

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2026-64-26>

УДК 004.4:005.334

Рикун Петро Олександрович, студент PhD

<https://orcid.org/0009-0002-0622-9036>

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ РЕАГУВАННЯ НА РИЗИКИ В ПРОЕКТАХ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Рикун П. О. Прогнозування ефективності заходів реагування на ризики в проєктах розробки програмного забезпечення. У статті розглянуто наукову проблему переходу від традиційного виявлення та оцінювання ризиків програмних проєктів до прогнозного обґрунтування управлінських рішень. Дослідження має аналітичний характер і спирається на опубліковані результати робіт, присвячених управлінню ризиками життєвого циклу програмного забезпечення, прогнозуванню ризиків за історичними даними, застосуванню байєсівських мереж та методів машинного навчання. Показано, що наявні дослідження підтверджують доцільність використання контексту проєкту, історій завершених проєктів, взаємозв'язків між факторами ризику та прогнозних моделей для підтримки прийняття рішень. Водночас проаналізовані праці переважно зосереджені на ідентифікації, оцінюванні або прогнозуванні ризику та результатів проєкту, а не на безпосередньому прогнозуванні результативності конкретного заходу реагування. На цій основі обґрунтовано постановку подальшого дослідження, у якому об'єктом прогнозування має бути ефективність обраного способу реагування з урахуванням характеристик ризику, контексту програмного проєкту та історичних результатів. Запропоновано концептуальну послідовність такого дослідження: формування контексту проєкту, опис ризику, фіксація заходу реагування, визначення фактичного результату та навчання прогнозної моделі на накопичених спостереженнях. Визначено основні вимоги до подальшої емпіричної перевірки запропонованого напрямку дослідження.

Ключові слова: управління ризиками, програмний проєкт, прогнозування ризиків, заходи реагування, машинне навчання, історичні дані, підтримка прийняття рішень.

Rykun P. Predicting the effectiveness of risk response measures in software development projects. The article addresses the scientific problem of moving from conventional risk identification and assessment in software projects toward predictive support for management decisions. The study is analytical and relies on published findings concerning software life-cycle risk management, risk prediction from historical project data, Bayesian-network-based analysis, and machine-learning applications in software project management. The reviewed evidence shows that project context, histories of completed projects, relationships among risk factors, and predictive models can provide useful information for decision support. At the same time, the analyzed studies mainly focus on risk identification, risk assessment, risk prediction, or project outcome prediction rather than on directly predicting the effectiveness of a specific risk response action. On this basis, the paper substantiates a further research problem in which the predicted target should be the effectiveness of a selected response measure while considering risk characteristics, project context, and historical outcomes. A conceptual research sequence is proposed: describing project context, registering a risk, recording the selected response action, observing its actual outcome, and training a predictive model on accumulated observations. The paper also outlines requirements for future empirical validation, including dataset formation, transparent outcome definition, comparison of alternative predictive approaches, and evaluation of both predictive quality and practical usefulness for project managers. The proposed research direction creates a basis for further development of data-driven decision-support methods for software project risk management.

Keywords: risk management, software project, risk prediction, risk response, machine learning, historical data, decision support.

Постановка наукової проблеми. Розробка програмного забезпечення відбувається в умовах невизначеності, яка супроводжує як технічні, так і організаційні рішення. У процесі виконання проєкту можуть змінюватися вимоги до програмного продукту, склад команди, технологічні обмеження, пріоритети замовника та умови виконання робіт. Тому управління ризиками є важливою складовою управління програмними проєктами, яка має забезпечувати своєчасне виявлення можливих загроз та підтримувати вибір відповідних управлінських рішень.

Джон Массо та співавтори за результатами систематичного огляду 45 досліджень підкреслюють важливу роль управління ризиками в проєктному менеджменті та вказують, що розвиток підходів до розробки програмного забезпечення створює нові завдання для процесу управління ризиками [1]. Проведений авторами аналіз також показав, що дослідження поступово переходять від загального представлення процесу управління ризиками до розгляду окремих його складових та активностей.

