

УДК 004.8:004.413.4

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.1.26>**Олександр ПСАРЬОВ**аспірант кафедри інформаційних технологій,
Сумський державний університет, aleksua18@gmail.com**ORCID:** 0000-0003-2107-2751

ІНТЕГРАЦІЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ЗАГАЛЬНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЦІЛЕСПРЯМОВАНУ МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Анотація. Предметом статті є комплексне дослідження та розробка підходів до інтеграції методів оцінки безпеки загального штучного інтелекту у процес управління ризиками при розробці програмного забезпечення. Особливу увагу приділено аналізу потенційних загроз, які виникають при використанні загального штучного інтелекту у сучасних програмних продуктах, а також розгляду методів мінімізації цих ризиків. У статті представлені практичні рішення, зокрема використання ієрархічного процесу аналізу для визначення пріоритетів ризиків та генетичних алгоритмів для пошуку оптимальних стратегій зниження ризиків.

Детально описані основні принципи застосування ієрархічного процесу аналізу у контексті управління ризиками програмного забезпечення, включаючи побудову ієрархій, оцінювання ризиків та формування матриці пріоритетів. Генетичні алгоритми використовуються для знаходження оптимальних рішень на основі даних ієрархічного процесу аналізу, що дозволяє забезпечити адаптивність і точність у створенні безпечного програмного забезпечення. Наведені приклади розрахунків демонструють, як об'єднання цих методів сприяє досягненню більш ефективного управління ризиками.

Метою статті є розробка інструментарію для оцінки та управління ризиками, пов'язаними з використанням загального штучного інтелекту у процесах розробки програмного забезпечення, а також забезпечення безпеки цих процесів шляхом інтеграції новітніх алгоритмічних рішень.

Висновки. Інтеграція ієрархічного процесу аналізу та генетичних алгоритмів дозволяє створити ефективну модель управління ризиками при розробці програмного забезпечення з використанням загального штучного інтелекту, що мінімізує загрози та забезпечує високу надійність систем.

Ключові слова: загальний штучний інтелект, управління ризиками, ієрархічний процес аналізу, генетичні алгоритми, мінімізація ризиків.

Oleksandr PSAROV. INTEGRATION OF GENERAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE SAFETY ASSESSMENT METHODS INTO A TARGETED SOFTWARE DEVELOPMENT RISK MANAGEMENT MODEL

Abstract. The subject of this article is the comprehensive study and development of approaches to integrating General Artificial Intelligence safety assessment methods into the risk management process in software development. Particular attention is paid to analyzing potential threats that arise when using Artificial General Intelligence in modern software products and examining methods for minimizing these risks. The article presents practical solutions, including the use of the Analytical Hierarchy Process to prioritize risks and genetic algorithms to find optimal risk mitigation strategies.

The main principles of Analytical Hierarchy Process application in the context of software risk management are described in detail, including the construction of hierarchies, risk assessment, and priority matrix formation. Genetic algorithms are used to identify optimal solutions based on Analytical Hierarchy Process data, providing adaptability and precision in creating secure software. Calculation examples demonstrate how combining these methods contributes to more effective risk management.

The **aim** of the article is to develop tools for assessing and managing risks associated with the use of Artificial General Intelligence in software development processes and to ensure the safety of these processes by integrating advanced algorithmic solutions.

Conclusions. The integration of the Analytical Hierarchy Process and genetic algorithms enables the creation of an effective risk management model in software development involving Artificial General Intelligence, minimizing threats and ensuring high system reliability.

Key words: general artificial intelligence, risk management, Analytical Hierarchy Process, genetic algorithms, risk minimization.

Вступ. Сучасний розвиток інформаційних технологій створює для розробників програмного забезпечення (ПЗ) нові виклики: зростання складності проектів, жорсткі вимоги до якості, ефективності та безпеки. Ці труднощі пов'язані з масштабованістю проектів, розвитком штучного інтелекту (ШІ), застосуванням гнучких методологій, таких як Agile, та інтеграцією штучного загального інтелекту (AGI) [6, 2, 3, 9].

