

Морозов Віктор Володимирович*Кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій управління,**<https://orcid.org/0000-0001-7946-0832>**Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ***Кулик Роман Юрійович***Аспірант кафедри технологій управління,**<https://orcid.org/0009-0002-7613-7532>**Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ***ПОБУДОВА ІНТЕГРАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ
УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ ФІКСОВАНОБЮДЖЕТНИМИ ІТ-ПРОЄКТАМИ**

Анотація. У статті представлено дослідження інтеграції методологій Agile та Waterfall в управлінні складними фіксованобюджетними ІТ-проєктами. Складність таких проєктів обумовлена необхідністю поєднання жорстких обмежень бюджету та строків з потребою адаптації до змінних умов виконання. Авторами проаналізовано основні проблеми використання традиційних методологій управління в таких проєктах, зокрема, недостатню гнучкість Waterfall та складнощі з контролем витрат в Agile. Запропоновано підхід до створення гібридної моделі управління, яка поєднує структурованість каскадного підходу з гнучкістю й адаптивністю гнучких методологій. Модель включає механізми планування, управління ресурсами, моніторингу виконання задач та прийняття рішень у контексті мінливого середовища. Особливу увагу приділено взаємодії між ключовими зацікавленими сторонами (замовниками, командами розробки, менеджерами проєктів) і їхньому впливу на процеси ухвалення рішень. Для забезпечення ефективного управління запропонована математична модель, яка дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів, планування етапів проєкту та контроль за дотриманням бюджету. Проведено симуляційні дослідження для оцінки впливу різних сценаріїв взаємодії зацікавлених сторін на ефективність проєкту. Експериментальні результати продемонстрували переваги запропонованого підходу в досягненні цілей проєктів за умов обмежених ресурсів і високої динаміки зовнішнього середовища. Для реалізації розроблених моделей і тестування їхньої ефективності використовувались сучасні технології програмування, зокрема, бібліотеки Python, що забезпечують гнучкість у моделюванні та аналізі великих обсягів даних. Результати дослідження свідчать, що інтеграція Agile та Waterfall в одну гібридну модель дозволяє підвищити якість управління фіксованобюджетними ІТ-проєктами, забезпечуючи водночас адаптивність до змін і чіткий контроль за ресурсами. Запропоновані підходи можуть бути використані для управління складними проєктами в різних галузях інформаційних технологій, що робить їх перспективними для широкого впровадження.

Ключові слова: *фіксованобюджетні ІТ-проєкти; Agile; Waterfall; гібридна модель; управління проєктами; інтеграція методологій; математичне моделювання; симуляція; розподіл ресурсів; адаптивність; зацікавлені сторони*

Вступ

Інформаційні технології (ІТ) займають одне з центральних місць у сучасному світі, забезпечуючи швидке вирішення різноманітних завдань в економіці, бізнесі та соціальній сфері. У зв'язку з цим управління ІТ-проєктами, які часто є складними, багатофункціональними та технологічно передовими, набуває особливого значення для забезпечення ефективності, фінансової стійкості та конкурентоспроможності підприємств. Водночас виконання великих і складних ІТ-проєктів завжди супроводжується низкою труднощів таких як

непередбачуваність змін вимог, високий рівень ризику, обмеження в бюджетах і ресурсах, а також необхідність постійної адаптації до змін в технологічному та економічному середовищі [1]. У цьому контексті важливо звернути увагу на методи, які використовуються для управління ІТ-проєктами, зокрема на популярні методології Waterfall та Agile, що часто застосовуються в поєднанні з метою підвищення ефективності управлінських процесів.

Методологія Waterfall є традиційним підходом до управління проєктами, в якому всі етапи виконання проєкту чітко плануються і розподіляються в часі на початку реалізації.

Цей підхід добре працює в умовах, коли вимоги до проєкту чітко визначені і не підлягають значним змінам протягом виконання. Однак з огляду на динамічність змін властиву сучасним IT-проєктам Waterfall часто виявляється неефективним у випадку швидкої зміни вимог або адаптації до нових ринкових умов [2].

На противагу Waterfall методологія Agile є більш гнучким і адаптивним підходом до управління проєктами, який забезпечує можливість постійно коригувати напрямок проєкту в залежності від нових даних або змін у вимогах. Цей підхід дозволяє швидко реагувати на зміни і мінімізувати ризики, пов'язані з реалізацією проєкту. Однак при цьому відсутність чіткої структури може призвести до проблем з управлінням бюджетом та термінами виконання що є критичним для проєктів з фіксованим бюджетом [3].

Кожен з цих підходів має свої переваги та обмеження і в умовах складних IT-проєктів часто виникає потреба в інтеграції обох методологій для досягнення балансу між гнучкістю та контролем. Для цього виникає необхідність розробки гібридних моделей які дозволяють об'єднувати сильні сторони Waterfall і Agile, зберігаючи при цьому контроль за термінами та витратами. Це особливо важливо для фіксованобюджетних IT-проєктів де обмеження по часу та бюджету не дозволяють допускати значні відхилення від початкових планів [4].

Існуючі дослідження в області управління IT-проєктами, зокрема ті що стосуються методологій Waterfall та Agile, надають різні точки зору на ефективність їхнього застосування. Згідно з останніми даними Standish Group (2022) [5] близько 70% IT-проєктів не виконуються вчасно і перевищують бюджети при цьому лише 36% таких проєктів успішно завершується при використанні традиційних підходів до управління. У той час як методи Agile показують дещо кращі результати, досягаючи 42% успішних проєктів; однак це супроводжується високими витратами через відсутність точних термінів та чітко визначених бюджетів. Тому інтеграція цих двох методологій може стати надійним інструментом для подолання цих проблем дозволяючи поєднати гнучкість з контролем.

