

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-82-82>

УДК 004:005.8

КОНЦЕПТУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ НЕВИЗНАЧЕНІСТЮ В ІНФОРМАЦІЙНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЄКТАХ

CONCEPTUAL MODELING OF ADAPTIVE UNCERTAINTY MANAGEMENT IN INFORMATION TECHNOLOGY PROJECTS

Семенюк Олексій Юрійович

аспірант,

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2993-9032>**Semeniuk Olexsii**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

Постійне зростання рівня невизначеності обумовило потребу розробки таких моделей управління інформаційно-технологічними проєктами, що здатні формалізувати прийняття рішень при впливі непередбачуваних подій. Розроблено комплексну модель адаптивного управління невизначеністю, що розподілена на чотири взаємопов'язані проекції. Процесна складова алгоритмізує циклічну обробку сигналів невизначеності, інтегруючи контури зворотного зв'язку та оновлення бази знань ІТ-проєкту. Структурна складова визначає онтологію предметної області, встановлюючи логічні зв'язки між джерелами ризиків, механізмами адаптації та стратегіями реагування. Рольова проекція деталізує взаємодію між командою розробки, архітектором та власником продукту в процесі технічної перевірки рішень. Поведінкова проекція моделює життєвий цикл задач з урахуванням результатів кількісного оцінювання впливу невизначеності на ефективність управління проєктом.

Ключові слова: управління проєктами, концептуальне моделювання, невизначеність, адаптивне управління, ризик-менеджмент, життєвий цикл проєкту.

The paper addresses the timely scientific and practical problem of enhancing the effectiveness of managing information technology projects in high-uncertainty environments with rapidly evolving requirements. The study aims to develop and substantiate a conceptual model of adaptive management that formalizes decision-making processes in response to unforeseen events (unknown unknowns). The methodological foundation combines agile development practices, risk management theory, and the Unified Modeling Language (UML). The limitations of classical deterministic project management approaches are demonstrated in the context of a stochastic execution environment typical for IT projects. Based on a systems analysis, a comprehensive model of adaptive uncertainty management is proposed. This conceptual model of adaptive uncertainty management is based on the hypothesis that effective adaptation is only possible when managerial interventions are synchronized across four levels: process, structural, role-based, and object-oriented. The process view (Activity Diagram) algorithmizes the cycle of processing uncertainty signals by integrating feedback loops and continuous updates to the project knowledge base. The structural view (Class Diagram) specifies the domain ontology and establishes logical relationships among risk sources, adaptation mechanisms, and response strategies. The role-based view (Swimlane Diagram) details interaction among the development team, architect, and product owner during technical validation, including the use of exploratory tasks. The behavioral view (State Diagram) models the task life cycle by introducing specific blocking and exploration states, enabling the quantitative assessment of uncertainty's impact on flow metrics. The model enhances project risk management by embedding the «Agile Spike» instrument into a formalized decision-making framework, thereby treating technical experiments not as costs but as investments in reducing project entropy. The practical contribution lies in a set of reusable visual patterns suitable for implementation in project management information systems, supporting faster responses to uncertainty incidents and higher-quality architectural decisions.

Keywords: project management, conceptual modeling, uncertainty, adaptive management, risk management, project life cycle.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку глобальної економіки характеризується високим рівнем невизначеності, яка зумовлена швидкою зміною технологічних укладів, геополітичною нестабільністю, цифровізацією бізнес-процесів, регуляторною мінливістю, непередбачуваністю поведінки стейкхолдерів, кіберзагрозами тощо. У таких умовах зростання складності соціально-економічних систем сфера інформаційних технологій (ІТ) виступає не лише драйвером інновацій, але й галуззю з найвищим рівнем внутрішніх та зовнішніх ризиків. Статистика реалізації ІТ-проектів свідчить, що значна частка ініціатив не досягає запланованих показників ефективності не через некомпетентність команд, а через неефективні механізми реагування на зміни.

Описані умови зростання невизначеності, підкрплені об'єктивно існуючими ресурсними обмеженнями, потребують значного зростання адаптаційних здібностей систем управління ІТ-проектами, що відбивається через швидкість перебудови внутрішньої структури та бізнес-процесів без втрати функціональної стійкості. Оскільки отримання таких адаптаційних здібностей перетворюється в ключовий фактор конкурентоспроможності то актуалізується проблема розробки нових концептуальних моделей управління ІТ-проектами, які б дозволили формалізувати процеси управління, зробивши їх прозорими, вимірюваними та відповідними уявленням про оточення. При цьому ключовою науковою та прикладною проблемою виступає суперечність між стохастичною природою життєвого циклу ІТ-проектів та недостатньою інструментальною підтримкою процесів адаптації до умов невизначеності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема організації управління невизначеністю в проектному менеджменті не є новою. Разом з тим слід обов'язково враховувати еволюційну зміну її інтерпретації, яка відбулася як перехід від спроб повного виключення ризиків до визнання невизначеності невід'ємною властивістю складних систем. Фундаментальні засади визначення та класифікації невизначеності закладено у працях А. Мейєра з співавторами [9], які довели необхідність розрізняти управління невизначеністю від ризик-менеджменту, оскільки останній можливий лише в ситуації наявності подій з заздалегідь відомими розподілами ймовірностей (так званих подій з «відомими невідомими»). При цьому, як вірно наголошує