Водночас наявність переліку ідентифікованих ризиків ще не означає, що команда програмного проєкту здатна обрати найбільш результативний спосіб реагування на кожен із них. Після виявлення ризику керівник проєкту повинен прийняти рішення щодо подальших дій. Тому виникають два взаємопов'язані, але різні питання: який ризик може виникнути та яким чином доцільно реагувати на нього в конкретних умовах.

Перше питання досить широко представлено в сучасних наукових дослідженнях. Для прогнозування програмних ризиків використовуються історичні дані, методи аналізу подібності, байєсівські мережі та різні алгоритми машинного навчання. Значно складнішим є питання оцінювання майбутнього результату конкретного управлінського рішення, прийнятого після виявлення ризику.

Важливі результати в напрямі прогнозування ризиків отримали Алесандро Філіппетто, Ліма Робсон та Хорсе Луїз Вікторія Барбоса [2]. Авторами запропоновано модель прогнозування ризиків програмного проєкту, яка використовує контекстні історії попередніх проєктів. Для формування бази історій було використано інформацію про 153 програмні проєкти фінансової компанії. Перевірка рекомендацій здійснювалася на 17 проєктах за участю команди з 18 фахівців. Автори повідомляють про 73 % прийняття сформованих рекомендацій та 83 % точності під час порівняння рекомендацій із ризиками проєктів, що вже виконувалися [2].

Зазначені результати є важливими для нашого дослідження не як доказ ефективності конкретних заходів реагування, а як підтвердження можливості використання накопиченої історичної інформації про програмні проєкти для прогнозу підтримки управлінських рішень.

Інший підхід представлено в роботі Юна Ху та співавторів [3], у якій для аналізу ризиків програмних проєктів застосовано байєсівські мережі з обмеженнями причинності. Запропоновану модель було перевірено на даних 302 програмних проєктів. За результатами авторів вона показала кращі прогнозні характеристики порівняно з логістичною регресією та загальними байєсівськими мережами [3]. Важливим є те, що автори звертають увагу не лише на прогнозування результату, а й на значення причинних залежностей між факторами ризику для підтримки управлінських рішень.

Огляди застосування машинного навчання у програмному проєктному менеджменті також підтверджують зростання інтересу до прогнозних підходів. Мохаммед Махді та співавтори проаналізували 111 публікацій та розглянули можливості використання машинного навчання для різних завдань програмного проєктного менеджменту, серед яких присутнє оцінювання проєктних ризиків [4].

Махмудул Махмуд та співавтори у систематичному огляді, безпосередньо присвяченому прогнозуванню програмних ризиків, після проведення процедури відбору проаналізували 16 досліджень за період 2007-2022 років. Автори підтвердили перспективність застосування моделей машинного навчання для прогнозування ризиків, однак одночасно звернули увагу на те, що лише невелика кількість проаналізованих досліджень отримала високі оцінки якості [5].

Таким чином, існуючі дослідження підтверджують можливість використання історичних проєктних даних, контексту програмного проєкту, причинних залежностей та методів машинного навчання для прогнозування ризиків. Однак прогнозування самого ризику та прогнозування результативності заходу, обраного для реагування на нього, є різними задачами.

Наукова проблема цієї роботи полягає у визначенні обґрунтованого переходу від прогнозування ризику до прогнозування результативності дій, які обираються для реагування на нього. При цьому в межах статті не стверджується, що така модель уже побудована або експериментально перевірена. Метою роботи є на основі опублікованих наукових результатів визначити положення, які можуть бути використані для постановки задачі прогнозування ефективності заходів реагування на ризики у проєктах розробки програмного забезпечення.

Аналіз досліджень. Важливим джерелом для визначення сучасного стану досліджень програмних ризиків є систематичний огляд Джона Массо та співавторів [1]. Автори відібрали 45 первинних досліджень та встановили, що увага дослідників поступово зміщується від загального опису інтегрованого процесу управління ризиками до дослідження окремих його активностей.

Однією з важливих проблем, визначених у роботі [1], є недостатня наукова строгість валідації частини запропонованих підходів. Автори також звертають увагу на обмежене використання міжнародно визнаних стандартів та моделей. У результаті ними підкреслюється необхідність подальшого розвитку моделей та підходів до управління ризиками протягом життєвого циклу програмного забезпечення.