Попри переваги гнучких методологій (адаптивність, прозорість, залучення користувачів), вони супроводжуються високим рівнем невизначеності та людськими факторами, що збільшує ризики затримок, перевищення бюджету та невиконання цілей. Використання AGI також несе нові загрози: складність прогнозування поведінки, ризик етичних порушень, проблеми конфіденційності та кібербезпеки.

Інтеграція аналітико-ієрархічного процесу (АНР) та генетичних алгоритмів (GA) пропонує ефективний підхід до управління ризиками. АНР структуровано оцінює ризики, враховуючи приховані залежності, тоді як GA знаходить оптимальні стратегії їх пом'якшення [10, 8]. Модель адаптивно реагує на зміни та підвищує прозорість і ефективність управління ризиками, що особливо важливо для проектів із AGI.

Розробка такої моделі є вагомим науковим внеском, який відповідає викликам цифрової трансформації й відкриває нові можливості для вдосконалення управлінських стратегій.

Завдання дослідження спрямовані на розкриття ключових аспектів проблематики.

1. Провести аналіз потенційних загроз і ризиків, пов'язаних із використанням AGI у розробці програмного забезпечення.

2. Розробити методику інтеграції АНР для визначення пріоритетів ризиків у контексті безпеки AGI.

3. Вивчити можливості використання генетичних алгоритмів для оптимізації стратегій управління ризиками у ПЗ.

4. Запропонувати комбіновану модель, що інтегрує АНР та генетичні алгоритми для забезпечення адаптивного управління ризиками.

5. Виконати емпіричне моделювання та оцінити ефективність запропонованої моделі на основі практичних прикладів.

Методологія та наукова новизна. Дане дослідження спрямоване на вирішення актуальної проблеми управління ризиками у процесі розробки ПЗ, особливо в умовах інтеграції AGI. **Методологія** базується на використанні комбінованого підходу, що включає кількісні та якісні методи оцінки ризиків, які об'єднуються в єдину цілеспрямовану модель управління ризиками (ЦМУРПЗ).

На першому етапі проведено аналіз проблематики, пов'язаної із сучасними викликами в розробці ПЗ, включаючи складність проектів, динамічний розвиток штучного інтелекту та ризики, що виникають на різних етапах життєвого циклу проектів. Ідентифіковано основні ризики, які можуть впливати на ефективність і безпеку ПЗ, зокрема ті, що мають мультиплікативний характер.

Другим етапом дослідження є застосування АНР для системної оцінки ризиків. Цей метод забезпечує структурованість у визначенні пріоритетів ризиків шляхом побудови ієрархій та використання експертних оцінок для створення матриці парних порівнянь. Пріоритизація дозволяє виділити ключові ризики для подальшого аналізу. Наступний етап передбачає використання GA для оптимізації управління ризиками.

Наукова новизна дослідження полягає у створенні адаптивної цілеспрямованої моделі управління ризиками, яка інтегрує АНР та GA. Вперше запропоновано методику об'єднання цих інструментів для системного підходу до управління ризиками у розробці ПЗ. Інтеграція дозволяє не лише оцінювати прямі ризики, але й враховувати приховані залежності, що значно підвищує ефективність управління. Застосування генетичних алгоритмів у поєднанні з вагами, визначеними за допомогою АНР, дозволяє знаходити оптимальні рішення у складних багатокритеріальних задачах.

Дослідження має значний науковий внесок, адже вперше у сфері управління ризиками інтегровано АНР та GA, що забезпечує новий рівень адаптивності та ефективності управлінських стратегій. Це відкриває перспективи для подальших досліджень у галузі управління ризиками, розробки ПЗ та методології інтеграції новітніх технологій. Тема є надзвичайно актуальною як для наукової спільноти, так і для практиків у сфері ІТ, оскільки відповідає викликам сучасної цифрової трансформації.