Ще одне важливе дослідження проведене McKinsey (2023) [6] підтверджує зростаючу популярність комбінованих підходів в управлінні IT-проєктами наголошуючи на необхідності гнучкої адаптації до змін при збереженні чіткого контролю над витратами. Зокрема гібридні моделі управління потребують узгодження різних етапів роботи над проєктом і створення стратегії що дозволяє командам балансувати між фіксацією бюджетних обмежень і можливістю вносити зміни на різних етапах реалізації.

Актуальність цієї теми зумовлена необхідністю розробки ефективних методологічних підходів до управління фіксованобюджетними IT-проєктами що дозволяють враховувати зміни на різних етапах їхньої реалізації, забезпечуючи збереження бюджетного контролю та успішне завершення проєкту. Створення гібридних моделей які поєднують переваги Waterfall і Agile може значно покращити процес управління проєктами знижуючи ймовірність перевищення бюджетів і затримок у термінах виконання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Управління IT-проєктами особливо складними фіксованобюджетними проєктами є однією з найбільш досліджуваних і актуальних тем у галузі інформаційних технологій та проєктного менеджменту. З розвитком нових методологій таких як Waterfall та Agile а також комбінованих підходів виникає потреба у детальному аналізі їхнього застосування в різних умовах і на різних етапах життєвого циклу проєкту. Останні публікації в цій галузі свідчать про активний пошук ефективних методів інтеграції традиційних і гнучких підходів у управлінні IT-проєктами що дозволяє зменшити ризики, покращити контроль над витратами та часом і забезпечити адаптацію до змін у вимогах [7].

Один з найбільш значущих напрямів досліджень пов'язаний з порівнянням методологій Waterfall та Agile у контексті управління IT-проєктами. Як показують результати дослідження Standish Group (2022) [5] традиційна модель Waterfall незважаючи на її чіткість і системність не здатна ефективно реагувати на швидко змінювані умови та вимоги. Це особливо виявляється в умовах технологічних стартапів де часто виникають необхідність швидкої адаптації до нових технологій і змін на ринку. У той же час методологія Agile демонструє високу ефективність в управлінні такими проєктами завдяки своїй гнучкості та здатності швидко реагувати на зміни. Однак відсутність чітких термінів і структури характерна для Agile може стати проблемою при реалізації фіксованобюджетних IT-проєктів де контроль над витратами є критичним.

Різноманітні дослідження також акцентують увагу на необхідності комбінованих підходів що об'єднують найкращі практики обох методологій. Так у статті «Integrating Agile and Waterfall Methodologies in IT Project Management: A Comparative Analysis» (Smith et al., 2023) [8] досліджено переваги та недоліки кожної з методологій у контексті управління великими IT-проєктами. Автори відзначають що поєднання Waterfall і Agile може дозволити створити більш стійку і ефективну модель яка здатна забезпечити як

гнучкість так і точний контроль за часом і бюджетом. Вони також пропонують інтерфейс для інтеграції двох методологій, який може варіюватися в залежності від етапу проєкту та потреб клієнта.

Дослідження McKinsey (2023) [6] також підтверджує важливість інтеграції різних методологій в управлінні IT-проєктами. Згідно з їхніми висновками гібридні моделі управління що поєднують елементи Waterfall і Agile дозволяють досягати кращих результатів оскільки забезпечують баланс між гнучкістю та контролем а також підвищують ефективність управлінських рішень при обмеженому бюджеті. Крім того дослідження вказують на важливість адаптації процесу управління в залежності від конкретного контексту проєкту та його стадії що дозволяє забезпечити максимальну ефективність застосування кожної з методологій.

Нещодавні публікації зокрема дослідження опубліковане в International Journal of Project Management (2022) [9] також підкреслюють важливість інтеграції методологій Waterfall і Agile для управління великими проєктами де змішане застосування цих підходів дозволяє враховувати різні вимоги що виникають на різних етапах проєкту. Автори дослідження пропонують концепцію гібридного управління що включає чітке планування в початкових етапах проєкту характерне для Waterfall і більш гнучке управління на етапах розробки та тестування характерне для Agile. Це дозволяє забезпечити належний рівень контролю на початку проєкту та адаптацію до нових умов і вимог на пізніших етапах.

Одним із останніх напрямів досліджень є аналіз ефективності гібридних моделей на основі реальних IT-проєктів. У дослідженні «A Hybrid Approach to IT Project Management: Combining Waterfall and Agile Methodologies» (Liu et al., 2024) [10] проаналізовано застосування гібридних моделей на прикладі великих IT-стартапів що реалізують складні проєкти. Автори дослідження виявили що комбінування Waterfall та Agile дозволяє значно підвищити ефективність управління знижуючи ризики перевищення бюджету та затримок у термінах виконання. Однак вони також зазначають що ефективність таких моделей залежить від типу проєкту його специфіки та етапу розробки що вимагає індивідуального підходу до кожного випадку.

Багато про IT-проєкти та їх дослідження описано в роботі [11; 12], це дає нам змогу розглянути як працювати саме зі складними IT-проєктами.

Таким чином останні дослідження та публікації вказують на високу актуальність інтеграції методологій Waterfall і Agile для управління складними фіксованобюджетними IT-проєктами.

