООН та актуарні таблиці ймовірностей. Проте логічна структура системи побудована на жорстких деревах рішень (decision trees), що призводить до високої детермінованості та лінійності ігрових сценаріїв. База даних системи має фіксовану реляційну схему, яка не підтримує роботу з неструктурованими JSON-об'єктами, що обмежує динамічне розширення простору метрик особистості. Головним недоліком Real Lives є відсутність інструментарію імітаційного машинного симулювання майбутнього: система розраховує стан лише на один крок уперед і не здатна згенерувати ймовірнісні квантильні коридори розвитку на основі поточних тенденцій.

Для формалізації порівняльного аналізу та ідентифікації архітектурних вимог до розроблюваної системи у таблиці 1.1 наведено зіставлення чинних ІС за ключовими критеріями комп'ютерних наук та оцінки ризиків.

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика ІС моделювання життєвих сценаріїв та оцінки ризиків

Критерій порівняння	IC BitLife	IC The Sims Mobile	IC Real Lives	Проектна система (серйозна гра)
Математичний рушій моделювання станів	Дискретний PRNG без каузальних зв'язків	Детерміновані кінцеві автомати (FSM)	Жорсткі дерева рішень (Decision Trees)	Стохастичні марковські ланцюги та актуарні моделі
Методологія оцінки та прогнозу ризиків	Випадкова генерація подій на поточному кроці	Відсутня (лінійна зміна параметрів)	Покроковий розрахунок за статичними таблицями	Багатопрогінне імітаційне моделювання Монте-Карло
Спосіб візуалізації прогностичних даних	Текстові сповіщення про дискретні події	Анімаційне відображення стану об'єкта	Статичні табличні звіти поточної статистики	Інтерактивні графіки квантильних коридорів (p10, p50, p90)
Гнучкість архітектури та збереження історії	Монолітна структура, збереження у плоскі файли	Клієнт-серверна модель з високою зв'язністю	Монолітна схема з фіксованою структурою даних	Трирівнева архітектура (MVVM), БД SQLite + JSON-зрізи
Аналітика чутливості факторів впливу	Відсутня	Відсутня	Відсутня	Вбудовані торнадо-діаграми (модуль ImpactAnalyzer)
Статистична відтворюваність	Відсутня (повна випадковість)	Відсутня (залежність від сервера)	Часткова (обмежена фіксованими зернами RNG)	Повна (криптографічне хешування seed-значень SHA-256)

Проведений порівняльний аналіз чинних інформаційних систем демонструє наявність незаповненої технологічної ніші. Жодне з існуючих програмних рішень не поєднує в собі гнучку трирівневу архітектуру, гібридне сховище даних для

темпорального моніторингу станів та потужний аналітичний інструментарій на основі методу Монте-Карло для оцінки особистісних ризиків. Це підтверджує доцільність, актуальність та науково-практичну новизну розробки проєктуємого ігрового застосунку як комплексного предиктивного середовища.

1.3. Обґрунтування функціональних та технічних вимог до інформаційної системи

На основі проведеного системного аналізу предметної області, дослідження інформаційних потреб та критичного аналізу наявних програмних аналогів сформовано перелік вимог до проєктуємої системи моделювання та прогнозування життєвої траєкторії особистості. Формалізація вимог визначає архітектурні межі продукту, структуру бази даних та алгоритмічну складність обчислювального ядра.

Функціональні вимоги до інформаційної системи:

1. Модуль управління профілем користувача (PersonProfile):
 - Система повинна забезпечувати ініціалізацію та динамічне відстеження понад 17 взаємопов'язаних метрик особистості (здоров'я QALY, стрес-фактори, когнітивні навички, фінансові активи).
 - Функціонал має включати систему вікової амортизації, що автоматично коригує показники біологічного віку та ефективності навчання згідно з нелінійними S-подібними кривими.
2. Модуль обробки стратегічних рішень (SimulationEngine):
 - Застосунок повинен реалізувати 7-фазний цикл симуляції: від валідації часових/фінансових ресурсів до генерації стохастичних життєвих подій та оновлення стану системи.
 - Система має підтримувати 5 типів поведінкових моделей (RATIONAL, BOUNDED_RATIONAL, INERTIAL, ADAPTIVE, CUSTOM_PLAN) для автоматизації вибору інтервенцій у режимі прогнозування.
3. Аналітичне ядро предиктивного моделювання (MonteCarloForecaster):

- Реалізація багатопрогінного моделювання (Монте-Карло) з конфігурованим числом ітерацій (стандарт $N=200$) для розрахунку ймовірнісних коридорів ($p_{10}, p_{25}, p_{50}, p_{75}, p_{90}$).
- Модуль повинен забезпечувати аналіз чутливості факторів впливу за допомогою методу One-at-a-time (OAT) з візуалізацією через торнадо-діаграми.

4. Інструментарій наукового експерименту (HypothesisRunner):

- Система повинна дозволяти порівняння двох поведінкових стратегій із застосуванням статистичних тестів: розрахунок розміру ефекту Cohen's d , бутстреп-довірчих інтервалів та перестановочних p -values для підтвердження гіпотез.

Нефункціональні вимоги:

1. Продуктивність: Усі важкі математичні розрахунки та транзакції бази даних повинні виконуватися асинхронно у фонових потоках для забезпечення відгуку інтерфейсу в реальному часі.

2. Відтворюваність: Система повинна забезпечувати абсолютну повторюваність результатів через детерміністичну генерацію псевдовипадкових послідовностей (seed-значень) на основі криптографічного хешування SHA-256.

3. Гнучкість конфігурації: Вся бізнес-логіка (професії, інтервенції, події) має бути відокремлена від коду у вигляді JSON-каталогів для спрощення модифікації параметрів системи без перекомпіляції.

4. Надійність та персистентність: Використання реляційної СУБД SQLite для транзакційного збереження стану профілю та історії сесій з підтримкою ACID-властивостей.

Технічні вимоги:

- Мова реалізації: Python 3.11+ з використанням фреймворку PySide6 (MVVM патерн).
- Обчислювальне ядро: Використання бібліотек numpy та pandas для високої швидкодії векторних обчислень.

- Архітектура: Трирівнева (Presentation, Domain, Data Layers), що гарантує низьку зв'язність компонентів та легкість проведення модульного тестування (система покрита 31 unit-тестом).

Цей перелік вимог є базовим інженерним описом системи, що підлягає реалізації засобами мови Python з використанням ORM SQLAlchemy та GUI-фреймворку Qt, забезпечуючи надійне функціонування в середовищі Windows 10/11.

Висновки до першого розділу

У першому розділі роботи здійснено системний аналіз предметної області, який підтвердив, що моделювання життєвої траєкторії особистості є складним стохастичним завданням, що вимагає виходу за межі детермінованих моделей. Встановлено, що наявні комерційні програмні продукти, такі як BitLife чи The Sims Mobile, орієнтовані переважно на розважальний контент і не забезпечують можливості науково обґрунтованого прогнозування ризиків. Водночас академічні аналоги, зокрема Real Lives, демонструють обмеженість через застарілі методики «дерев рішень», що зумовлює актуальність розробки принципово нової інформаційної системи на основі сучасних методів імітаційного моделювання.

Визначено та обґрунтовано ключові функціональні вимоги до системи, які дозволяють трансформувати суб'єктивні життєві сценарії у формалізований обчислювальний процес. Основний акцент зроблено на створенні багатовимірного профілю особистості (17+ метрик), імплементації 7-фазного циклу моделювання подій та впровадженні аналітичного ядра на базі методу Монте-Карло, що забезпечує побудову ймовірнісних коридорів розвитку (від p10 до p90). Функціональність системи також передбачає використання інструментарію HypothesisRunner для проведення статистично значущих експериментів, що надає проекту ознак дослідницької платформи для поведінкової економіки.

Сформульовано технічні вимоги, що базуються на використанні трирівневої архітектури (MVVM) та забезпечують високу продуктивність застосунку. Важливим аспектом обґрунтування стала вимога щодо забезпечення повної

відтворюваності результатів через криптографічне хешування SHA-256, що дозволяє проводити коректне парне порівняння стратегій в ідентичних умовах симуляції. Впровадження гібридного сховища даних на базі SQLite з підтримкою JSON-зрізів забезпечує необхідну гнучкість при роботі з темпоральними даними, створюючи надійний фундамент для подальшої програмної реалізації, описаної у наступних розділах кваліфікаційної роботи.