Для нашого дослідження це має важливе значення. Розроблення прогнозного підходу не повинно обмежуватися побудовою математичної або машинної моделі. Необхідно також передбачити процедуру її перевірки на реальних даних. Саме недостатність валідації була визначена Джоном Массо та співавторами як одна з проблем існуючих досліджень [1].

Робота Алесандро Філіппетто, Ліма Робсон та Хорсе Луїз Вікторія Барбоса [2] демонструє інший важливий для нашого дослідження принцип – використання контексту програмного проєкту. Запропонована авторами модель використовує історію попередніх проєктів для рекомендації потенційних ризиків нового проєкту. Основою прогнозування є визначення подібності між контекстними характеристиками поточного та раніше виконаних проєктів.

Використання даних 153 програмних проєктів показало практичну можливість накопичення історії ризиків і подальшого використання цієї інформації для підтримки нового проєкту [2]. Таким чином, дані попередніх програмних проєктів можуть розглядатися як джерело інформації для прогнозних моделей.

Для задачі прогнозування ефективності заходів реагування цей принцип може бути розвинений. Якщо в історії проєкту зберігати не лише інформацію про виявлений ризик, але й інформацію про застосований захід реагування та фактичний результат після його застосування, такі записи потенційно можуть стати основою для побудови окремої прогнозної моделі. Слід зазначити, що це положення є напрямом нашого подальшого дослідження, а не результатом, отриманим авторами роботи [2].

Дослідження Юна Ху та співавторів [3] розкриває значення аналізу причинних залежностей. Автори зазначають, що значна частина попередніх досліджень була орієнтована переважно на виявлення кореляцій між факторами ризику та результатами програмних проєктів.

Запропонована ними модель «Bayesian Networks with Causality Constraints» орієнтована на врахування причинності. Для керівника проєкту важливим є не лише отримання прогнозованого значення, але й розуміння того, які фактори можуть бути пов'язані з відповідним результатом. Модель перевірялася на даних 302 програмних проєктів та порівнювалася з іншими підходами [3].

Для прогнозування ефективності заходів реагування це положення має особливе значення. Якщо модель показує, що певний спосіб реагування пов'язаний із кращими результатами, цього ще недостатньо для твердження про причинний характер такого зв'язку. Тому під час подальшого дослідження необхідно розрізняти прогнозну залежність та причинний вплив управлінського рішення.

Огляд Мохаммеда Махді та співавторів [4] показує, що машинне навчання застосовується до широкого кола задач програмного проєктного менеджменту. Автори розглядають можливість використання історичних наборів проєктних даних для формування прогнозних моделей. Загалом у дослідженні було проаналізовано 111 публікацій.

Важливим для нашого дослідження є сам принцип використання фактичних історичних даних. Прогнозна модель не повинна ґрунтуватися виключно на суб'єктивних припущеннях щодо того, які фактори є важливішими. Після формування відповідного набору даних значущість характеристик повинна перевірятися на фактичних спостереженнях.

Махмудул Махмуд та співавтори [5] звули предмет дослідження безпосередньо до прогнозування ризиків програмного забезпечення. У систематичному огляді автори розглянули публікації за 2007-2022 роки та після застосування критеріїв відбору включили до аналізу 16 робіт.

Автори відзначають перспективність моделей машинного навчання для прогнозування програмних ризиків, але одночасно звертають увагу на якість проведених досліджень [5]. Це свідчить про те, що використання складного алгоритму машинного навчання саме по собі не може вважатися достатнім науковим результатом. Необхідними є коректно сформовані дані, визначена цільова змінна, зрозуміла процедура навчання та незалежна перевірка отриманих результатів.

Узагальнення розглянутих праць дозволяє визначити декілька положень для подальшого дослідження прогнозування ефективності заходів реагування на ризики. Насамперед це використання історичних даних програмних проєктів. Другим положенням є необхідність урахування контексту конкретного проєкту. Третім є дослідження взаємозв'язків між факторами ризику та результатами. Четвертим є використання прогнозних моделей із обов'язковою подальшою емпіричною перевіркою.