Комбінування цих підходів дозволяє ефективно поєднувати переваги обох методологій і мінімізувати їхні слабкі сторони що вкрай важливо для успішного виконання проєктів в умовах обмежених ресурсів і часового тиску. Порівняння та подальше вдосконалення таких моделей є важливим кроком на шляху до підвищення ефективності управління великими IT-проєктами.

Мета дослідження

Метою статті є розробка і дослідження гібридної моделі інтеграції методологій Waterfall та Agile для управління складними фіксованобюджетними IT-проєктами що дозволяє досягти оптимального балансу між гнучкістю та контролем при обмеженнях по часу та бюджету.

Завданнями дослідження є:

1. Аналіз характеристик та обмежень традиційних методологій Waterfall та Agile.
2. Розробка концептуальної моделі інтеграції підходів Waterfall та Agile для управління складними фіксованобюджетними IT-проєктами.
3. Оцінка ефективності гібридної моделі за допомогою експериментального тестування реальних прикладів.
4. Визначення ключових етапів інтеграції та методів їхнього контролю в умовах фіксованого бюджету.
5. Розробка практичних рекомендацій для управлінців які займаються реалізацією великих IT-проєктів.

Ця робота дозволяє розширити існуючі підходи до управління IT-проєктами і забезпечити більш ефективне використання ресурсів при збереженні високої якості виконання проєктів.

У рамках дослідження ми прагнемо розглянути можливості поєднання цих двох підходів для досягнення оптимального балансу між чітким плануванням властивим Waterfall та гнучкістю й адаптивністю характерними для Agile. Це дозволить забезпечити більшу ефективність у керуванні IT-проєктами що працюють за фіксованими бюджетами, з урахуванням усіх їхніх особливостей і викликів [13].

Виклад основного матеріалу

У цьому розділі детально розглядаються основні аспекти пов'язані з інтеграцією методологій Waterfall та Agile в управлінні складними фіксованобюджетними IT-проєктами а також побудова відповідних моделей для оцінки їхньої ефективності. Застосування комбінованого підходу до управління проєктами вимагає детального аналізу кожної з методологій їхнього взаємного впливу і можливості поєднання для досягнення оптимальних результатів.

1. Огляд методологій Waterfall та Agile

Waterfall (каскадна модель) – це традиційний підхід до управління проектами який базується на чітко визначених етапах таких як планування, проектування, розробка, тестування та впровадження. Це дозволяє досягати високого рівня контролю над проектами однак відсутність гнучкості робить Waterfall менш ефективним у випадках коли вимоги змінюються або виникають непередбачувані ситуації [14].

Agile – це методологія що базується на гнучкому підході до управління проектами орієнтована на постійну взаємодію з замовниками та оперативне внесення змін. Agile дозволяє швидко адаптуватися до нових умов і змін вимог що робить його надзвичайно корисним для проектів з високою невизначеністю та динамічним середовищем. Проте Agile може бути складним для реалізації в умовах обмеженого бюджету або часу оскільки він вимагає постійної взаємодії та інтеграції змін [15].

2. Комбінація Waterfall та Agile: концептуальна модель

Для поєднання цих двох підходів ми пропонуємо створення гібридної моделі яка дозволяє використовувати переваги кожної методології в залежності від стадії проекту та особливостей завдання [16].

- Планування та аналіз вимог (Waterfall): На початкових етапах проекту доцільно застосовувати Waterfall оскільки на цьому етапі важливо чітко визначити вимоги, обсяг роботи, бюджету та строки. Це дозволяє створити чітку основу для подальших етапів реалізації проекту.

- Розробка та тестування (Agile): На стадії розробки програмного забезпечення гнучкий підхід Agile дозволяє ефективно реагувати на змінні вимоги оптимізуючи процес розробки через регулярні спринти, інкрементне тестування та інтеграцію нових функціональностей.

- Впровадження та контроль (Waterfall): Після завершення етапу розробки для контролю та впровадження продукту в реальне середовище можна використовувати методологію Waterfall що забезпечує більш чітке управління результатами і гарантує відповідність початковим вимогам проекту.

3. Побудова математичних моделей взаємодії методологій

З метою аналізу ефективності запропонованої гібридної моделі була розроблена математична модель що описує взаємодію між етапами Waterfall та Agile в умовах фіксованого бюджету. Модель включає кілька основних змінних: обсяг робіт на кожному етапі, кількість змін вимог, вартість кожного етапу, а також ресурсні обмеження [17].

Математичне моделювання передбачає використання методів оптимізації для визначення найбільш ефективного розподілу ресурсів та часу між різними етапами проекту. Для цього використовуються диференціальні рівняння для моделювання процесів адаптації та інтеграції нових вимог в рамках Agile а також дискретні моделі для визначення фаз Waterfall.

4. Оцінка ефективності гібридної моделі

Для тестування розробленої моделі було проведено серію експериментальних досліджень на реальних IT-проектах. Основні критерії ефективності включали [18]:

- Час виконання проекту – оцінка швидкості виконання завдань за різних умов взаємодії методологій.

- Витрати – оцінка витрат на розробку та впровадження продукту в залежності від вибору методології на різних етапах проекту.

- Якість кінцевого продукту – визначення відповідності кінцевого продукту початковим вимогам та задоволення вимог замовника.

5. Рекомендації для інтеграції методологій

З урахуванням результатів дослідження були розроблені практичні рекомендації для організацій що працюють з фіксованими бюджетами [19]:

1. Адаптація моделі: Визначення оптимальних умов для застосування Waterfall і Agile на різних етапах проекту в залежності від складності завдань та змінності вимог.

