

ІНТЕГРОВАНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ У РОЗПОДІЛЕНИХ ІТ-КОМАНДАХ

Роман Васьків, Наталія Веретеннікова

Національний університет «Львівська політехніка»,
кафедра інформаційних систем та мереж, Львів, Україна

E-mail: roman.i.vaskiv@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-8549-5035

E-mail: nataliia.v.veretennikova@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-9564-4084

© Васьків Р.І., Веретеннікова Н.В., 2025

У статті представлено інтегрований підхід до управління проєктними ризиками в розподілених ІТ-командах, що поєднує експериментальну методологію «Інженерія хаосу», імовірнісне моделювання на основі методу Монте-Карло та системну структуру «Реєстру ризиків». Метою дослідження є створення науково обґрунтованої моделі управління ризиками в розподілених ІТ-командах, яка інтегрує часову динаміку ризиків, їх каскадні взаємозв'язки та адаптивне оновлення параметрів на основі зворотного зв'язку, отриманого в процесі експериментів згідно методології «Інженерія хаосу». У межах запропонованого підходу формалізовано ключові ризикові параметри розподілених команд: часові затримки, комунікаційні та інформаційні бар'єри, стабільність системи, ефективність проксі-ролей, рівень змінності команди та функціональна розподіленість. Для кожного параметра визначено відповідні статистичні розподіли, що дозволяє здійснювати точні прогнози на основі симуляцій.

Запропонована модель поєднує кількісну оцінку ризиків методом Монте-Карло з даними з Реєстру ризиків та динамічною адаптацією вагових коефіцієнтів залежно від чутливості параметрів. Адаптація здійснюється з використанням зваженого методу згладжування, що враховує зворотний вплив системи. Модель також охоплює каскадні взаємозалежності ризиків через матрицю залежностей та інтегрує підхід методології «Інженерія хаосу» для експериментального тестування стійкості системи. Створено структуру реєстру ризиків, яка дозволяє здійснювати систематизовану оцінку ймовірності, масштабу впливу, загальну оцінку ризиків та метод оцінювання кожного параметра. Розроблено також приклад JSON-структури, що забезпечує цифрову передачу параметрів між компонентами моделі.

Ключові слова – розподілені ІТ-команди, управління проєктами, управління ризиками, методологія «Інженерія хаосу»; метод Монте-Карло, реєстр ризиків, каскадні ризики.

Постановка проблеми

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій суттєво зростає значення ефективного функціонування розподілених команд, які дозволяють організаціям оперативно залучати необхідних спеціалістів незалежно від географічного розташування, реалізовувати міжнародні проєкти, швидко масштабувати діяльність та ефективно використовувати наявні ресурси. Водночас робота таких команд неминуче пов'язана із специфічними викликами, які обумовлені як внутрішніми, так і зовнішніми чинниками. Серед найбільш значущих проблем слід виділити комунікаційні перешкоди, інформаційні бар'єри, кадрову нестабільність і недостатню узгодженість функціональних ролей у команді. Дані фактори не лише ускладнюють комунікацію та знижують продуктивність, а й суттєво підвищують ризики проєктних збоїв.

Традиційні методи управління ризиками, що використовуються у методологіях Agile, Scrum чи Kanban, переважно зосереджені на якісних підходах, таких як експертні оцінки, регулярні зустрічі команд для виявлення та обговорення ризиків, їх періодичний перегляд та корекція заходів реагування. Однак, ці підходи, хоча і дозволяють оперативно реагувати на зміни, не завжди забезпечують достатню глибину та точність кількісної оцінки, необхідну для повноцінного аналізу та управління ризиками у складних розподілених системах. З огляду на це, актуальною постає проблема доповнення класичних якісних методик управління ризиками кількісними підходами, такими як моделювання методом Монте-Карло, з одночасним збереженням гнучкості й динамічності, притаманних методології «Інженерія хаосу», а також систематизацією управління ризиками через реєстр ризиків.

У попередньому дослідженні було запропоновано дискретну математичну модель управління ризиками на базі методології «Інженерія хаосу». Дана модель дозволяє аналізувати критичні параметри, такі як комунікаційні затримки, інформаційні та комунікаційні бар'єри, ефективність проксі-ролей та стабільність систем, шляхом експериментальної імітації збоїв. Це забезпечує глибокий аналіз та дозволяє своєчасно виявляти критичні проблемні точки в процесах команди.

Проте подальше розширення функціоналу моделі, зокрема завдяки впровадженню кількісних імовірнісних оцінок та системного підходу до моніторингу ризиків (через реєстр ризиків та симуляцію методом Монте-Карло), дозволить суттєво посилити її прогностичну здатність і практичну цінність у реальних умовах проєктів.

З огляду на зазначене, виникають наступні питання, які вимагають дослідження та розробки:

1. Як ефективно інтегрувати методику симуляції методом Монте-Карло та структуру реєстру ризиків у методологію «Інженерія хаосу», зберігаючи її експериментальний характер та гнучкість?
2. Яким чином реалізувати адаптивну корекцію вагових коефіцієнтів та параметрів у динамічних умовах проєктної діяльності?
3. Як систематично й ефективно оцінювати інтегрований вплив ризиків у часових інтервалах, забезпечуючи високоточні та оперативні управлінські рішення?