При цьому жодне з розглянутих джерел не дає підстав стверджувати, що ефективність конкретного заходу реагування на ризик уже може надійно прогнозуватися за допомогою універсальної моделі. Саме це визначає напрям подальшого дослідження.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. У цій роботі під отриманим результатом розуміється не експериментально підтверджена точність нової прогнозної моделі, а обґрунтована на основі аналізу існуючих досліджень постановка задачі

прогнозування ефективності заходів реагування на ризики. Таке уточнення є важливим, оскільки розглянуті джерела містять підтверджені результати прогнозування ризиків, використання історичних даних та аналізу причинних залежностей, але не дають можливості автоматично перенести отримані ними числові результати на іншу прогнозну задачу.

Першим важливим компонентом майбутньої моделі має бути «контекст програмного проєкту». Результати Алесандро Філіппетто, Ліма Робсон та Хорсе Луїз Вікторія Барбоса безпосередньо показують, що характеристики проєктів та подібність контекстних історій можуть використовуватися для рекомендації ризиків [2]. Тому під час формування майбутнього набору даних для прогнозування ефективності реагування необхідно зберігати характеристики умов, у яких приймалося відповідне управлінське рішення.

Це є важливим тому, що однакові за назвою ризики можуть виникати в суттєво різних проєктних умовах. Наприклад, ризик, пов'язаний із виконанням завдання, може мати різне значення залежно від характеристик конкретного проєкту. Тому видалення контексту з прогнозної моделі може призвести до втрати важливої інформації.

Другим компонентом є «опис ризику». У системі даних має бути однозначно зафіксовано, який саме ризик розглядався та на якому етапі життєвого циклу програмного забезпечення він був ідентифікований.

Джон Массо та співавтори розглядають управління ризиками саме в контексті життєвого циклу програмного забезпечення та класифікують дослідження відповідно до різних активностей управління ризиками [1]. Це дозволяє зробити висновок, що майбутня модель не повинна втрачати зв'язок між ризиком та процесом, у межах якого він був виявлений та опрацьований.

Третім компонентом є «захід реагування на ризик». Для задачі недостатньо мати лише інформацію про контекст та ризик. Необхідно додатково зафіксувати управлінську дію, яка фактично була застосована.

На цьому етапі недоцільно наперед формувати штучний перелік заходів та приписувати кожному з них певний рівень ефективності. Такі дані мають отримуватися з реальних програмних проєктів. Класифікація заходів реагування також повинна формуватися на основі реальних проєктних записів та практики управління ризиками.

Четвертим і найбільш складним компонентом є «результат застосування заходу реагування». Для навчання прогнозної моделі необхідна цільова змінна, яка відображатиме фактичний результат застосованої управлінської дії.

Проаналізовані джерела не пропонують єдиної готової метрики, яку можна було б без додаткового обґрунтування використати для оцінювання ефективності конкретного заходу реагування. Тому визначення такої метрики має бути окремих завданням подальшого дослідження.

П'ятим компонентом є «вибір прогнозного методу». Огляди Мохаммеда Махді та співавторів [4] і Махмудул Махмуда та співавторів [5] підтверджують використання методів машинного навчання у програмному проєктному менеджменті та прогнозуванні програмних ризиків.

Водночас результати цих оглядів не дають підстав стверджувати, що конкретний алгоритм буде найкращим саме для прогнозування ефективності заходів реагування. Тому вибір алгоритму повинен здійснюватися після формування набору даних та визначення цільової змінної.

Якщо результат ефективності буде представлено кількісним показником, задача може бути сформульована як задача регресії. Якщо ж результат буде представлено у вигляді обґрунтовано визначених категорій, наприклад різних рівнів результативності, задача може розглядатися як задача класифікації. Конкретний підхід повинен визначатися структурою фактичних даних.

Шостим важливим компонентом є «пояснюваність прогнозу». Дослідження Юна Ху та співавторів показує важливість причинного аналізу для управління програмними ризиками [3]. Для практичного використання прогнозу керівнику проєкту важливо не тільки отримати прогнозоване значення, але й розуміти, які фактори пов'язані з отриманим результатом.

Водночас слід враховувати, що причинний характер зв'язків не встановлюється автоматично під час застосування будь-якого алгоритму машинного навчання. Причинні висновки потребують окремого методичного обґрунтування. Тому «пояснюваність прогнозної моделі» та «причинний аналіз» повинні розглядатися як пов'язані, але не тотожні задачі.