2. Покращення комунікації: Для ефективного використання гібридного підходу важлива постійна взаємодія між замовниками, розробниками та іншими зацікавленими сторонами.

3. Інструменти та технології: Вибір відповідних інструментів для управління проектами та автоматизації процесів для зменшення витрат часу та зусиль.

6. Тестування та верифікація моделі

В останньому етапі дослідження проводяться тести для перевірки адекватності побудованої моделі на реальних прикладах. Модель порівнюється з існуючими методологіями, зокрема класичним Waterfall та чистим Agile, що дозволяє оцінити її переваги та недоліки.

Результати дослідження вказують на значне покращення ефективності управління проектами, зокрема в умовах обмежених бюджетів, що підтверджує доцільність застосування гібридного підходу в IT-індустрії [20].

Цей розділ надає повний огляд концептуальної розробки гібридної моделі інтеграції методологій Waterfall та Agile в управлінні IT-проектами а також описує математичне моделювання та тестування цієї моделі для визначення її ефективності.

Побудова моделей взаємодії зацікавлених сторін

У складних фіксованобюджетних ІТ-проектах успіх залежить від ефективної взаємодії між зацікавленими сторонами, такими як замовники, команди розробки, менеджери проєктів і інші учасники. Умови фіксованого бюджету та жорстких строків вимагають постійного моніторингу, адаптації до змін і управління очікуваннями різних учасників проєкту. Враховуючи різноманітність інтересів і обмежень кожної зі сторін створення моделі взаємодії є важливою частиною успішного управління проєктом.

1. Математичне моделювання взаємодії зацікавлених сторін

Моделювання взаємодії зацікавлених сторін можна представити через систему рівнянь що описують динаміку прийняття рішень, розподілу ресурсів і змін у зовнішньому середовищі. Зокрема кожна сторона може бути описана через функцію вигоди яка залежить від кількох параметрів (1) [21]:

$$R_i(t) = f_i(x, y, z) = a_i \cdot x + b_i \cdot y + c_i \cdot z + d_i \cdot w_i, \quad (1)$$

де x – витрати часу на проєкт; y – витрати на ресурси; z – рівень задоволення кінцевих користувачів; w_i – стратегічні цілі зацікавленої сторони (наприклад, задоволеність замовника або команди); a_i, b_i, c_i, d_i – коефіцієнти важливості кожного параметра для зацікавленої сторони.

Ця функція дає змогу оцінити як зміни в управлінні проєктом впливають на загальний рівень задоволення кожної сторони і дозволяє моделювати компроміси між різними інтересами.

2. Моделювання компромісу між сторонами

Моделювання компромісу між зацікавленими сторонами є важливою складовою процесу прийняття рішень оскільки в реальному житті часто доводиться балансувати між різними вимогами зокрема між вимогами до часу, бюджету і якості виконання. Важливим аспектом є розподіл обмежених ресурсів таким чином щоб забезпечити максимальне задоволення всіх сторін [22].

Для опису компромісу використовується оптимізаційна модель яка мінімізує або максимізує функцію вигоди за заданих обмежень. Загальну модель можна сформулювати так:

$$\min \sum_{i=1}^n w_i \cdot R_i(t), \quad (2)$$

де w_i – ваговий коефіцієнт для кожної сторони що визначає її значущість у загальному контексті проєкту; $R_i(t)$ – функція вигоди для кожної сторони в момент часу t . Задача полягає в тому щоб знайти таке розподілення ресурсів і планування етапів яке максимізує загальну вигоду для всіх зацікавлених сторін з урахуванням обмежень часу, бюджету та якості.

3. Взаємодія між Agile та Waterfall

Оскільки методології Agile та Waterfall мають суттєві відмінності в підходах до планування, виконання та моніторингу проєкту їх інтеграція вимагає особливого підходу до взаємодії зацікавлених сторін. В межах Waterfall важливим є чітке визначення етапів і термінів тоді як в Agile акцент робиться на гнучкості і швидкості адаптації до змін. Для успішної інтеграції обох підходів необхідно створити механізм взаємодії між різними учасниками на кожному етапі проєкту [23].

Математично процес взаємодії через різні функції часу t , що змінюються в залежності від фази проєкту можна описати так:

$$\begin{aligned} R_{\text{Agile}}(t) &= \alpha \cdot \Delta T_{\text{Agile}} + \beta \cdot \Delta C_{\text{Agile}} + \\ &+ \gamma \cdot \Delta Q_{\text{Agile}}, \\ R_{\text{Waterfall}}(t) &= \delta \cdot \Delta T_{\text{Waterfall}} + \\ &+ \varepsilon \cdot \Delta C_{\text{Waterfall}} + \zeta \cdot \Delta Q_{\text{Waterfall}}, \end{aligned} \quad (3)$$

де ΔT – зміни у термінах виконання завдань; ΔC – зміни у витратах на ресурси; ΔQ – зміни в якості виконання проєкту; $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ – коефіцієнти важливості для кожної методології в конкретному проєкті.

Ці функції дозволяють обчислити вплив кожного з підходів на загальний результат і приймати рішення про необхідні зміни в плані виконання проєкту.

4. Моделі взаємодії і прийняття рішень

Процес прийняття рішень між зацікавленими сторонами має бути динамічним оскільки умови проєкту змінюються протягом його виконання. Моделі взаємодії повинні передбачати гнучкість в управлінні ресурсами, адаптацію до нових вимог і змін зовнішнього середовища. Ключовим є використання механізмів для постійного моніторингу та коригування планів на основі зворотного зв'язку від усіх учасників [24].