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У сучасних ІТ-системах, особливо в хмарних середовищах, забезпечення надійності та стійкості є критично важливим завданням. Одним із ефективних підходів до досягнення цієї мети є методологія «Інженерія хаосу», яка передбачає проведення контрольованих експериментів з метою виявлення слабких місць у системах. Даний підхід був вперше впроваджений компанією Netflix під час переходу на інфраструктуру Amazon Web Services у 2008 році (Amazon Web Services, 2022). Для тестування стійкості своїх систем Netflix розробила інструмент Chaos Monkey, який випадковим чином відключав окремі сервіси, що дозволяло оцінити здатність системи витримувати збої та підтримувати стабільність (Gremlin, 2023). З часом методологія «Інженерія хаосу» набула поширення серед інших технологічних гігантів, оскільки цей метод дозволяє проактивно виявляти потенційні проблеми та запобігати негативним наслідкам збоїв для кінцевих користувачів (Gremlin, 2023).

Іншим поширеним кількісним підходом до аналізу ризиків є метод Монте-Карло, що полягає в ітеративному моделюванні великої кількості сценаріїв, з метою визначення імовірнісного розподілу ключових показників проєкту, таких як тривалість, бюджет чи ймовірність відмов (Hulett, 2012). Метод Монте-Карло активно використовується у сфері проєктного управління завдяки своїй здатності ефективно працювати в умовах невизначеності та надавати кількісні прогнози щодо наслідків різних ризикових подій, що робить його особливо актуальним для розподілених ІТ-команд, де складність взаємодії значно вища, ніж у традиційних локальних команд (Project Management Institute, 2021; Hulett, 2012).

Не менш важливим елементом системного підходу до управління ризиками є ведення реєстру ризиків, що передбачає ідентифікацію, оцінювання ймовірності та наслідків, опис стратегій реагування, а також призначення відповідальних за управління окремими ризиками (Project

Management Institute, 2021). Практика ведення реєстру ризиків дозволяє накопичувати та аналізувати історичні дані, що у свою чергу підвищує точність майбутніх прогнозів та сприяє більш ефективному прийняттю управлінських рішень (PMI, 2021; Hopkinson, 2023; Poltronieri, 2021).

У порівнянні з класичними підходами Agile, Scrum чи Kanban, які здебільшого зосереджуються на оперативному реагуванні та якісних методах оцінювання ризиків, запропонований інтегрований підхід (методологія «Інженерія хаосу», метод Монте-Карло, реєстр ризиків) забезпечує суттєві переваги, серед яких – можливість проводити кількісне прогнозування, аналізувати каскадні наслідки збоїв, а також систематично накопичувати інформацію про ризики з метою їх кращого моніторингу та управління (Gremlin, 2023; Hulett, 2012; PMI, 2021).

Водночас останні дослідження у сфері застосування методів симуляційного моделювання та методології «Інженерія хаосу» демонструють зростаючу роль таких підходів у практиці управління ризиками сучасних ІТ-проектів. Зокрема, у (Li, et al., 2019) обґрунтовано використання симуляції методом Монте-Карло для багатокритеріальних рішень, а в (Lunesu, et al., 2021) досліджено ефективність симуляційного аналізу ризиків в контексті Agile-розробок. Робота (Miranda, et al., 2021) акцентує на точності прогнозування за допомогою симуляції методом Монте-Карло у складних середовищах програмної інженерії, тоді як у (Hulett, 2017) представлено комплексну модель інтегрованої оцінки вартості та тривалості на основі симуляції методом Монте-Карло.

У дослідженні (Benson, Kellner, 2020) розглядається можливість застосування симуляцій для підвищення надійності програмного забезпечення, що цілком узгоджується з технічними параметрами запропонованої моделі ризик-менеджменту. Актуальність використання розширених фреймворків ризик-менеджменту в масштабних Scrum-командах аналізується у статті (Khurana, 2022), де запропоновано концептуальні моделі інтеграції ризикових даних у проєктні рішення. У роботі (Bass, 2022) обґрунтовано переваги масштабованих гнучких підходів для роботи з розподіленими командами, а Фоглі (2023) демонструє інноваційне поєднання методології «Інженерія хаосу» з цифровими двійниками як засобу оцінювання проєктної стійкості.

Таким чином, зазначені наукові джерела підтверджують актуальність синтезу методології «Інженерія хаосу», моделювання методом Монте-Карло та системного підходу до реєстру ризиків. Це дозволяє позиціонувати запропоновану модель не лише як науково обґрунтовану, але й як таку, що має практичну значущість для підвищення проєктної стійкості в умовах функціонування розподілених ІТ-команд.

Формулювання цілі статті

Загальною метою статті є розроблення та наукове обґрунтування інтегрованої моделі управління ризиками, що поєднує експериментальні підходи методології «Інженерія хаосу» для практичної перевірки стійкості ІТ-систем, кількісні методи прогнозування ризиків за допомогою методу Монте Карлу та структуровану систему обліку й моніторингу ризиків (реєстр ризиків). Цей підхід спрямований не лише на комплексну оцінку і прогнозування ризиків, але й на підвищення стійкості проєктних процесів розподілених ІТ-команд та забезпечення підтримки ефективних управлінських рішень у динамічних умовах проєктної діяльності. Запропонована модель може слугувати теоретичною основою для розроблення програмного комплексу управління ризиками, орієнтованого на потреби розподілених команд. Наукова новизна роботи полягає у поєднанні зазначених методів в єдину інтегровану методологію, що дозволяє враховувати переваги кожного з підходів та компенсувати їхні індивідуальні обмеження.

