МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет інтелектуальних систем управління

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи

(тип кваліфікаційної роботи)

магістра

(освітній ступінь)

на тему «Імітаційне моделювання проєктів розробки програмного забезпечення»

ХАІ.302.366.25О.122.9650525 ПЗ

Виконав: студент 6 курсу групи № 366
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
(код та найменування)
Освітня програма Комп'ютеризація обробки інформації та управління
Фіногентов М. С.
(прізвище й ініціали студента)
Керівник: проф. каф. 302, д.т.н.
Прохоров О. В.
(прізвище й ініціали)
Рецензент: Плєхова Г.А.
(прізвище й ініціали)

Харків – 2025

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет інтелектуальних систем управління
Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
(код та найменування)
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
Освітня програма Комп'ютеризація обробки інформації та управління

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Олег ФЕДОРОВИЧ
(підпис) (ім'я та прізвище)
«__» _листопада_ 20_25_ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Фіногентову Миколі Станиславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Імітаційне моделювання проєктів розробки програмного забезпечення

керівник кваліфікаційної роботи Прохоров О.В., д.т.н., проф. каф. 302,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету №_1765-уч. від «_14» листопада 20_25_ року

2. Термін подання кваліфікаційної роботи 08.12.2025

3. Вихідні дані до проекту (роботи) дослідження у сфері управління проєктами розробки програмного забезпечення

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати) проаналізувати існуючі підходи до моделювання процесів розробки програмного забезпечення; обґрунтувати структуру агентів та параметрів задач, що описують різні аспекти управління проєктом; розробити імітаційну модель Kanban-workflow в середовищі AnyLogic; реалізувати механізм призначення задач розробникам і стажерам з урахуванням продуктивності та рівня навичок, а також комунікацій; реалізувати логіку росту skill стажерів під час навчання, а також механізм породження дефектів; провести сценарні та варіаційні експерименти та проаналізувати їх результати

5. Перелік графічного матеріалу моделювання процесів розробки програмного забезпечення; мета та завдання; підходи до управління розробкою ПЗ; імітаційне моделювання як інструмент дослідження проєктів; Work-in-Progress

контроль у Kanban-системах та Learning Curve;загальна структура моделі агенту Main; агент Розробник (Developer); агент Стажер (Trainee); агент Задача (Task); створення популяцій агентів та реалізація генерації задач; моделювання продуктивності команди; логіка генерації дефектів та Testing-Flow; впровадження параметрів управління командою; експерименти. Стратегії управління командою та вплив складу команди; експеримент з цільовою функцією F_1 (мінімізація часу завершення); експеримент з цільовою функцією F_2 (час + штраф за дефекти); експеримент з цільовою функцією F_3 (час + якість + процесні втрати)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
з основної частини	Прохоров О.В. проф. каф. 302		
з спеціального розділу	Прохоров О.В. проф. каф. 302		
з економіки та управління	Малєєва Ю. А. доц. каф. 302		

Нормоконтроль _____ Олександр ПРОХОРОВ «___»_____20___ р.
(підпис) (імя та прізвище)

7. Дата видачі завдання «_06__» _вересня__2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПЗ-ПРОЄКТІВ	06.09 – 20.09	
2	КОНЦЕПТУАЛЬНА СТРУКТУРА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПЗ-ПРОЄКТУ	21.09 – 28.09	
3	РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТА ВІДПОВІДНИХ МЕХАНІЗМІВ В ANYLOGIC	29.09 – 20.10	
4	ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З МОДЕЛЛЮ	21.10 – 20.11	
5	ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	20.11 – 25.11	

Здобувач _____ __Микола ФІНОГЕНТОВ__
(підпис) (імя та прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Олександр ПРОХОРОВ
(підпис) (імя та прізвище)

УДК 004.8

РЕФЕРАТ

Імітаційне моделювання проєктів розробки програмного забезпечення – Фіногентов Микола, кваліфікаційна робота магістра, Харків, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», кількість сторінок, враховуючи додатки 89, кількість таблиць 29, кількість рисунків 27, кількість джерел літератури 15.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: програмне забезпечення, проєкт розробки програмного забезпечення, команда проєкту, розробники, стажери, комунікації, дефекти, імітаційне моделювання, агенти.