Вступ до проблеми безпеки AGI у розробці програмного забезпечення. З розвитком AGI перед розробниками програмного забезпечення постають як нові можливості, так і численні виклики. З одного боку, AGI може пришвидшити процес розробки, оптимізувати роботу та вирішувати складні завдання. З іншого боку, існують ризики, пов'язані зі зменшенням креативної складової, втратою персональної відповідальності за код, етичними питаннями та проблемами щодо прав інтелектуальної власності. Розробники можуть зіткнутися зі складнощами у міждисциплінарній співпраці, зростаючим тиском через порівняння з ШІ, а також з ризиком дегуманізації процесу розробки, що може вплинути на інновації та унікальність програмних рішень [1]. Щоб зменшити ці загрози, важливо навчитися ефективно співпрацювати з ШІ як з інструментом, який доповнює людські здібності. Окрім того, важливо зберігати баланс між технічною оптимізацією та потребами користувачів, щоб уникнути втрати орієнтації на людину під час створення програмного забезпечення [7, 5].

Значущість інтеграції методів безпеки AGI у розробку ПЗ. Управління ризиками має обов'язково включати елементи безпеки AGI [4]. Ключові аспекти теми:

1. *Автономність AGI та ризики контролю.* AGI системи мають здатність до автономного навчання і прийняття рішень, що може призвести до непередбачуваних наслідків. Коли AGI діє без людського контролю, ризики, пов'язані з його використанням, можуть бути значними. AGI може розробити алгоритми, які можуть суперечити етичним нормам або призвести до шкоди.

Формула контролю безпеки AGI:

$$\text{Безпека AGI} = \text{Контроль} + \text{Моніторинг} + \text{Аудит}$$

Ця формула підкреслює необхідність інтеграції постійного контролю, моніторингу та аудиту систем AGI на всіх етапах їх розвитку.

2. *Етичні виклики та відповідальність.* AGI може приймати рішення, що впливають на людей і суспільство і це породжує етичні дилеми. Якщо AGI генерує код або алгоритми, які мають етичні наслідки, питання відповідальності можуть стати складними.

Оцінка ризиків у контексті етики:

$$\text{Етичні ризики} = \text{Ймовірність} \times \text{Вплив}$$

Розробники повинні проводити оцінку ризиків на етапі проектування і враховувати можливі наслідки рішень AGI.

3. *Кібербезпека та вразливості.* AGI може бути використаний для виявлення вразливостей у програмному забезпеченні, що збільшує ризик кіберзлочинів. Модель оцінки вразливостей:

$$\text{Вразливості} = \text{Загроза} \times \text{Вразливість} \times \text{Вплив}$$

Ця модель дає змогу оцінити, які системи і компоненти є найбільш вразливими і, відповідно, розробники завчасно можуть вжити відповідних заходів для їх захисту.

4. *Прозорість і контроль.* AGI може працювати як "чорна скринька", де рішення, які приймаються, важко зрозуміти. Це ускладнює аудит і тестування програмного забезпечення, підвищуючи ризики ненавмисних помилок.

Модель прозорості:

$$\text{Прозорість} = \text{Кількість зрозумілих рішень} / \text{Загальна кількість рішень}$$

Використання цієї формули дозволяє вимірювати, наскільки прозорими є системи AGI, що у свою чергу вплине на довіру користувачів та якість ПЗ.

5. *Виклики в області інтелектуальної власності.* З AGI, яке може генерувати код, виникають питання щодо власності на цей код.

Формула власності на результати AGI:

$$\text{Правовласності} = \text{Власник} + \text{Користувач} + \text{Ліцензія}$$

Формула підкреслює необхідність чіткого визначення прав власності на результати AGI у контексті розробки програмного забезпечення.

6. *Регуляторні виклики.* Впровадження AGI у розробку ПЗ може вимагати дотримання нових регуляторних норм, які будуть розроблятися в міру поширення технології. Розробники повинні бути готові адаптуватися до нових вимог.