М. Річардс [15, с. 15], в сучасних умовах відбувається постійне зростання питомої ваги подій з категорії «невдомих недомих» (від англ. «unknown unknowns»), тобто подій про існування яких команда проекту навіть не здогадується до моменту їх настання. І якщо ризики (категорія «known unknowns» в описаній класифікації) можуть бути ідентифіковані, внесені в відповідні реєстри ризиків та підлягати керівним впливам, то «невдомих недомих» (фактори невизначеності) можуть взагалі не попадати в зону уваги менеджерів проектів. Саме тому з'являються численні методи аналізу аномалій, інтелектуального аналізу даних (від англ. «data mining» [11]) та розвідувального аналізу (від англ. «Exploratory Data Analysis» [10]) спрямовані на переведення факторів невизначеності у категорію відомих проблем, якими можна керувати. У даному аспекті слід зазначити, що такі традиційні стандарти, як PMBOK [4] та PRINCE2 [14] розглядають ризики та невизначеність синонімічно й через це критикуються в роботах Е. Зенг [17, с. 96-107] та А. Бочкарева [8, с. 16-30]. М. Марінхо з співавторами [13, с. 290-300] йдуть ще далі в критиці традиційних стандартів, наголошуючи на їх надмірному редукціонізмі (припущенні, про можливість зрозуміти складну систему шляхом розкладення її на прості складові частини) й нездатності через це досягати заявлених цілей реалізації ІТ-проекту. Певною протигагою є гнучкі методології управління проектами, такі як SAgile (Scaled Agile Framework [12]) та DAD (Disciplined Agile Delivery [5]). Оскільки для цих підходів не властиві формалізовані алгоритми прийняття рішень у критичних точках біфуркації, з'являються непоодинокі наукові розробки присвячені організації протиризикового управління портфелями проектів (О. Данченко [1, с. 190-215]), розширення аналітичності гнучких моделей проектного управління (Г. Коптева [2, с. 103-106]), визначенню впливу організаційної структури проектів на здатність досягнення поставлених цілей (А. Пилипенко [3, с. 238-243]). При цьому такі роботи наголошують переважно на врахуванні невизначеності, а не на поданні її у якості самостійного об'єкту управління.

Отже, оскільки більшість існуючих підходів розглядають невизначеність виключно як негативний фактор, що підлягає мінімізації, потрібною є розробка адаптивних формалізованих стратегій, які б описували врахування факторів невизначеності не на рівні філософських принципів (як у «Agile Manifesto»

[7, с. 223-227]), а на рівні інженерних рішень та алгоритмів. Це потрібно перш за все через те, що в інноваційних інформаційно-технологічних проєктах саме невизначеність часто виступає джерелом нових можливостей, реалізація яких вимагає не захисних, а проактивних дій.

Метою статті постав розв'язок теоретико-методичних засад організації управління невизначеністю інформаційно-технологічних проєктів та розробка формалізованої системи підтримки прийняття рішень в умовах стохастичного зовнішнього та внутрішнього середовища таких проєктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основу досягнення поставленої мети дослідження становить гіпотеза, що існуючі методики управління IT-проєктами потребують конкретизації та розвитку в частині формування інструментарію реагування на непередбачувані зміни. При цьому відносно невизначеності пропонується подвійний її розгляд. По-перше вона виступає як фактор зовнішніх впливів який має враховуватися під час реалізації адаптивного проєктного управління. По-друге, невизначеність розглядається як об'єкт управління в межах внутрішніх параметрів проєкту, який може сприймати відповідного роду керівні впливи. Вирішувати завдання формалізації процесів адаптації пропонується з використанням об'єктно-орієнтованого підходу та уніфікованої мови моделювання (UML). Вибір UML базується на описаній в роботах Д. Арлоу [6] та А. Сінг [16] його здатності утворювати єдиний семантичний простір для всіх учасників управління та реалізації IT-проєктів, візуалізуючи при цьому як статичну структуру системи управління, так і динаміку її поведінки. В основу концептуальної моделі управління невизначеністю IT-проєктів пропонується покласти кібернетичний принцип зворотного зв'язку з певною його адаптацією до ітеративно-інкрементальної методології розробки (до застосування принципів «Agile» та «Scrum»). Наявність зворотного зв'язку дозволяє реалізувати безперервний цикл трансформації невизначеності у керовані ризики. Система управління при цьому не розглядає невизначеність як статичну загрозу, а трактує її як вхідний потік даних, що підлягає ідентифікації, класифікації та опрацюванню через відповідні механізми адаптації. Ключовою особливістю є розмежування описаних на початку статті «відомих невідомих» («known unknowns»), які управляються через стандартні процедури ризик-