ЦІЛЬ: розробити та дослідити агентну імітаційну модель процесів розробки програмного забезпечення для аналізу впливу параметрів управління командою на ключові показники проєкту.

ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ: процес розробки програмного забезпечення в межах командної взаємодії, включаючи робочі операції, тестування, навчання стажерів та комунікаційні впливи всередині команди.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ: методи та засоби імітаційного моделювання Kanban-workflow розробки програмного забезпечення, що визначають динаміку перебігу проєкту та його результати.

ЗАДАЧІ:

1. Проаналізувати існуючі підходи до моделювання процесів розробки програмного забезпечення.
2. Обґрунтувати структуру агентів та параметрів задач, що описують різні аспекти управління проєктом.
3. Розробити імітаційну модель Kanban-workflow в середовищі AnyLogic.
4. Реалізувати механізм призначення задач розробникам і стажерам з урахуванням продуктивності та рівня навичок, а також комунікацій.
5. Реалізувати логіку росту skill стажерів під час навчання, а також механізм породження дефектів.
6. Провести сценарні та варіаційні експерименти та проаналізувати їх результати.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ: методи імітаційного моделювання.

ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ: розроблено імітаційну модель у AnyLogic, яка моделює Kanban-flow задач, враховує криву навчання стажерів, розраховує метрики прогресу, візуалізує результати у вигляді динамічних графіків та runtime-дашборду. Модель може бути використана для оцінювання строків і якості ПЗ, обґрунтування складу команди, політик WIP control, та оптимального балансу менторингу у software-проєктах.

UDC 004.8

ABSTRACT

Simulation modeling of software development projects – Mykola Finohentov, Master Thesis, Kharkiv, National Aerospace University "KhAI", amount of pages 89, amount of tables 29, amount of figures 27, amount of literature's sources 15.

KEYWORDS: software, software development project, project team, developers, interns, communications, defects, simulation modeling, agents.

AIM: so develop and investigate an agent-based simulation model of software development processes for analyzing the impact of team management parameters on key project indicators.

OBJECT OF STUDY: The software development process within team interaction, including work operations, testing, intern training, and communication effects inside the team.

SUBJECT OF STUDY: methods and tools of simulation modeling of the Kanban workflow in software development, which determine the dynamics of project progress and its outcomes.

TASKS:

1. Analyze existing approaches to modeling software development processes.
2. Justify the structure of agents and task parameters that describe various aspects of project management.
3. Develop a simulation model of the Kanban workflow in the AnyLogic environment.
4. Implement a mechanism for assigning tasks to developers and interns, considering productivity, skill levels, and communications.
5. Implement the logic of interns' skill growth during training, as well as a mechanism for defect generation.
6. Conduct scenario and variation experiments and analyze their results.

RESEARCH METHODS: simulation modeling methods.

RESULTS OBTAINED:

a simulation model was developed in AnyLogic that models the Kanban task flow, accounts for the interns' learning curve, calculates progress metrics, and visualizes results in the form of dynamic charts and a runtime dashboard. The model can be used to evaluate software timelines and quality, justify team composition, WIP control policies, and the optimal balance of mentoring in software projects.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПЗ-ПРОЄКТІВ 10
1.1 Підходи до управління розробкою ПЗ 10
1.2 Імітаційне моделювання як інструмент дослідження проєктів 14
1.3 Агентні моделі командної взаємодії 17
1.4 Learning Curve у software-розробці 19
1.5 Work-in-Progress контроль у Kanban-системах 20
1.6 Аналіз існуючих моделей та інструментів симуляції software-розробки 22
Висновки за розділом 24
2 КОНЦЕПТУАЛЬНА СТРУКТУРА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПЗ-ПРОЄКТУ 25
2.1 Загальна структура моделі агенту Main 25
2.2 Агент Розробник (Developer) 27
2.3 Агент стажер (Trainee) 30
2.4 Агент Задача (Task) 32
2.5 Формалізація параметрів задач і їх подання у симуляції 35
2.6 Workflow руху задачі (Kanban Flow) 36
2.7 Модель взаємодії «ментор → стажер» 38
2.8 Подієва логіка відволікання учасників 39
Висновки за розділом 41
3 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТА ВІДПОВІДНИХ МЕХАНІЗМІВ В ANYLOGIC 42
3.1 Створення популяцій агентів 42
3.2 Реалізація генерації задач 43
3.3 Призначення задач виконавцям 45
3.4 Моделювання продуктивності команди 45
3.5 Модель навчання стажерів 47
3.6 Логіка генерації дефектів 48
3.7 Впровадження параметрів управління командою 49
3.8 Механізм обмеження WIP (Work-In-Progress) 51
3.9 Механізм Testing-Flow 52
3.10 Візуалізація динаміки проєкту 53
Висновки за розділом 55
4 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З МОДЕЛЛЮ 57
4.1 Стратегії управління командою та вплив складу команди 57
4.2 Аналіз результатів оптимізації для різних цільових функцій 61
4.2.1 Експеримент з цільовою функцією F_1 (мінімізація часу завершення) 61