Виклад основного матеріалу

У зв'язку із складністю та динамікою сучасних ІТ-проектів, традиційні моделі управління ризиками втрачають ефективність. Особливо гостро ця проблема проявляється у розподілених ІТ-командах, де комунікаційні, часові й інформаційні ризики постійно змінюються, а їх взаємозалежності складно передбачити. Враховуючи ці виклики, у цьому дослідженні пропонується інтегрований підхід,

що поєднує методології «Інженерія хаосу», моделювання методом Монте-Карло та структуру Реєстру ризиків для більш точної оцінки та прогнозування ризиків.

У попередньому дослідженні було запропоновано базову модель, яка охоплювала ключові параметри роботи розподілених команд: часові затримки (TL), комунікаційні (CB) та інформаційні бар'єри (IB), стабільність системи (S), ефективність проксі-ролей (PR), рівень змінності команди (HR) та функціональну розподіленість (FD). Однак ця модель не враховувала динамічний характер змін, невизначеність параметрів ризиків, а також їх взаємозалежності, що є особливо критичним у розподілених ІТ-командах.

Для вирішення цієї проблематики пропонується інтеграція базової моделі з методом Монте-Карло, який дозволяє кількісно оцінити ймовірність та вплив ризиків, та застосування динамічної адаптації вагових коефіцієнтів через зворотний зв'язок від експериментів методології «Інженерія хаосу». Таким чином, формується нова, інтегрована модель управління ризиками з часовою компонентою та оцінкою каскадних взаємозалежностей.

Інтегрування симуляції методом Монте-Карло та структури реєстру ризиків у базову методологію «Інженерії хаосу» дає змогу не лише моделювати та аналізувати вплив окремих ризиків, а й кількісно оцінювати невизначеність їхніх параметрів. Такий підхід дає змогу ітеративно уточнювати ймовірності виникнення ризиків і масштаб їхнього впливу, зважаючи на результати експериментів методології «Інженерія хаосу». У контексті розподілених ІТ-команд це особливо актуально, адже дозволяє охопити часову динаміку, різномірні комунікаційні бар'єри та специфічні технічні чинники, які можуть змінюватися на різних етапах проекту.

Моделювання методом Монте-Карло передбачає послідовне (ітеративне) генерування великої кількості сценаріїв, що охоплюють усі можливі стани системи або варіації її ключових параметрів. У контексті управління ризиками кожен сценарій відображає можливу комбінацію ймовірностей виникнення конкретних загроз і масштабів їхнього впливу. Завдяки такому підходу можна отримати набір вихідних результатів, які з високою точністю характеризують найбільш критичні ризики з точки зору тривалості, вартості та якості виконання проекту. Водночас базові дані для початкових оцінок моделювання методом Монте-Карло беруться з Реєстру ризиків, де зберігаються відомості про кожен ідентифікований ризик, його потенційні причини та наслідки.

Для систематизації виявлених ризиків формується множина R ,

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_m \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де кожен елемент ризику R_i відображає окрему загрозу, що може негативно вплинути на перебіг проекту. Кожен ризик R_i описується двома основними параметрами: P_i та I_i , де P_i є початковою оцінкою ймовірності виникнення ризику R_i , а I_i — оцінкою масштабів його впливу. Значення P_i та I_i зазвичай визначаються на основі історичних даних, експертних суджень і записів у реєстрі ризиків, проте можуть бути скориговані або уточнені в результаті ітерацій симуляції методом Монте-Карло та експериментів методології «Інженерія хаосу».

Для систематизації ризиків згідно методу Монте-Карло формується матриця:

$$[P | I] = \begin{bmatrix} P_1 & I_1 \\ P_2 & I_2 \\ \vdots & \vdots \\ P_m & I_m \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де m є загальною кількістю ідентифікованих ризиків. Ця матриця визначає первинну базу для подальшого моделювання в межах методології «Інженерія хаосу». Ризики з високими значеннями P_i I_i насамперед потрапляють до сценаріїв експериментів, що імітують відмови та збої у критичних ділянках системи або командних процесах. Після проведення експериментів та аналізу їхніх

результатів оновлені оцінки ймовірностей і впливів повертаються в матрицю для наступного циклу MCS, що дає змогу уточнювати пріоритети й коригувати плани реагування.

У динамічних умовах розподілених ІТ-команд важливо доповнювати матрицю часовою компонентою, оскільки ймовірності та впливи ризиків можуть істотно змінюватися на різних фазах проєкту. З огляду на це, для кожного ризику R_i визначаються функції $P_i(t)$ та $I_i(t)$, які залежать від моменту часу t_j . Матричне подання подається у наступній формі:

$$[P(t) | I(t)] = \begin{bmatrix} P_1(t_1) & I_1(t_1) \\ P_2(t_2) & I_2(t_2) \\ \vdots & \vdots \\ P_m(t_m) & I_m(t_m) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де t_j позначає часовий індекс, на який здійснюється аналіз ризику R_i . Такий підхід дозволяє детальніше відстежувати динаміку загроз і їхніх наслідків, а також дає змогу командам адаптивно коригувати свої дії в залежності від поточної ситуації у проєкті. У результаті створюється замкнений цикл аналізу, де базові оцінки $\{P_i(t_j), I_i(t_j)\}$ ініціюють експерименти методології «Інженерія хаосу», після чого результати зворотного зв'язку уточнюють ці оцінки, забезпечуючи більш точне планування на наступних ітераціях.