менеджменту, та «невдомих невідомих» («unknown unknowns»), що вимагають евристичних підходів та експериментальних досліджень. Метою таких дослідницьких задач (від англ. «Spikes» в термінології гнучкої розробки) є отримання знань, а не готового продукту, для зменшення невизначеності, коли відсутні потрібні процедури та дані. Результатом отримання додаткових знань є нівелювання негативного впливу на проєктні метрики та підвищення резистентності майбутніх IT-проєктів через збагачення інституційної пам'яті організації.

Оснoву імплементації описаного підходу становить гіпотеза, що ефективна адаптація до умов невизначеності можлива лише за умови синхронізації управлінських впливів на чотирьох рівнях: процесному, структурному, рольовому та об'єктному. Відповідно потрібно є здійснена у чотирьох взаємопов'язаних проєкціях декомпозиція загальної моделі управління невизначеністю, кожна з яких описується окремим типом UML-діаграм. Першою з таких проєкцій буде процесна. Вона реалізується через діаграму діяльності та розкриває логіку реакції на прояв невизначеності. Представлене на рис. 1 візуальне відображення такої діаграми відображає повний внутрішній цикл управління невизначеністю (в рамках кожної повторюваної ітерації), який починається з ідентифікації її прояву та завершується оновленням бази знань проєкту.

Вибір на рис. 1 діаграми діяльності пояснюється тим, що вона дозволяє візуалізувати динамічний аспект моделі, відображаючи часову послідовність дій та потоки управління, розкриваючи при цьому цикл зворотного зв'язку, прийняття рішень та ітеративний характер адаптивного підходу. Процес адаптації до прояву невизначеності у даному випадку розділяється на п'ять ключові фаз, перша з яких ідентифікує форму прояву невизначеності (зміни вимог стейкхолдерів, технологічні обмеження, ресурсні дефіцити). Слід звернути увагу, що модель орієнтована на врахування існуючого в теорії надійності розподілу видів невизначеності на алеаторну та епістемічну. Алеаторна невизначеність відображає притаманну системі випадковість та варіабельність. В контексті IT-проєктів це може бути стохастична природа мережевого трафіку, випадковий збій в роботі апаратури або непередбачувана зміна продуктивності команди. Головним акцентом управління є те, що алеаторну невизначеність неможливо зменшити шляхом отримання додаткової