Модель регуляторного ризику:

$$\text{Регуляторний ризик} = \text{Невизначеність} \times \text{Складність норм}$$

7. *Психологічні аспекти та моральний вплив.* Використання AGI може призвести до змін у психологічному стані розробників, зокрема через тиск, пов'язаний із впровадженням нових технологій. Це може негативно вплинути на якість роботи та загальний стан команди.

Модель психологічного впливу:

$$\text{Психологічний вплив} = \text{Стрес} + \text{Невизначеність} - \text{Підтримка}$$

Ця формула підкреслює важливість забезпечення підтримки для розробників у процесі впровадження AGI.

Оцінка безпеки AGI з використанням АНР моделі. Оцінка безпеки AGI за допомогою методу АНР є важливою для того, щоб виявляти, структурувати та пріоритезувати ризики, пов'язані з безпекою. Цей процес дозволяє ефективно управляти ризиками та контролювати використання AGI на кожному етапі його життєвого циклу, забезпечуючи високий рівень захисту [10].

Застосування АНР для управління ризиками в розробці ПЗ. Метод АНР є потужним інструментом для управління ризиками в розробці ПЗ, оскільки він дозволяє приймати обґрунтовані рішення шляхом розбиття складної проблеми на підзадачі, оцінки їх відносної важливості та впорядкування ризиків. Застосування АНР в управлінні ризиками розробки ПЗ можна розбити на такі кроки:

1. **Визначення критеріїв ризиків:** На початковому етапі визначаються критерії, за якими буде оцінюватися кожен ризик. Це можуть бути: **ймовірність настання ризику** (probability) – наскільки часто може траплятися подія, пов'язана з ризиком; **серйозність впливу** (impact) – оцінка можливого негативного впливу на проект; **часовий вплив** (timing) – період, коли ризик може вплинути на проект; **ресурси для пом'якшення** (mitigation resources) – оцінка витрат на зменшення впливу ризику.

2. **Побудова ієрархії:** АНР передбачає розбиття проблеми на рівні. На першому рівні ієрархії розташовується основна мета, на другому – головні критерії ризиків, а на наступному – альтернативні дії або ризики, які потребують оцінки.

3. **Попарне порівняння ризиків:** Кожен ризик порівнюється з іншими з точки зору його відносної важливості за встановленими критеріями. Це дозволяє об'єктивно визначити, які ризики є найбільш значущими і вимагають негайної уваги.

4. **Розрахунок ваг та пріоритетів:** За результатами порівнянь розраховуються ваги ризиків, що дозволяє впорядкувати їх за важливістю. Цей процес виконується з урахуванням внеску кожного ризику в загальний рівень ризику проекту.

5. **Розробка плану дій:** На основі отриманих ваг ризиків розробляється план дій для пом'якшення впливу найважливіших ризиків. В результаті застосування АНР забезпечує структурований підхід до прийняття рішень, який дає змогу командам проекту зосередитися на найбільш критичних аспектах ризиків, оптимізувати використання ресурсів та ефективніше управляти ризиками.

Оцінка ризиків AGI: Як АНР може бути адаптований для оцінки ризиків AGI, інтегрованих у розробку ПЗ. Із зростанням ролі штучного загального інтелекту (AGI) в розробці ПЗ виникає потреба в нових підходах до управління ризиками, пов'язаними з AGI. Метод АНР може бути адаптований для оцінки ризиків, пов'язаних із впровадженням AGI, завдяки його здатності аналізувати багатовимірні ризики, які мають високий рівень невизначеності. Ключові кроки застосування АНР для оцінки ризиків AGI можуть включати:

1. **Визначення специфічних критеріїв ризиків AGI:** На відміну від традиційних ризиків ПЗ, AGI-ризики вимагають врахування додаткових критеріїв: **етичність** (ethical impact) – ризик порушення етичних стандартів, що може викликати негативну реакцію суспільства; **конфіденційність даних** (data privacy) – ризик порушення конфіденційності через збір та обробку великих обсягів даних; **залежність від AGI** (dependency risk) – ризик надмірної залежності від AGI, що може вплинути на прийняття рішень; **безпека** (security) – ризик неправомірного доступу або неконтрольованого використання технологій AGI; **економічні наслідки** (economic impact) – ризик втрат або непрямих витрат, пов'язаних з використанням AGI.