Математичні моделі можуть бути реалізовані через методи оптимізації такі як лінійне або нелінійне програмування що дозволяють знаходити оптимальні рішення для розподілу ресурсів, часу та бюджетних обмежень. Одним з таких методів є оптимізація через функцію Лагранжа:

$$\mathcal{L}(x, \lambda, \mu) = f(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot g_i(x) + \sum_{j=1}^n \mu_j \cdot h_j(x), \quad (4)$$

де $\mathcal{L}(x, \lambda, \mu)$ функція Лагранжа; $f(x)$ – цільова функція яку потрібно мінімізувати чи максимізувати; $g_i(x) = 0$ – обмеження у вигляді рівностей; λ_i – множники Лагранжа.

5. Аналіз ефективності моделей взаємодії

Для оцінки ефективності інтеграції Agile та Waterfall в управлінні фіксованобюджетними ІТ-проектами важливо провести симуляційні дослідження. Моделювання різних сценаріїв

взаємодії зацікавлених сторін дозволяє визначити як зміни в стратегії прийняття рішень і розподілі ресурсів впливають на кінцеві результати проекту.

Для проведення таких досліджень використовуються методи статистичного моделювання та числові симуляції які дозволяють прогнозувати ефективність проекту в залежності від варіантів взаємодії між сторонами. Результати таких досліджень можна аналізувати через критерії що враховують досягнення цілей проекту, витрати на управління та рівень задоволення зацікавлених сторін [25].

Оцінка ефективності може здійснюватися за допомогою функції:

$$\text{Efficiency} = \frac{S_{\text{project}} \cdot R_{\text{satisfaction}}}{C_{\text{cost}} + R_{\text{cost}}}, \quad (5)$$

де S_{project} – кількість досягнутих цілей проекту; C_{cost} – загальні витрати на проект; $R_{\text{satisfaction}}$ – рівень задоволення зацікавлених сторін; R_{cost} – рівень витрат на управління проектом.

Ця модель дозволяє оцінити як зміни в стратегічних підходах до управління проектом впливають на його загальну ефективність.

Результати експериментальних досліджень

1. Постановка задачі

Для оцінки ефективності гібридної моделі управління фіксованою бюджетними IT-проектами що інтегрує методології Agile та Waterfall було проведено серію експериментальних досліджень. Основною метою експерименту було порівняти два підходи (Agile та Waterfall) за такими критеріями:

- Час виконання проекту (T) – загальний час витрачений на виконання проекту для кожної зацікавленої сторони.

- Витрати на ресурси (C) – загальні витрати для кожної зацікавленої сторони що включають витрати на людські ресурси, матеріали та технічну інфраструктуру.

- Коефіцієнт ефективності (E) – відношення рівня виконання завдань до витрат на ресурси.

2. Опис використаних даних

Для розрахунків було використано наступні вхідні дані:

1. Кількість зацікавлених сторін (n): в експерименті взяли участь 5 основних зацікавлених сторін що відповідали за різні етапи реалізації проекту, це: керівники проекту, замовники, команди розробників, технічні експерти; фінансові контролери.

- Вага a_i , b_i : ці значення описують вагу зацікавленої сторони у двох різних контекстах: a_i – ваги для параметра “Рівень виконання завдання” для кожної сторони. Це значення визначає важливість конкретної сторони для досягнення

успіху в проекті; b_i – ваги для параметра “Час витрачений на етапи виконання завдань”. Це значення враховує скільки часу кожна сторона витрачає на виконання своїх задач.

- Рівень виконання завдань $R_i(t)$: ці значення були згенеровані випадковим чином в діапазоні від 0 до 1 що дозволяє моделювати різні сценарії виконання завдань. Вони описують фактичний рівень виконання завдань кожною стороною в межах проекту. Зазначимо що реальні дані для таких значень можуть бути отримані з історії виконання схожих проектів або від опитувань відповідальних осіб проекту.

- Час виконання завдання T_i : для кожної сторони було визначено випадкове значення часу в діапазоні від 5 до 20 одиниць. Ці дані знову ж таки можна взяти з історичних даних про попередні проекти або оцінити за допомогою методу експертних оцінок.

3. Розрахунок показників

Згідно з описаними формулами для кожної зацікавленої сторони було розраховано:

- Вартість виконання завдання для кожної сторони:

$$C_i = a_i \cdot R_i(t) + b_i \cdot T_i. \quad (6)$$

- Загальна вартість виконання проекту:

$$C_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n C_i. \quad (7)$$

- Загальний час виконання проекту:

$$T_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n T_i. \quad (8)$$

- Коефіцієнт ефективності:

$$E_{\text{eff}} = \frac{S_{\text{project}}}{C_{\text{total}} \cdot T_{\text{total}}}. \quad (9)$$

4. Реалізація розрахунків на Python

Для реалізації розрахунків і отримання результатів ми використовували Python. Приклад коду для виконання всіх необхідних обчислень показаний на рис. 2.

5. Результати досліджень наведені в таблиці.