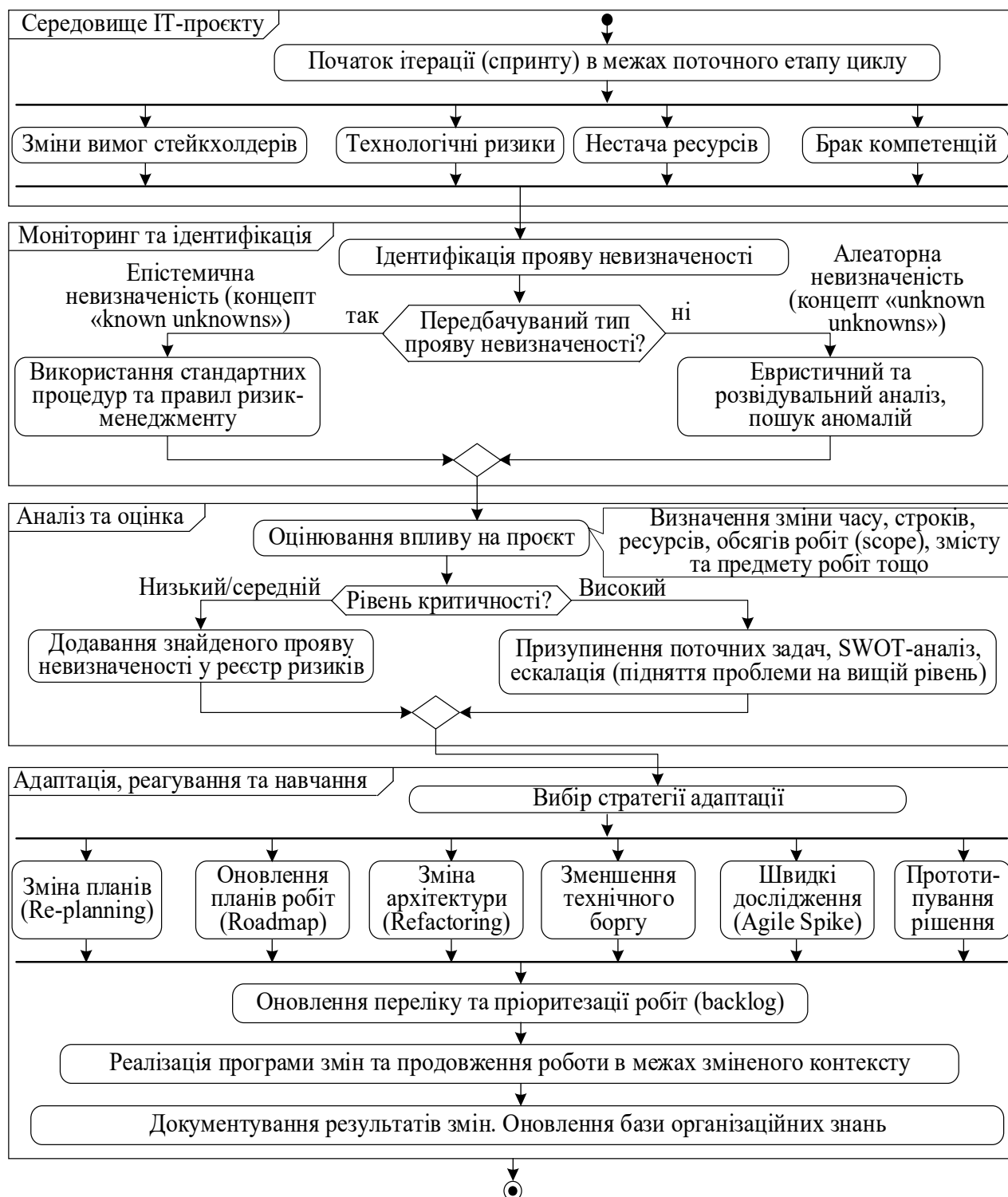


Рис. 1. Модель адаптивного управління невизначеністю інформаційно-технологічних проєктів

Джерело: сформовано автором

інформації. Відповідно стратегія управління полягає у створенні резервів, надлишковості та підвищенні рівня стійкості системи до варіацій. Епістемична невизначеність в свою чергу є результатом неповноти інформації або недосконалості моделі реальності (при-

кладом є незрозумілі вимоги замовника, відсутність досвіду роботи з новими технологіями або приховані архітектурні залежності). На відміну від алеаторної, епістемичну невизначеність можна зменшувати через навчання, дослідження та ітеративну роз-

робку. Саме тому означена на рис. 1 фаза навчання (разом з зазначеним обов'язковим оновленням бази знань) орієнтовано на врахування епістемічної невизначеності. Водночас розгалуження в фазі диференціації невизначеності, яке дозволяє розділити рутинні ризики та аномалії, орієнтовано на алеаторну невизначеність, робота з якою ведеться через гілку евристичного аналізу (в першу чергу саме через неефективність застосування стандартних шаблонів реагування). Відповідно до форми прояву невизначеності обирається стратегія роботи з нею, яка може передбачати широкий спектр дій (від адміністративних до інженерних).

Другою з означеного комплексу проєкцій моделі адаптивного управління невизначеністю ІТ-проєктів є структурна проєкція, яка представляється діаграмою класів та розкриває онтологію предметної області шляхом встановлення зв'язків між означеними на рис. 2 сутностями. Тобто подана на рис. 1 модель розкриває логіку адаптації до прояву невизначеності (відповідає на питання «Як відбувається адаптація?»), а наведена на рис. 2 структурна модель розкриває механізм адаптації (відповідає на питання «За допомогою чого та якими методами реалізується адаптація до умов невизначеності?»).

Наведена на рис. 2 діаграма класів створює онтологічний каркас системи управління невизначеності. Тобто ті об'єкти, які задіяні у

моделі процесів (в поданій на рис. 1 діаграмі) являються екземплярами класів, визначених в поданій на рис. 2 структурній моделі. Так, реалізація етапу вибору стратегії адаптації в діаграмі діяльності (див. рис. 1) реалізується через реалізацію методу «виконувати стратегію» класу «механізм адаптації», який звертається до внутрішніх атрибутів класу стратегії. Для реалізації такого підходу на рис. 2 центральним елементом обрано клас ІТ-проєкт, який містить в собі ключові характеристики проєкту (бюджет, терміни, виконавці, рівень невизначеності) та має композиційний зв'язок з класом джерел невизначеності. Такий підхід до моделювання обрано для підкреслення неможливості існування джерел невизначеності поза контекстом самого проєкту. З точки зору алеаторної невизначеності ключовим на рис. 2 виступає клас механізм адаптації, що за змістом є своєрідним контролером, який базуючись на даних класу подій невизначеності, ініціює відповідну стратегію врахування невизначеності. З точки зору епістемічної невизначеності більш важливим на рис. 2 є асоціативний зв'язок з класом бази знань, що забезпечує збереження патернів реагування та дозволяє реалізувати самонавчання системи.