Базова модель управління ризиками в розподілених командах, наведена у попередньому дослідженні, фокусується на ідентифікації ключових параметрів, які впливають на ефективність командної роботи. Для подальшого удосконалення цієї моделі пропонується інтеграція з методом Монте-Карло та структурою Реєстру ризиків, що дає можливість не лише якісно, а й кількісно аналізувати ймовірності та масштаби ризиків у динамічному середовищі.

Удосконалена модель базується на наступних параметрах із рекомендованими типами статистичних розподілів, які враховують специфіку предметної області та особливості розподілених команд (табл. 1).

Таблиця 1

Базові параметри удосконаленої моделі з рекомендованими типами статистичних розподілів для інтеграції методології «Інженерія хаосу» та симуляції методом Монте-Карло

Параметр	Позначення	Тип розподілу	Обґрунтування вибору типу розподілу
Часові затримки	TL	Нормальний	Часові затримки в комунікаціях зазвичай мають симетричний характер, концентруючись навколо середнього значення, тому нормально розподілені.
Комунікаційні бар'єри	CB	Логнормальний	Виникають асиметрично, оскільки більшість комунікаційних затримок незначні, але зрідка трапляються критичні випадки, що логічно відображається логнормальним розподілом.
Інформаційні бар'єри	IB	Логнормальний	Час відповіді інформаційних систем переважно стабільний, але періодично виникають суттєві затримки, що відповідає логнормальному розподілу.
Стабільність системи	S	Біноміальний	Враховує кількість успішних і неуспішних виконань завдань, що природньо представляється у вигляді біноміального розподілу («успіх/невдача»).
Ефективність проксі-ролей	PR	Бета-розподіл	Вимірює частку ефективних рішень проксі-ролей, має межі від 0 до 1, ідеальний для бета-розподілу.
Рівень змінності команди	HR	Розподіл Пуассона	Підходить для моделювання дискретних подій (наприклад, звільнення, вихід співробітників), які виникають незалежно одна від одної в часі.
Функціональна розподіленість	FD	Нормальний	Відображає загальну ефективність виконання різномірних функціональних завдань у команді, що переважно має симетричний характер.

Для забезпечення практичної реалізації інтегрованої моделі управління ризиками доцільним є побудова структури реєстру ризиків, яка дозволяє системно фіксувати і опрацьовувати ризики відповідно до параметрів моделі. Така таблиця дає змогу не лише ідентифікувати основні фактори впливу (TL, CB, IB, S, PR, HR, FD), а й відобразити ймовірності їх настання ($P(t)$), масштаб можливого впливу ($I(t)$), інтегральну оцінку рівня ризику (Risk Score), а також метод, яким здійснюється оцінювання відповідних параметрів. Це дозволяє формувати обґрунтовані рішення для пріоритезації ризиків і планування заходів реагування.

У таблиці 2 представлено структурований Реєстр ризиків, адаптований до специфіки розподілених ІТ-команд, що функціонують у динамічному середовищі.

Вибір наведених типів розподілів здійснювався на основі аналізу специфіки кожного параметра з використанням експертних оцінок та очікуваної динаміки змін параметрів у розподілених ІТ-командах. Це дозволяє забезпечити максимально реалістичне моделювання та точність прогнозування впливу ризиків на виконання проєкту.

Розглянемо методологію «Інженерія хаосу» для оцінки ризиків у розподілених ІТ-командах.

Часова затримка (TL) – середній час відповіді на комунікаційні запити

$$TL_t = \frac{\sum_{i=1}^n t_{response,i} - t_{request,i}}{n}, \quad (4)$$

де $t_{response,i}$ — час отримання відповіді на i -й запит, $t_{request,i}$ — час відправлення запиту, n — кількість запитів.

Комунікаційні бар'єри (CB) – частка завдань, нерозв'язаних через комунікаційні труднощі:

$$CB_t = \frac{N_{unresolved}}{N_{total}}, \quad (5)$$

де $N_{unresolved}$ — кількість завдань, що залишилися нерозв'язаними через комунікаційні труднощі, N_{total} — загальна кількість завдань у вибірці.

Інформаційні бар'єри (IB) – середній час виконання завдань у системах:

$$IB_t = \frac{\sum_{i=1}^m t_{execution,i}}{m}, \quad (6)$$

де $t_{execution,i}$ — час виконання i -го запиту в інформаційній системі, m — кількість запитів.

Стабільність системи (S) – частка завдань, виконаних без збоїв:

$$S_t = \frac{N_{failures}}{N_{total}}, \quad (7)$$

де $N_{failures}$ — кількість збоїв за визначений період, N_{total} — загальна кількість завдань.

Ефективність проксі-ролей (PR) – частка завдань, розв'язаних локальними ролями:

$$PR_t = \frac{N_{proxy_resolved}}{N_{total_tasks}}, \quad (8)$$

де $N_{proxy_resolved}$ — кількість завдань, вирішених проксі-ролями, N_{total_tasks} — загальна кількість завдань.