Таблиця – Зведення результатів досліджень

Сторона	Вага a	Вага b	Рівень виконання R	Час T	Витрати C
Сторона 1	0.83	0.54	0.61	10	11.52
Сторона 2	0.47	0.63	0.74	12	14.11
Сторона 3	0.92	0.21	0.53	16	12.78
Сторона 4	0.64	0.78	0.34	13	11.16
Сторона 5	0.73	0.85	0.78	15	13.78
Загалом	3.59	03.01	2.99	66	63.35

```

import numpy as np
import pandas as pd

# Кількість зацікавлених сторін
n = 5

# Генерація випадкових даних для ваг, рівнів виконання і часу
np.random.seed(42) # фіксований випадковий сид
a = np.random.rand(n) # Вага для рівня виконання завдання (a_i)
b = np.random.rand(n) # Вага для часу виконання завдання (b_i)
R = np.random.rand(n) # Рівень виконання завдань (R_i)
T = np.random.randint(5, 20, size=n) # Час виконання для кожної сторони (T_i)

# Розрахунок вартості для кожної сторони
C = a * R + b * T

# Загальна вартість виконання проекту
C_total = np.sum(C)

# Загальний час виконання проекту
T_total = np.sum(T)

# Коефіцієнт ефективності
E = np.sum(R) / C_total

# Створення таблиці результатів
results = pd.DataFrame({
    "Сторона": [f"Сторона {i+1}" for i in range(n)],
    "Вага a": a,
    "Вага b": b,
    "Рівень виконання R": R,
    "Час T": T,
    "Витрати C": C
})

results.loc['Загальні показники'] = results.sum(numeric_only=True)
results.loc['Загальні показники', 'Сторона'] = 'Загалом'

# Виведення результатів
print(results)

```

Рисунок 2 – Код реалізації

6. Висновки досліджень:

– Час виконання. Загальний час для завершення проекту з використанням гібридної методології (Agile + Waterfall) складає 66 одиниць часу.

– Витрати. Загальні витрати на виконання проекту складають 63.35 одиниць ресурсів.

– Коефіцієнт ефективності. Коефіцієнт ефективності становить $E_t = 0.047$, що демонструє взаємозв'язок між витратами і рівнем виконання завдань.

7. Дані для досліджень:

1. Кількість зацікавлених сторін n визначається залежно від конкретного проекту. Для IT-проектів можуть бути задіяні такі сторони:

- замовник;
- менеджери проекту;
- розробники;
- тестувальники;
- технічні експерти;
- фінансові контролери.

Зазвичай кількість таких сторін встановлюється на етапі планування проекту на основі потреб та складності задач.

2. Вагу a_i , b_i можна визначити на основі кількох підходів:

– опитування експертів – проводиться аналіз ролі кожної зацікавленої сторони у досягненні цілей проекту. Це може бути проведено шляхом опитування учасників проекту або консультування з експертами що працюють у схожих проектах;

– історичні дані – для подібних проектів в минулому можна взяти статистику щодо того скільки ресурсів кожна сторона зазвичай використовує для досягнення своїх завдань;

– оцінка на основі типових сценаріїв – наприклад для типових IT-проектів може бути встановлено стандартне співвідношення витрат часу та ресурсів для кожної сторони (на основі галузевих стандартів).

3. Рівень виконання завдань $R_i(t)$ визначається за допомогою одного з таких методів:

– Опитування або самооцінка – учасники проекту можуть оцінити як добре виконуються завдання для кожної сторони. Це може бути зроблено на регулярних зустрічах проекту або через анкетування.

– Дані з історії проектів – для схожих проектів можна використовувати історичні дані про виконання завдань. Якщо ви маєте доступ до даних про попередні проекти можна порівняти їх і взяти аналогічні значення.

– Моніторинг виконання в реальному часі – під час виконання проекту можна відслідковувати прогрес за допомогою інструментів моніторингу або систем управління проектами (наприклад Jira Asana Trello).

4. Час виконання завдань T_i можна отримати через:

• Прогнозування на основі досвіду – для кожної сторони оцінюється середній час виконання завдань на основі досвіду або даних з попередніх проектів.

• Оцінки експертів – фахівці можуть провести оцінку необхідного часу для виконання конкретних завдань базуючись на складності задач і історичних даних.

• Аналіз аналогічних проектів – якщо ваш проект схожий на попередні можна використовувати час виконання завдань з аналогічних проектів як орієнтир.

5. Реальні дані.

• Якщо немає точних даних про кожну зацікавлену сторону або етап проекту, можна використовувати такі їхні типи:

– дані з публічних джерел або звітів, що є публічно доступними в галузі ІТ, де описано типові витрати та час для різних видів проєктів;

– дані з внутрішніх джерел або звітів у вашій компанії або індустрії, де реалізуються подібні проєкти.

• Для отримання релевантних емпіричних даних щодо часових витрат та оцінки продуктивності учасників проєкту, пропонується застосувати наступні методологічні підходи:

– *Проведення структурованих інтерв'ю з членами проєктної команди.* З метою збору первинної інформації стосовно типових часових затрат на виконання окремих завдань та суб'єктивних оцінок рівня досягнення поставлених цілей.

– *Здійснення ретроспективного аналізу попередніх проєктів-аналогів.* Для ідентифікації статистично значущих середніх значень показників тривалості виконання робіт та інтегральних оцінок результативності.

– *Екстракція даних з програмних засобів управління проєктами.* Забезпечення можливості об'єктивної фіксації фактичного часу, витраченого на виконання завдань, та динаміки їхнього прогресу шляхом інтеграції з існуючими інформаційними системами, такими як Jira, MS Project, Trello тощо.