Наступною (третьою) проєкцією буде рольова проєкція, яка на рис. 3 деталізована за допомогою UML-діаграми діяльності з доріжками.



Рис. 2. Онтологія предметної області (структурна модель) адаптивного управління невизначеністю ІТ-проєктів

Джерело: сформовано автором

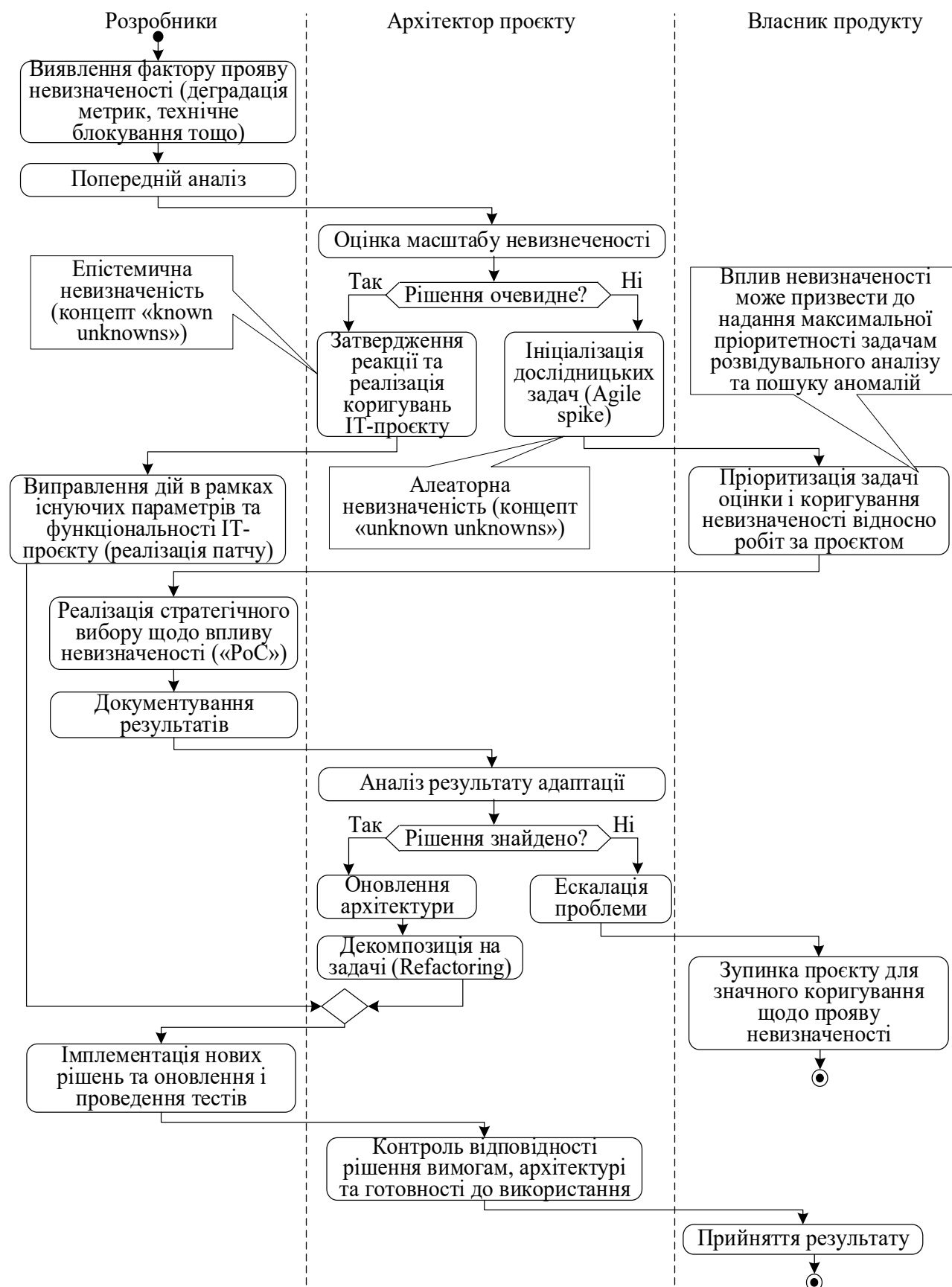


Рис. 3. Схема процесу технічної адаптації параметрів ІТ-проекту після ідентифікації прояву невизначеності