На основі розглянутих положень концептуальну структуру майбутнього дослідження можна представити у вигляді послідовності (рис. 1).

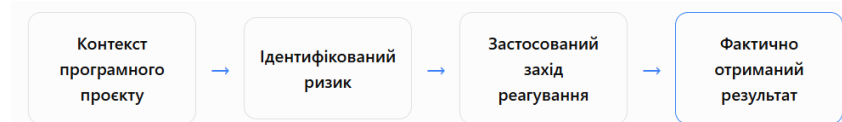


Рис. 1. Концептуальна структура прогнозування реагування на ризики

Сукупність таких спостережень може утворювати історичну базу, яка надалі може бути використана для перевірки гіпотези щодо можливості прогнозування ефективності реагування.

Ця послідовність певною мірою розвиває ідею використання контекстних історій, запропонована Алесандро Філіппетто, Ліма Робсон та Хорсе Луїз Вікторія Барбоса [2], однак спрямована на іншу цільову задачу. Автори роботи [2] прогнозували ризики, тоді як у запропонованому напрямі дослідження планується прогнозувати результат управлінської дії після ідентифікації ризику.

У загальному вигляді майбутню прогнозу залежність можна представити таким чином:

$$\hat{y} = f(X, R, A),$$

де X – характеристики контексту програмного проєкту; R – характеристики ідентифікованого ризику; A – застосований захід реагування; $\hat{y}$ – прогнозоване значення визначеного показника результативності реагування.

Наведений запис не є готовою математичною моделлю. Він лише формалізує загальну постановку задачі. Конкретний перелік характеристик, спосіб їх кодування та вид прогнозної функції повинні визначатися після формування реального набору даних.

Порівняння проаналізованих джерел дозволяє також розмежувати декілька рівнів прогнозної підтримки управління програмними ризиками.

Перший рівень передбачає рекомендацію можливих ризиків нового проєкту на основі інформації про попередні проєкти. Саме такий підхід представлений у дослідженні [2].

Другий рівень передбачає прогнозування результатів та аналіз взаємозв'язків між факторами ризику і результатами програмного проєкту. Прикладом такого підходу є наступне дослідження [3].

Третій рівень, який пропонується як напрям подальшого дослідження, полягає у прогнозуванні результату конкретної управлінської дії після того, як ризик уже було ідентифіковано.

Розмежування цих рівнів має принципове значення, оскільки для них використовуються різні цільові змінні. Прогнозування факту виникнення ризику не є тотожним прогнозуванню ефективності дії, застосованої для його опрацювання.

Це також впливає на структуру майбутнього набору даних. Якщо в історичній інформації зберігаються лише назви ризиків та загальний результат програмного проєкту, таких даних може бути недостатньо для дослідження результативності заходів реагування.

Для поставленої задачі необхідне спостереження, у якому конкретна управлінська дія однозначно пов'язана з конкретним ризиком та подальшим фактичним результатом. В іншому випадку модель може прогнозувати загальний результат проєкту, а не результативність заходу реагування.

Огляди [1; 4; 5] також дають підстави зробити важливий методичний висновок щодо процедури майбутнього експерименту. Необхідно детально описати формування даних, їх підготовку, навчання та перевірку моделі.

Джон Массо та співавтори вказують на недостатню наукову строгість валідації частини проаналізованих підходів [1]. Махмудул Махмуд та співавтори також зазначають, що лише невелика кількість досліджень прогнозування програмних ризиків отримала високі оцінки якості [5].

Тому відтворюваність процедури формування та аналізу даних повинна бути однією з основних вимог до майбутнього дослідження.

Важливо також не ототожнювати точність прогнозу ризику з ефективністю управління ризиком.

Наприклад, наведений у роботі Алесандро Філіппетто та співавторів показник точності 83 % стосується сформованих авторами рекомендацій ризиків [2]. Він не характеризує частку успішних заходів реагування і не може бути використаний як очікувана точність моделі прогнозування ефективності управлінських дій.

Так само результати порівняння BNCC з іншими алгоритмами в роботі Юна Ху та співавторів [3] стосуються конкретної задачі та конкретного набору даних із 302 програмних проєктів. Перенесення цих числових результатів на іншу цільову задачу без проведення окремого експерименту було б методично необґрунтованим.