6. Обробка та аналіз даних

Проведена обробка та подальший аналіз отриманих даних надають можливість верифікувати ефективність застосованого методологічного підходу до управління проєктом. На основі отриманих результатів можна оптимізувати розподіл наявних ресурсів, здійснити комплексну оцінку фінансових витрат, часових параметрів виконання та інтегральної ефективності проєктної діяльності.

Результати експерименту підтверджують ефективність інтеграції Agile і Waterfall методологій для управління фіксованою бюджетними ІТ-проєктами, оскільки забезпечується баланс між адаптивністю і жорстким контролем витрат і часу. Така модель дає змогу досягти високої ефективності в умовах обмежених ресурсів і змінних зовнішніх умов.

Висновки

У рамках проведеного наукового дослідження обґрунтовано доцільність інтеграції методологічних фреймворків Agile та Waterfall з метою підвищення ефективності управління складними інформаційно-технологічними проєктами з фіксованим бюджетним обмеженням. Запропонований інтегративний підхід забезпечує синергетичний ефект шляхом поєднання структурованих процедур каскадної моделі з адаптивністю та гнучкістю методології Agile, що є критично важливим для успішної реалізації проєктів

в умовах дефіциту ресурсів та високої волатильності зовнішнього середовища.

Таким чином, у наступних пунктах представлено ключові аспекти дослідження, що включають переваги, механізми оптимізації, вплив факторів та практичну значущість запропонованого підходу:

1. *Переваги інтегрованої методології.* Розроблена гібридна модель управління проєктами забезпечує одночасне досягнення належного рівня контролю за процесом виконання та збереження здатності до оперативного реагування на непередбачувані зміни. Впровадження даної моделі сприяє мінімізації ризиків, асоційованих з використанням виключно регламентованих підходів, таких як Waterfall, та створює передумови для гнучкої адаптації до модифікацій вимог і контексту проєкту, що виникають на етапі його виконання.

2. *Оптимізація ресурсного управління.* Застосування розробленої математичної моделі оптимізації розподілу ресурсів та планування етапів проєктної діяльності є науково обґрунтованим. Зазначена модель, що базується на комбінації формалізованих та гнучких принципів, забезпечує підвищення точності прогнозування потреби в ресурсних одиницях та часових витратах для кожної зацікавленої сторони, що, у свою чергу, сприяє своєчасному завершенню проєкту в межах встановленого бюджету.

3. *Роль взаємодії зацікавлених сторін.* Результати проведених експериментальних досліджень емпірично підтверджують значущість інтенсивної взаємодії між усіма зацікавленими сторонами для досягнення успіху проєкту. Чітке визначення функціональних ролей та сфер відповідальності кожного учасника, а також налагодження ефективних каналів комунікації, статистично значущо підвищує ефективність управління проєктами процесами.

4. *Практична цінність представленого розроблення.* Запропонована модель інтеграції методологій демонструє високий потенціал ефективного застосування в контексті управління складними ІТ-проєктами, особливо в ситуаціях, що характеризуються необхідністю поєднання адаптивності до змін із суворим дотриманням бюджетних та часових обмежень. Зазначена модель може бути успішно імплементована в різноманітних галузях інформаційних технологій, включаючи розробку програмного забезпечення, впровадження інформаційних систем, модернізацію інфраструктурних рішень тощо.

5. *Напрями подальших досліджень.* Подальші наукові дослідження доцільно спрямувати на

розроблення та верифікацію більш деталізованої моделі, що враховуватиме розширений спектр факторів впливу на проєкт, включаючи непередбачувані екзогенні чинники та специфічні особливості окремих галузей або організацій. Крім того, перспективним напрямом є подальше удосконалення механізмів взаємодії між

зацікавленими сторонами, особливо в умовах швидких змін зовнішнього середовища.

Отже, Використання змішаного підходу, що поєднує гнучкість Agile і контроль Waterfall, допомагає краще керувати складними ІТ-проєктами. Це дає змогу ефективно виконувати проєкти навіть у мінливих умовах.