Джерело: сформовано автором

Ця модель фокусується на етапі технічної адаптації, розмежовуючи зони відповідальності між командою розробки, архітектором та власником продукту. Тобто модель на рис. 3 відображає, яким чином абстрактна невизначеність перетворюється у конкретне технічне завдання з одночасним відображеннями відповідального за прийняття рішень щодо врахування прояву невизначеності. Ключовою особливістю даної моделі є елемент запуску дослідницької задачі (елемент «Agile Spike» гнучкої розробки проєкту, коли для зміни параметрів ІТ-проєкту використовується швидкий експеримент щодо оновлення параметрів продукту чи проєкту), хоча аналогічним чином можуть бути реалізовані інші форми та методи реакції на невизначеність та аномалії. Діаграма на рис. 3 враховує парадигму відомих на невідомих проблем та пропонує вибір шляху глибокої адаптації або швидкого коригування.

Останньою в комплексі проекцій моделі адаптивного управління невизначеністю ІТ-проєктів є поведінкова проекція, яка на рис. 4 описана діаграмою станів та демонструє життєвий цикл атомарної задачі.

Подана на рис. 4 модель доповнює модель бізнес-процесів фокусом на статусі відповідних артефактів. Якщо в моделі на рис. 3 вводиться артефакт швидкого (обмеженого у часі) дослідження («Agile Spike») як інструменту боротьби з невизначеністю, орієнтованого на отримання нових організаційних знань, потрібних для прийняття архітектурних рішень, та в поданій на рис. 4 моделі відображаються стани реалізації такого рішення. Практична реалізація даної моделі полягає у відображенні зміну статусу самої задачі проведення швидкого дослідження в системі управління задачами ІТ-проєкту.

Висновки. Представлена логіка адаптивного управління невизначеністю в ІТ-проєктах орієнтує процеси прийняття рішень на стохастичну природу розробки програмного забезпечення. Запропонований підхід виходить за межі традиційного ризик-менеджменту, інтегруючи принципи гнучкої розробки з системним аналізом. Поєднання діаграм діяльності, класів та станів дозволило створити багаторівневу структуру, яка охоплює стратегічний (управління портфелем ризиків), тактичний (організація процесів розробки програмного