До початку побудови власної прогностної моделі доцільно провести описовий аналіз сформованої бази спостережень. Він повинен показати, які категорії ризиків представлені в даних, які заходи реагування реально використовувалися, наскільки повними є записи та чи достатньо спостережень для подальшого порівняльного аналізу.

Лише після цього можна визначати остаточний склад характеристик для прогностної моделі та обирати алгоритми машинного навчання. Такий порядок відповідає загальній логіці використання історичних проєктних даних у прогностних задачах, представлений у роботах [2; 4; 5].

Окремим питанням є визначення одиниці спостереження. Для поставленої задачі доцільно розглядати не програмний проєкт загалом, а окремий зафіксований випадок: «проєкт – ризик – захід реагування – результат».

Такий підхід пояснюється тим, що один програмний проєкт може містити багато різних ризиків, для яких приймаються різні управлінські рішення. Загальний успіх або невдача проєкту не можуть автоматично бути приписані одному конкретному заходу.

Разом із тим остаточна структура одиниці спостереження повинна бути перевірена під час роботи з реальними даними та враховувати спосіб документування ризиків у тих організаціях, які стануть джерелами інформації для дослідження.

З позиції практичного використання майбутній прогноз повинен подаватися разом із відповідним контекстом та обмеженнями. Результати [2] демонструють цінність аналізу подібності контекстів, а робота [3] підкреслює значення інформації про зв'язки між факторами ризику для планування управлінських дій.

Тому перспективна система підтримки прийняття рішень не повинна обмежуватися видачею одного числового прогнозу. Для менеджера програмного проєкту важливо розуміти, які характеристики проєкту, ризику та способу реагування були використані для його формування.

Такий підхід дозволяє уникнути передчасного твердження про розроблення «удосконаленого методу» без реальних даних, процедури валідації та отриманих експериментальних показників.

Майбутня експериментальна частина повинна включати опис джерел даних, процедури їх формування, визначення характеристик, навчання прогностних моделей, порівняння результатів та аналіз помилок.

Для уникнення необґрунтованих висновків дані, які використовуватимуться для навчання моделі, необхідно відокремлювати від даних, що застосовуватимуться для її перевірки. Також доцільно порівнювати декілька прогностних підходів, а не оцінювати один алгоритм ізольовано.

Таким чином, прогнозування ефективності заходів реагування потребує спеціального набору історичних даних, який пов'язує контекст програмного проєкту, ідентифікований ризик, фактично застосовану управлінську дію та спостережений результат.

Існуючі дослідження дають наукові підстави використовувати історичні дані, контекстний аналіз, причинні моделі та машинне навчання. Водночас вони не замінюють необхідності формування та експериментальної перевірки спеціалізованої моделі саме для прогнозування результативності заходів реагування.

Практичний зміст такого прогнозування полягає не в автоматичній заміні керівника проєкту програмною системою. Прогнозна модель повинна розглядатися як засіб підтримки прийняття рішень, який використовує накопичений досвід попередніх проєктів для надання додаткової інформації про можливий результат управлінської альтернативи.

На наступному етапі дослідження плануємо сформувати протокол збору даних, визначити операційне поняття ефективності реагування, отримати реальні спостереження, дослідити якість та повноту даних, сформувати декілька прогностних моделей, провести їх порівняльне навчання та перевірку, а також визначити межі застосовності отриманих результатів.

Лише після проведення такого експерименту можна буде робити обґрунтовані висновки щодо фактичної точності прогнозування ефективності заходів реагування на ризики у проєктах розробки програмного забезпечення.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Проведений аналіз показав, що сучасні дослідження у сфері управління ризиками програмних проєктів створюють методологічне підґрунтя для постановки задачі прогнозування ефективності заходів реагування, однак не дають підстав вважати цю задачу вже вирішеною.

Систематичні огляди підтверджують активне використання різних методів управління ризиками та машинного навчання, але одночасно вказують на проблеми валідації та якості окремих досліджень [1; 5].