2. **Попарне порівняння AGI-ризиків:** АНР використовується для проведення попарних порівнянь між ризиками, що дозволяє визначити, який ризик має найбільший вплив на проект. Це особливо важливо в умовах швидких змін у сфері AGI.

3. **Оцінка ваг та пріоритетів:** Результати попарного порівняння використовуються для розрахунку вагових коефіцієнтів для кожного ризику AGI. Це дозволяє створити рейтинг ризиків, враховуючи їхній вплив на успішність проекту.

4. **Розробка стратегій пом'якшення AGI-ризиків:** На основі отриманих ваг визначаються конкретні дії для зменшення впливу ризиків AGI.

5. **Моніторинг та перегляд ризиків:** Це забезпечує актуальність оцінки ризиків та дозволяє уникати неочікуваних проблем.

Переваги адаптації АНР для AGI-ризиків: Метод АНР дозволяє структурувати аналіз ризиків AGI, даючи змогу команді проекту зосередитися на критичних аспектах, які можуть вплинути на безпеку, конфіденційність та етичність впровадження. Завдяки АНР забезпечується об'єктивність та ефективність управління AGI-ризиками.

Інтеграція АНР і генетичних алгоритмів в ЦМУРРПЗ. Інтеграція методу АНР та GA у модель управління ризиками в розробці програмного забезпечення, орієнтованої на цілі, дозволяє об'єднати багатокритеріальну оцінку ризиків та оптимізацію управлінських стратегій. Це забезпечує структурований підхід до пріоритизації ризиків і визначення оптимальних стратегій зниження ризиків у відповідності до їхньої важливості та ресурсних обмежень.

Алгоритм інтеграції АНР і GA. Процес інтеграції АНР та GA складається з наступних кроків:

1. Визначення ваг ризиків за допомогою методу АНР.
2. Оптимізація стратегій управління ризиками з використанням генетичного алгоритму.
3. Використання інтегрованої функції пристосованості для визначення кінцевого набору оптимальних стратегій.

Етап 1: Визначення ваг ризиків за допомогою методу АНР. АНР дозволяє декомпонувати проблему управління ризиками на ієрархічні рівні, щоб визначити відносну важливість кожного ризику. Основним інструментом для цього є **матриця парних порівнянь**, яка допомагає визначити, наскільки один ризик є важливішим за інший.

Створення матриці парних порівнянь:

Припустимо, що є три ризики: R_1, R_2, R_3 . Для кожної пари ризиків створюється оцінка їхньої важливості на основі експертних даних.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix},$$

де a_{ij} – це відносна важливість ризику R_i порівняно з R_j , яка визначається за шкалою від 1 до 9, де 1 означає рівну важливість, а 9 – значну важливість одного ризику над іншим.

Нормалізація матриці. Щоб визначити ваги кожного ризику, спочатку нормалізуємо матрицю шляхом ділення кожного елемента стовпця на суму елементів цього ж стовпця. Наприклад:

$$A_{norm} = \begin{bmatrix} 0.652 & 0.600 & 0.625 \\ 0.217 & 0.200 & 0.250 \\ 0.130 & 0.100 & 0.125 \end{bmatrix}$$

Обчислення ваги ризиків. Ваги кожного ризику ω_i обчислюються як середнє значення елементів у відповідному рядку нормалізованої матриці:

$$\omega_1 = \frac{0.652 + 0.600 + 0.625}{3} = 0.626$$

$$\omega_2 = \frac{0.217 + 0.200 + 0.250}{3} = 0.222$$

$$\omega_3 = \frac{0.130 + 0.100 + 0.125}{3} = 0.118$$

Таким чином, ваги ризиків будуть:

$$W = \begin{bmatrix} 0.626 \\ 0.222 \\ 0.118 \end{bmatrix}$$

Ці ваги відображають пріоритетність кожного ризику у загальній системі.