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Обґрунтування вибору клієнт-серверної архітектури та технологічного стеку

Проектування архітектури інформаційної системи моделювання та прогнозування життєвої траєкторії особистості виконано з дотриманням сучасних стандартів програмної інженерії, що передбачають суворе розділення відповідальності між компонентами. Було обрано тришарову архітектуру на базі шаблону MVVM, яка чітко розділяє інтерфейсну частину (Presentation Layer), бізнес-логіку стохастичних обчислень (Domain Layer) та шар персистентного збереження даних (Data Layer). Така структуризація дозволяє забезпечити низьку зв'язність модулів, високу розширюваність системи та можливість ізольованого тестування обчислювального ядра (система повністю покрита 31 інструментальним unit-тестом).

Для програмної реалізації обчислювального ядра та внутрішньої логіки аналітичної частини системи (яка виконує функції локального сервера обчислень) обрано мову програмування Python 3.11+ та спеціалізовані бібліотеки numpy та pandas. Вибір цього технологічного стеку зумовлений необхідністю виконання складних багатопрогінних симуляцій методом Монте-Карло, що вимагає максимальної швидкодії при обробці великих масивів даних та екстраполяції часових рядів. Асинхронна архітектура обчислювального рушія дозволяє ефективно виконувати сотні паралельних ітерацій симуляції ($N=200$) та розраховувати марковські ланцюги без блокування головного потоку застосунку. Важливою перевагою є декларативна валідація вхідних даних за допомогою зовнішніх каталогів у форматі JSON (професії, інтервенції, актуарні події), що мінімізує ймовірність проникнення некоректних структур у логічні шари системи та дозволяє гнучко змінювати баланс моделі без перекомпіляції ядра.

Клієнтська частина системи (інтерфейс користувача) реалізована на базі кросплатформеного фреймворку PySide6 (офіційного Qt для Python), що використовує архітектурний шаблон MVVM для забезпечення реактивного зв'язку

з даними. PySide6 гарантує високу швидкість рендерингу та відгуку графічних елементів у системному середовищі Windows 10/11 з дотриманням принципів Material Design 3. Для створення інтерактивної візуальної аналітики інтегровано бібліотеку matplotlib, яка дозволяє будувати динамічні графіки ймовірнісних квантильних коридорів (p10,p25,p50,p75,p90), торнадо-діаграми аналізу чутливості факторів One-at-a-time (OAT) та графіки порівняльної динаміки поведінкових моделей, забезпечуючи дослідника наочною інформацією в реальному часі.

2.2. Моделювання інформаційної системи та структура бази даних

Виконано комплексне моделювання інформаційної системи моделювання та прогнозування життєвої траєкторії особистості із використанням уніфікованої мови моделювання UML та методологій структурного аналізу. Застосування інструментів UML-моделювання дозволило чітко формалізувати внутрішню структуру розроблюваної системи, її функціональні можливості, поведінкові аспекти та логіку взаємодії між обчислювальними компонентами й аналітичними модулями. Результати моделювання забезпечили цілісне архітектурне уявлення про побудову програмного комплексу та послужили безпосередньою інженерною основою для його подальшої програмної реалізації на базі обраного технологічного стеку.

Для формалізації функціональної структури розроблюваної інформаційної системи та визначення її інформаційних потоків побудовано функціональну модель за методологією IDEF0 (рисунок 2.1). Запропонована модель наочно демонструє принципи функціонування комплексу: на вході система приймає початковий соціодемографічний вектор стану особистості (стартові психометричні та матеріальні показники) та поточні стратегічні рішення користувача щодо вибору портфеля інтервенцій. Керування обчислювальними процесами здійснюється на основі закладених актуарних таблиць ризиків, обмежень бюджету часу (24 години на добу) та правил нелінійної системної динаміки (таких як залежність здоров'я від стресу та закон Вебера-Фехнера для фінансів). Програмними та апаратними механізмами виконання виступають локальний рушій симуляції SimulationEngine, модуль Монте-Карло, репозиторії даних та IT-інфраструктура десктопного

додатка, а кінцевим виходом системи є сформовані ймовірнісні коридори розвитку, аналітичні торнадо-діаграми та звіти декомпозиції впливу факторів. Ця діаграма повністю розкриває високорівневе структурне рішення та покрокову трансформацію даних в інформаційній системі.

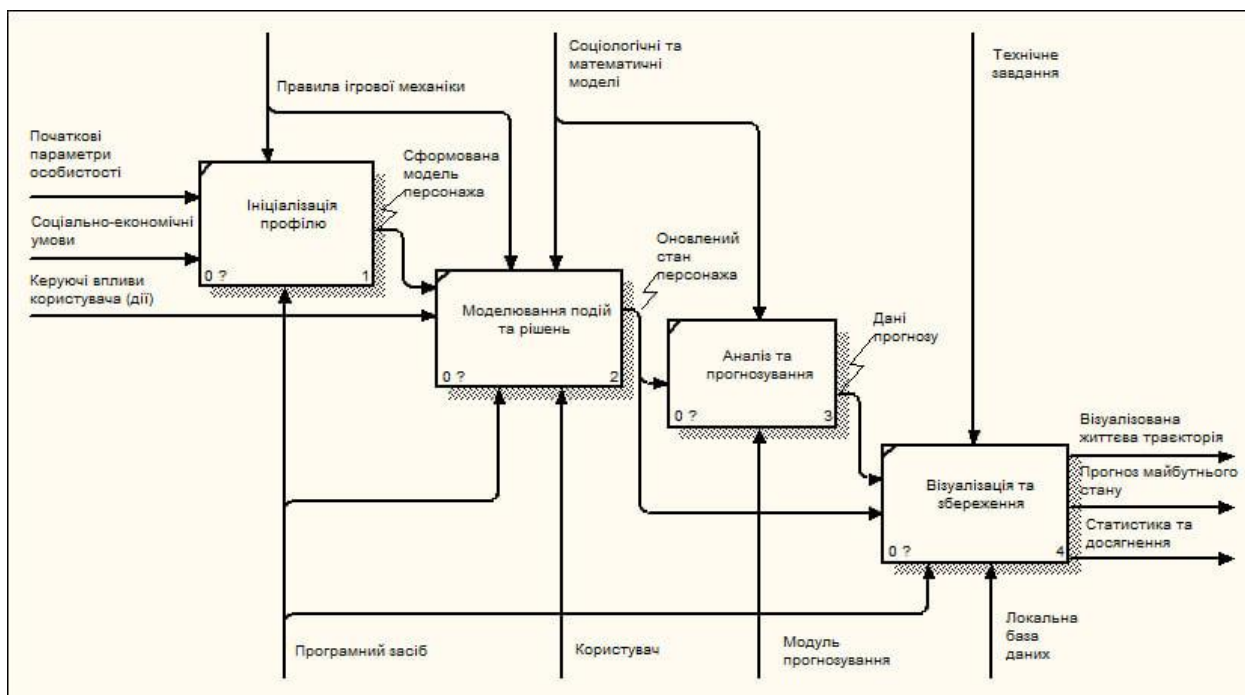


Рисунок 2.1 – Функціональна модель інформаційної системи у нотації IDEF0

На першому етапі об'єктно-орієнтованого проєктування побудовано діаграму прецедентів (рисунок 2.2), за допомогою якої чітко визначено та розмежовано функціональні можливості інформаційної системи з точки зору користувачів та внутрішніх аналітичних сервісів. На діаграмі зафіксовано основного актора — дослідника/користувача, а також конкретний перелік прецедентів, які було реалізовано для забезпечення процесів ініціалізації багатовимірного профілю суб'єкта, покрокового симулювання життєвого циклу, запуску багатопротігінного прогнозування Монте-Карло, аналізу чутливості (OAT) та автоматизованої перевірки статистичних гіпотез через модуль HypothesisRunner.



Рисунок 2.2 – Діаграма прецедентів інформаційної системи моделювання та прогнозування життєвої траєкторії

Для опису внутрішньої структури розробленого програмного комплексу та взаємозв'язків між його об'єктами було побудовано діаграму класів (рисунок 2.3). На цій діаграмі відображено створені класи системи, їхні атрибути, методи та асоціативні зв'язки, які безпосередньо застосовано в коді для забезпечення персистентного збереження й оброблення інформації в межах шаблону MVVM. Структура класів деталізує ізоляцію між сутностями представлення (SimulationScreen, ForecastScreen), модулями керування станом (ViewModel) та доменними об'єктами ядра (PersonProfile, Intervention, LifeEvent), що повністю реалізувало логіку закладених бізнес-процесів системи.