Встановлено, що історичні дані та контекст програмного проєкту можуть використовуватися для рекомендації потенційних ризиків [2]. Байєсівські мережі з причинними обмеженнями можуть використовуватися для дослідження факторів ризику та прогнозування результатів програмних проєктів [3]. Огляди машинного навчання підтверджують ширше застосування прогнозних методів у програмному проєктному менеджменті [4; 5]. На основі цих результатів обґрунтовано, що подальше дослідження ефективності заходів реагування має поєднати чотири основні групи інформації: контекст програмного проєкту, характеристики ідентифікованого ризику, фактично застосований захід реагування та спостережений результат. Запропоновано розглядати як одиницю спостереження зв'язку «проєкт – ризик – захід реагування – результат». Сукупність таких спостережень може стати основою для формування історичного набору даних та подальшої перевірки можливості прогнозування ефективності управлінських рішень.

Водночас на цьому етапі немає достатніх наукових підстав наперед визначати найкращий алгоритм прогнозування або заявляти певну точність моделі.

Перспективою подальшої роботи є формування реального набору даних про ризики та застосовані заходи реагування в завершених або достатньо тривалих програмних проєктах.

Після формування такого набору даних плануємо провести порівняльний експеримент із декількома прогнозними моделями, оцінити їх на даних, що не використовувалися для навчання, дослідити пояснюваність отриманих результатів та визначити межі перенесення моделі між різними типами програмних проєктів.

Саме результати такої емпіричної перевірки можуть стати основою для розроблення методу прогнозування ефективності управління ризиками та подальшого створення програмної системи підтримки прийняття рішень у проєктах розробки програмного забезпечення.

Список бібліографічного опису

1. Masso J., Pino F. J., Pardo C., García F., Piattini M. Risk management in the software life cycle: A systematic literature review. *Computer Standards & Interfaces*. 2020. Vol. 71. Article 103431. DOI: 10.1016/j.csi.2020.103431.
2. Filippetto A. S., Lima R., Barbosa J. L. V. A risk prediction model for software project management based on similarity analysis of context histories. *Information and Software Technology*. 2021. Vol. 131. Article 106497. DOI: 10.1016/j.infsof.2020.106497.
3. Hu Y., Zhang X., Ngai E. W. T., Cai R., Liu M. Software project risk analysis using Bayesian networks with causality constraints. *Decision Support Systems*. 2013. Vol. 56. P. 439–449. DOI: 10.1016/j.dss.2012.11.001.
4. Mahdi M. N., Mohamed Zabil M. H., Ahmad A. R., Ismail R., Yusoff Y. et al. Software Project Management Using Machine Learning Technique—A Review. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 11. Article 5183. DOI: 10.3390/app11115183.
5. Mahmud M. H., Nayan M. T. H., Ashir D. M. N. A., Kabir M. A. Software Risk Prediction: Systematic Literature Review on Machine Learning Techniques. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 22. Article 11694. DOI: 10.3390/app122211694.

References

1. Masso J., Pino F. J., Pardo C., García F., Piattini M. Risk management in the software life cycle: A systematic literature review. *Computer Standards & Interfaces*. 2020. Vol. 71. Article 103431. DOI: 10.1016/j.csi.2020.103431.
2. Filippetto A. S., Lima R., Barbosa J. L. V. A risk prediction model for software project management based on similarity analysis of context histories. *Information and Software Technology*. 2021. Vol. 131. Article 106497. DOI: 10.1016/j.infsof.2020.106497.
3. Hu Y., Zhang X., Ngai E. W. T., Cai R., Liu M. Software project risk analysis using Bayesian networks with causality constraints. *Decision Support Systems*. 2013. Vol. 56. P. 439–449. DOI: 10.1016/j.dss.2012.11.001.
4. Mahdi M. N., Mohamed Zabil M. H., Ahmad A. R., Ismail R., Yusoff Y. et al. Software Project Management Using Machine Learning Technique—A Review. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 11. Article 5183. DOI: 10.3390/app11115183.
5. Mahmud M. H., Nayan M. T. H., Ashir D. M. N. A., Kabir M. A. Software Risk Prediction: Systematic Literature Review on Machine Learning Techniques. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 22. Article 11694. DOI: 10.3390/app122211694.

Історія статті:

Отримано: 21.05.2026 Доопрацьовано: 11.08.2026 Прийнято до друку: 23.09.2026 Опубліковано: 29.09.2026