Перевірка узгодженості матриці. Для перевірки узгодженості парних порівнянь обчислюється індекс узгодженості (CI) і відношення узгодженості (CR):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

де λ_{max} – максимальне власне значення матриці, n – кількість ризиків. Якщо $CR < 0.1$, то матриця вважається узгодженою.

Етап 2: Оптимізація стратегій управління з використанням генетичних алгоритмів. Генетичний алгоритм використовується для оптимізації управлінських стратегій кожного ризику на основі їх ваг та обмежень. Основна задача GA – знайти оптимальну комбінацію стратегій, яка забезпечує максимальну ефективність управління ризиками за мінімальних ресурсів.

Алгоритм генетичного алгоритму

1. Ініціалізація популяції: Формується початкова популяція хромосом, де кожна хромосома представляє стратегію управління ризиками. Наприклад, $x = [0, 1, 1]$, де 0 означає уникнення ризику, а 1 – його прийняття.

2. Функція пристосованості: Кожна стратегія оцінюється за функцією:

$$F(x) = \sum_{i=1}^n (\omega_i \cdot E_i - C_i)$$

де:

- ω_i – вага ризику R_i ,
- E_i – очікувана ефективність стратегії для ризику R_i ,
- C_i – вартість реалізації для ризику R_i .

3. **Селекція:** Вибір хромосом з найвищими значеннями функції пристосованості для наступного покоління.

4. **Кросовер:** Обмін частинами між хромосомами для створення нових варіантів стратегій.

5. **Мутація:** Випадкова зміна в генах для уникнення локальних мінімумів.

6. **Завершення:** Процес повторюється, поки не буде досягнуто оптимального рішення або заданої кількості поколінь.

Етап 3: Об'єднана функція пристосованості для інтеграції АНР та ГА. Фінальна функція пристосованості поєднує значення ваг ризиків, отримані за допомогою АНР, та результати оптимізації ГА, що дозволяє досягти збалансованого управління ризиками. Формула для об'єднаної функції має вигляд:

$$Z = \alpha \sum_{i=1}^n \omega_i + (1 - \alpha) F(x),$$

де α – параметр, що визначає вагу впливу ваг ризиків на загальний результат,

$F(x)$ – функція пристосованості, обчислена за допомогою ГА.

Приклад: якщо $\alpha = 0.7$, то модель надає більше ваги пріоритизованим ризикам, а якщо $\alpha = 0.3$, модель більше орієнтована на оптимізацію стратегії.

Розрахунок оптимальної стратегії на основі об'єднаної моделі. Для демонстрації роботи інтегрованої моделі припустимо, що є три ризики з наступними вагами, ефективністю стратегій і витратами (табл. 1).

Таблиця 1

Три ризики з різними вагами, ефективністю стратегій і витратами

Ризик	ω_i	E_i	C_i
R_1	0.626	0.8	0.2
R_2	0.222	0.5	0.3
R_3	0.118	0.6	0.4

Функція пристосованості для кожної можливої стратегії (залежно від вибраних значень E_i і C_i) може бути обчислена за формулою:

$$F(x) = \sum_{i=1}^3 (\omega_i \cdot E_i - C_i) = (0.626 \times 0.8 - 0.2) + (0.222 \times 0.5 - 0.3) + (0.118 \times 0.6 - 0.4)$$

Результат дозволяє вибрати оптимальні стратегії для зниження ризиків з урахуванням їх ваги і вартості управління.

Обчислення прикладу для функції пристосованості та оптимального рішення. Щоб проілюструвати роботу об'єднаної моделі, розглянемо конкретний приклад з розрахунками функції пристосованості. Нехай для ризиків R_1 , R_2 і R_3 у нас є наступні дані:

- **Ваги ризиків** ω_i : отримані з АНР як $\omega_1 = 0.626$, $\omega_2 = 0.222$, $\omega_3 = 0.118$.