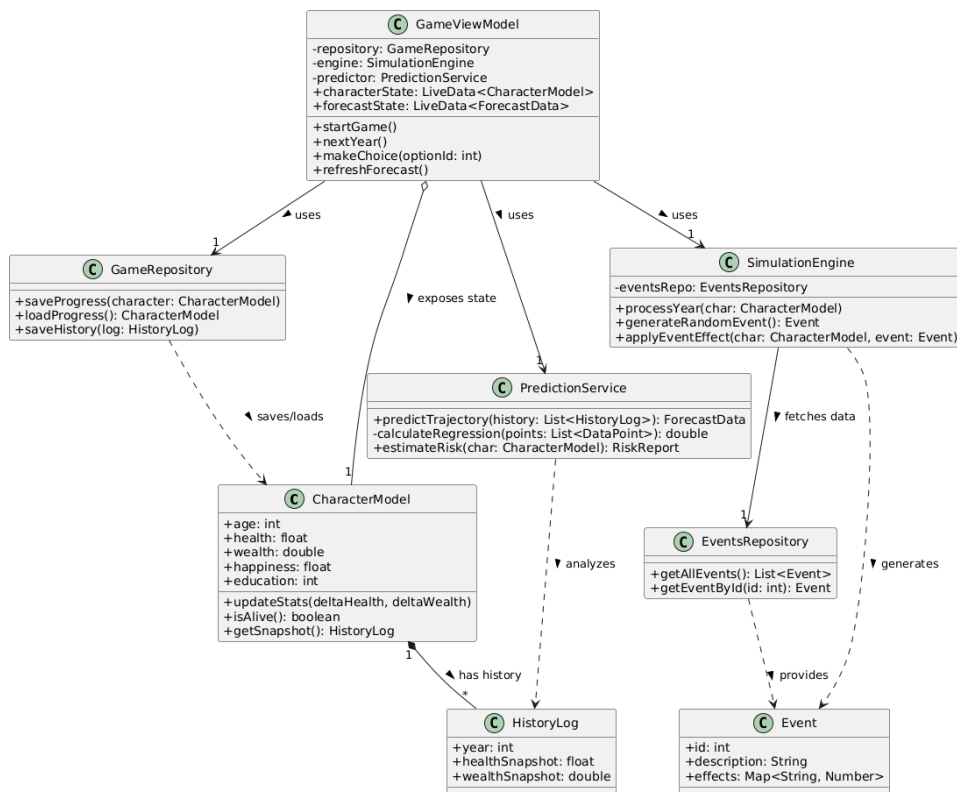


Рисунок 2.3 – Діаграма класів інформаційної системи

Динамічну поведінку інформаційної системи під час виконання обчислювальних операцій відображено за допомогою діаграми активностей (рисунок 2.4). Ця діаграма зафіксувала послідовність дій, алгоритмічні точки прийняття рішень та альтернативні гілки виконання процесів, пов'язаних із реалізацією 7-фазного кроку симуляції: від початкової валідації часових і фінансових обмежень користувача до розрахунку вікової амортизації, накладання ефектів інтервенцій, розрахунку ефективної ймовірності актуарних подій за формулою $P_{eff} = P_{base} \times M_{age} \times M_{state}$ та збереження поточного JSON-зрізу історії. Візуалізація потоків управління дозволила оптимізувати покрокову логіку роботи обчислювального конвеєра.

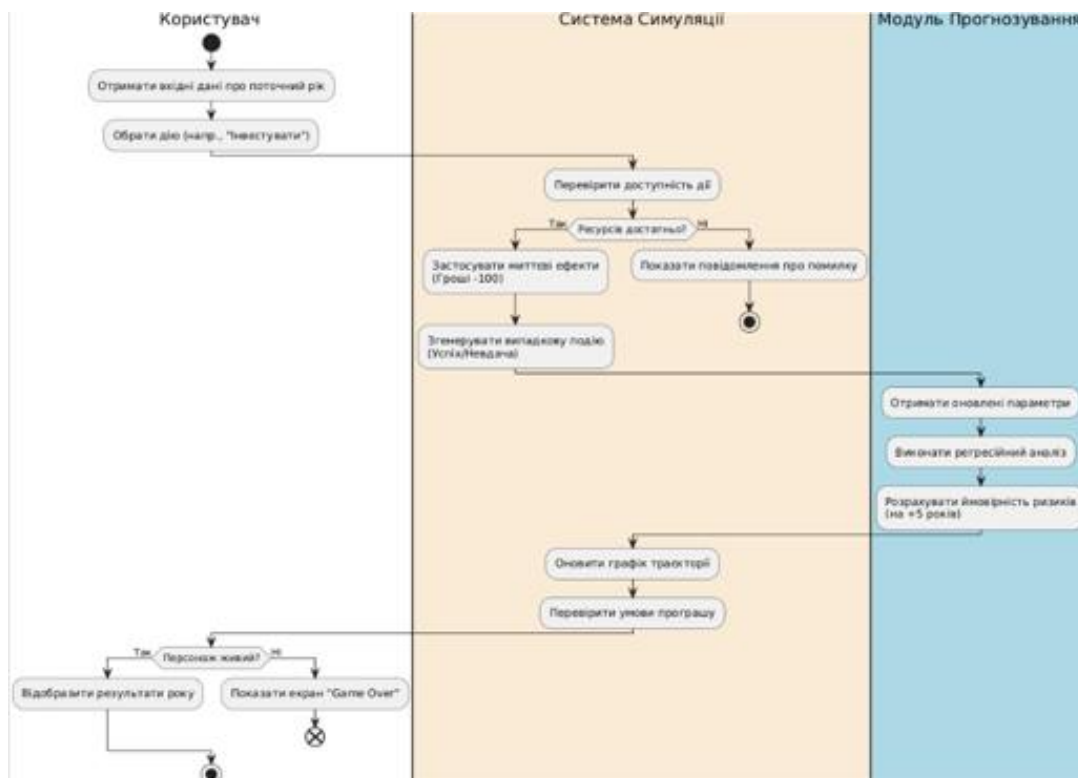


Рисунок 2.4 – Діаграма активностей основних процесів інформаційної системи

Для деталізації взаємодії між об'єктами системи у часі розроблено діаграму послідовностей (рисунок 2.5). Вона продемонструвала реалізований хронологічний порядок обміну повідомленнями та викликів методів між різними компонентами системи під час виконання типового сценарію ініціалізації прогнозування. На схемі наочно відтворено шлях передавання даних від інтерфейсу користувача (ForecastScreen) через ViewModel до обчислювальних сервісів MonteCarloForecaster, які запускають асинхронні фонові потоки для генерації 200 незалежних прогонів симуляції та повертають агреговані квантильні коридори (p10,p25,p50,p75,p90) назад на рівень представлення.

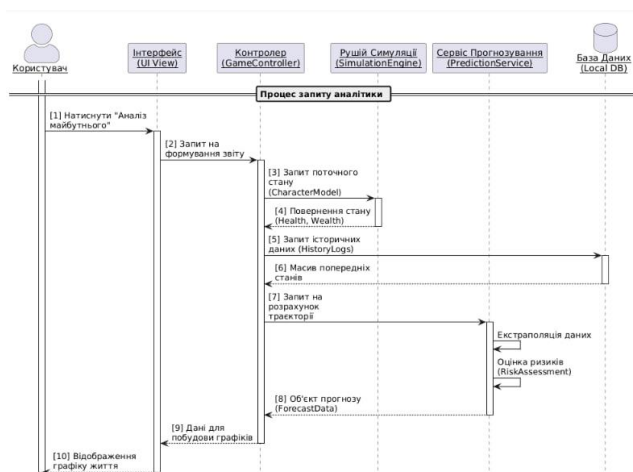


Рисунок 2.5 – Діаграма послідовностей взаємодії компонентів системи

Динамічні аспекти функціонування ключових модулів та життєвого циклу сесій формалізовано за допомогою діаграми станів (рисунок 2.6). Ця діаграма чітко описала стани, в яких може перебувати профіль суб'єкта та аналітичне середовище програми (Ініціалізація, Активна покрокова симуляція, Генерація прогнозу Монте-Карло, Обчислення гіпотез HypothesisRunner та Режим паузи/збереження). Це забезпечило повну узгодженість між структурною частиною коду та його поведінкою в реальному часі.