Рівень змінності команди (HR) – кількість виходів учасників за період:

$$HR_t = \frac{N_{exits}}{T}, \quad (9)$$

де N_{exits} — кількість виходів учасників за період, T — тривалість періоду (у днях).

Функціональна розподіленість (FD) – середня ефективність функціональних ролей:

$$FD_t = \frac{\sum_{i=1}^k R_{efficiency,i}}{k}, \quad (10)$$

де $R_{efficiency,i}$ — ефективність виконання завдань i -ї ролі, k — кількість функціональних ролей у команді.

Загальна ефективність управління ризиками $R(t)$ у момент часу t_j визначається як зважена сума окремих параметрів з ваговими коефіцієнтами ω_i :

$$R(t) = \frac{\sum_{j=1}^n (\omega_{TL} \cdot TL(t_j) + \omega_{CB} \cdot CB(t_j) + \omega_{IB} \cdot IB(t_j) + \omega_S \cdot S(t_j) + \omega_{PR} \cdot PR(t_j) + \omega_{HR} \cdot HR(t_j) + \omega_{FD} \cdot FD(t_j)) \cdot \Delta t_j}{\sum_{j=1}^n \Delta t_j}, \quad (11)$$

де Δt_j – інтервал між дискретними моментами оцінювання ($\Delta t_j = t_j - t_{j-1}$).

Проведемо перехід від наведеної вище дискретної моделі до інтегрованої моделі. Наведена модель, яка використовує лише статичні параметри, удосконалюється шляхом впровадження часової динаміки, адаптивного механізму зміни вагових коефіцієнтів і інтеграції з методологією «Інженерія хаосу».

Таблиця 2

**Реєстр ризиків для інтегрованої моделі управління ризиками
в розподілених ІТ- командах**

ID	Назва ризику	Категорія	Опис	Ймовірність P(t)	Масштаб впливу I(t)	Рівень ризику (P×I)	Метод оцінки P(t), I(t)	Пріоритет ризику
R01	Часові затримки (TL)	Комунікаційні ризики	Затримки у відповіді на запити між учасниками команди	0.6	4	2.4	Експертна оцінка	Середній
R02	Комунікаційні бар'єри (CB)	Комунікаційні ризики	Мовні, культурні, технічні бар'єри	0.7	3	2.1	Експертна оцінка	Середній
R03	Інформаційні бар'єри (IB)	Технічні ризики	Несумісність або затримки в роботі інформаційних систем	0.5	4	2.0	Історичні дані	Середній
R04	Стабільність системи (S)	Технічні ризики	Збої у виконанні завдань через технічні проблеми	0.4	5	2.0	Аналітика з Jira, Trello, Asana	Середній
R05	Ефективність проксі-ролей (PR)	Організаційні ризики	Низька автономність проксі-ролей	0.3	2	0.6	Експертна оцінка	Низький
R06	Рівень змінності команди (HR)	Організаційні ризики	Часта ротація персоналу, відпустки	0.6	3	1.8	Історичні дані	Середній
R07	Функціональна розподіленість (FD)	Функціональні ризики	Нерівномірний розподіл функціональних ролей	0.4	3	1.2	Експертна оцінка	Низький
R08	Низька залученість учасників (PE)	Організаційні ризики	Відсутність мотивації, ініціативи	0.5	4	2.0	Експертна оцінка	Середній
R09	Зміна вимог замовника (SRC)	Зовнішні ризики	Зміна score проєкту	0.6	5	3.0	Історичні дані	Високий
R10	Недостатня стандартизація процесів (LPS)	Процесні ризики	Невизначеність у шаблонах та стандартах	0.3	2	0.6	Експертна оцінка	Низький
R11	Низька якість переданих артефактів (QA)	Технічні ризики	Невідповідність документації або backlog	0.5	3	1.5	Аналітика з Jira Trello, Asana	Середній
R12	Бар'єри знань (KB)	Комунікаційні ризики	Відсутність передачі критичної інформації	0.6	3	1.8	Експертна оцінка	Середній

Для наочної демонстрації взаємозв'язків між компонентами інтегрованої моделі управління ризиками в розподілених ІТ-командах, у контексті синтезу методологій «Інженерія хаосу», методу Монте-Карло та структури реєстру ризиків, нижче наведено відповідну схему (рис. 1) та приклад реєстру ризиків. Схема ілюструє послідовність дій, ітеративний характер моделі, а також механізми динамічного оновлення параметрів та адаптації вагових коефіцієнтів відповідно до чутливості системи до ризиків.

Введемо динамічну адаптацію вагових коефіцієнтів. Вагові коефіцієнти ω_i адаптивно коригуються через результати експериментів методології «Інженерія хаосу» на основі експоненційного згладження ваг із урахуванням нормалізованих коефіцієнтів чутливості:

$$\omega_i(t+1) = \alpha \cdot \omega_i(t) + (1 - \alpha) \frac{S_i(t)}{\sum_{k=1}^n S_k(t)}, \quad (12)$$

де $\omega_i(t+1)$ – оновлений ваговий коефіцієнт параметра i ; α – коефіцієнт згладжування (рекомендується $\alpha = 0.8$); $S_i(t)$ – чутливість параметра за результатами методології «Інженерія хаосу».