• **Очікувана ефективність стратегій** E_i : для різних стратегій управління (наприклад, уникнення, прийняття, зменшення ризику).

- **Вартість реалізації стратегій** C_i : відповідно до бюджету та ресурсних обмежень.

Задача полягає у визначенні оптимального набору стратегій, що мінімізує ризики і максимізує загальну ефективність.

Крок 1: Розрахунок функції пристосованості для кожного ризику

Функція пристосованості для кожного ризику враховує вагу ризику ω_i , ефективність управлінської стратегії E_i та вартість її реалізації C_i . Формула функції пристосованості для ризику R_i має вигляд:

$$F_i(x) = \omega_i \cdot E_i - C_i$$

Розрахуємо значення для кожного ризику, використовуючи таблицю (табл. 2):

Таблиця 2

Розрахунок значень для кожного ризику

Ризик	ω_i	E_i	C_i	$F_i(x) = \omega_i \cdot E_i - C_i$
R_1	0.626	0.8	0.2	0.3008
R_2	0.222	0.5	0.3	- 0.189
R_3	0.118	0.6	0.4	- 0.3293

Таким чином, значення функцій пристосованості для кожного ризику визначають, що ризик R_1 є найбільш придатним для зменшення, оскільки $F(x) = 0.3008$ є позитивним.

Крок 2: Використання інтегрованої функції пристосованості

Об'єднана функція пристосованості, що враховує важливість ризиків і їх ефективність, має вигляд:

$$Z = \alpha \sum_{i=1}^n \omega_i + (1 - \alpha) \sum_{i=1}^n F_i(x)$$

де α – параметр пріоритетності між вагою ризику та ефективністю управління.

Припустимо, що $\alpha = 0.7$, тоді для обчислення функції Z використовуємо формулу:

$$Z = 0.7 \times (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3) + 0.3 \times (F_1(x) + F_2(x) + F_3(x))$$

Підставимо числові значення:

1. Сума ваги: $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 0.626 + 0.222 + 0.118 = 0.966$.

2. Сума значень функцій пристосованості: $F_1(x) + F_2(x) + F_3(x) = 0.3008 - 0.189 - 0.3292 = - 0.2174$.

Тоді значення об'єднаної функції пристосованості:

$$Z = 0.7 \times 0.966 + 0.3 \times (- 0.2174) = 0.6762 - 0.06522 = 0.61098$$

Це значення Z можна використовувати для порівняння з іншими варіантами стратегій або для оцінки досягнутого рівня оптимальності.

Побудова матриці рішень для генетичного алгоритму. Для подальшого використання у генетичному алгоритмі будуватиметься матриця рішень (табл. 3), де кожен рядок представляє окрему стратегію управління для кожного ризику, а стовпці – їх характеристики (вага ризику, ефективність стратегії, вартість реалізації).

Таблиця 3

Приклад матриці рішень

Ризик	Вага ω_i	Ефективність стратегії E_i	Вартість C_i
R_1	0.626	0.8	0.2
R_2	0.222	0.5	0.3
R_3	0.118	0.6	0.4

Ця матриця є початковою популяцією для генетичного алгоритму, який буде шукати оптимальне значення функції Z , використовуючи операції селекції, кросовера та мутації.

Приклад роботи генетичного алгоритму. Генетичний алгоритм буде здійснювати такі основні кроки, використовуючи матрицю рішень.

1. Селекція: Вибір стратегій з найбільшою пристосованістю. Наприклад, стратегія з ризиком R_1 буде обрана, оскільки її функція пристосованості $F_1(x) = 0.3008$ є найвищою.

2. Кросовер: Поєднання генів (характеристик стратегій) з високою пристосованістю, наприклад, поєднання стратегій для ризиків R_1 і R_2 може створити нову стратегічну комбінацію для зниження ризику R_3 .