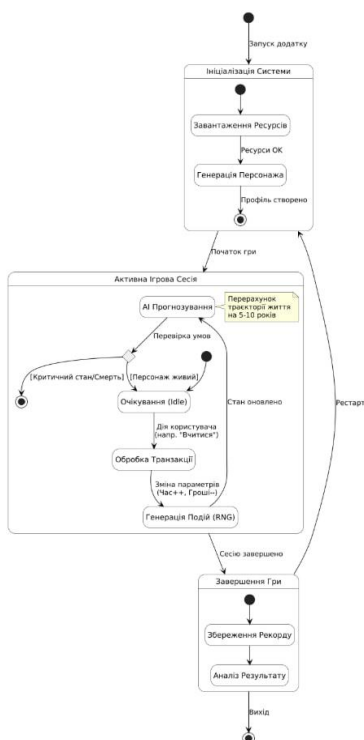


Рисунок 2.6 – Діаграма станів основних об'єктів інформаційної системи

Таким чином, виконане UML-моделювання дозволило комплексно описати та реалізувати інформаційну систему моделювання життєвої траєкторії особистості з точки зору її структури, функціональності та внутрішньої поведінки. Побудовані моделі забезпечили формалізоване представлення логіки роботи програмного комплексу, що було безпосередньо використано для подальшого проєктування реляційної бази даних, технічного налаштування сховища та побудови графічного інтерфейсу користувача у наступних параграфах кваліфікаційної роботи.

Для забезпечення надійного збереження інформації, темпорального логування та підтримки реляційної цілісності даних спроектовано структуру бази даних під керуванням СКБД SQLite, взаємодія з якою реалізована через ORM SQLAlchemy. З метою запобігання складним міграціям при розширенні простору особистісних метрик застосовано гібридний підхід: основні сутності пов'язані реляційними зв'язками, а деталізована історія станів зберігається у денормалізованому вигляді. Опис структури даних та зв'язків між сутностями викладено у формі деталізованого переліку атрибутів основних таблиць:

Сутність Subject (Профілі суб'єктів): виступає батьківською таблицею для ідентифікації ігрових сесій. Містить унікальний цілочисельний ідентифікатор id (первинний ключ), мітку часу створення профілю, поточний біологічний вік суб'єкта та стрічкове поле base_seed, яке зберігає базове випадкове зерно, згенероване через криптографічний алгоритм SHA-256 для забезпечення повної статистичної відтворюваності симуляцій.

Сутність Snapshot (Темпоральні зрізи історії): співвідноситься із таблицею Subject зв'язком типу «багато до одного» (один суб'єкт має безліч історичних кроків). Містить первинний ключ snapshot_id, зовнішній ключ subject_id, цілочисельне поле step_year (ігровий рік) та два ключові текстові поля динамічної структури: profile_JSON (зберігає серіалізований стан 17+ метрик профілю, таких як QALY, стрес, задоволеність за Дінером, навички та заощадження) та selected_interventions_JSON (фіксує портфель обраних дій на поточному кроці).

Сутність InterventionCatalog (Довідник інтервенцій): містить нормалізовані дані щодо доступних у системі дій. Включає текстовий унікальний ключ id, назву

українською мовою `name_uk`, категорію (освіта, кар'єра, здоров'я тощо), ресурсні обмеження (`requires_free_hours`, `annual_cost`) та параметри відкладених ефектів (`effect_delay_years`, `effect_duration_years`).

Сутність `ProfessionCatalog` (Довідник професій): зберігає інформацію про доступні вектори працевлаштування індивіда. Оперує унікальним ключем `id`, найменуванням посади, вимогами до рівня освіти та навичок (`required_hard_skills`, `required_digital_literacy`), базовим рівнем доходу та коефіцієнтом стресового навантаження (`stress_factor`).

Проект структури даних повністю покриває інформаційні потреби аналітичного ядра, дозволяючи за допомогою SQL-запитів миттєво зчитувати історичні часові ряди для їх подальшої візуалізації або експорту в CSV-формат для статистичного аналізу.

2.3. Математичне та алгоритмічне забезпечення прогностичного ядра системи

Ключовим інструментальним компонентом розроблюваної інформаційної системи є математичний апарат прогнозування та динамічного конструювання життєвої траєкторії особистості. Для забезпечення високої предиктивної точності та розрахунку майбутніх значень критичних параметрів стану суб'єкта (таких як рівень капіталу, індекс фінансового стану та інтегральний показник здоров'я QALY) в аналітичному ядрі застосовано метод екстраполяції, що базується на глибокому аналізі ретроспективних історичних даних персонажа за фіксоване вікно останніх ігрових років.

Алгоритмічна сутність цього предиктивного компонента полягає в ідентифікації латентних детермінованих трендів розвитку об'єкта симуляції. Це дозволяє своєчасно виявити вектор розвитку і попередити користувача про ймовірне настання критичних або деструктивних станів (наприклад, раптового банкрутства чи гострої фази захворювання) задовго до їх фактичного прояву.

Основою прогнозування в системі виступає базова лінійна функція тренду:

$$y(x)=a \cdot x+b$$

де:

$y(x)$ — прогнозоване або розрахункове значення цільової метрики (наприклад, сума заощаджень або рівень професійних навичок) у заданий момент часу;

x — незалежна змінна, що позначає часовий крок симуляції (ігровий рік або біологічний вік персонажа);

a — коефіцієнт нахилу (градієнт), який визначає швидкість та спрямованість зміни параметра (якщо $a > 0$ — спостерігається зростання, якщо $a < 0$ — деградація або збитки);

b — вільний член, що відображає базовий теоретичний рівень показника на початку досліджуваного періоду (точка перетину з віссю ординат).

Обґрунтування вибору базової лінійної функції: Вибір лінійної апроксимації як першого етапу прогнозування зумовлений необхідністю формування так званого «інерційного сценарію». У реальному житті, якщо людина не змінює своїх звичок (зберігає поточну роботу, рівень витрат та спосіб життя), її базові показники змінюються лінійно. Лінійна модель є обчислювально легкою, що критично важливо для системи, яка виконує тисячі ітерацій за секунду. Вона формує надійний детермінований базис (математичне очікування), на який згодом накладатимуться нелінійні стохастичні збурення.

Для знаходження невідомих коефіцієнтів a та b у системі імплементовано класичний метод найменших квадратів (МНК). Нехай набір ретроспективних історичних даних системи представлений послідовністю пар точок $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$. Розрахунок коефіцієнтів здійснюється за такими стандартизованими формулами:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i y_i) - \sum_{i=1}^n (x_i) \sum_{i=1}^n (y_i)}{n \sum_{i=1}^n (x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

де:

$\sum x_i, \sum y_i$ — суми значень часових кроків та відповідних їм показників за обраний період;

$\sum(x_i y_i)$ — сума попарних добутків часу та показника, що відображає їхню взаємну кореляцію.

Обґрунтування вибору методу найменших квадратів (МНК): У комп'ютерному моделюванні існують різні способи згладжування (наприклад, просте ковзне середнє або експоненційне згладжування). Проте саме МНК є математично найоптимальнішим вибором для даної системи, оскільки він мінімізує суму квадратів відхилень реальних даних від теоретичної прямої. Життєві показники користувача можуть мати тимчасові флуктуації (наприклад, разова покупка автомобіля різко знижує капітал у конкретний рік). Ковзне середнє занадто сильно відреагувало б на цей одиничний сплеск, викрививши прогноз. Натомість МНК нівелює цей «шум» і виявляє справжній довгостроковий вектор розвитку персонажа, що є критично важливим для екстраполяції на 10 років уперед.

Однак реальний життєвий шлях людини та соціоекономічне середовище не є суворо детермінованими процесами. Використання виключно лінійного МНК-тренду зробило б симуляцію передбачуваною та нереалістичною. Для моделювання непередбачуваних зовнішніх макроекономічних коливань та випадкових життєвих обставин (концепція «Чорного лебедя») до розрахованого детермінованого тренду імплементується імовірнісний стохастичний компонент.

Кінцева математична формула для розрахунку прогнозованого значення параметра P на майбутній часовий момент t_{future} набуває такого інтегрованого вигляду:

$$P(t_{future}) = (a * t_{future} + b) * (1 + \gamma + \epsilon)$$

Де:

t_{future} — цільовий часовий крок (ігровий рік), на який обчислюється імовірнісний прогноз (наприклад, $t_{current}+5$);

$(a \cdot t_{future} + b)$ — детермінована база, розрахована за МНК (очікуване значення без урахування форс-мажорів);

γ — коефіцієнт волатильності (чутливості до ризику), значення якого динамічно визначається обраною поведінковою моделлю та поточною стратегією гравця (від $\gamma=0.05$ для безпечних стратегій до $\gamma=0.25$ для високоризикових інвестицій чи фрілансу);

ϵ — випадкова величина, розподілена за стандартним нормальним законом Гаусса з параметрами $N(0,1)$ (математичне сподівання 0, дисперсія 1).