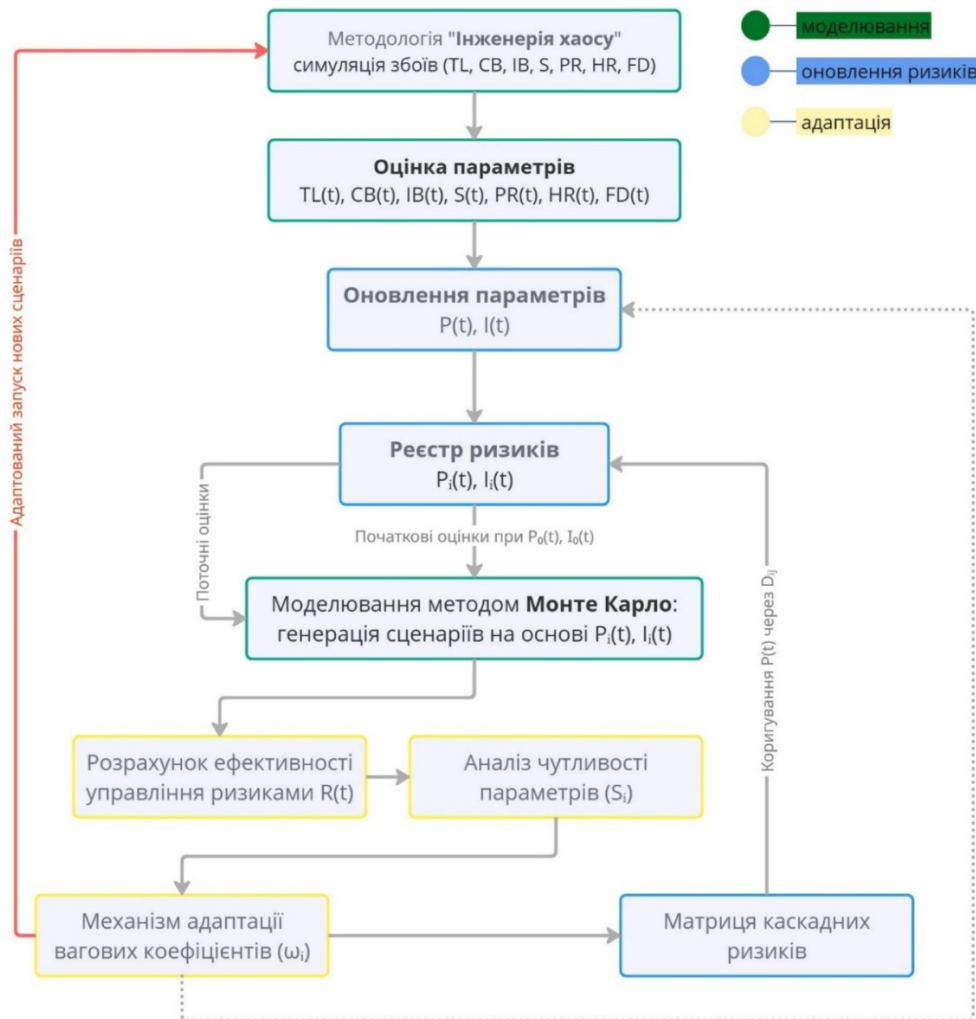


Рис. 1 Ітеративна схема взаємозв'язку компонентів інтегрованої моделі управління ризиками в розподілених ІТ-командах на основі синтезу методології «Інженерія хаосу», симуляції методом Монте Карло та структури Реєстру ризиків

Для моделювання каскадних ризиків використовується матриця взаємозалежності ризиків (RDM):

$$D_{ij} = P(R_j | R_i), \quad (13)$$

де D_{ij} — ймовірність, що ризик R_i спровокує виникнення ризику R_j . Ймовірності каскадних ризиків оновлюються:

$$P'_j(t) = P_j(t) + P_i(t) \cdot D_{ij}. \quad (14)$$

Для забезпечення взаємодії між компонентами інтегрованої моделі управління ризиками в розподілених ІТ-командах доцільно застосовувати формат передачі даних у вигляді JSON-структури. Такий підхід дозволяє уніфікувати представлення вхідних та вихідних параметрів, забезпечити гнучкість інтеграції між інструментами методології «Інженерія хаосу», реєстру ризиків та симуляції методом Монте-Карло, а також підтримувати масштабованість моделі в умовах зростаючої складності проєктного середовища.

Зокрема, JSON-структура може включати такі поля: ідентифікатори ризиків та їх категорії, параметри ймовірності $P(t)$ та масштаби впливу $I(t)$, значення чутливості до параметра, динамічні вагові коефіцієнти $\omega(t)$, тип методу оцінювання параметрів, а також залежності між ризиками у форматі матриці взаємозв'язків (RDM).