3. Мутація: Зміна окремих параметрів для уникнення локальних мінімумів. Наприклад, замість вартості $C_i = 0.4$ для ризику R_3 , можна встановити $C_i = 0.35$ для перевірки альтернативних варіантів.

Після кількох поколінь алгоритм визначить оптимальну комбінацію стратегій для кожного ризику, яка мінімізує їх вплив на проект при заданих обмеженнях.

Висновки. Інтеграція методів безпеки AGI у розробку ПЗ є критично важливою для управління ризиками, пов'язаними з використанням цих технологій. Врахування етичних, правових, психологічних і технічних аспектів допоможе розробникам створювати безпечні та ефективні рішення. Використання

формул і моделей оцінки ризиків дозволить структурувати процеси управління та підвищити якість програмного забезпечення в умовах швидко змінюваного технологічного середовища.

Розроблений підхід дозволяє вирішити ключові завдання управління ризиками: пріоритизацію ризиків, оптимізацію управлінських стратегій, інтеграцію методів.

Вихідні дані, отримані за допомогою АНР, використовуються для пошуку оптимальних стратегій пом'якшення ризиків у багатокритеріальних задачах. Поєднання АНР та ГА дозволяє ефективно враховувати залежності між ризиками, адаптуючись до динамічних змін у середовищі розробки ПЗ.

Практична цінність розробленої моделі полягає у забезпеченні прозорості управління ризиками, зниженні витрат і підвищенні ймовірності досягнення проектних цілей.

Список використаних джерел:

1. Alshaikhi A., Khayyat M. An investigation into the impact of artificial intelligence on the future of project management. *2021 International Conference of Women in Data Science at Taif University (WiDSTaif)* : 30–31 March, 2021. P. 1–4. DOI: 10.1109/WiDSTaif52235.2021.9430234
2. Badmus O. F. Application of AI technology in program management. *Journal of engineering research and reports*. 2023. Vol. 25, Issue 8. P. 48–55. DOI: 10.9734/jerr/2023/v25i8958
3. Bahi A., Gharib J., Gahi Y. Integrating generative AI for advancing agile software development and mitigating project management challenges. *International journal of advanced computer science and applications*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 54–61. DOI: 10.14569/IJACSA.2024.0150306
4. Biswal A. Top 24 Artificial Intelligence Applications and Uses. *Simplilearn*. Jan 8, 2025. URL: <https://www.simplilearn.com/tutorials/artificial-intelligence-tutorial/artificial-intelligence-applications> (Last accessed: 09.01.2025).
5. Ivcevic Z., Grandinetti M. Artificial intelligence as a tool for creativity. *Journal of Creativity*. 2024. Volume 34, Issue 2. 100079. DOI: 10.1016/j.yjoc.2024.100079
6. Khan S., Adnan A., Iqbal N. Applications of Artificial Intelligence in Transportation. *2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*, Prague, Czech Republic, 20–22 July 2022. pp. 1–6, DOI: 10.1109/ICECET55527.2022.9872928
7. Nenni M. E., De Felice F., De Luca C., Forcina A. How artificial intelligence will transform project management in the age of digitization: a systematic literature review. *Management Review Quarterly*. 2024. DOI: 10.1007/s11301-024-00418-z
8. Srivastava R. Applications of Artificial Intelligence in Medicine. *Exploratory Research and Hypothesis in Medicine*. 2024. Vol. 9, Issue 2. P. 138–146. DOI: 10.14218/ERHM.2023.00048
9. Taboada I., Daneshpajouh A., Toledo N., de Vass T. Artificial Intelligence Enabled Project Management: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, Issue 8. 5014. DOI: 10.3390/app13085014
10. Types of AI Explained: From Narrow to Super AI. *Simplilearn*. Oct 11, 2024. URL: <https://www.simplilearn.com/tutorials/artificial-intelligence-tutorial/types-of-artificial-intelligence> (Last accessed: 09.01.2025).