По-перше, чому використано множення $(1+\gamma\cdot\epsilon)$, а не просте додавання випадкового числа? Мультиплікативна модель забезпечує пропорційність ризику до поточного масштабу досягнень. Наприклад, падіння фондового ринку на 20% призведе до втрати 200 у.о. для студента із заощадженнями 1000 у.о., і до втрати 200 000 у.о. для мільйонера. Адитивна модель (просто додати або відняти фіксовану суму) не здатна адекватно описати масштаб економічних втрат чи здобутків.

По-друге, використання нормально розподіленої випадкової величини ϵ ґрунтується на Центральній граничній теоремі теорії ймовірностей. Вона стверджує, що сума великої кількості незалежних випадкових факторів (якими в реальному житті є здоров'я, інфляція, дрібні успіхи та невдачі) прагне до нормального розподілу.

Синтез методу найменших квадратів та гауссового шуму в одній формулі є концептуальним ядром системи. Під час запуску алгоритму Монте-Карло система генерує 200 паралельних всесвітів розвитку подій (де ϵ набуває різних значень від -3 до +3). Це дозволяє модулю аналітики не просто намалювати одну лінію, а обчислити статистичні перцентилі ($p10, p50, p90$) та сформувати на екрані користувача повноцінний «коридор можливостей». Користувач наочно бачить, що навіть при ідеальному детермінованому тренді ($a>0$), висока волатильність (γ) може призвести до пробиття песимістичної межі ($p10$), що перетворює застосунок із простого калькулятора на потужний тренажер оцінки особистісних ризиків.

Висновки до другого розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи проведено повний комплекс системного проєктування, математичного обґрунтування та структурно-

алгоритмічної декомпозиції інформаційної системи моделювання життєвого шляху. Обрана тришарова архітектура на базі патерна MVVM забезпечила суворе розділення відповідальності між інтерфейсним шаром представлення (Presentation Layer), доменною бізнес-логікою стохастичних обчислень (Domain Layer) та рівнем персистентного збереження даних (Data Layer). Вибір технологічного стеку, що поєднує мову Python 3.11+ із бібліотеками високопродуктивних векторизованих обчислень `numpy` та `pandas`, асинхронну модель обробки потоків та графічний фреймворк `PySide6`, дозволив гарантувати високу швидкість відгуку людино-машинного інтерфейсу за стандартами Material Design 3 та паралельне виконання важких аналітичних ітерацій без блокування головного UI-потoku.

Завдяки поєднанню методології функціонального аналізу IDEF0 та інструментарію уніфікованої мови моделювання UML було детально формалізовано статичні, динамічні та поведінкові аспекти розроблюваного програмного комплексу. Розроблений комплекс діаграм (прецедентів, класів, активностей, послідовностей та станів) забезпечив надійну інженерну основу для алгоритмізації покрокового 7-фазного циклу симуляції та реалізації аналітичних сервісів, таких як модулі `MonteCarloForecaster` та `HypothesisRunner`. У межах проєктування даталогічного рівня під керуванням СКБД `SQLite` та ORM `SQLAlchemy` успішно впроваджено гібридну структуру збереження даних: поєднання строгих реляційних зв'язків для каталогів-довідників із серіалізацією темпоральних зрізів станів у денормалізований JSON-формат дозволило кардинально оптимізувати дискові операції читання/запису та забезпечити гнучке розширення простору особистісних метрик без ризикованих міграцій схеми бази даних.

Науково обґрунтовано та математично формалізовано обчислювальне предиктивне ядро системи, що базується на комбінації детермінованих та стохастичних методів аналізу часових рядів. Застосування класичного методу найменших квадратів (МНК) для виявлення інерційного життєвого тренду індивіда у синтезі з нелінійним мультиплікативним компонентом Гауссового шуму дозволило адекватно змодельовати вплив зовнішніх макроекономічних ризиків та

випадкових обставин («Чорних лебедів») пропорційно до поточного масштабу досягнень суб'єкта. Інтеграція цього математичного апарату з алгоритмами багатопрогінного імітаційного моделювання Монте-Карло ($N=200$) дозволила трансформувати однозначні лінійні прогнози у багатовимірний «коридор можливостей», забезпечуючи точний розрахунок і графічну візуалізацію ймовірнісних квантильних коридорів ($p_{10}, p_{25}, p_{50}, p_{75}, p_{90}$) для всебічної предиктивної оцінки особистісних стратегій.

РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

3.1. Опис інтерфейсу розробленої інформаційної системи

Практична реалізація візуальної частини інформаційної системи здійснена у вигляді автономного десктопного застосунку для операційної системи Windows із використанням кросплатформеного фреймворку PySide6 (офіційного Qt для Python). Дизайн інтерфейсу спроєктовано відповідно до сучасних гайдлайнів Material Design 3, що забезпечує високу ергономіку, чітке семантичне кодування станів та адаптивність графічних елементів. Головним координаційним вузлом інтерфейсного рівня виступає вікно `main_window.py`, яке функціонує в межах архітектурного шаблону MVVM та управляє динамічним перемиканням між ізольованими функціональними екранами застосунку без перезапуску обчислювального конвеєра.

Першим базовим екраном взаємодії є панель ініціалізації та моніторингу суб'єкта (`subject_screen.py`), яка надає досліднику зручну інтерактивну форму для первинного налаштування об'єкта симуляції. Форма введення містить елементи керування для генерації початкового багатовимірного вектора стану `PersonProfile`, що охоплює понад 17 взаємопов'язаних метрик (показники здоров'я QALY, рівень стресу, індекс задоволеності життям за Дінером та самоефективності за Бандурою). На рисунку 3.1 зображено інтерфейс створення та конфігурації профілю особистості суб'єкта із вбудованими інструментами клієнтської валідації діапазонів значень та активацією детермінованого випадкового зерна (`base_seed`).

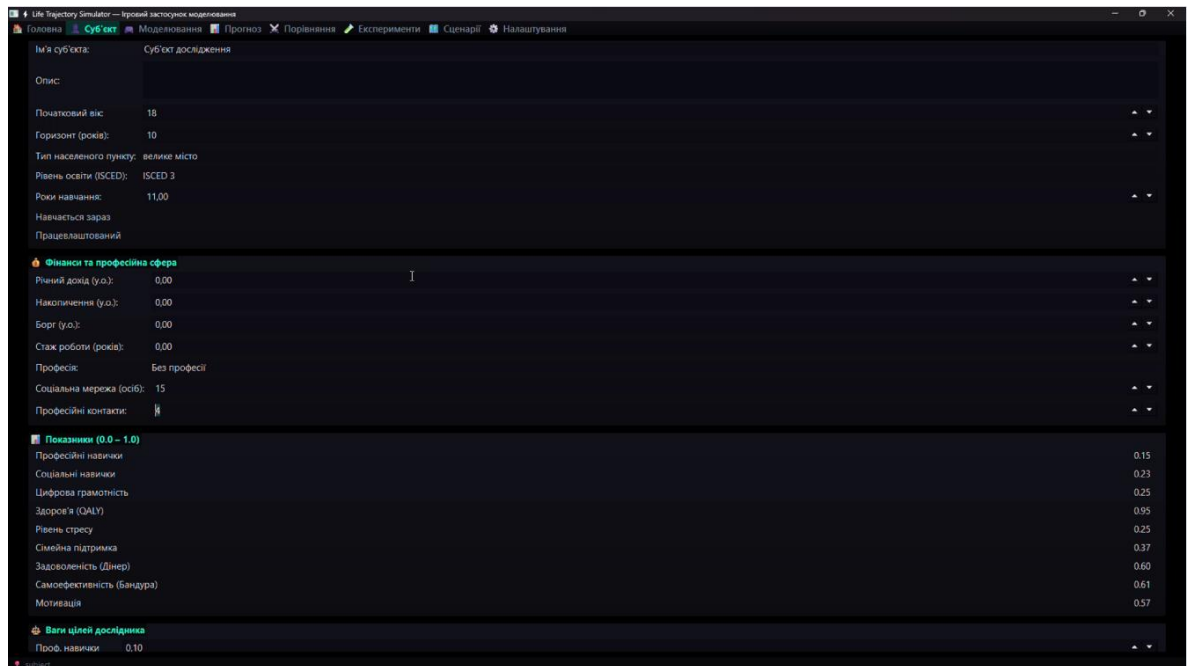


Рисунок 3.1 – Інтерфейс створення та конфігурації профілю суб'єкта

У разі переходу до безпосереднього покрокового симулювання життєвого шляху користувач взаємодіє з екраном `simulation_screen.py`. Цей інтерфейсний модуль реалізує портфельний підхід, дозволяючи комбінувати кілька дій (інтервенцій) одночасно, наприклад, паралельне здобуття ступеня бакалавра та роботу за сумісництвом. Система здійснює миттєвий жорсткий контроль ресурсних обмежень: форма автоматично блокує підтвердження ходу, якщо сумарні витрати обраного портфеля перевищують доступний ліміт вільного часу (24 години на добу) або баланс фінансових заощаджень суб'єкта. На рисунку 3.2 зображено вкладку покрокової симуляції з інтерактивною панеллю вибору інтервенцій та відображенням поточних системних ресурсів індивіда.