Нижче наведено приклад узагальненої JSON-структури, розробленої у середовищі Visual Studio Code для стандартизованої передачі даних між компонентами інтегрованої моделі управління ризиками у розподілених IT-командах:

```
{
  "risk_register": [
    {
      "id": "R01",
      "name": "Часові затримки (TL)",
      "category": "Комунікаційні ризики",
      "description": "Затримки у відповіді на запити між учасниками команди",
      "probability": 0.6,
      "impact": 4,
      "risk_score": 2.4,
      "assessment_method": "Експертна оцінка",
      "sensitivity": 0.3,
      "weight": 0.25
    },
    {
      "id": "R02",
      "name": "Комунікаційні бар'єри (CB)",
      "category": "Комунікаційні ризики",
      "description": "Мовні, культурні, технічні бар'єри",
      "probability": 0.7,
      "impact": 3,
      "risk_score": 2.1,
      "assessment_method": "Експертна оцінка",
      "sensitivity": 0.4,
      "weight": 0.20
    },
    {
      "id": "R03",
      "name": "Інформаційні бар'єри (IB)",
      "category": "Технічні ризики",
      "description": "Несумісність або затримки в роботі інформаційних систем",
      "probability": 0.5,
      "impact": 4,
      "risk_score": 2.0,
      "assessment_method": "Історичні дані",
      "sensitivity": 0.35,
      "weight": 0.18
    },
    {
      "id": "R04",
      "name": "Стабільність системи (S)",
      "category": "Технічні ризики",
      "description": "Збої у виконанні завдань через технічні проблеми",
      "probability": 0.4,
      "impact": 5,
      "risk_score": 2.0,
      "assessment_method": "Аналітика з Jira",
    }
  ]
}
```

```
"sensitivity": 0.5,
"weight": 0.22
},
{
  "id": "R05",
  "name": "Ефективність проксі-ролей (PR)",
  "category": "Організаційні ризики",
  "description": "Низька автономність проксі-ролей",
  "probability": 0.3,
  "impact": 2,
  "risk_score": 0.6,
  "assessment_method": "Експертна оцінка",
  "sensitivity": 0.15,
  "weight": 0.10
},
{
  "id": "R06",
  "name": "Рівень змінності команди (HR)",
  "category": "Організаційні ризики",
  "description": "Часта ротація персоналу, відпустки",
  "probability": 0.6,
  "impact": 3,
  "risk_score": 1.8,
  "assessment_method": "Історичні дані",
  "sensitivity": 0.25,
  "weight": 0.14
},
{
  "id": "R07",
  "name": "Функціональна розподіленість (FD)",
  "category": "Функціональні ризики",
  "description": "Нерівномірний розподіл функціональних ролей",
  "probability": 0.4,
  "impact": 3,
  "risk_score": 1.2,
  "assessment_method": "Експертна оцінка",
  "sensitivity": 0.2,
  "weight": 0.12
}
],
"risk_dependencies": {
  "R01": ["R02", "R06"],
  "R02": ["R03"],
  "R03": ["R04"],
  "R05": ["R01", "R07"],
  "R06": ["R07"]
}
}
```

Такий формат дозволяє не лише ефективно агрегувати оцінки ризиків у динаміці, але й підтримувати інтеграцію з зовнішніми інформаційними системами управління проєктами (наприклад, Jira, Trello, Asana). JSON-структура забезпечує структуровану передачу інформації між модулями аналізу ризиків, симуляційними сценаріями та результатами експериментів методології «Інженерія хаосу», що є ключовим для ітеративної адаптації вагових коефіцієнтів, оновлення ризик-матриць та уточнення взаємозалежностей між ризиками.

Завдяки цьому, запропонована інтегрована модель набуває додаткових переваг — зокрема, забезпечує динамічне управління ризиками в умовах мінливої проєктної обстановки, дозволяє враховувати каскадні взаємозалежності між ризиками, реалізовує механізми оперативного оновлення параметрів, а також підвищує точність і надійність прогнозування завдяки використанню симуляційних і аналітичних методів. У сукупності, ці характеристики формують новий рівень ефективності в управлінні ризиками для розподілених ІТ-команд, орієнтований на проактивну стратегію реагування.

Висновки

У результаті проведеного дослідження було сформовано інтегрований підхід до управління ризиками в розподілених ІТ-командах, який забезпечує синергію експериментального, аналітичного та системного компонентів. Поєднання методології «Інженерія хаосу», кількісного моделювання методом «Монте-Карло» та структурованого реєстру ризиків дало змогу перейти від статичних оцінок ризиків до динамічної моделі з адаптивним оновленням параметрів. Розроблена модель дозволяє враховувати часову змінність ризиків, оцінювати їх взаємозалежності, а також забезпечує обґрунтовану пріоритизацію ризиків за показником інтегрального впливу. Важливою особливістю підходу є можливість адаптації вагових коефіцієнтів на основі аналізу чутливості параметрів, що суттєво підвищує точність прогнозів у мінливому середовищі.

Наукова новизна полягає в розробці та інтеграції трьох взаємодоповнюючих методологічних компонентів — «Інженерії хаосу», моделювання методом Монте-Карло та структурованого реєстру ризиків — в єдину ітеративну модель управління ризиками у розподілених ІТ-командах, яка забезпечує як кількісну об'єктивність, так і операційну гнучкість. Незважаючи на переваги, модель наразі потребує додаткової валідації на прикладах реальних проєктів, а також уточнення механізмів збирання вихідних оцінок параметрів.