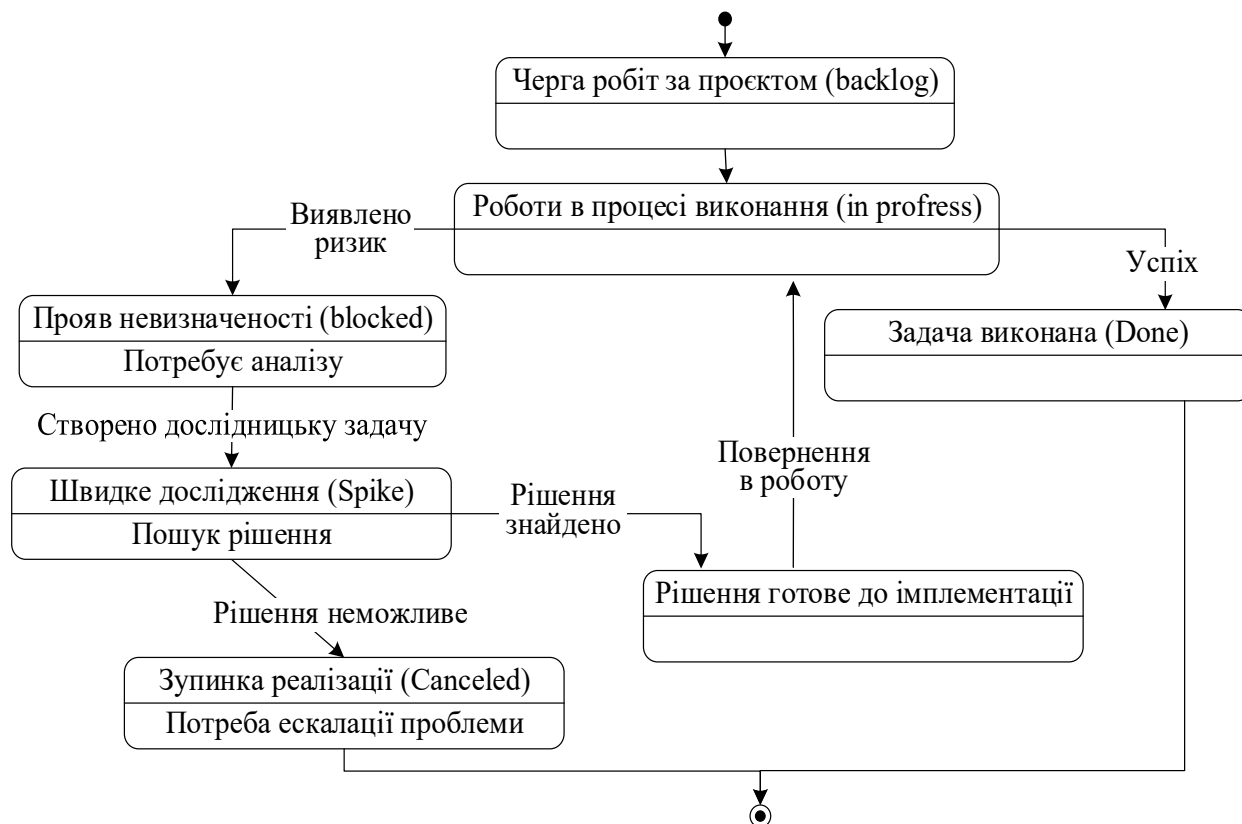


Рис. 4. Життєвий цикл задачі ІТ-проєкту

Джерело: сформовано автором

забезпечення) та операційний (життєвий цикл конкретних задач) рівні. Подана модель явно включає реалізацію зворотного зв'язку через накопичення організаційних знань й тим самим забезпечує трансформацію негативного досвіду (інцидентів невизначеності) у інтелектуальний капітал проєктної команди з одночасною реалізацією принципу самонавчання системи. Елемент швидкого дослідження («Agile Spike») представлено не як допоміжну техніку розробки програмного забезпечення, а як інтегрований елемент системи адаптивного управління невизначеністю ІТ-проєкту через визначення чітких критеріїв переходу від лінійного виконання задач до дослідницького режиму. При цьому через встановлення жорстких логічних зв'язків між структурою невизначеності та процесами

реагування на її зміну адаптацію ІТ-проєкту представлено не як спонтанну реакцію на зміни, а як прогнозований процес переходу між стабільними станами.

Практична цінність таких пропозицій полягає у розширенні можливостей створення шаблонів поведінки проєктних команд, зменшення часу реакції на прояви невизначеності через регламентацію сценаріїв ескалації, підвищенні прозорості архітектурних рішень через візуалізацію точок біфуркації у процесі розробки. Разом з тим, зазначене підвищення прозорості архітектурних рішень та розробка мотиваційних комплексів для проєктних команд потребує наявності чітких критеріїв виміру успішності адаптації до прояву невизначеності, розробка яких становитиме перспективи подальших розробок автора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Данченко О.Б., Савіна О.Ю., Бедрій Д.І., Гайдаєнко О.В., Меленчук В.М. Проєктний менеджмент: управління наукомісткими проєктами та портфелями проєктів у наукомістких галузях : монографія. Черкаси : видавець ФОП Пономаренко Р.В., 2023. 315 с.
2. Коптева Г.М. Побудова структурно-логічної моделі управління невизначеністю в інформаційно-технологічних проєктах. *Економіка: реалії часу*. 2025. № 6(82). С. 100-109.
3. Пилипенко А., Кумбатов А. Організаційні детермінанти спільного творення інноваційної цінності учасниками логістичних мереж виробничої кооперації в умовах технологічної та інформаційної невизначеності. *Development Service Industry Management*. 2025. № 3. С. 237-246.
4. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 2021. 329 p.
5. Ambler S.W., Lines M. Choose Your WoW: A Disciplined Agile Delivery Handbook for Optimizing Your Way of Working. USA: Project Management Institute, 2020. 445 p.
6. Arlow J., Neustadt L. Generative Analysis: The Power of Generative AI for Object-Oriented Software Engineering with UML. USA: Addison-Wesley, 2024. 1049 p.
7. Block S. Large-Scale Agile Frameworks: Agile Frameworks, Agile Infrastructure and Pragmatic Solutions for Digital Transformation. Berlin: Springer, 2023. 315 p.
8. Botchkarev A., Finnigan P. Complexity in the context of information systems project management. *Organisational Project Management*. 2015. № 2(1). P. 15-34.
9. De Meyer A., Loch C., Pich M. Managing Project Uncertainty: From Variation to Chaos. *MIT Sloan Management Review*. 2002. Vol. 43. № 2. P. 60-68.
10. Downey A.B. Think Stats: Exploratory Data Analysis. USA: O'Reilly Media, Incorporated, 2025. 324 p.
11. Fortino A. Data mining and predictive analytics for business decisions. Boston: Mercury Learning and Information, 2023. 291 p.
12. Knaster R., Leffingwell D. SAgile 5.0 Distilled: Achieving Business Agility with the Scaled Agile Framework. USA: Addison-Wesley Professional, 2020. 320 p.
13. Marinho M.L.M. Uncertainty management in software projects. *Journal of Software*. 2012. Vol. 10. № 3. P. 288-303.
14. Murray A. Managing Successful Projects with PRINCE2. Cyprus: PeopleCert International Limited, 2023. 363 p.
15. Richards M., Ford N. Fundamentals of Software Architecture. An Engineering Approach. USA: O'REILLY, 2020. 422 p.
16. Singh A. Object Oriented Modeling and Design using UML. USA: Self-Published, 2024. 164 p.
17. Zheng E.Z.H., Carvalho M.M. Managing Uncertainty in Projects: A Review, Trends and Gaps. *Revista de Gestão e Projetos – GeP*. 2016. Vol. 7. № 2. P. 95-109