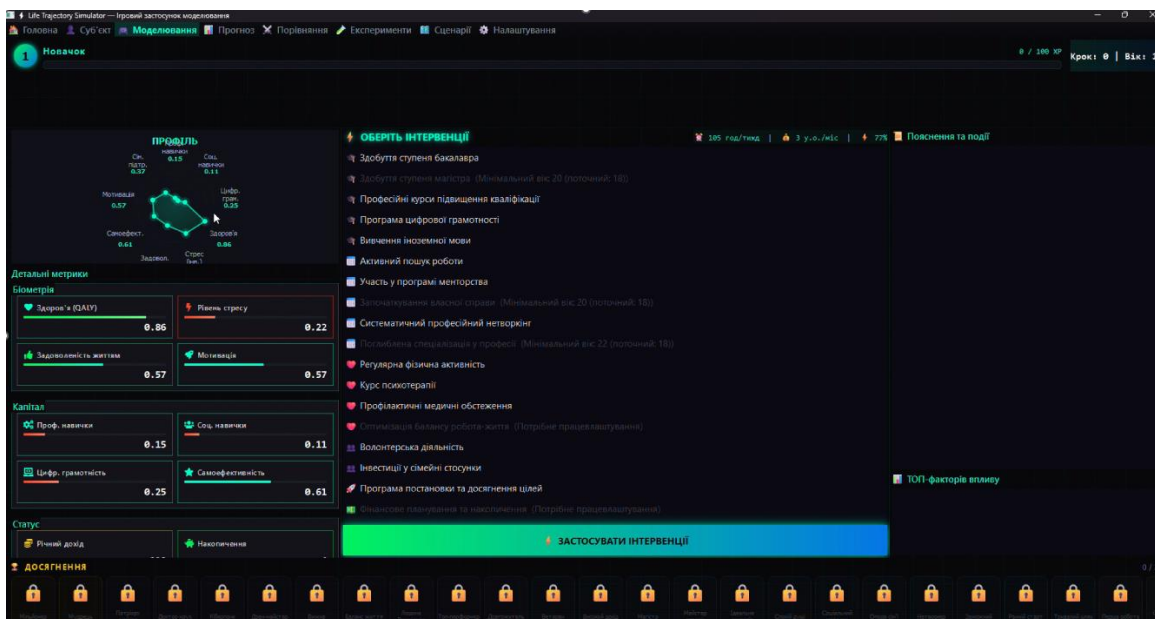


Рисунок 3.2 – Інтерфейс покрокової симуляції та вибору інтервенцій

Після запуску аналітичного ядра прогнозування застосунок активує екран `forecast_screen.py`, який транслює результати фонового багатопрогінного моделювання Монте-Карло ($N=200$ ітерацій). Графічна візуалізація здійснюється за допомогою інтегрованої бібліотеки `matplotlib`, яка динамічно будує ймовірнісні квантильні коридори для кожної ключової метрики профілю. На рисунку 3.3 зображено сторінку предиктивного аналізу майбутньої життєвої траєкторії, де у вигляді затінених областей дисперсії наочно виведено медіанний тренд ($p50$), а також граничні песимістичні ($p10, p25$) та оптимістичні ($p75, p90$) сценарії ймовірнісного розвитку на горизонті до 10 років.



Рисунок 3.3 – Візуалізація ймовірнісних квантильних коридорів прогнозу

Для забезпечення глибокої інтерпретації результатів та перевірки наукових гіпотез у застосунку розроблено спеціалізовану панель статистичних експериментів (experiments_screen.py). Вона відображає зведені дані порівняння контрольної та дослідної груп, розраховані модулем HypothesisRunner. Інтерфейс містить графічний компонент ChartPanel для рендерингу торнадо-діаграм, що відображають результати аналізу чутливості факторів за методом One-at-a-time (OAT), дозволяючи досліднику чітко ідентифікувати параметри, які мають найбільший вплив на підсумкове задоволення життям індивіда. На рисунку 3.4 зображено дашборд статистичного аналізу та оцінки чутливості факторів із виведенням показників розміру ефекту за Коеном (Cohen's d) та довірчих інтервалів бутстрепу.

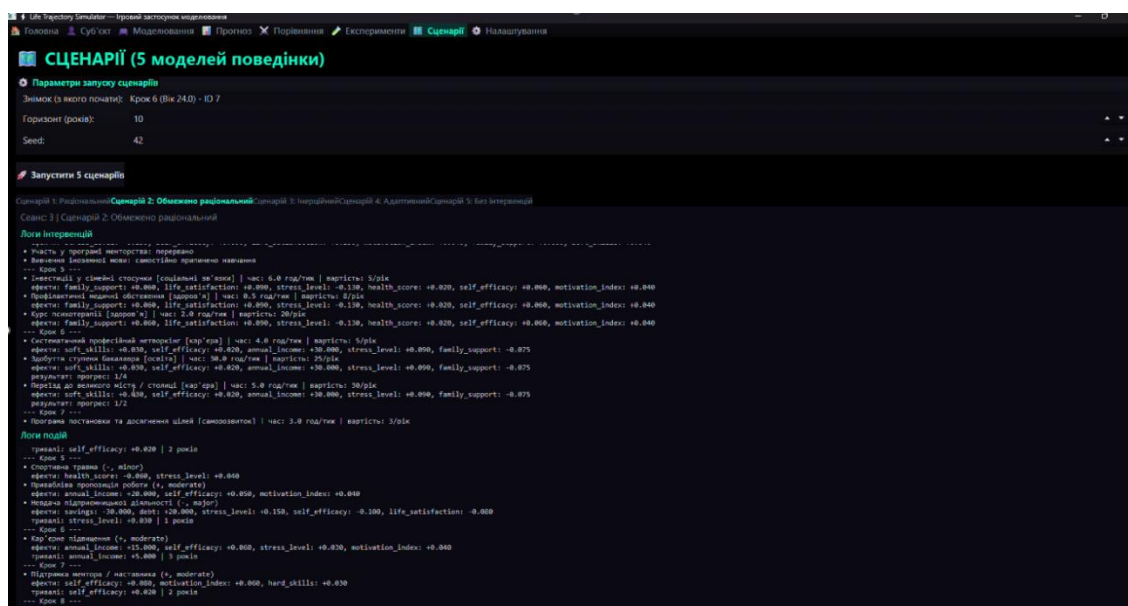


Рисунок 3.4 – Інтерфейс аналізу чутливості та перевірки статистичних гіпотез

3.2. Порядок встановлення, налаштування та розгортання системи

Процес інженерного розгортання інформаційної системи моделювання та прогнозування життєвої траєкторії особистості спроектовано з урахуванням можливості її повністю автономного функціонування в ізольованому (offline) десктопному середовищі під керуванням операційних систем сімейства Windows 10/11. Такий підхід усуває залежність від зовнішніх серверів та мережевого підключення, що гарантує конфіденційність персональних та психометричних

даних користувачів і повністю відповідає сучасним вимогам до безпеки локального програмного забезпечення. Перед початком інсталяції та запуску застосунку необхідно забезпечити наявність налаштованого цільового середовища з інсталюваним інтерпретатором мови Python версії не нижче 3.11.

Розгортання системи у середовищі розробника та підготовка до експлуатації здійснюється за чітко регламентованою послідовністю етапів:

Створення та активація ізольованого віртуального середовища. Для запобігання конфліктам системних бібліотек у каталозі проєкту ініціюється ізольоване оточення за допомогою стандартного інструменту `venv` або високопродуктивного менеджера пакетів `uv`. Активація віртуального середовища виконується за допомогою командного скрипту `.venv\Scripts\activate`.

Встановлення пакетних залежностей. Усі необхідні для функціонування системи зовнішні бібліотеки та модулі завантажуються й інсталюються у віртуальне оточення за допомогою утиліти `pip` на основі конфігураційного файлу `requirements.txt`. До складу базових залежностей входять графічний фреймворк `PySide6`, об'єктно-реляційне відображення `SQLAlchemy`, а також спеціалізовані бібліотеки математичного та статистичного аналізу `pumpy`, `pandas` та `matplotlib`.