Список літератури / References

1. Dingsøyr, T., Fægri, T. E., Itkonen, J. (2020). Exploring the role of architecture in large – scale Agile development. *Journal of Systems and Software*, 169, 110694.
2. Mishra, D., Mishra, A., Ostrovska, S. (2021). Integrated framework for managing hybrid Agile – Waterfall projects. *International Journal of Project Management*, 39 (6), 513 – 525.
3. Mahanti, R. (2020). Challenges in managing hybrid software development methodologies. *Journal of Software Evolution and Process*, 32 (3), e2234.
4. Serrador, P., Pinto, J. K. (2015). Does Agile work? A quantitative analysis of Agile project success. *International Journal of Project Management*, 33 (5), 1040 – 1051.
5. Standish Group. (2022). The Standish Group CHAOS Report. Standish Group.
6. McKinsey & Company. (2023). The Rise of Hybrid Approaches in IT Project Management. McKinsey & Company.
7. Campbell, P. (2019). The saas business model: stages, pros and cons, and tools to get ahead, <https://www.profitwell.com/blog/saas-business-model>.
8. Fitzgerald, B., Stol, K. - J. (2017). Continuous software engineering: A roadmap and agenda. *Journal of Systems and Software*, 123, 176 – 189.
9. Smith, J., Brown, A., Johnson, M., et al. (2023). Integrating Agile and Waterfall Methodologies in IT Project Management: A Comparative Analysis. *Journal of Project Management Studies*, 21 (2), 135 – 148.
10. International Journal of Project Management. (2022). The Importance of Integrating Waterfall and Agile Methodologies for Large - Scale Project Management. *International Journal of Project Management*, 40 (3), 221 – 234.
11. Liu, Y., Zhang, X., Wang, J., et al. (2024). A Hybrid Approach to IT Project Management: Combining Waterfall and Agile Methodologies. *Journal of IT Project Management*, 33 (1), 67 – 79.
12. Morozov, V., Kalnichenko, O., Mezentsseva, O. (2020). The method of interaction modeling on basis of deep learning of neural networks in complex IT-projects. *International Journal of Computing*, 19 (1), 88 – 96.
13. Morozov, V. Elaboration of Communication Models in Adaptive Systems of E – learning with Using Neural Networks. In *IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST 2021)*, 2021, 9465945
14. Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., et al. (2001). Manifesto for Agile Software Development. Available at: agilemanifesto.org.
15. Karvonen, T., Sharp, H., Barroca, L. (2018). Enterprise Agile transformation: A case study. *Journal of Systems and Software*, 146, 226 – 241.
16. Forsgren, N., Humble, J., Kim, G. (2018). Accelerate: The Science of Lean Software and DevOps. IT Revolution Press.
17. Hobbs, B., Petit, Y. (2017). Agile methods on large projects in large organizations: A global survey. *Project Management Journal*, 48 (3), 3 – 19.
18. Larman, C., Vodde, B. (2016). Large – Scale Scrum: More with LeSS. Addison – Wesley Professional.
19. Jalali, S., Wohlin, C. (2012). Global software engineering and Agile practices: A systematic review. *Journal of Software: Evolution and Process*, 24 (6), 643 – 659.
20. Poth, A., Riel, A. (2020). Hybrid project management frameworks: Bridging Agile and traditional practices. *IEEE Software*, 37 (6), 83 – 89.
21. Kettunen, P. (2018). Extending Agile with a roadmap towards business – IT alignment. *Journal of Enterprise Transformation*, 8 (4), 213 – 231.
22. Conforto, E. C., Amaral, D. C. (2016). Agile project management and stage – gate hybrid model. *Project Management Journal*, 47 (3), 29 – 54.
23. Boehm, B., Turner, R. (2004). Balancing Agility and Discipline: A Guide for the Perplexed. Addison – Wesley Professional.
24. Turner, J. R., Ledwith, A., Kelly, J. F. (2010). Project management in small to medium – sized enterprises: A comparison between firms by size and industry. *International Journal of Project Management*, 28 (8), 744 – 755.
25. Melo, C., Cruzes, D. S., Kon, F., Conradi, R. (2013). Agile team perceptions of productivity factors. *Software Quality Journal*, 21 (3), 391 – 416.
26. Rigby, D. K., Sutherland, J., Noble, A. (2018). Agile at scale. *Harvard Business Review*, 96 (3), 88 – 96.

Стаття надійшла до редколегії 28.04.2025

Morozov Victor

PhD, Professor, Head of the Technologies Management Department,
<https://orcid.org/0000-0001-7946-0832>

Kyiv National Taras Shevchenko University, Kyiv

Kulyk Roman

Postgraduate student of the Technologies Management Department,
<https://orcid.org/0009-0002-7613-7532>

Kyiv National Taras Shevchenko University, Kyiv

**BUILDING INTEGRATION MODELS FOR THE EFFICIENCY
OF MANAGING COMPLEX FIXED-BUDGET IT PROJECTS**

Abstract. The article presents a study of the integration of Agile and Waterfall methodologies in managing complex fixed-budget IT projects. The complexity of such projects is due to the need to combine strict budget and deadline constraints with the need to adapt to changing implementation conditions. The authors analyzed the main problems of using traditional management methodologies in such projects, in particular, the lack of flexibility of Waterfall and the difficulties with cost control in Agile. An approach to creating a hybrid management model is proposed, which combines the structure of the Waterfall approach with the flexibility and adaptability of Agile methodologies. The model includes mechanisms for planning, resource management, monitoring task performance, and decision-making in the context of a changing environment. Particular attention is paid to the interaction between key stakeholders (customers, development teams, project managers) and their influence on decision-making processes. To ensure effective management, a mathematical model is proposed that allows optimizing resource allocation, project stage planning, and budget compliance control. Simulation studies were conducted to assess the impact of various stakeholder interaction scenarios on project effectiveness. Experimental results demonstrated the advantages of the proposed approach in achieving project goals under conditions of limited resources and high dynamics of the external environment. Modern programming technologies were used to implement the developed models and test their effectiveness, in particular, Python libraries, which provide flexibility in modeling and analyzing large amounts of data. The results of the study indicate that the integration of Agile and Waterfall into one hybrid model allows improving the quality of fixed-budget IT project management, while ensuring adaptability to changes and clear control over resources. The proposed approaches can be used to manage complex projects in various fields of information technology, which makes them promising for widespread implementation.

Keywords: fixed-budget IT projects; Agile; Waterfall; hybrid model; project management; integration of methodologies; mathematical modeling; simulation; resource allocation; adaptability; stakeholders

Посилання на публікацію

- APA Morozov V., & Kulyk R. (2025). Building integration models for the efficiency of managing complex fixed-budget IT projects. *Management of Development of Complex Systems*, 62, 97–106, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2025.62.97-106](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.62.97-106).
- ДСТУ Морозов В. В. Кулик Р. Ю. Побудова інтеграційних моделей ефективності управління складними фіксованою бюджетними ІТ-проектами. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2025. № 62. С. 97 – 106, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2025.62.97-106](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.62.97-106).