Подальші дослідження будуть спрямовані на програмну реалізацію моделі, розширення категорій ризиків з урахуванням регуляторних і соціокультурних факторів, а також розробку метрик стійкості для оцінки здатності команд адаптуватися до ризиків і забезпечувати надійність у різних фазах життєвого циклу ІТ-проєктів. Розроблена модель слугує інструментом підтримки прийняття рішень у процесах стратегічного та оперативного управління розподіленими проєктними ІТ-командами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Amazon Web Services. (2022). Netflix and the Evolution of Chaos Engineering. AWS Customer Stories. Retrieved from <https://aws.amazon.com/solutions/case-studies/netflix-reinvent-2022-evolution-of-chaos-engineering/>
2. Atlassian. (n.d.). What is a risk register and how to create one. <https://www.atlassian.com/work-management/project-management/risk-register>
3. Bass, J. M. (2022). Large-scale agile. In *Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming* (pp. 247–258). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-05469-3_18
4. Benson, R., & Kellner, D. (2020). Monte Carlo simulation for reliability. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9153600>
5. Fogli, M., Giannelli, C., Poltronieri, F., Stefanelli, C., & Tortonesi, M. (2023). Chaos engineering for resilience assessment of digital twins. IEEE. 1134 – 1143. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10091206>
6. Gremlin. (2023). Chaos Engineering: The History, Principles, and Practice. Gremlin Community. Retrieved from <https://www.gremlin.com/community/tutorials/chaos-engineering-the-history-principles-and-practice>
7. Harness. (n.d.). Benefits of chaos engineering & more. Retrieved from: <https://www.harness.io/blog/chaos-engineering-benefits>
8. Harness. (n.d.). Harness chaos engineering (CE) key capabilities. Retrieved from: <https://www.harness.io/blog/harness-chaos-engineering-ce-key-capabilities>
9. Hopkinson, M. (2023). Practical project risk management: A brief guide to risk registers. PM World Journal. <https://pmworldjournal.com/wp-content/uploads/2023/04/pmwj128-Apr2023-Hopkinson-risk-registers-a-brief-guide.pdf>
10. Hulett, D. (2012). Integrated Cost-Schedule Risk Analysis. Gower Publishing. Retrieved from https://books.google.com.ua/books?id=Ql8vNYcyDAIC&printsec=frontcover&source=gbs_book_other_versions_r&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
11. Hulett, D. T. (2017). Monte Carlo simulation for integrated cost-schedule risk analysis: Concepts, methods, and tools for risk analysis and mitigation. In *Project management: Concepts, methodologies, tools, and applications*

- (pp. 1103–1121). IGI Global. <https://www.igi-global.com/chapter/monte-carlo-simulation-for-integrated-cost-schedule-risk-analysis/172634>
12. Khurana, S. K., Wassay, M. A., & Verma, K. (2022). A review on risk management framework for large scale scrum. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10097409/keywords#keywords>
 13. Li, C., Wu, Z., & Zhu, N. (2019). Monte Carlo based risk analysis method for multi-attribute decision methods. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8799284>
 14. Lunesu, M. I., Tonelli, R., Marchesi, L., & Marchesi, M. (2021). Assessing the risk of software development in agile methodologies using simulation. IEEE. 134240 – 134258. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9548910>
 15. Miranda, P., Faria, J. P., Correia, F. F., Fares, A., et al. (2021). An analysis of Monte Carlo simulations for forecasting software projects. ACM. 10.1145/3412841.3442030
 16. Project Management Institute [PMI]. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (7th ed.). PMI.
 17. Poltronieri, F., Tortonesi, M., Stefanelli, C. (2021). ChaosTwin: A chaos engineering and digital twin approach for the design of resilient IT services. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9615519>
 18. Tudor, C., & Tudor, M. (2016). On using Monte Carlo simulations for project risk management. In Handbook of Research on Effective Project Management through the Integration of Knowledge and Innovation (pp. 155–172). IGI Global. 10.4018/978-1-5225-0335-4.ch008. https://www.researchgate.net/publication/344951235_On_Using_Monte_Carlo_Simulations_for_Project_Risk_Management

INTEGRATED RISK MANAGEMENT MODEL IN DISTRIBUTED IT TEAMS

Roman Vaskiv, Nataliia Veretennikova

Lviv Polytechnic National University,
 Information Systems and Networks Department, Lviv, Ukraine
 E-mail: roman.i.vaskiv@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-8549-5035
 E-mail: nataliia.v.veretennikova@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-9564-4084

© Vaskiv R., Veretennikova N., 2025

Summary. The article presents an integrated approach to project risk management in distributed IT teams, combining the experimental methodology of Chaos Engineering, probabilistic modeling based on the Monte Carlo method, and a systematic Risk Register framework. The aim of the study is to develop a scientifically grounded risk management model for distributed IT teams that incorporates the temporal dynamics of risks, their cascading interdependencies, and the adaptive update of parameters based on feedback obtained through experimentation in accordance with the Chaos Engineering methodology. Within the proposed approach, key risk parameters specific to distributed teams are formalized as time lags, communication barriers, information barriers, system stability, proxy role effectiveness, team turnover, and functional distribution. For each parameter, corresponding statistical distributions are defined, enabling accurate forecasting through simulations.

The proposed model combines quantitative risk assessment via the Monte Carlo method with data from the Risk Register and dynamic adaptation of weight coefficients depending on parameter sensitivity. This adaptation is implemented using a weighted smoothing technique that accounts for systemic feedback. The model also captures cascading risk interdependencies via a dependency matrix and integrates the Chaos Engineering approach for experimental testing of system resilience. A structured Risk Register is developed to enable systematic assessment of probability, impact magnitude, overall Risk Score, and the evaluation method for each parameter. Additionally, a sample JSON structure has been designed to facilitate digital transfer of parameters across model components.

Keywords – distributed IT teams, project management, risk management, chaos engineering methodology, Monte Carlo method, risk Register, cascading risks.