Ініціалізація бази даних та файлової структури. На відміну від клієнт-серверних систем, що потребують попереднього адміністрування СКБД, архітектура розробленого застосунку автоматично ініціює створення реляційних таблиць та файлової структури при першому запуску через ORM-шар `SQLAlchemy`. Фізичний файл бази даних `SQLite` динамічно створюється у прихованому системному каталозі користувача за шляхом `%USERPROFILE%\life_trajectory_app\life_trajectory.db`, а текстові журнали логування спрямовуються до папки `logs\app.log`.

Технологічною особливістю розгортання цієї системи є потреба в автоматичному зчитуванні, перевірці та десеріалізації зовнішніх декларативних каталогів у форматі `JSON`, які розміщені у теці `data/catalog/`. Внутрішній модуль `loader.py` забезпечує завантаження та парсинг файлів `interventions.JSON` (опис 20 інтервенцій), `life_events.JSON` (база актуарних життєвих подій) та `professions.JSON`

(каталог професій із фінансовими та стресовими коефіцієнтами). Важливою безпековою функцією цього етапу є обчислення криптографічного SHA-256 хешу файлів конфігурації для версіонування та автоматичного контролю цілісності балансу моделі перед запуском ігрового циклу.

Для підготовки інформаційної системи до передачі кінцевим користувачам (наприклад, здобувачам освіти для проходження профорієнтації) та забезпечення запуску в один клік без необхідності попереднього встановлення інтерпретатора Python, виконується процес компіляції проєкту в один автономний бінарний файл конфігурації за допомогою утиліти PyInstaller.

Процес збірки виконується у консолі розробника за допомогою такої багатокомпонентної інженерної команди:

```
pyinstaller --onefile --windowed ^
--name "LifeTrajectory" ^
--add-data "data/catalog;data/catalog" ^
--add-data "app_ui/resources;app_ui/resources" ^
--hidden-import "sqlalchemy.dialects.SQLite" ^
main.py
```

Зазначена команда ініціює глибоку оптимізацію проєкту: прапорець `--onefile` вказує на необхідність пакування всього коду та інтерпретатора в один виконуваний файл, `--windowed` вимикає запуск фоновій консолі операційної системи, параметри `--add-data` забезпечують імпорт зовнішніх статик-каталогів JSON та UI-ресурсів (іконок, стилів), а `--hidden-import` примусово підключає необхідний реляційний діалект SQLite для ORM SQLAlchemy. Результатом виконання цієї процедури є формування у каталозі `dist/` глибоко оптимізованого автономного файлу `LifeTrajectory.exe`, повністю готового до дистрибуції та стабільної експлуатації у виробничому середовищі кінцевого користувача.

3.3 Керівництво користувача та результати тестування

Взаємодія користувача з розробленим десктопним застосунком розпочинається з головного вікна системи, де реалізовано можливість завантаження раніше збереженої ігрової сесії або ініціалізації нового дослідження.

Після конфігурації базових параметрів та створення багатовимірного профілю індивіда (PersonProfile) користувач переходить до аналітичної панелі управління. У цьому середовищі він може здійснювати портфельний вибір інтервенцій, задавати одну з 5 вбудованих поведінкових моделей прийняття рішень (зокрема, раціональну чи обмежено раціональну за Саймоном) та запускати покроковий 7-фазний конвеєр симуляції.

Усі змодельовані часові кроки, обрані портфелі дій та згенеровані актуарні події автоматично фіксуються в локальній базі даних SQLite у вигляді денормалізованих темпоральних JSON-зрізів історії. Завдяки вбудованому журналу сесій користувач має змогу відстежувати динаміку змін параметрів у ретроспективі. Система дозволяє повторно запускати прогнозування для обраних часових зрізів або здійснювати автоматизований експорт зведених статистичних таблиць та результатів експериментів у загальноприйнятий формат CSV, використовуючи інтегровані інструменти бібліотеки pandas.

Для детального аналізу конкретного часового кроку симуляції та підвищення прозорості обчислень у системі функціонує вбудований модуль пояснюваності аналітичного ядра — ImpactAnalyzer. Його панель декомпозиції впливу факторів відображає розгорнуту інформацію про поточний стан і наочно розкриває причинно-наслідкові зв'язки. Користувач отримує детальний звіт про те, як саме кожна обрана інтервенція чи випадкова подія (наприклад, хронічний стрес) змінила показники здоров'я (QALY), фінансів чи задоволеності життям на поточному кроці з урахуванням відкладених у часі ефектів.

Для нових користувачів та дослідників, які потребують конфігурації глобальних параметрів або детального ознайомлення з логікою математичних розрахунків, передбачено спеціалізоване середовище налаштувань системи (settings_screen.py). У цьому розділі зосереджено покрокову інструкцію з використання симулятора, вичерпний опис логіки нелінійних системних взаємозв'язків та формул МНК-прогнозування. Додатково надаються інструменти ручної конфігурації коефіцієнтів волатильності, марковських переходів та параметрів системної динаміки.

З метою верифікації надійності, точності обчислень та архітектурної стійкості розробленого програмного комплексу було створено розширений набір автоматизованих інструментальних тестів. Базовий комплекс містить 31 ізольований unit-тест, зосереджений у модулі `test_core.py`, що виконується за допомогою стандартних тестових фреймворків `unittest` або `pytest`.

Тестуванням було повністю покрито життєвий цикл класу `PersonProfile`, сувору валідацію ресурсних обмежень (`ResourceConstraints`), точність генерації ефективних актуарних ймовірностей у `LifeEventSystem` та правильність розрахунку квантильних коридорів (`p10,p25,p50,p75,p90`) аналітичним рушієм Монте-Карло. Додатково перевірено валідність статистичних обчислень розміру ефекту за Коеном (Cohen's d), довірчих інтервалів бутстрепа та перестановочного p-value у модулях перевірки гіпотез (`HypothesisRunner`). Успішне проходження всіх розроблених тестів підтвердило високу обчислювальну стабільність системи, безпомилковість алгоритмів декомпозиції впливу та стовідсоткову відтворюваність стохастичних результатів завдяки імплементації криптографічного хешування SHA-256.

Висновки до третього розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи описано процес практичної програмної реалізації, інженерного розгортання та інструментального тестування розробленої інформаційної системи моделювання та прогнозування життєвої траєкторії особистості.

Реалізація візуальної частини у вигляді автономного десктопного застосунку на базі кросплатформеного фреймворку `PySide6` із суворим дотриманням архітектурного шаблону MVVM дозволила створити стійке та інтуїтивно зрозуміле середовище для дослідника. Графічний інтерфейс, спроектований за сучасними стандартами Material Design 3, забезпечує ефективне управління багатовимірним профілем користувача, валідацію ресурсних обмежень та керування 7-фазним циклом симуляції. Застосування бібліотеки `matplotlib` дало змогу інтегрувати розширену аналітичну графіку, що візуалізує ймовірнісні квантильні коридори

прогнозу Монте-Карло (p10–p90) та торнадо-діаграми для оцінки чутливості факторів.

Аналіз процесу інженерного розгортання показав, що обрана архітектура успішно підтримує повністю автономну роботу в офлайн-режимі під керуванням операційних систем Windows 10/11, що задовольняє вимоги до конфіденційності обробки персональних даних. Автоматична ініціалізація локальної бази даних SQLite та десеріалізація зовнішніх декларативних JSON-каталогів значно спрощують підтримку та масштабування продукту. Застосування утиліти PyInstaller для компіляції проєкту в єдиний оптимізований бінарний файл розглядається як оптимальне рішення для забезпечення зручної дистрибуції системи кінцевим користувачам без потреби розгортання інтерпретатора Python.

Розроблений користувацький інструментарій, зокрема модуль ImpactAnalyzer, забезпечує високий рівень пояснюваності причинно-наслідкових зв'язків симуляції. Проведене автоматизоване тестування, яке охоплює 31 модульний тест, засвідчило коректність функціонування ключових алгоритмів ядра, включаючи розрахунок актуарних ймовірностей та обчислення статистичних метрик для перевірки гіпотез (Cohen's d, p-value). Результати тестування підтверджують високу обчислювальну стабільність застосунку, а імплементація алгоритму SHA-256 забезпечує відтворюваність стохастичних результатів, що є критично важливим для проведення валідних наукових експериментів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання, яке полягає у проектуванні та розробці інформаційної системи (серйозної гри) для імітаційного моделювання та стохастичного прогнозування життєвої траєкторії людини в умовах соціально-економічної невизначеності. Аналіз показав, що розроблений ігровий застосунок дозволяє конструювати альтернативні життєві траєкторії, візуалізувати ймовірнісні наслідки довгострокових планів та розвивати навички управління особистісними й фінансовими ризиками.