REFERENCES:

1. Danchenko O. B., Savina O. Yu., Bedrii D. I., Haidaienko O. V., Melenchuk V. M. (2023) *Proiektnyi menedzhment: upravlinnia naukomistkymy proiektamy ta portfeliamy proiektiv u naukomistkykh haluziakh* [Project management: management of knowledge-intensive projects and project portfolios in knowledge-intensive industries]. Cherkasy: FOP Ponomarenko R. V., 315 p. (in Ukrainian)
2. Koptieva H. M. (2025) *Pobudova strukturno-lohichnoi modeli upravlinnia nevyznachenistiu v informatsiino-tekhnologichnykh proiektakh* [Building a structural-logical model of uncertainty management in information technology projects]. *Ekonomika: realii chasu*, no. 6(82), pp. 100–109.
3. Pylypenko A., Kumbatov A. (2025) *Orhanizatsiini determinanty spilnoho tvorennia innovatsiinoi tsinnosti uchasnykamy lohistychnykh merezh vyrobnychoi kooperatsii v umovakh tekhnologichnoi ta informatsiinoi nevyznachenosti* [Organizational determinants of co-creating innovative value by participants of logistics networks of production cooperation under technological and information uncertainty]. *Development Service Industry Management*, no. 3, pp. 237–246.
4. Project Management Institute (2021) *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 329 p.
5. Ambler S. W., Lines M. (2020) *Choose Your WoW: A Disciplined Agile Delivery Handbook for Optimizing Your Way of Working*. USA: Project Management Institute, 445 p.
6. Arlow J., Neustadt L. (2024) *Generative Analysis: The Power of Generative AI for Object-Oriented Software Engineering with UML*. USA: Addison-Wesley, 1049 p.
7. Block S. (2023) *Large-Scale Agile Frameworks: Agile Frameworks, Agile Infrastructure and Pragmatic Solutions for Digital Transformation*. Berlin: Springer, 315 p.
8. Botchkarev A., Finnigan P. (2015) Complexity in the context of information systems project management. *Organisational Project Management*, vol. 2, no. 1, pp. 15–34.
9. De Meyer A., Loch C., Pich M. (2002) Managing Project Uncertainty: From Variation to Chaos. *MIT Sloan Management Review*, vol. 43, no. 2, pp. 60–68.
10. Downey A. B. (2025) *Think Stats: Exploratory Data Analysis*. USA: O'Reilly Media, Incorporated, 324 p.
11. Fortino A. (2023) *Data Mining and Predictive Analytics for Business Decisions*. Boston: Mercury Learning and Information, 291 p.
12. Knaster R., Leffingwell D. (2020) *SAFe 5.0 Distilled: Achieving Business Agility with the Scaled Agile Framework*. USA: Addison-Wesley Professional, 320 p.
13. Marinho M.L.M. (2012) Uncertainty management in software projects. *Journal of Software*, vol. 10, no. 3, pp. 288–303.
14. Murray A. (2023) *Managing Successful Projects with PRINCE2*. Cyprus: PeopleCert International Limited, 363 p.
15. Richards M., Ford N. (2020) *Fundamentals of Software Architecture. An Engineering Approach*. USA: O'Reilly, 422 p.
16. Singh A. (2024) *Object Oriented Modeling and Design using UML*. USA: Self-Published, 164 p.
17. Zheng E. Z. H., Carvalho M. M. (2016) Managing Uncertainty in Projects: A Review, Trends and Gaps. *Revista de Gestão e Projetos – GeP*, vol. 7, no. 2, pp. 95–109.

Дата надходження статті: 05.12.2025

Дата прийняття статті: 17.12.2025

Дата публікації статті: 29.12.2025