4.2.2 Експеримент з цільовою функцією F_2 (час + штраф за дефекти) 62
4.2.3 Експеримент з цільовою функцією F_3 (час + якість + процесні втрати)... 63
Висновки за розділом 64
5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ 66
5.1 Мета розділу 66
5.2 Визначення тривалості та розрахунок собівартості виконання проекту (перший варіант) 66
5.3 Визначення тривалості та розрахунок собівартості виконання проекту (другий варіант) 71
5.4 Висновки за розділом 75
ВИСНОВКИ 76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 77
ДОДАТОК А. Графічні матеріали 79

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

Розробка програмного забезпечення (ПЗ) є складним, багатофакторним та стохастичним процесом, що відбувається в умовах невизначеності: оцінювання трудомісткості задач, якість виконавців, комунікаційні затримки, поява дефектів та зміна чисельності команди. Традиційні планувальні методи (діаграми Ґанта, дорожні карти, оцінки SP/LOC) погано враховують динамічні та імовірнісні ефекти взаємодії членів команди, що може призводити до перевищення строків, зростання Work-in-Progress (WIP) та накопичення дефектів у беклозі.

Імітаційне моделювання дозволяє кількісно оцінювати вплив управлінських рішень на перебіг проєкту до їх впровадження, обґрунтовувати конфігурації команди, правила обмеження WIP та стратегії менторства. Відсутність адаптованих агентних Kanban-моделей для аналізу циклів розробки ПЗ створює потребу у побудові таких моделей і дослідженні їхніх властивостей.

Мета дослідження – розробити та дослідити агентну імітаційну модель процесів розробки програмного забезпечення для аналізу впливу параметрів управління командою на ключові показники проєкту.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні **завдання**:

1. Проаналізувати існуючі підходи до моделювання процесів розробки програмного забезпечення.
2. Обґрунтувати структуру агентів та параметрів задач, що описують різні аспекти управління проєктом.
3. Розробити імітаційну модель Kanban-workflow в середовищі AnyLogic.
4. Реалізувати механізм призначення задач розробникам і стажерам з урахуванням продуктивності та рівня навичок, а також комунікацій.
5. Реалізувати логіку росту skill стажерів під час навчання, а також механізм породження дефектів.
6. Провести сценарні та варіаційні експерименти та проаналізувати їх результати.

Об’єкт дослідження – процес розробки програмного забезпечення в межах командної взаємодії, включаючи робочі операції, тестування, навчання стажерів та комунікаційні впливи всередині команди.

Предмет дослідження – методи та засоби імітаційного моделювання Kanban-workflow розробки програмного забезпечення, що визначають динаміку перебігу проєкту та його результати.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено імітаційну модель у AnyLogic, яка моделює Kanban-flow задач, враховує криву навчання

стажерів, розраховує метрики прогресу, візуалізує результати у вигляді динамічних графіків та runtime-дашборду. Модель може бути використана для оцінювання строків і якості ПЗ, обґрунтування складу команди, політик WIP control, та оптимального балансу менторингу у software-проєктах.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків та переліку посилань. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 89 сторінок, в тому числі: 27 рисунків; 29 таблиць; 1 додаток на 11 сторінках; перелік посилань з 15 найменувань на 2 сторінках.