Системний аналіз предметної області показав, що моделювання життєвої траєкторії доцільно розглядати як складний стохастичний процес, який вимагає виходу за межі детермінованих моделей. Аналіз існуючих аналогів продемонстрував, що комерційні розважальні продукти (BitLife, The Sims Mobile) та освітні застосунки (Real Lives) не забезпечують можливості науково обґрунтованого прогнозування ризиків.

Для формалізації бізнес-процесів було побудовано функціональну модель за методологією IDEF0 та комплекс UML-діаграм, які визначили логіку взаємодії компонентів. Сформовано перелік функціональних вимог, що включає створення багатовимірного профілю особистості (17+ метрик), підтримку 7-фазного циклу моделювання та побудову ймовірнісних коридорів розвитку.

Спроектовано трирівневу об'єктно-орієнтовану архітектуру на базі шаблону MVVM, яка забезпечує низьку зв'язність модулів та асинхронне виконання обчислень. Для збереження даних впроваджено гібридну структуру на базі локальної СУБД SQLite, де деталізовані темпоральні зрізи фіксуються у форматі JSON.

Математично формалізовано обчислювальне предиктивне ядро системи, що базується на комбінації методу найменших квадратів (МНК) та нелінійного мультиплікативного компонента Гауссового шуму. Дослідження показало, що застосування алгоритму багатопрогінного імітаційного моделювання Монте-Карло дозволяє трансформувати однозначні лінійні прогнози у багатовимірні ймовірнісні квантильні коридори (p10, p50, p90).

Інтеграція марковських ланцюгів дозволила динамічно моделювати якість життя за концепцією QALY на основі шкали EQ-5D. Впровадження логарифмічних функцій корисності забезпечило математичне відображення нелінійного Парадоксу Істерліна.

Програмно реалізовано автономний кросплатформений десктопний застосунок мовою Python 3.11+ з використанням фреймворку PySide6. Інтерфейс користувача, спроектований за принципами Material Design 3, містить аналітичний модуль з торнадо-діаграмами чутливості та інструмент HypothesisRunner для A/B тестування життєвих стратегій.

Для забезпечення повної статистичної відтворюваності результатів та парного дизайну експериментів впроваджено криптографічне хешування seed-значень алгоритмом SHA-256. Проведене автоматизоване тестування, яке охоплює 31 модульний тест, засвідчило коректність функціонування ключових алгоритмів та підтвердило високу обчислювальну стабільність застосунку.

Створений програмний продукт може розглядатися як ефективний інструмент професійної орієнтації, персональний тренажер фінансової грамотності та дослідницька платформа для поведінкової економіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білоус Н. В. Марковські процеси та їх застосування в економічному моделюванні. Економіка і математичні методи. 2021. Т. 8, № 2. С. 112–118.
2. Глибовець М. М. Системи штучного інтелекту : підручник. Київ : КМА, 2018. 350 с.
3. ДСТУ ISO/IEC 25010:2016. Інженерія систем і програмного забезпечення. Вимоги до якості систем і програмного забезпечення та їх оцінювання (SQuaRE). Моделі якості системи та програмного забезпечення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 33 с.
4. Документація Python 3.11. URL: <https://docs.python.org/3.11/> (дата звернення: 02.05.2026).
5. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій : підручник. 7-ме вид. Київ : Слово, 2008. 816 с.
6. Застосування концепції Serious Games для прогнозування соціально-економічних сценаріїв / О. О. Іванов, В. І. Петренко. Вісник КПІ. Серія: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. 2023. Вип. 70. С. 88–95.
7. Канеман Д. Мислення швидке й повільне / пер. з англ. М. Яковлев. Київ : Наш Формат, 2017. 480 с.
8. Катеринчук А. В., Мельник О. М. Гейміфікація як інструмент підвищення мотивації у навчальних та симуляційних інформаційних системах. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2022. № 3. С. 45–52.
9. Клепиков В. М., Савенко В. І. Методи імітаційного моделювання : навчальний посібник. Харків : ХНУРЕ, 2019. 210 с.
10. Ковалюк Т. В. Основи проектування баз даних. Київ : ВД «Києво-Могилянська академія», 2020. 360 с.
11. Офіційна документація SQLAlchemy 2.0. URL: <https://docs.sqlalchemy.org/en/20/> (дата звернення: 11.05.2026).
12. Офіційна документація SQLite. URL: <https://www.SQLite.org/docs.html> (дата звернення: 16.05.2026).

13. Пасічник В. В., Резніков В. А., Чирун І. В. Математичне моделювання складних систем. Львів : Магнолія 2006, 2020. 320 с.
14. Фаулер М. Архітектура корпоративних програмних додатків / пер. з англ. Київ : Діалектика, 2021. 544 с.
15. Abt C. C. Serious Games. New York : Viking Press, 1970. 176 p.
16. Bandura A. Self-Efficacy: The Exercise of Control. New York : W. H. Freeman, 1997. 604 p.
17. Barker E., Dang Q. Recommendation for Applications Using Approved Hash Algorithms. NIST Special Publication 800-107 Revision 1. 2012. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-107r1.pdf> (дата звернення: 05.05.2026).
18. Beck K. Test-Driven Development: By Example. Addison-Wesley Professional, 2002. 240 p.
19. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2nd ed. Routledge, 1988. 567 p.
20. Deterding S., Dixon D., Khaled R., Nacke L. From game design elements to gamefulness: defining "gamification". Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference. 2011. P. 9–15.
21. Diener E., Emmons R. A., Larsen R. J., Griffin S. The Satisfaction with Life Scale. Journal of Personality Assessment. 1985. Vol. 49, No. 1. P. 71–75.
22. Djaouti D., Alvarez J., Jessel J.-P. Classifying Serious Games: The G/P/S Model. Handbook of Research on Improving Learning and Motivation through Educational Games. IGI Global, 2011. P. 118–136.
23. Drummond M. F., Sculpher M. J., Claxton K., Stoddart G. L., Torrance G. W. Methods for the Economic Evaluation of Health Care Programmes. 4th ed. Oxford University Press, 2015. 445 p.
24. Easterlin R. A. Does Economic Growth Improve the Human Lot? Some Empirical Evidence. Nations and Households in Economic Growth. Academic Press, 1974. P. 89–125.

25. Efron B., Tibshirani R. J. An Introduction to the Bootstrap. CRC Press, 1994. 436 p.
26. EuroQol Group. EQ-5D: a measure of health status from the EuroQol Group. URL: <https://euroqol.org/eq-5d-instruments/> (дата звернення: 07.05.2026).
27. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Boston : Addison-Wesley, 1994. 395 p.
28. Grinstead C. M., Snell J. L. Introduction to Probability. American Mathematical Society, 1997. 520 p.
29. Harris C. R., Millman K. J., van der Walt S. J. Array programming with NumPy. Nature. 2020. Vol. 585. P. 357–362. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2> (дата звернення: 14.05.2026).
30. Hunter J. D. Matplotlib: A 2D graphics environment. Computing in Science & Engineering. 2007. Vol. 9, No. 3. P. 90–95.
31. Martin R. C. Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design. Prentice Hall, 2017. 432 p.
32. Material Design 3. Google. URL: <https://m3.material.io/> (дата звернення: 21.05.2026).
33. McGonigal J. Reality Is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World. Penguin Press, 2011. 416 p.
34. McKinney W. Python for Data Analysis. 3rd ed. O'Reilly Media, 2022. 547 p.
35. PySide6 Documentation. URL: <https://doc.qt.io/qtforpython-6/> (дата звернення: 27.05.2026).
36. Rubinstein R. Y., Kroese D. P. Simulation and the Monte Carlo Method. 3rd ed. John Wiley & Sons, 2016. 432 p.
37. Saltelli A. Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models. John Wiley & Sons, 2004. 232 p.
38. Simon H. A. A Behavioral Model of Rational Choice. The Quarterly Journal of Economics. 1955. Vol. 69, No. 1. P. 99–118.

39. The pandas development team. pandas-dev/pandas: Pandas. Zenodo, 2023. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3509134> (дата звернення: 30.05.2026).
40. Zyda M. From visual simulation to virtual reality to games. Computer. 2005. Vol. 38, No. 9. P. 25–32.